

## مدل سازی تغییرات کیفی روغن کنجد طی فرایند استخراج با استفاده از سیستم‌های هوشمند و رگرسیونی

منصور عسافی<sup>۱</sup>، رسول معمار دستجردی<sup>۲\*</sup>، محمد نوشاد<sup>۳</sup>

۱. دانش آموخته کارشناسی ارشد، گروه مکانیک بیوسیستم، دانشکده مهندسی زراعی و عمران روستایی، دانشگاه علوم کشاورزی و

منابع طبیعی خوزستان

۲. استادیار، گروه مکانیک بیوسیستم، دانشکده مهندسی زراعی و عمران روستایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان

۳. استادیار، گروه علوم و مهندسی صنایع غذایی، دانشکده علوم دامی و صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی

خوزستان

(تاریخ دریافت: ۹۶/۱۰/۲۴، تاریخ آخرین بازنگری: ۹۷/۲/۱۹، تاریخ پذیرش: ۹۷/۳/۲۸)

### چکیده

کنجد یکی از مهم‌ترین دانه‌های روغنی با ارزش تغذیه‌ای و عملکردی بالا در دنیا می‌باشد. بنابراین مدل‌سازی و بررسی رابطه بین عواملی که می‌تواند بر کیفیت روغن کنجد استحصال شده تأثیرگذار باشد، حائز اهمیت است. در این پژوهش، شبکه‌های عصبی مصنوعی (ANN) و سیستم استنتاج عصبی-فازی سازگار (ANFIS) برای پیش‌بینی کیفیت روغن کنجد استخراج شده به روش پرس مورد استفاده قرار گرفت. مدل به دست آمده از شبکه عصبی مصنوعی از نوع پرسپترون چند لایه در مقایسه با مدل‌های رگرسیونی و ANFIS از ضریب تبیین بالاتر و خطای کم‌تری در پیش‌بینی پارامترهای کیفی روغن کنجد استحصال شده، برخوردار بود. بر اساس نتایج به دست آمده بیش‌ترین مقدار عدد اسیدی مربوط به سرعت ۲۰ rpm و کم‌ترین مقدار مربوط به سرعت ۸۰ rpm می‌باشد و افزایش دما باعث افزایش این شاخص شد. هم‌چنین بیش‌ترین مقدار عدد یدی مربوط به سرعت دورانی ۸۰ rpm و دمای استخراج ۹۰ °C به میزان ۱۱۳ و کم‌ترین مقدار مربوط به سرعت ۸۰ rpm و سطح دمایی ۳۰ °C به میزان ۱۰۲ بود. لازم به ذکر است که افزایش دما باعث افزایش عدد اسیدی در نمونه‌ها شد.

واژه‌های کلیدی: روغن کنجد، استخراج، مدل‌سازی، ANFIS، ANN.

## ۱. مقدمه

همکاران از شبکه عصبی و الگوریتم ژنتیک برای پیش‌بینی محتوی رطوبتی موز در طی فرایند خشک کردن اسمزی استفاده کردند [۷]. نوشاد و همکاران توسط سیستم استنتاج عصبی-فازی سازگار (ANFIS)، میزان از دست دادن آب اسلایس‌های میوه به در طی فرایند آب‌گیری اسمزی با استفاده از فراصوت را پیش‌بینی کردند [۸]. کارامان و همکاران از روش انفیس و شبکه عصبی برای پیش‌بینی زمان ماندگاری روغن آفتابگردان حاوی ترکیبات آنتی‌اکسیدانی استفاده کردند [۹].

نتایج این پژوهش‌ها نشان داد که استفاده از مدل‌های هوش مصنوعی کارایی بسیار بالایی در مدل‌سازی و پیش‌بینی فرایندها دارد.

با توجه به آن که تاکنون پژوهشی در زمینه پیش‌بینی کیفیت روغن کنجد استخراج شده (عدد پراکسید، عدد اسیدی و عدد یدی) با استفاده از سیستم‌های هوشمند انجام نگرفته، در این پژوهش، شبکه‌های عصبی مصنوعی (ANN) و سیستم استنتاج عصبی-فازس سازگار (ANFIS) برای این منظور مورد استفاده قرار گرفت.

## ۲. مواد و روش‌ها

به‌منظور دستیابی به روغن کنجد خالص با کیفیت و کمیت مورد نیاز و هم‌چنین بررسی تأثیر سرعت هلیس و حرارت محفظه پرس بر ویژگی‌های کیفی روغن کنجد استخراج شده، از دستگاه پرس مکانیکی مداوم که توسط نویسنده مقاله طراحی و ساخته شده، استفاده گردید. شماتیک دستگاه روغن‌گیری از دانه‌ی روغنی کنجد در شکل (۱) نشان داده شده است. این دستگاه از بخش‌هایی مانند موتور الکتریکی، پولی، تسمه، پیچ پرس، قیف، محفظه، دای (Die)، هیتر و سنسور حرارتی تشکیل شده است. سرعت دورانی مارپیچ توسط جعبه دنده دور متغیر و دمای داخلی پوسته محفظه دستگاه به وسیله المنت و سنسورهای حرارتی قابل تنظیم بود.

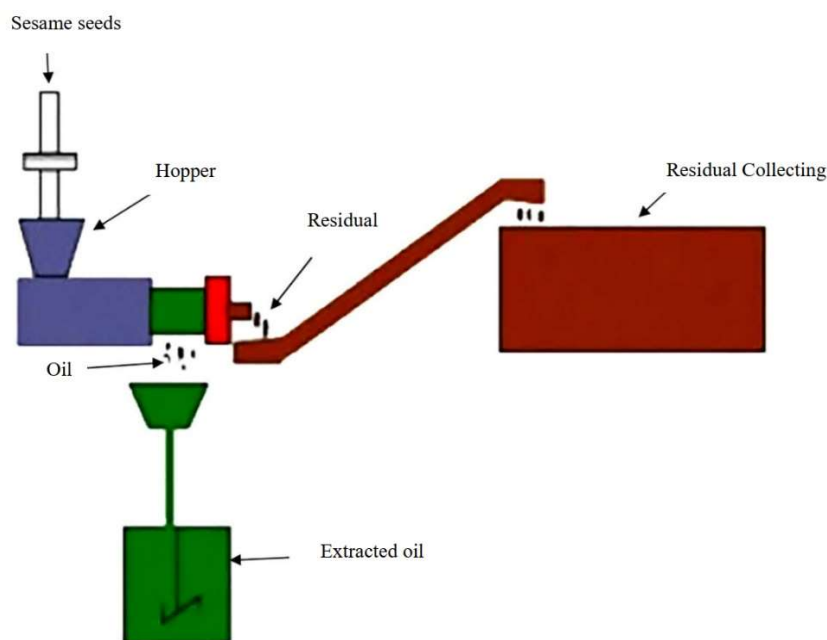
به‌منظور بررسی تأثیر شرایط استخراج بر ویژگی‌های کیفی روغن کنجد استخراج شده، سرعت دورانی مارپیچ در سه سطح (۲۰ rpm، ۵۰ و ۸۰) و دما در سه سطح (۳۰ °C، ۶۰ و ۹۰) بر میزان عدد یدی، عدد اسیدی و عدد پراکسید روغن استخراج شده بررسی شد.

یکی از مهم‌ترین دانه‌های روغنی در دنیا، کنجد می‌باشد. کنجد با نام علمی *Sesamum Indicum Linn*، گیاهی علفی از خانواده *Pedaliaceae* می‌باشد که حاوی ۴۳-۵۵ درصد روغن و ۲۲-۲۵ درصد پروتئین می‌باشد [۱]. بیش‌ترین سطح زیر کشت این محصول مربوط به کشورهای در حال توسعه آسیا و آفریقا می‌باشد و در این میان سه کشور چین، هند و میانمار به عنوان بزرگ‌ترین تولیدکننده این محصول در دنیا به حساب می‌آیند. میزان تولید کنجد در ایران در سال ۲۰۱۴ بیش از ۴۸۰ تن بوده است [۲].

برای استخراج روغن از دانه‌های کنجد از روش‌های مختلفی استفاده می‌شود که در این میان سه روش پرس مکانیکی پیوسته، فشار هیدرولیکی ناپیوسته و حلال‌های آلی عمده‌ترین روش‌های مورد استفاده در کارخانجات صنعتی می‌باشد [۳]. امروزه با توجه به افزایش تقاضای مصرف کنندگان برای مصرف روغن‌های گیاهی بدون مواد افزودنی‌های شیمیایی، استفاده از روش پرس در استخراج روغن از دانه‌های کنجد مورد استقبال زیاد قرار گرفته است [۴]. روغن به‌دست آمده در این روش استخراج به‌علت استفاده از دمای پایین و هم‌چنین عدم استفاده از حلال‌های شیمیایی از کیفیت تغذیه‌ای بالایی برخوردار هستند [۵]. بر طبق پژوهش‌های انجام شده در هنگام استفاده از روش پرس برای استخراج روغن، عوامل متعددی مانند دما و سرعت دورانی هلیس بر کیفیت روغن به‌دست آمده تأثیر دارد [۳]. با توجه به پیچیدگی تأثیر این عوامل بر کیفیت روغن استخراج شده، مدل‌سازی و بررسی رابطه بین عواملی که می‌تواند بر کیفیت روغن استخراج شده تأثیر گذار باشد نیز مشکل است. بنابراین در چنین شرایطی که روابط بین پارامترهای مستقل مانند دما و سرعت دورانی هلیس و پارامترهای وابسته مانند ویژگی‌های کیفی روغن پیچیده است، استفاده از روش‌های مدل‌سازی هوشمند مانند شبکه عصبی مصنوعی (ANN) و سیستم استنتاج عصبی-فازی سازگار (ANFIS) بهترین انتخاب می‌باشد [۶]. در سال‌های اخیر استفاده از مدل‌سازی هوشمند به‌دلیل متغیر بودن و رفتار غیر خطی مواد غذایی در فرایندهای مختلف در مدل‌سازی و کنترل فرایندهای صنعت غذا مورد توجه قرار گرفته است. محبی و

1. Artificial Neural Networks

2. Adaptive Neuro- Fuzzy Inference System



شکل (۱) شماتیک دستگاه روغن‌گیری از دانه کنجد  
 Fig 1. Schematic of sesame oil extraction machine

### ۱.۲. عدد پراکسید

سپس ۲۰ ml از حلال مورد نظر را که مخلوطی یک به یک از اتانول و کلروفرم بود، به نمونه روغن داخل ارلن اضافه شد. ۳ قطره معرف فنول فتالئین به مخلوط افزوده و با محلول پتاس (N) ۰/۱ تیتراژ شد. به محض رویت رنگ صورتی، تیتراسیون متوقف و میزان پتاس مصرفی را از روی بورت یادداشت نموده و پس از جای گذاری در معادله (۲) میزان عدد اسیدی محاسبه شد.

$$\text{عدد اسیدی} = \frac{\text{ml}_{\text{NaOH}} \times N \times 0.282 \times 100}{W} \quad (2)$$

که در این رابطه N، درصد نرمالیته،  $\text{ml}_{\text{NaOH}}$  مقدار پتاس مصرف شده و W، وزن نمونه می‌باشد.

### ۳.۲. عدد یدی

برای محاسبه عدد یدی، ابتدا ۵ g / ۰/۵ نمونه مورد نظر داخل یک ارلن وزن شد. ۱۰ ml کلروفرم به محتویات ارلن افزوده و نمونه در آن حل شد. سپس ۲۵ ml از محلول هانوس را به ارلن افزوده و به مدت سی دقیقه در محل تاریکی قرار داده شد، بعد از گذشت این مدت زمان، ۱۰ ml محلول یدی پتاسیم با اشباع ۱۵ درصد و ۱۰۰ ml آب مقطر به ارلن اضافه شد. سپس با تیوسولفات سدیم نرمال تا ایجاد رنگ زرد روشن عملیات تیتراژ انجام گردید [۱۲]. در

تعیین عدد پراکسید نمونه‌های روغن کنجد بر طبق روش AOCS محاسبه شد [۱۰]. ۵ g از نمونه روغن مورد نظر با ۲۵ ml مخلوط حلال (اسیداستیک به حجم ۳ حجم به کلروفرم ۲ حجم) مخلوط و ۱ ml محلول اشباع یدی پتاسیم به آن اضافه و پس از هم‌زدن به مدت یک دقیقه در تاریکی نگاه‌داری شد. بعد از گذشت زمان یک دقیقه، ۳۵ ml آب مقطر به آن اضافه و پس از هم‌زدن به آن ۱ ml چسب نشاسته اضافه شد. نمونه آماده شده را که دارای رنگ تیره بود با تیوسولفات سدیم ۰/۱ نرمال تا رسیدن به حالت بی‌رنگ تیتراژ شد. عدد پراکسید با استفاده از معادله ذیل محاسبه شد:

$$\text{عدد پراکسید} = \frac{(S-B) \times N \times 1000}{W} \quad (1)$$

که در این رابطه S، حجم مصرفی تیوسولفات سدیم برای نمونه B، حجم مصرفی تیوسولفات سدیم برای شاهد N، درصد نرمالیته و W وزن نمونه می‌باشد.

### ۲.۲. عدد اسیدی

برای تعیین عدد اسیدی روغن از روش AOCS استفاده شد [۱۱]. ابتدا ۱۰ g نمونه روغن در یک بشر ۲۵۰ ml توزین و

پایان با توجه به حجم مصرفی تیوسولفات سدیم برای نمونه و شاهد با استفاده از معادله (۳) اندیس یدی محاسبه شد.

$$(۳) \quad \text{عدد یدی} = \frac{(B-S) \times 1.269}{W}$$

در این رابطه B مقدار تیوسولفات سدیم مصرف شده برای نمونه شاهد، S، مقدار تیوسولفات سدیم برای نمونه و W، وزن نمونه می‌باشد.

#### ۴.۲. سیستم استنتاج تطبیقی فازی-عصبی (ANFIS)

این روش اولین بار توسط جانگ و همکاران مطرح شد [۷]. تکنیک ANFIS از الگوریتم‌های یادگیری شبکه عصبی و منطق فازی به منظور طراحی نگاشت غیرخطی بین فضای ورودی و خروجی استفاده می‌کند و قابلیت خوبی در آموزش، ساخت و طبقه‌بندی دارد. مدل فازی عصبی تطبیقی بر اساس تغییر در میزان مقادیر مرکز و دامنه توابع تعلق در تکرارهای مختلف جهت رسیدن به شبکه مناسب براساس حداقل خطای موجود عمل کند. اکثر سیستم‌های استنتاج فازی شامل سه نوع سیستم ممدانی، سیستم سوگنو و سیستم سوکاموتو است که سیستم سوگنو در محاسبات عملکرد بهتری دارد و از خروجی قطعی برخوردار است [۱۳]. در این پژوهش مدل‌سازی به روش انجام شد و تابع عضویت مطلوب از میان توابع مختلف مثلثی، دوزنقه‌ای، گوسی و سیگموئیدی و درجه عضویت مناسب آن‌ها برای هر ترکیب ورودی از آزمون سعی و خطا به دست آمد. همچنین از الگوریتم یادگیری پیوندی که ترکیبی از الگوریتم پس انتشار خطا و روش حداقل مربعات می‌باشد، برای آموزش و تطبیق با سیستم استنتاج فازی استفاده شد [۱۴]. در این پژوهش ۷۰ درصد از داده‌ها برای آموزش و ۳۰ درصد از داده‌ها برای اعتبارسنجی در نظر گرفته شد.

#### ۵.۲. مدل‌سازی شبکه عصبی مصنوعی

شبکه عصبی مصنوعی متشکل از مجموعه‌ای از نرون‌ها با ارتباطات داخلی بین یکدیگر می‌باشد که قادر است بر اساس اطلاعات و داده‌های ورودی، جواب‌های خروجی را تخمین بزند. نوع شبکه طراحی شده پرسپترون چند لایه، MLP، بود. از الگوریتم‌های آموزش الگوریتم لومبرگ-مارکوارت، LM، برای به

هنگام‌سازی وزن‌های شبکه عصبی مصنوعی استفاده شد که یکی از الگوریتم‌های پرکاربرد می‌باشد چون آموزش شبکه را بسیار سریع انجام داده و سطح خطای موجود را حداقل می‌سازد. در واقع این الگوریتم برای افزایش سرعت یادگیری شبکه طراحی شده که بر مبنای ماتریس همبستگی می‌باشد. یکی از مشکلاتی که هنگام آموزش شبکه عصبی ممکن است پیش بیاید، بیش‌آموزی شبکه است. بدین صورت که در هنگام آموزش شبکه، مقدار قابل قبول می‌رسد ولی هنگام ارزیابی، خطای شبکه به مراتب از خطای داده‌های آموزشی بیشتر باشد. برای جلوگیری از بیش‌آموزی دو راه وجود دارد: توقف سریع آموزش و انتخاب کم‌ترین تعداد نرون در لایه پنهان [۱۵، ۱۶]. در این تحقیق از روش دوم استفاده شد. بدین صورت که برای آموزش شبکه، ابتدا داده‌ها به صورت تصادفی به سه قسمت تقسیم شدند، به طوری که ۶۰ درصد داده‌ها برای آموزش، ۲۰ درصد داده‌ها برای ارزیابی و ۲۰ درصد داده‌ها برای تست شبکه استفاده شد. در حین آموزش شبکه، زمانی که خطای بین داده‌های آموزش و ارزیابی در حال افزایش باشد، فرایند آموزش قطع می‌شود.

برای مدل‌سازی شبکه عصبی و سیستم ANFIS از کدنویسی در نرم افزار Matlab, 2012b استفاده شد. برای انتخاب بهترین مدل، از شاخص‌های آماری ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) و ضریب همبستگی ( $R^2$ ) برای ارزیابی و مقایسه عملکرد شبکه‌های عصبی مصنوعی و مدل ANFIS در پیش‌بینی پارامترهای کیفی روغن کنجد استفاده شد. معادلات هر یک از آماره‌ها در ذیل ارائه شده است:

$$\text{RMSE} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (O_i - P_i)^2}{n}} \quad (۴)$$

$$R = \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})(P_i - \bar{P})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2 \sum_{i=1}^n (P_i - \bar{P})^2}}$$

در این روابط  $O_i$  و  $P_i$  به ترتیب داده‌های اندازه‌گیری و پیش‌بینی شده توسط مدل و n تعداد کل داده‌ها است.

#### ۶.۲. آنالیز آماری

تجزیه و تحلیل داده‌ها در قالب طرح فاکتوریل کاملاً تصادفی با سه تکرار انجام شد. برای تعیین معنی‌دار بودن اختلاف تیمارها از روش تحلیل ANOVA استفاده شد. همچنین تحلیل رگرسیون‌های خطی و چند جمله‌ای درجه دوم با استفاده از نرم

## ۳- نتایج

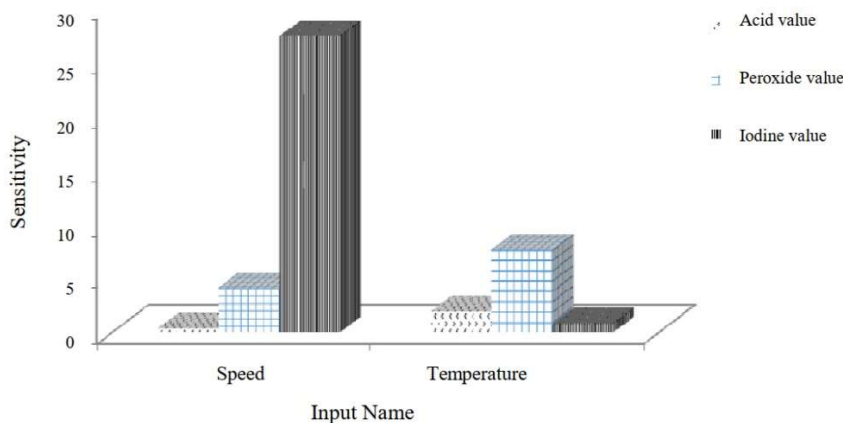
در این پژوهش برای بهینه‌یابی ساختار شبکه عصبی مدل‌کننده تغییرات کیفی روغن کنجد طی فرایند استخراج، از الگوریتم شبکه عصبی پرسپترون با یک لایه مخفی استفاده شد. ساختار شبکه شامل تعداد نرون و پارامترهای یادگیری شبکه عصبی بهینه در جدول (۱) ارائه شده است. مقادیر بالای ضریب همبستگی و کم RMSE گویای کارایی بالای مدل شبکه عصبی مصنوعی در پیش‌بینی پارامترهای کیفی روغن کنجد در طی فرایند استخراج می‌باشد [۸].

افزار MINITAB نسخه ۱۶ انجام شد. رگرسیون چند جمله‌ای درجه دوم بر اساس روش گام به گام انجام و جملات غیر معنی‌دار از مدل حذف شدند. دقت مدل‌ها با محاسبه شاخص‌های ضریب همبستگی و ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) مقایسه شدند. مدلی که دارای بالاترین مقدار ضریب همبستگی و کم‌ترین مقدار RMSE باشد، در پیش‌بینی داده‌های اندازه‌گیری شده، دقت بالاتری دارد.

جدول (۱) درصد ضریب همبستگی و شاخص RMSE پیش‌بینی مدل شبکه عصبی

Table (1) Correlation coefficient and RMSE index prediction of neural network model

آزمون Test		آموزش Training		تابع فعال سازی Activation function		معماری Architecture	پارامتر Parameter
R	RMSE	R	RMSE	لایه خروجی Output Layer	لایه مخفی Hidden Layer		
96.9	0.8	94.6	0.5	خطی Linear	تانژانت هیپربولیک Hyperbolic tangent	3-8-1	عدد یدی Iodine value
98.1	0.6	95.7	0.6	خطی Linear	تانژانت هیپربولیک Hyperbolic tangent	3-8-1	عدد اسیدی Acid value
99.2	0.1	98.8	0.3	خطی Linear	تانژانت هیپربولیک Hyperbolic tangent	3-8-1	عدد پراکسید Peroxide value

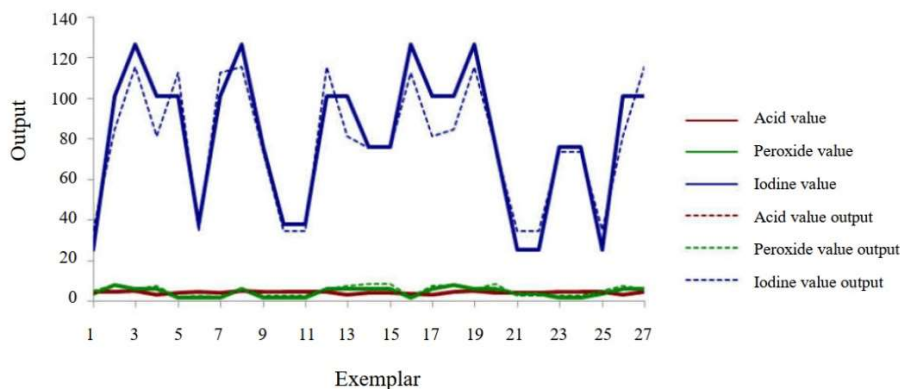


شکل (۲) تحلیل حساسیت ویژگی‌های کیفی روغن کنجد نسبت به متغیرهای آزمایش مبتنی بر مدل شبکه عصبی.

Fig 2. Sensitivity analysis of sesame oil qualitative properties compared to neural network modeling variables.

حالی که میزان حساسیت عدد اسیدی و عدد پراکسید در برابر پارامتر دمای استخراج نسبت به دور هلیس بیش‌تر بود. شکل (۳) مقادیر واقعی داده‌های به‌دست آمده از آزمایش در مقابل مقادیر پیش‌گویی شده توسط مدل شبکه عصبی نشان

حساسیت تغییرات عدد یدی نسبت به پارامترهای آزمایش مبتنی بر مدل شبکه عصبی بهینه در شکل ۲ نشان داده شده است. نتایج نشان می‌دهد که میزان حساسیت تغییرات عدد یدی در برابر پارامتر دور هلیس نسبت به دمای استخراج بیش‌تر است. در



شکل (۳) پراکنش داده‌های به‌دست آمده و داده‌های پیش‌بینی شده توسط مدل شبکه عصبی مصنوعی.

Fig 3. Distribution of data obtained and data predicted by artificial neural network model.

عوامل مؤثر بر تغییرات کیفی روغن کنجد در طی فرایند استخراج و بهینه‌یابی شرایط آن، استفاده کرد.

#### ۱.۳. تأثیر پارامترهای استخراج بر عدد اسیدی:

نتایج حاصل از آنالیز تجزیه واریانس میانگین داده‌های حاصل از تغییر پارامترهای سرعت دورانی و دمای استخراجی بر میزان عدد اسیدی در جدول شماره (۴) نشان داده شده است. بر اساس نتایج جدول مذکور اثر سرعت دورانی و دمای استخراجی و اثر متقابل آن‌ها بر یکدیگر بر میزان عدد اسیدی، در سطح ۱ درصد معنی‌دار است.

نتایج حاصل از آنالیز تجزیه واریانس میانگین داده‌های حاصل از سه سطح سرعت ۲۰، ۵۰، و ۸۰ rpm بر میزان عدد اسیدی در شکل (۴) نمایش داده شده است. بر اساس نتایج به‌دست آمده بیش‌ترین مقدار عدد اسیدی مربوط به سرعت ۲۰ rpm و کم‌ترین مقدار مربوط به سرعت ۸۰ rpm می‌باشد. با توجه با این که تاکنون پژوهشی در مورد تأثیر سرعت دورانی پیچ‌پرسی بر میزان تغییرات کیفی روغن صورت نگرفته است، می‌توان بیان کرد که دلیل بالا بودن عدد اسیدی در سرعت ۲۰ rpm، احتمالاً به دلیل بالا بودن گشتاور در سرعت پایین است که بالا بودن گشتاور سبب افزایش فشار و دما در طی فرایند استخراج می‌شود.

بر اساس نتایج به‌دست آمده (شکل ۵) کم‌ترین مقدار عدد اسیدی مربوط به سطح دمایی ۳۰°C به مقدار ۰/۴۰۶ و بیش‌ترین مقدار عدد اسیدی مربوط به سطح دمایی ۹۰°C با میزان ۰/۵۱۲ می‌باشد. بر اساس نتایج به‌دست آمده بیش‌ترین مقدار عدد اسیدی گزارش شده مربوط به سرعت دورانی ۲۰ rpm در

می‌دهد. نمودار پراکنش پیش‌بینی مدل شبکه عصبی مصنوعی نشان دهنده عملکرد بالای این مدل در پیش‌بینی پارامترهای کیفی اندازه‌گیری شده است.

در آموزش ساختار ANFIS از روش هیبرید که ترکیب روش حداقل مربعات و روش پس انتشار می‌باشد استفاده شد و حد خطا که برای ایجاد یک معیار توقف آموزش مورد استفاده قرار می‌گیرد بر روی صفر تنظیم شد. بعد از آموزش و اعتبارسنجی انفیس برای سری ورودی‌های مختلف مقداری خطا حاصل می‌شود و مقدار خروجی از انفیس با داده‌های آموزشی و ارزیابی مقایسه می‌شود [۱۷]. میزان کارایی سیستم استنتاج تطبیقی فازی-عصبی (ANFIS) در پیش‌بینی پارامترهای کیفی روغن کنجد در طی فرایند استخراج، در جدول (۲)، آورده شده است. برای مقایسه میزان کارایی مدل شبکه عصبی و ANFIS، نتایج مرتبط با شبکه عصبی و ANFIS با رگرسیون‌های خطی و غیرخطی (جدول ۳) مقایسه شد. نتایج نشان می‌دهد، مدل شبکه عصبی مصنوعی در پیش‌بینی و مدل‌سازی تغییرات کیفی روغن کنجد نسبت به مدل ANFIS و روش‌های رگرسیونی کارآمدتر عمل می‌کند، به طوری که بالاترین ضریب همبستگی در مدل رگرسیون خطی برای بهترین پاسخ ۶۷/۵ درصد و در مدل رگرسیون غیرخطی ۸۵/۷ درصد مشاهده شد. در حالی که کم‌ترین ضریب همبستگی برای پاسخ‌ها با استفاده از مدل شبکه عصبی مصنوعی، ۹۴/۶ درصد بود. همچنین مقایسه خطای محاسبه شده برای هر یک از مدل‌های رگرسیونی به‌طور قابل توجهی بیش‌تر از خطای شبکه عصبی بهینه بود. بنابراین می‌توان از شبکه عصبی مصنوعی بهینه یافته در این پژوهش در ارزیابی

جدول (۲) درصد ضریب همبستگی و شاخص RMSE پیش‌بینی مدل ANFIS

Table (2) Correlation coefficient and RMSE index prediction of ANFIS model

آزمون Test		آموزش Training		تابع عضویت Membership Function	پارامتر Parameter
R	RMSE	R	RMSE		
94.9	2.1	92.7	3.6	ذوزنقه‌ای Trapezoidal	عدد یدی Iodine value
92.2	1.4	95.1	1.1	ذوزنقه‌ای Trapezoidal	عدد اسیدی Acid value
95.2	1.2	96.1	0.9	ذوزنقه‌ای Trapezoidal	عدد پراکسید Peroxide value

جدول (۳) درصد ضریب همبستگی و شاخص RMSE پیش‌بینی مدل‌های رگرسیونی

Table (3) Correlation coefficient and RMSE index prediction of regression models

مدل Model				پارامتر Parameter
رگرسیون چند جمله‌ای درجه دوم Secondary order polynomial regression		رگرسیون خطی Linear regression		
R	RMSE	R	RMSE	
71.6	5.8	52.8	12.3	عدد یدی Iodine value
81.2	3.7	64.3	8.9	عدد اسیدی Acid value
85.7	2.3	67.5	6.1	عدد پراکسید Peroxide value

جدول (۴) تجزیه واریانس اثر سرعت دورانی و دمای استخراجی بر خواص کیفی روغن

Table (4) Anova table of rotational speed and extraction temperature on oil quality properties

میانگین مربعات			درجه آزادی (FD)	منابع تغییرات Source
میزان عدد پراکسید Peroxide value	میزان عدد یدی Iodine value	میزان عدد اسیدی Acid value		
106.38**	0.321**	0.079**	2	دمای استخراجی Temperature
44.46**	1.439**	0.077**	2	سرعت دورانی Speed
62.36**	0.77**	0.38**	4	سرعت دورانی × دمای استخراجی Temperature × Speed
1.11	0.015	0.0001	36	خطا Error

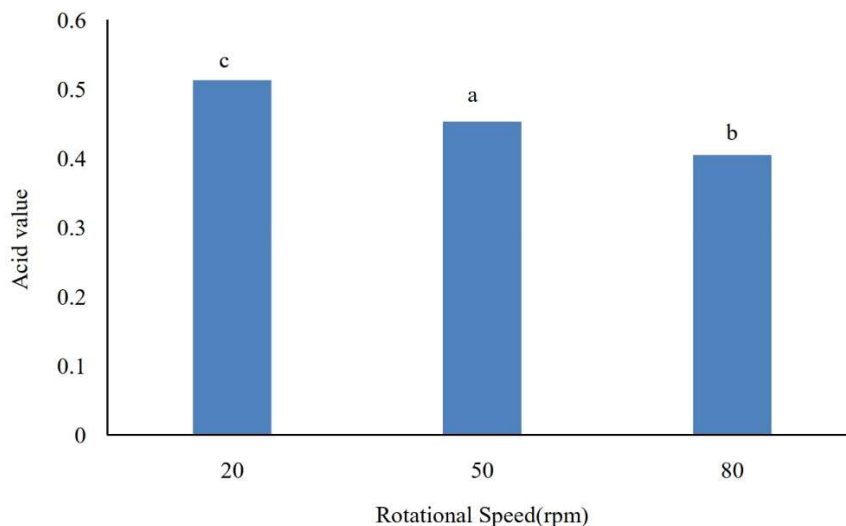
\*\* وجود اختلاف معنی دار در سطح ۰/۰۱

\*\*, significant at 0.01 level

## ۲.۳. تأثیر پارامترهای استخراج بر عدد یدی

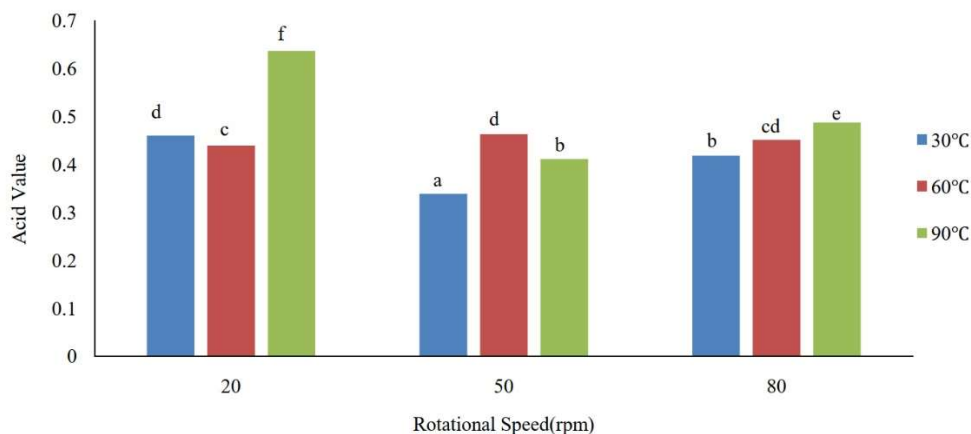
نتایج حاصل از آنالیز تجزیه واریانس میانگین داده‌های حاصل از تغییر سرعت دورانی و دمای استخراجی بر میزان عدد یدی در جدول شماره (۴) نشان داده شده است. بر اساس نتایج جدول مذکور اثر سرعت دورانی و دمای استخراجی و اثر متقابل آن‌ها بر

سطح دمایی ۹۰°C و کم‌ترین مقدار مربوط به سرعت ۵۰ rpm در سطح دمایی ۳۰°C بود. نتایج به دست آمده نشان دهنده آن است که یکی از عوامل تأثیر گذار در افزایش مقدار عدد اسیدی، حرارت می‌باشد. به طوری که با افزایش دما، مقدار این شاخص نیز افزایش می‌یابد. [۱۸].



شکل (۴) اثر سرعت دورانی (rpm) بر میزان عدد اسیدی.

Fig 4. The effect of rotational speed (rpm) on acid value.



شکل (۵) اثر متقابل سرعت دورانی و دمای استخراجی بر میزان عدد اسیدی.

Fig 5. Interaction of rotational speed and extraction temperature on acid value.

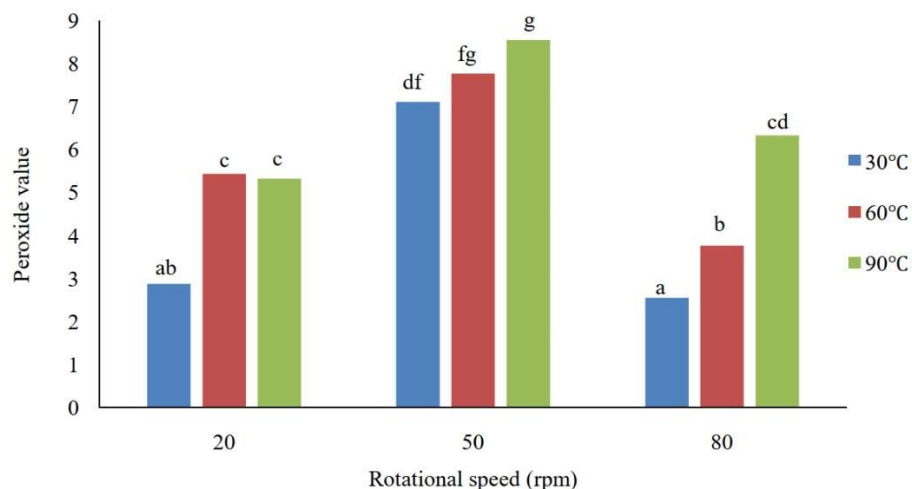
زنجیره هیدروکربنی اسیدهای چرب در طی اعمال تنش و دما، دلیل احتمالی تغییر عدد یدی در طی فرایند استخراج می‌باشد.

### ۳.۳. تأثیر پارامترهای استخراج بر عدد پراکسید

نتایج حاصل از آنالیز تجزیه واریانس میانگین داده‌های حاصل از تغییر سرعت دورانی و دمای استخراجی بر میزان عدد پراکسید در جدول شماره (۴) نشان داده شده است. بر اساس نتایج جدول مذکور اثر سرعت دورانی و دمای استخراجی و اثر متقابل آن‌ها بر یکدیگر بر میزان عدد اسیدی، در سطح ۱ درصد معنی‌دار است. با توجه به نتایج به‌دست آمده (شکل ۶)، بیش‌ترین مقدار عدد پراکسید مربوط به سرعت ۵۰ rpm و سطح دمای ۹۰ °C با میزان

یکدیگر بر میزان عدد یدی، در سطح ۱ درصد معنی‌دار بود. بر اساس نتایج به‌دست آمده بیش‌ترین میزان عدد یدی در سطح سرعت ۵۰ rpm به میزان ۱۱۱ و کم‌ترین مقدار مربوط به سرعت ۲۰ rpm به میزان ۱۰۶ بود. هم‌چنین با توجه به نتایج به‌دست آمده بیش‌ترین مقدار عدد یدی مربوط به سطح دمایی ۹۰ °C به میزان ۱۰۹ و کم‌ترین مقدار مربوط به سطح دمایی ۳۰ °C با میزان ۱۰۴ بود. هم‌چنین بررسی اثر هم زمانی سرعت دورانی و دمای استخراج نشان می‌دهد که بیش‌ترین مقدار عدد یدی مربوط به سرعت دورانی ۸۰ rpm و دمای استخراج ۹۰ °C به میزان ۱۱۳ و کم‌ترین مقدار مربوط به سرعت ۸۰ rpm و سطح دمایی ۳۰ °C به میزان ۱۰۲ گزارش داده شد. شکسته شدن





شکل (۶) اثر متقابل سرعت دورانی و دمای استخراجی بر میزان عدد پراکسید.

Fig 6. Interaction of rotational speed and extraction temperature on peroxide value.

مدل به‌دست آمده از شبکه عصبی مصنوعی در مقایسه با مدل‌های رگرسیونی و ANFIS از ضریب تبیین بالاتر و خطای کم‌تری در پیش‌بینی برخوردار بود. با توجه به نتایج به‌دست آمده بیش‌ترین مقدار عدد پراکسید مربوط به سرعت ۵۰ rpm و سطح دمای ۹۰ درجه سانتی‌گراد با میزان ۸/۵۵ و کم‌ترین مقدار مربوط به سرعت دورانی ۸۰ rpm و سطح دمایی ۳۰°C با مقدار ۲/۵۵ بود. در حالی که بیش‌ترین مقدار عدد یدی مربوط به سرعت دورانی ۸۰ rpm و دمای استخراج ۹۰ درجه سانتی‌گراد به میزان ۱۱۳ و کم‌ترین مقدار مربوط به سرعت ۸۰ rpm و سطح دمایی ۳۰°C به میزان ۱۰۲ بود. هم‌چنین نتایج نشان داد که افزایش دما باعث افزایش عدد اسیدی در نمونه‌ها شد.

میزان ۸/۵۵ و کم‌ترین مقدار مربوط به سرعت دورانی ۸۰ rpm و سطح دمایی ۳۰°C با مقدار ۲/۵۵ بود. افزایش شاخص عدد پراکسید با افزایش دما، نشان دهنده افزایش واکنش‌های اکسیداسیون و از بین رفتن آن‌تی اکسیدان‌های طبیعی در روغن می‌باشد [۱۹].

#### ۴. نتیجه‌گیری

استخراج روغن کنجد در شرایط دمایی و سرعت دورانی هلیس مختلف دارای اثرات متفاوت بر کیفیت روغن استحصال شده دارد. در این پژوهش این تغییرات با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی از نوع پرسپترون چند لایه و ANFIS مدل‌سازی شد.

#### منابع

- [5] Warra, A. (2011). Seed oil methods of extraction and its prospects in cosmetic industry: a review. *J. Pure App. Sci.*, 4(2), 164-168.
- [6] Jang, J., Roger, C., Eiji, M. (1997). Neuro-Fuzzy and Soft Computing-a Computational Approach to Learning and Machine Intelligence. *Auto Cont, IEEE Transn.*, 42(10), 1482-84.
- [7] Mohebbi, M., Shahidi, F., Fathi, M., Ehtiati, A., Noshad, M. (2010). Prediction of moisture content in pre- osmosed and ultrasounded dried banana using genetic algorithm and neural network. *Food Bio. Proc.*, 98(4), 362-366.
- [1] Rababah, T. M. (1998). Improvement of the quality of halawa Rababah tehina with special emphasis on the problem of oil separation. Master thesis, Jordan University.
- [2] FAOSTAT. (2014). URL <http://www.faostat.org>
- [3] Boskou, D. (2017). Edible Cold Pressed Oils and Their Biologically Active Components. *J. Exp. Food Chem.*, 3(1), 1000108-1000109
- [4] Siger, A., Nogala-kalucka, M., Lampart-szczapa, E. (2008). The content and antioxidant activity of phenolic compounds in cold-pressed plant oils. *J. Food Lipids.*, 15(2), 137-149.

- [8] Noshad, M., Mohebbi, M., Shahidi, F., Mortazavi, S.A. (2013). Application of the Fuzzy- Neural Adaptive Inference System (ANFIS) to predict the water loss of quince slice during ultrasound- osmotic dehydration. *21<sup>th</sup> Con Food Sci and tech, Shiraz* ( In presian).
- [9] Karaman, S., Ozturk, I., Yalcin, H., Kayacier, A., Sagdic, 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. *J. Sci. Food Agric.*, 92(1), 49-58.
- [10] AOCS. (1997) Official Methods and Recommended Practices of the American Oil Chemists' Society. American Oil Chemists' Society, Champaign., *Method Cd.*, 8-53.
- [11] AOCS.(1993). Official Methods and recommended practices of the American Oil Chemists Society. 4th ed, Champaign, IL: American Oil Chemists' Society Press.
- [12] AOAC. (1995) Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemistry (AOAC). 16th Ed.
- [13] Ross, T.J. (2010). Fuzzy logic with engineering application, 3<sup>th</sup> ed., John Wiley and Sons, Ltd., Publication, United Kingdom, pp 264-265.
- [14] Jang, J. S. R., and C. T. Sun. (1997). Neuro-fuzzy modeling and control, proceedings of the IEEE, 83 (3), 378-406.
- [15] Hernandez-Perez, J. A., Garcia-Alvarado, M. A., Trystram, G. and Heyd, B. (2004). Neural networks for the heat and mass transfer prediction during drying of cassava and mango. *Innovative Food Sci. Emer. Technologies*, 5, 57-64.
- [16] Erenturk, S. and Erenturk, K. (2007). Comparison of genetic algorithm and neural network approaches for the drying process of carrot. *J.Food Eng.* 78, 905-912.
- [17] Abraham, A (2005). Adaptation of Fuzzy Inference System Using Neural Learning, in: Nedijah, N. and Mourelle, M., Fuzzy systems engineering, theory and practice. Springer publishing, Berlin, Heidelberg, pp 53-83
- [18] Prior, E.M., Vadke, V.S., Sosulski, F.W. (1991). Effect of heat treatment on canola press oils. II: Oxidative stability. *J. Am. Oil Chem. Soc.* 68, 407-411.
- [19] Gunstone, F.D. (2004). Rapeseed and Canola Oil Production Processing Properties and uses., Blackwell publishing Ltd., London, pp 67-96.