



مدل‌سازی اثر پیش‌تیمار مایکروویو بر استخراج روغن از دانه‌های گوجه‌فرنگی به روش شبکه عصبی مصنوعی

زهرا ممیوند^۱، آریو امامی‌فر^{۲*}، فخرالدین صالحی^۳ مصطفی کرمی^۴

۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده صنایع غذایی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران

۲- دانشیار، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده صنایع غذایی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران

۳- دانشیار، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده صنایع غذایی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران

۴- دانشیار، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده صنایع غذایی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران

چکیده

اطلاعات مقاله

تاریخ‌های مقاله:

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۲/۲۰

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱/۲۷

کلمات کلیدی:

آنالیز حساسیت،

شبکه عصبی مصنوعی،

روغن دانه گوجه‌فرنگی،

مایکروویو.

افزایش تقاضای مصرف‌کنندگان برای استفاده از مواد غذایی طبیعی و بدون افزودنی و همچنین افزایش ضایعات صنایع غذایی، محرک استفاده از محصولات جانبی کارخانه‌های مواد غذایی در دیگر صنایع غذایی است. تفاله گوجه‌فرنگی از جمله ضایعات کارخانه‌های مواد غذایی است که در کارخانه‌های تولید رب و سس از گوجه‌فرنگی تولید می‌شود. هدف از این پژوهش بررسی اثر پیش‌تیمار مایکروویو و روش استخراج بر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی روغن دانه گوجه‌فرنگی بود. پیش‌تیمار دانه‌ها با امواج مایکروویو (۰، ۲۰۰ و ۵۰۰ وات) طی زمان‌های مختلف (۰، ۱، ۳ و ۵ دقیقه) انجام و روغن دانه‌ها با روش سوکسله و پرس استخراج گردید. برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی روغن استحصال‌شده شامل بازده استخراج، ویسکوزیته، عدد اسیدی، عدد پراکسید، و مؤلفه‌های رنگی شامل روشنایی، قرمزی و زردی ارزیابی گردید. تجزیه و تحلیل داده‌ها بر اساس آزمایش فاکتوریل در قالب طرح آماری کاملاً تصادفی در سه تکرار انجام شد. داده‌های آزمایشگاهی این پژوهش توسط روش الگوریتم ژنتیک- شبکه عصبی مصنوعی با ۳ ورودی (روش استخراج، توان مایکروویو و زمان تیماردهی) و ۷ خروجی (درصد استخراج، عدد اسیدی، عدد پراکسید، ویسکوزیته، روشنایی، قرمزی و زردی) مدل‌سازی شد. نتایج مدل‌سازی به روش الگوریتم ژنتیک- شبکه عصبی مصنوعی نشان داد شبکه‌ای با ساختار ۷-۸-۳ در یک لایه پنهان و با استفاده از تابع فعال‌سازی تانژانت هیپربولیک می‌تواند درصد استخراج، عدد اسیدی، عدد پراکسید، ویسکوزیته، روشنایی، قرمزی و زردی روغن تهیه‌شده از دانه‌های گوجه‌فرنگی را با ضریب همبستگی بالا و مقدار خطا پایین پیش‌بینی نماید. بر اساس نتایج آزمون آنالیز حساسیت، روش استخراج در مقایسه توان و زمان پیش‌تیمار دانه‌ها با مایکروویو، به‌عنوان عامل اصلی تعیین گردید.

DOI:10.22034/FSCT.21.152.181.

* مسئول مکاتبات:

a.emamifar@basu.ac.ir

۱. مقدمه

ضایعات مواد غذایی ترکیبات غیرقابل استفاده و باقی از ماده اولیه بکار رفته در تولید محصولات غذایی هستند. فرآوری این ضایعات با هدف دستیابی به ترکیبات موثره آن‌ها با هدف کاربرد در صنایع غذایی مورد توجه قرار گرفته است. از جمله روش‌های فرآوری ضایعات مواد غذایی، استخراج ترکیبات زیست فعال از جمله روغن‌ها، پروتئین‌ها و رنگ‌ها است [۱]. فراوری مفید و سریع ضایعات صنایع مختلف از جمله صنعت غذا در کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای و زباله‌های تولید شده مؤثر است [۲]. گوجه‌فرنگی (*Solanum lycopersicum L*) با تولید سالانه بیش از ۲۴۱ میلیون تن در جهان، محصولی پرمصرف و پرطرفدار است. ۸۰ درصد کل گوجه‌فرنگی تولیدشده در جهان به صورت تازه‌خوری و ۲۰ درصد به صورت فرآوری‌شده (رب، سس و ترشی) مصرف می‌شود [۳]. تفاله گوجه‌فرنگی محصول ضایعاتی طی فرآوری گوجه‌فرنگی است که از سه بخش گوشت (۴۰ درصد)، پوست (۲۷ درصد) و دانه (۳۳ درصد) تشکیل شده است [۴]. دانه گوجه‌فرنگی حاوی ترکیبات مغذی نظیر روغن خوراکی، پروتئین و لیکوپن است [۵]. استخراج فرآیند اصلی تولید روغن از دانه‌های روغنی است که معمولاً به دو روش پرس (اعمال نیروی مکانیکی فشاری بر دانه‌های روغنی) و یا سوکسله (اشباع شدگی حلال با روغن موجود در دانه روغنی) انجام می‌شود [۶]. استخراج روغن با پرس در مقایسه با حلال ساده‌تر، ایمن‌تر و کم‌هزینه‌تر و با بازده کمتر است. استخراج روغن با سوکسله (حلال هگزان)، با موانعی نظیر زمان فرآیند طولانی، هزینه زیاد، انتشار ترکیبات آلی فرار به محیط و تا حدی افت کیفیت روغن تولیدی همراه است [۷]. از جمله موانع اصلی استخراج روغن دانه‌های روغنی با حلال، باقیماندن حلال در روغن است که تأثیر منفی بر سلامت مصرف کننده دارد. به تازگی مصرف روغن‌های تولیدشده با روش پرس به دلیل گرایش مردم برای مصرف مواد غذایی سالم و با

حداقل فرایند مورد توجه قرار گرفته است [۸]. استفاده از پیش‌ تیمارهای جدید از جمله امواج مایکروویو با هدف افزایش بازده استخراج، بهبود کیفیت فیزیکی و شیمیایی و افزایش ماندگاری روغن دانه‌های روغنی (دانه چیا، دانه کلزا، دانه کتان، دانه خارمریم، دانه سیاه دانه) توجه زیادی را به خود جلب کرده است [۹]. امواج مایکروویو (فرکانس ۳۰۰ مگاهرتز تا ۳۰۰ گیگاهرتز) در گروه امواج الکترومغناطیس غیریونیزه قرار دارند. اصول حرارت دهی با مایکروویو به صورت تأثیر مستقیم امواج بر مواد قطبی به وسیله دو پدیده انتقال یونی و چرخش دوقطبی است [۱۰]. شبکه عصبی مصنوعی به عنوان یک ابزار قدرتمند نقش مهمی در پیش‌بینی و مدل‌سازی پارامترهای فرآیند-های غذایی دارد. اولین مدل ریاضی نرون مصنوعی در ابتدا توسط مک کولاک و پیتس پیشنهاد گردید [۱۱]. یک شبکه عصبی مجموعه‌ای است از واحدهای سازنده که نرون عصبی نامیده می‌شوند. یک نرون مصنوعی نیز از واحد پردازشی مقدماتی با چندین ورودی و یک خروجی تشکیل شده است. ورودی‌های نرون می‌توانند خروجی‌های سایر نرون‌ها یا خروجی‌های ساده بیرونی باشند. خروجی از یک سلول عصبی نیز می‌تواند ورودی به چندین سلول عصبی دیگر باشد. [۱۲]. هدف استفاده از شبیه‌سازی یا مدل‌سازی در فرآیندها در واقع تبدیل کیفیت‌های فیزیکی و رابطه متقابل این کیفیت‌ها به کمیت‌های عددی و روابط ریاضی است. یک مدل از متغیرها و مجموعه معادلات وابسته به آنها تشکیل شده است که نشان دهنده تأثیر متقابل این متغیرها در دنیای واقعی است [۱۳]. شبکه عصبی مصنوعی توانایی شبیه‌سازی فرآیندهای اساسی سیستم عصبی بیولوژیکی را برای مقابله با عوامل خارجی دارد. الگوریتم ژنتیک الهام گرفته از طبیعت است و بر این اساس که بهترین‌ها حق بقا دارند، شکل گرفته است. از روش بهینه‌سازی الگوریتم ژنتیک می‌توان برای غلبه بر محدودیت‌های ذاتی شبکه عصبی مصنوعی استفاده کرد. روش ترکیبی الگوریتم ژنتیک- شبکه عصبی مصنوعی به طور گسترده‌ای به منظور مدل‌سازی فرآیندهای غذایی و

۲-۱- خالص سازی دانه های گوجه فرنگی

تفاله گوجه فرنگی از یک کارگاه تولید رب گوجه فرنگی تهیه شد (شکل ۱). جداسازی دانه ها از تفاله بر اساس روش زورو و همکاران (۲۰۱۳) با کمی تغییرات انجام شد [۱۶]. تفاله ها درون ظرف بزرگ پلاستیکی پر از آب غوطه ور شدند. به دلیل اختلاف دانسیته دانه ها با آب و تفاله، دانه ها در ته ظرف رسوب کردند و بقیه تفاله در سطح آب قرار گرفت (شکل ۱). دانه های جدا شده در دمای آزمایشگاه (۲۵ درجه سانتی گراد) طی ۶ ساعت خشک و در کیسه های مقاوم به نفوذ رطوبت و اکسیژن نگهداری شدند. تمامی مواد شیمیایی مورد استفاده از نوع آزمایشگاهی بود که از شرکت مرک آلمان تهیه گردید.

پیش بینی پارامترهای مورد نظر در طراحی و توسعه سیستم ها استفاده می شود [۱۴]. استفاده از شبکه عصبی مصنوعی در مدل سازی و پیش بینی فرآیندهای مختلف - غذایی نظیر خشک کردن، آبگیری اسمزی، استخراج مواد موثره نظیر لیکوپن از تفاله گوجه فرنگی، خیساندن دانه ها، مدل سازی فرایند انجماد و رفع انجماد و استخراج روغن از دانه های روغنی، استفاده شده است [۱۵]. با توجه به اینکه هیچ گونه پژوهشی در زمینه مدل سازی استخراج روغن از دانه های گوجه فرنگی به کمک پیش تیمار میکروویو صورت نگرفته است، لذا هدف از این مطالعه دستیابی به مدلی ساده، سریع، دقیق و کارآمد با استفاده از شبکه های عصبی مصنوعی در خصوص اثر پیش تیمار میکروویو و روش استخراج روغن دانه های گوجه فرنگی بر ویژگی های فیزیکی و شیمیایی روغن حاصله بود.

۲-۲ مواد و روش ها



(a)



(b)

Fig.1. Tomato pomace (a) and Tomato seeds sedimentation (b)

شدند. نمونه ها طی ۱، ۳ و ۵ دقیقه به ترتیب تحت تابش امواج میکروویو در دو سطح توان ۲۰۰ و ۵۰۰ وات قرار گرفته و پس از خنک شدن در دمای آزمایشگاه (۲۵ درجه سانتی گراد) در بسته های پلاستیکی با روکش پارچه ای تا قبل از مرحله استخراج روغن و در دمای آزمایشگاه

۲-۲-۲ پیش تیمار میکروویو دانه ها

۸۰ گرم از دانه های گوجه فرنگی به صورت لایه نازک با قطر حدود ۳۰ میلی متر بر روی سطح ظرف پیرکس شیشه ای مقاوم به امواج میکروویو توزیع و در آون میکروویو آزمایشگاهی ۵۰ لیتری (NN-C2002W, Japan) قرار داده

۳-۵-۲- عدد پراکسید

عدد پراکسید روغن استخراجی بر اساس روش استاندارد (AOAC, 965.33 Method, 2005) اندازه گیری شد [۲۱]. حدود ۵ گرم روغن به ۳۰ میلی لیتر محلول اسید استیک-کلروفورم (نسبت حجمی ۳ به ۲) افزوده و مخلوط شد. ۰/۵ میلی لیتر محلول یدید پتاسیم اشباع به آن افزوده و حدود یک دقیقه در محیط تاریک قرار داده شد. پس از افزودن ۳۰ میلی لیتر آب مقطر، تیوسولفات سدیم ۰/۰۱ نرمال تا ناپدید شدن رنگ زرد به محلول افزوده شد. حدود نیم میلی لیتر چسب نشاسته ۱ درصد به محلول اضافه شد و افزودن تیوسولفات سدیم تا خنثی سازی کامل (ناپدید شدن رنگ آبی) ادامه یافت. نمونه شاهد به صورت نمونه بدون روغن مراحل مذکور را طی کرد. عدد پراکسید روغن (میلی اکی والان گرم اکسیژن در هر کیلوگرم روغن) بر اساس فرمول $(Peroxide\ value = \frac{N(s-b)}{W} \times 1000)$ محاسبه گردید. (N) نرمالیت تیوسولفات سدیم، (S) حجم تیوسولفات مصرفی برحسب میلی لیتر و (b) حجم تیوسولفات مصرفی برحسب میلی لیتر و (W) وزن نمونه روغن برحسب گرم است.

۴-۵-۲- ویسکوزیته روغن

ویسکوزیته نمونه های روغن دانه گوجه فرنگی در دمای ۲۵ درجه سانتی گراد با استفاده از ویسکومتر بروکفیلد (Brookfield-DV2T) مجهز به آداپتور (UL) و با استفاده از اسپیندل استوانه ای (SC4-21) اندازه گیری و حسب واحد سنتی پواز گزارش گردید [۲۲].

۵-۵-۲- رنگ روغن

در ارزیابی رنگ از روش پردازش تصویر استفاده گردید. حدود ۱۰ میلی لیتر از هر نمونه روغن درون پتری دیش شیشه ای (قطر ۵ سانتی متر) ریخته شد و با کمک دوربین عکاسی (Canon, Japan) در فاصله ثابت ۲۰ سانتی متر تصویربرداری شد. ابتدا تصاویر با فرمت JPG و در فضای رنگی RGB ذخیره شدند. تصاویر گرفته شده توسط

نگهداری شدند. دانه های گوجه فرنگی اشعه ندیده به عنوان نمونه شاهد استفاده شدند [۱۷].

۳-۲- استخراج روغن دانه ها به روش پرس

استخراج روغن دانه های گوجه فرنگی (۸۰ گرم) در دمای ۳۵ درجه سانتی گراد طی ۱۰ دقیقه با دستگاه مینی پرس تک مارپیچ (بگردانه، ایران) با سرعت ۲۰ دور در دقیقه به روش یلماز و گونسر (۲۰۱۷) با کمی تغییرات انجام شد [۱۸].

۴-۲- استخراج روغن دانه ها به روش سوکسله

روغن دانه های گوجه فرنگی (۸۰ گرم) با استفاده از دستگاه سوکسله اتوماتیک و با حلال ان هگزان (مرک، آلمان) و روش استاندارد انجمن جهانی غلات و دانه ها (AACC Approved Methods of Analysis 30-25.01) با کمی تغییرات استخراج شد [۱۹].

۵-۵-۵- آزمون های روغن دانه گوجه فرنگی**۱-۵-۲- بازده استخراج روغن**

بازده استخراج روغن با تقسیم وزن روغن استخراجی از دانه ها بر وزن اولیه آن ها بر حسب درصد محاسبه گردید [۲۰].

۲-۵-۲- عدد اسیدی

عدد اسیدی روغن استخراجی بر اساس روش استاندارد (AOAC, 969.17 Method, 2005) تعیین شد [۲۱]. ۵ گرم روغن در ۲۵ میلی لیتر مخلوط اتانول و اتر حل شد و با هیدروکسید پتاسیم ۰/۱ نرمال در حضور فنل فتالین تا ظهور رنگ صورتی خنثی گردید. عدد اسیدی (میلی گرم هیدروکسید پتاسیم لازم برای خنثی کردن اسید های چرب آزاد در یک گرم نمونه روغن) بر طبق فرمول $(Acid\ value = \frac{V \times N \times 56.1}{m})$ محاسبه گردید. (N) نرمالیت هیدروکسید پتاسیم، (V) حجم هیدروکسید پتاسیم برحسب میلی لیتر و (m) وزن نمونه روغن برحسب گرم است.

به منظور ارزیابی شبکه عصبی استفاده شده پیش‌بینی پارامترهای مورد بررسی، از شاخص ضریب همبستگی^۶ استفاده گردید [۲۴].

۳- نتایج و بحث

۳-۱- نتایج مدل‌سازی الگوریتم ژنتیک- شبکه عصبی مصنوعی

با توجه به این که ساختار مدل شبکه‌های عصبی مصنوعی با استفاده از داده‌های تجربی جمع آوری شده شکل گرفته است، توانایی و دقت خوبی در پیش‌بینی و نمایش داده‌ها دارد [۲۵]. در این مطالعه روش استخراج، توان مایکروویو و زمان تیماردهی به‌عنوان ورودی‌های شبکه در نظر گرفته شدند و درصد استخراج، عدد اسیدی، پراکسید، ویسکوزیته، روشنایی، قرمزی و زردی نیز به‌عنوان خروجی شبکه انتخاب گردیدند. با توجه به مقدار خطای کمتری که با استفاده تابع فعال‌سازی تانژانت هیپربولیک به دست آمد، این نوع تابع به‌عنوان تابع فعال‌سازی در لایه پنهان و خروجی انتخاب گردید. بر اساس روش آزمون و خطا مشخص شد در صورتی که ۵۰ درصد داده‌ها برای آموزش استفاده گردد، شبکه به‌خوبی قادر به یادگیری روابط بین ورودی‌ها و خروجی‌ها است (جدول ۱). ۲۰ درصد داده‌ها هم برای آزمون شبکه آموزش‌دیده و ۳۰ درصد داده‌ها برای ارزیابی شبکه استفاده شد. نتایج نشان داد که شبکه عصبی مصنوعی دارای ۸ نرون در لایه پنهان می‌تواند به‌خوبی درصد استخراج، عدد اسیدی، پراکسید، ویسکوزیته، روشنایی، قرمزی و زردی روغن تهیه‌شده از دانه‌های گوجه‌فرنگی را پیش‌بینی نماید. نتایج مقادیر خطای محاسبه شده توسط شبکه بهینه نشان داد که شبکه عصبی با ساختار ۳-۸-۷ با تابع فعال‌سازی تانژانت هیپربولیک با ضریب همبستگی بالا و مقدار خطا پایین در مقایسه با سایر ساختارهای شبکه، نتایج بهتری را برای پیش‌بینی

نرم‌افزار Image J software version 1.42e,) Image J (USA) و برنامه آن (Color-Space-Converter) از فضای رنگی RGB به مولفه‌های رنگی روشنایی (L value)، قرمزی-سبزی (a value) و زرد-آبی (b value) تبدیل گردیدند [۲۳].

۲-۶- روش آماری

این تحقیق بر اساس روش فاکتوریل و بر طبق طرح آماری کاملاً تصادفی با سه عامل توان پیش‌تیمار مایکروویو (۰، ۲۰۰ و ۵۰۰ وات)، زمان پیش‌تیمار مایکروویو (۰، ۱، ۳ و ۵ دقیقه) و نوع روش استخراج (پرس سرد و سوکسله) روغن دانه‌های گوجه‌فرنگی در سه تکرار انجام شد. تجزیه و تحلیل داده‌ها با نرم‌افزار آماری (SPSS) و مقایسه میانگین‌ها بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح معنی‌داری ۵ درصد انجام شد.

۲-۷- مدل‌سازی الگوریتم ژنتیک- شبکه عصبی مصنوعی

مدل‌سازی فرآیند استخراج روغن از دانه‌های گوجه‌فرنگی جهت پیش‌بینی درصد استخراج، عدد اسیدی، عدد پراکسید، ویسکوزیته، روشنایی، قرمزی و زردی به روش الگوریتم ژنتیک- شبکه عصبی مصنوعی، توسط شبکه‌های عصبی سه لایه پرسپترون پیش‌خور انجام پذیرفت. در این مطالعه ۳ ورودی (روش استخراج، توان مایکروویو و زمان تیماردهی) و ۷ خروجی (درصد استخراج، عدد اسیدی، پراکسید، ویسکوزیته، روشنایی، قرمزی و زردی) در نظر گرفته شد. از نرم‌افزار نروسولوشن^۱ (نسخه ۵) جهت مدل‌سازی استفاده شد. در این نرم‌افزار با تغییر نوع تابع فعال‌سازی (خطی، سیگموئیدی^۲ و تانژانت هیپربولیک^۳)؛ تعداد داده‌های استفاده‌شده جهت یادگیری، آزمون و ارزیابی و قاعده یادگیری لونیبرگ-مارکوارت^۴، بهترین ساختار^۵ شبکه جهت دست‌یابی به شبکه بهینه بررسی شد.

4- Levenberg-Marquardt (LM)
5- Topology
6- Correlation coefficient (r)

1- Neurosolution software (Excel software release 5.0), NeuroDimension, Inc., USA
2- Sigmoid functions
3- Hyperbolic tangent function

انتشار پیشخور با توپولوژی ۲-۵-۱۰ و ضریب همبستگی بیشتر از ۰/۹۹ و با الگوریتم آموزش لونبرگ-مارکوارت و تابع فعال سازی تانژانت هیپربولیک به دست آمد که نشان دهنده دقت بالای شبکه عصبی مصنوعی بود. سانچز و همکاران (۲۰۱۷) با بررسی پیش تیمارهای مختلف (مایکروویو و هیدروترمال) دانه روغنی کلزا پیش از استخراج با استفاده از مدل شبکه عصبی مصنوعی در مقایسه با سایر مدل ها گزارش کردند که مدل ارائه شده می تواند جانشین بسیار قدرتمندی برای سایر مدل های آماری در خصوص سینتیک استخراج روغن باشد [۲۶].

خصوصیات روغن استخراج شده از دانه های گوجه فرنگی ارائه می کند (جدول ۲). در پژوهشی دیگر، مدل سازی استخراج روغن از دانه های آفتابگردان با استفاده از مدل شبکه عصبی مصنوعی توسط بخش آبادی همکاران (۲۰۱۷) بررسی شده است. در این پژوهش، فرآیند استخراج روغن به روش شبکه های عصبی مصنوعی با دو بردار ورودی (دما و رطوبت دانه) و پنج بردار خروجی (میزان روغن، رطوبت و پروتئین کنجاله و درصد مواد ریز نامحلول در روغن و اسیدیته روغن) مدل سازی و نتایج به دست آمده از شبکه عصبی مصنوعی با داده های تجربی مقایسه شده است. بهترین نتیجه توسط شبکه عصبی پس

Table 1. The optimal values of artificial neural network

Hidden layers	Algorithm	Activation function	Hidden neurons	Training (Percent)	Validation (Percent)	Testing (Percent)
1	Levenberg-Marquardt	Hyperbolic Tangent	8	50	20	30

Table 2. The error values in prediction of the quality parameters of tomato seed oil (testing data) by optimal artificial neural network with 8 neurons in hidden layer

Error	Extraction efficiency	Acid value	Peroxide value	Viscosity	L value	b value	a value
Mean squared error (MSE)	1.97	0.31	0.16	1.31	10.78	0.07	3.75
Normalized Mean squared error (NMSE)	0.12	0.32	0.06	0.25	0.15	0.40	0.10
Mean absolute error (MAE)	0.92	0.43	0.33	0.89	2.58	0.23	1.61
Minimum absolute error	0.16	0.01	0.02	0.13	0.38	0.03	0.13
Maximum absolute error	3.47	0.91	0.48	2.42	6.36	0.42	2.89
Correlation coefficient (r)	0.97	0.83	0.98	0.94	0.96	0.80	0.97

تشکیل حدود ۳۷ نسل، مقدار خطا به مقدار ثابتی رسید که نشان دهنده تولد ناپی روش الگوریتم ژنتیک در بهینه کردن پارامترهای شبکه عصبی مصنوعی است.

مقدار میانگین مربعات خطا در برابر تعداد نسل های تشکیل شده، در شکل ۲ نشان داده شده است. در نسل های اولیه روند کاهش تعداد خطاها مشاهده و بعد از

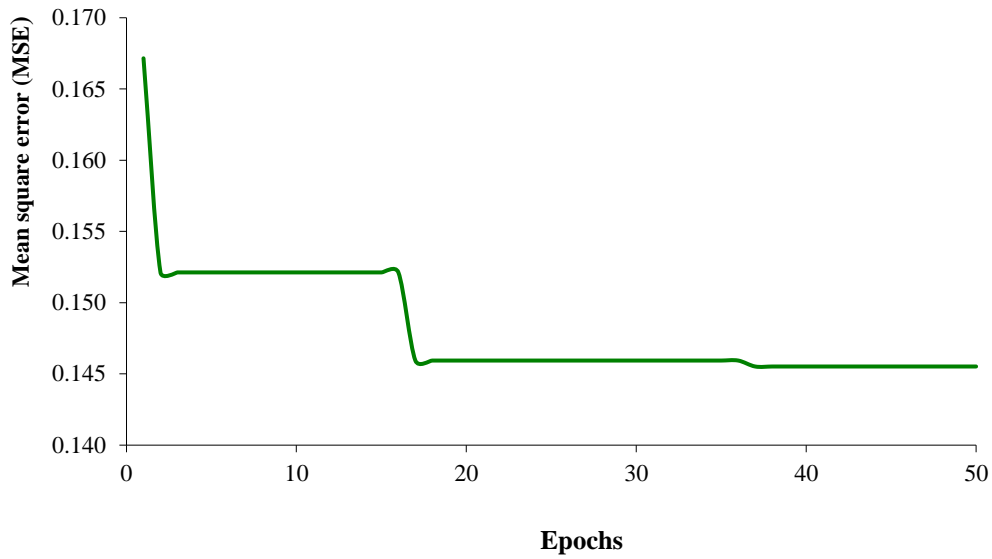


Fig. 2. Variations of mean squared error (MSE) versus epoch during the training of the optimal network

مقادیر واقعی داده‌های ارزیابی و پیش‌بینی شده برای درصد استخراج، عدد اسیدی، پراکسید، و اسکوزیت، روشنایی، قرمزی و زردی روغن تهیه‌شده از دلنه‌های گوجه‌فرنگی، توسط الگوریتم ژنتیک- شبکه عصبی مصنوعی بهینه (۳/۸/۷) در شکل ۳ نشان داده شده است.

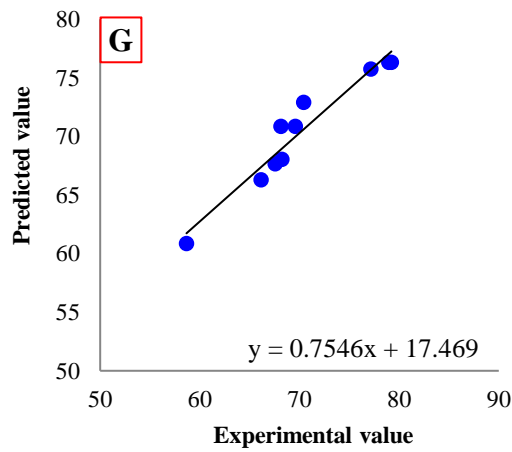
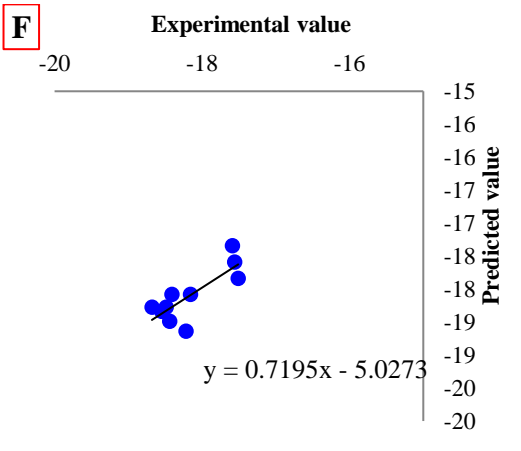
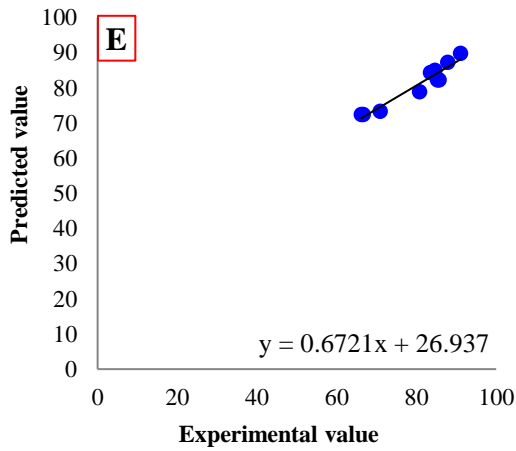
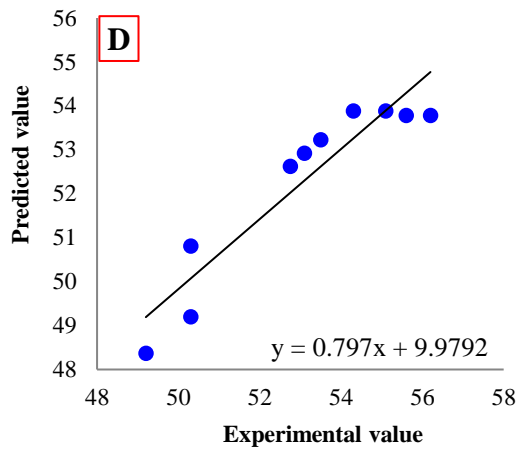
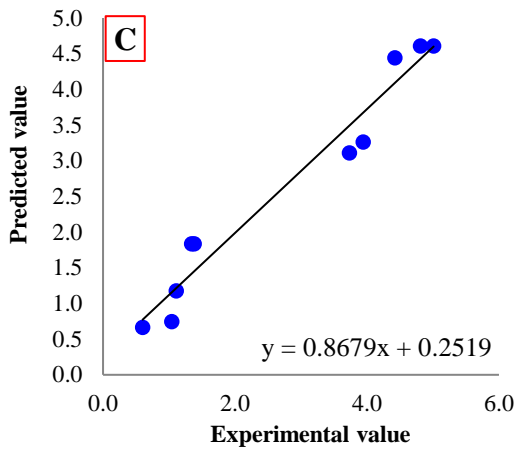
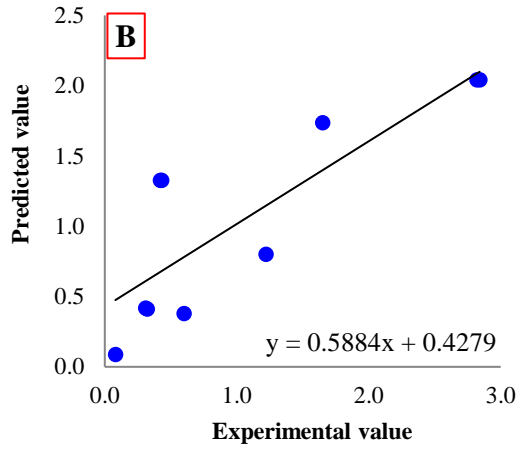
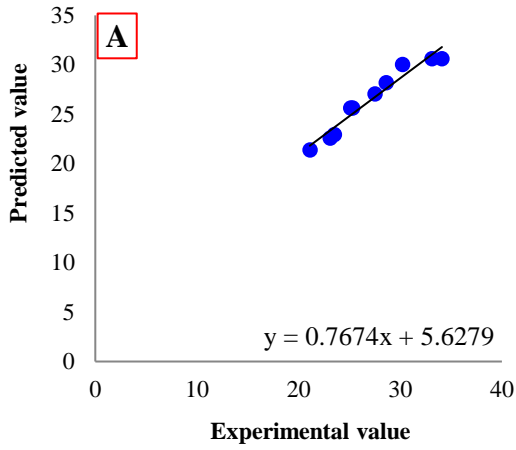


Fig. 3. Plot showing experimental values and ANN predicted values for Extraction efficiency (A), Acid value (B), Peroxide value (C), Viscosity (D), L value (E), a value (F), and b value (G) of tomato seed oil

مکزیکی با شبکه عصبی مصنوعی بررسی کردند. نتایج پیش‌بینی میزان استخراج روغن توسط شبکه عصبی با یک‌لایه مخفی و پنج لایه ورودی (دما، فشار، اندازه ذرات، دی‌اکسید کربن ورودی و مقدار کمک حلال) نشان داد که بهترین شبکه با کمترین مجموع مربعات خطا برابر ۰/۰۰۳۸ و بیشترین میانگین ضریب رگرسیون ۰/۹۸۳۸ روش بهینه‌سازی لیونبرگ-مارکوارت بود [۲۹]. مقیمی و همکاران (۲۰۱۷) با بررسی شبکه‌های مختلف، شبکه پس‌انتشار پیشخور با توپولوژی (۲-۸-۶) و با ضریب همبستگی بیشتر از ۰/۹۹۹ و میانگین مربعات خطای کمتر از ۰/۰۰۱ با به‌کارگیری تابع فعال‌سازی سیگموئیدی، الگوی یادگیری جهنده و چرخه یادگیری ۱۰۰۰ را به عنوان بهترین مدل عصبی گزارش کردند. آن‌ها دلیل استفاده از این مدل‌ها را بهینه‌سازی و کنترل فرایند با هدف صرفه‌جویی در انرژی و زمان و دستیابی به محصولی با کیفیت بیان داشتند [۳۰]. هدف از فرآیند آموزش الگوریتم ژنتیک- شبکه عصبی مصنوعی به‌دست آوردن بردارهای وزن و بایاس شبکه عصبی بهینه است. در جدول ۳، مقادیر وزن‌ها و بایاس‌های متناظر با هر نرون برای شبکه دارای ۸ نرون در لایه پنهان گزارش شده است.

کرمی و همکاران (۲۰۲۲) پیش‌بینی استخراج اسانس روغنی از گیاه بومادران را با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی به صورت ترکیبی از یک یا دو لایه پنهان با عملکردهای مختلف با ۴ تا ۳۰ نرون برای مدل‌سازی توسط شبکه عصبی پرسپترون انجام دادند و گزارش کردند که هر دو الگوریتم پس‌انتشار لونبرگ-مارکوارت و منظم‌سازی بیزی توانایی پیش‌بینی عملکرد استخراج اسانس روغنی را با دقت بسیار بالا دارند [۲۷]. لوزایچ و همکاران (۲۰۲۱) از شبکه عصبی مصنوعی برای مدل‌سازی استخراج روغن از دانه‌های هیبرید آفتابگردان استفاده و اعلام کردند که این مدل توسعه یافته قابلیت تعمیم خوبی برای پیش‌بینی عملکرد استخراج مکانیکی روغن دانه‌های هیبریدهای آفتابگردان دارد. در این پژوهش شبکه‌ای با تعداد ۱۵ نرون در لایه پنهان یک شبکه پیش‌خور (۱۶-۱۵-۱) و با استفاده از تابع فعال‌سازی تانژانت هیپربولیک و میزان داده‌های مورد استفاده برای تربیت، آزمون و ارزیابی معادل با ۲۰، ۲۰ و ۶۰ درصد استفاده شد. ضریب تبیین شبکه عصبی مصنوعی برای پیش‌بینی درصد استخراج روغن معادل ۰/۹۹۷ بود [۲۸]. سوریاوانشی و موهنتی (۲۰۱۸)، مدل-سازی استخراج روغن با روش سیال بحرانی از دانه شقایق

Table 3. The weight and bias values of optimal neural network

Hidden neurons	Bias	Impute neurons			Output neurons						
		Extraction method	Power	Time	Extraction efficiency	Acid value	Peroxide value	Viscosity	L value	b value	a value
1	0.462	0.003	1.498	1.449	0.325	0.053	0.084	0.647	0.364	0.543	-0.509
2	0.522	-0.393	-0.526	-0.322	-0.050	0.664	0.066	0.099	0.827	0.569	0.149
3	0.300	0.8252	-0.217	0.205	0.117	0.351	0.292	0.092	-0.771	-0.055	1.027
4	-0.283	-0.212	-0.284	0.059	-0.127	0.006	0.466	0.418	0.467	0.203	-0.261
5	0.931	-0.072	-0.495	0.982	1.235	-0.026	0.905	0.550	-0.0591	-0.401	0.673

6	0.306	-0.257	0.299	0.433	-0.327	-0.843	-0.238	-0.554	-0.279	0.228	-0.510
7	0.014	1.021	0.049	-0.105	0.004	0.114	-0.411	0.205	-1.272	-0.768	-0.540
8	-0.606	-1.127	0.085	1.046	0.273	-0.258	-0.417	1.140	0.203	-0.358	-0.532
Bias					-0.253	-0.543	-0.415	-0.294	0.418	0.204	-0.904

۲-۳- نتایج آنالیز حساسیت

آنالیز حساسیت عملی است که به ازای آن میزان و نحوه توزیع داده‌های ورودی با بیشترین تأثیر بر روی خروجی مدل مشخص شود. در واقع با تحلیل حساسیت پارامترهای ورودی سبب کاهش مراحل سعی و خطا و شناخت مهم‌ترین پارامترهای مؤثر بر پدیده مورد نظر می‌گردد [۳۱]. تجزیه و تحلیل حساسیت ابزار قدرتمندی است که با ارایه مهارت‌های جدید به مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی سبب افزایش کارایی مدل در زمینه‌های مختلف از تصمیم‌گیری، فرآیندهای عملیاتی و بهینه‌سازی می‌گردد [۳۲]. در این پژوهش نیز به منظور بررسی مقدار تأثیرگذاری پارامترهای ورودی و شناسایی تأثیرگذارترین عامل، آزمون آنالیز حساسیت روی شبکه بهینه ایجاد شده توسط روش الگوریتم ژنتیک- شبکه عصبی مصنوعی انجام شد. بر طبق شکل ۴ در مقایسه با کلیه متغیرهای ورودی، روش استخراج روغن از دانه‌های

گوجه‌فرنگی به‌عنوان مؤثرترین عامل در تغییر پارامترهای درصد استخراج، عدد اسیدی، پراکسید، ویسکوزیته، روشنایی، قرمزی و زردی تعیین گردید. در پژوهشی توسط اثنی عشری و همکاران (۲۰۱۴) برای پیشگویی پارامترهای سینتیکی اکسایش روغن ماهی در حضور غلظت‌های مختلف آنتی‌اکسیدان و در دماهای مختلف، از شبکه عصبی مصنوعی پرسپترون چند لایه با دو ورودی (دما و غلظت) و سه خروجی (آنتی‌اکسیدان، فعالیت آنتی‌اکسیدانی و نسبت سرعت اکسایش) استفاده شد که مدل بهینه با ۷ نرون در لایه پنهان بیشترین تطابق را با داده‌های آزمایشی را نشان داد. همچنین نتایج حاصل از تحلیل حساسیت مدل بهینه حاکی از حساسیت زیاد پارامترهای سینتیکی به ویژه فعالیت آنتی‌اکسیدانی به پارامتر غلظت به سبب فعالیت آنتی‌اکسیدانی بالای متیل‌گالات و عدم شرکت در واکنش‌های جانبی در فاز انتشار بود. [۳۳]

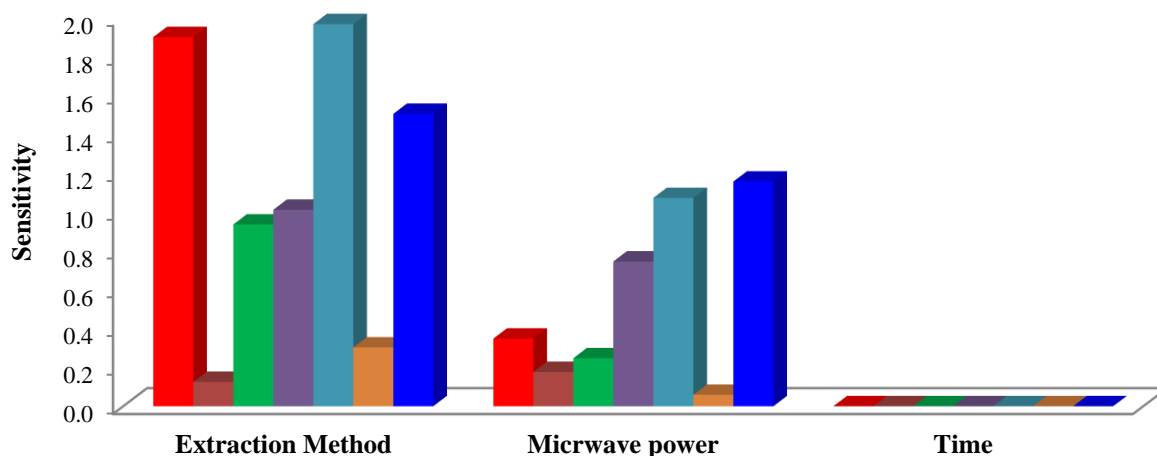


Fig. 4. Sensitivity analysis results of tomato seed oil extraction

تهیه شده از دانه‌های گوجه‌فرنگی به‌عنوان تابعی از روش استخراج، توان مایکروویو و زمان تیماردهی با مایکروویو استفاده گردید. نتایج مدل‌سازی نشان داد که روش الگوریتم ژنتیک- شبکه عصبی مصنوعی برای پیش‌بینی خصوصیات روغن استخراج شده از دانه‌های گوجه‌فرنگی مناسب است و از این روش می‌توان برای پیش‌بینی پارامترهای فرآیند استفاده نمود. نتایج آنالیز حساسیت نیز حاکی از آن بود که روش استخراج به‌عنوان مؤثرترین متغیر مستقل در تعیین خصوصیات روغن استخراج شده از دانه‌های گوجه‌فرنگی است.

۵-منابع

- [1] Kumar, K., Yadav, A.N., Kumar, V., Vyas, P., & Dhaliwal, H. S. (2017). Food waste: a potential bioresource for extraction of nutraceuticals and bioactive compounds. *Bioresources and Bioprocessing*, 4, 18 <https://doi.org/10.1186/s40643-017-0148-6>.
- [2] Aksoylu Özbek, Z. A., Çelik, K., Ergönül, P. G., & Hepçimen, A. Z. (2020). A promising food waste for food fortification: characterization of dried tomato pomace and its cold pressed oil. *The Journal of Chemistry and Nanotechnology*, <https://doi.org/10.17756/jfcn.2020-078>.
- [3] Sangeetha, K., Ramyaa, R. B., Khaneghah, A. M. & Radhakrishnan, M. (2023). Extraction, characterization, and application of tomato seed oil in the food industry: An updated review. *Journal of Agriculture and Food Research*, 11, 100529. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2023.100529>.
- [4] Mechmeche, M., Ksontini, H., Hamdi, M. *et al.* (2018). Impact of the addition of tomato seed oil on physicochemical characteristics, antioxidant activity and microbiological quality of dried tomato slices. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 12, 1378–1390. <https://doi.org/10.1007/s11694-018-9752-1>.
- [5] Botineştean, C., Hădărugă, N.G., Hădărugă, D. I. & Jianu, I. (2012). Fatty acids composition by gas chromatography –mass spectrometry (GC-MS) and most important physical chemicals parameters of tomato seed oil. *Journal of Agroalimentary Processes and Technologies*, 18(1), 89-94.
- [6] Prescha, F. A, Grajzer M, Dedyk M & Grajeta H. (2014). The antioxidant activity and oxidative stability of cold-pressed oils. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 9(8), 1291-1301.
- [7] Bakhshabadi, H., Mirzaei, H.A., Ghodsvai, A.R. Jafari, S.M. & Ziaiefar, A.M. (2018). Modeling of

۴-نتیجه‌گیری

روغن دانه گوجه‌فرنگی به‌عنوان روغنی خوراکی با کیفیت تغذیه‌ای بسیار بالا شناخته شده است. هدف از این پژوهش مدل‌سازی اثر پیش‌تیمار مایکروویو و روش استخراج بر برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی روغن دانه گوجه‌فرنگی بود. مدل‌سازی الگوریتم ژنتیک- شبکه عصبی مصنوعی جهت پیش‌بینی درصد استخراج، عدد اسیدی، پراکسید، ویسکوزیته، روشنایی، قرمزی و زردی روغن

the some selected chemical properties of black Cumin seeds' oil influenced by microwave pretreatment and screw rotational speed. *Iranian Food Science and Technology Research Journal*, 14(1), 17-26. [in Persian] <https://doi.org/10.22067/ifstrj.v1395i0.57722>

[8] Walayat, N., Yurdunuseven-Yıldız, A., Kumar, M., Goksen, G., Öztekin, S., & Lorenzo, J. M. (2023). Oxidative stability, quality, and bioactive compounds of oils obtained by ultrasound and microwave-assisted oil extraction. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. <https://doi.org/10.1080/10408398.2023.2219452>.

[9] Suri, K., Singh, B., & Kaur, A. (2022). Impact of microwave roasting on physicochemical properties, maillard reaction products, antioxidant activity and oxidative stability of nigella seed (*Nigella sativa L.*) oil. *Food chemistry*, 368, 130777. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.130777>.

[10] Mandal, V., Mohan, Y. & Hemalatha, S. (2007). Microwave assisted extraction – an innovative & promising extraction tool for medicinal plant research. *Pharmacognosy Reviews* 1, 8-14.

[11] Sablani, S. S., Shafiur Rahman, M., Datta, A. K., & Mujumdar, A. S. (2007). Handbook of food and bioprocess modeling technology. CRC press. P 378-380.

[12] Bhagya Raj, G. V. S., & Dash, K. K. (2022). Comprehensive study on applications of artificial neural network in food process modeling. *Critical reviews in food science and nutrition*, 62(10), 2756–2783. <https://doi.org/10.1080/10408398.2020.1858398>.

[13] Karami, H., Nejat Lorestani, A. & Tahvilian, R. (2021). The effect of different drying methods on drying kinetics, mathematical modeling, quantity and quality of thyme essential oil. *Journal of Food Science and Technology (Iran)* 18(113), 135-146. [In Persian].

[14] Salehi, F. (2020). Recent advances in the modeling and predicting quality parameters of fruits

- and vegetables during postharvest storage: A review. *International Journal of Fruit Science*, 20(3), 506-520.
- [15] Bakhshabadi, H., Vahdani, M., Moghimi, M., Bazrafshan, M., Rashidzadeh, Sh., & 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 Food Science and Technology (Iran)*, 70(14), 113-122. [In Persian].
- [16] Zorro, A., Lavecchia, R., Medici, F. & Piga, L. (2013). Enzyme-assisted production of tomato seed oil enriched with lycopene from tomato pomace. *Food and Bioprocess Technology*, 6, 3499–3509. <https://doi.org/10.1007/s11947-012-1003-6>.
- [17] Kaseke, T., Opara, U. L., & Fawole, O. A. (2020). Effect of microwave pretreatment of seeds on the quality and antioxidant capacity of pomegranate seed oil. *Foods*, 9(9): 1287. <https://doi.org/10.3390/foods9091287>.
- [18] Yilmaz, E., & Güneşer, B. A. (2017). Cold pressed versus solvent extracted lemon (*Citrus limon L.*) seed oils: yield and properties. *Journal of Food Science and Technology*, 54(7), 1891–1900.
- [19] AACC Approved Methods of Analysis, 11th Ed. Cereals & Grains Association, St. Paul, MN, U.S.A. <http://dx.doi.org/10.1094/AACCIntMethod-02-03.02>.
- [20] Kabutey A, Herák D & Mizera Č. (2023). Assessment of quality and efficiency of cold-pressed oil from selected oilseeds. *Foods*, 12, 3636.
- [21] AOAC. (18th ed.). AOAC International; 2005. Official Methods of Analysis of AOAC International.
- [22] Benkai, L., Changhe, L., Yanbin, Z., Yaogang, W., Dongzhou, J. & Min, Y. (2016). Grinding temperature and energy ratio coefficient in MQL grinding of high-temperature nickel-base alloy by using different vegetable oils as base oil. *Chinese Journal of Aeronautics*, 29 (4), 1084-1095.
- [23] Yeganeh, P., Emamifar, A., Karami, M., & Salehi, F. (2024). Investigation on replacing egg with soy flour and Psyllium seed gum in gluten-free rice cake. *Journal of Food Science and Technology (Iran)*, 20 (143), 62-77.
- [24] Satorabi, M., Salehi, F. & Rasouli, M. (2021). The influence of xanthan and balangu seed gums coats on the kinetics of infrared drying of apricot slices: GA-ANN and ANFIS modeling. *International Journal of Fruit Science*, 21(1), 468-480.
- [25] Onwude, D.I., Hashim, N., Janius, R.B., Nawi, N. & Abdan, K. (2016). Modelling the convective drying process of pumpkin (*Cucurbita moschata*) using an artificial neural network. *International Food Research Journal*, 23, S237.
- [26] Sánchez, R. J., Fernández, M.B., & Nolasco, S.M. (2017). Artificial neural network model for the kinetics of canola oil extraction for different seed samples and pretreatments. *Journal of Food Process Engineering*, 41, e12608. <https://doi.org/10.1111/jfpe.12608>
- [27] Karami, P., Zandi, M., & Ganjloo, A. (2022). Mathematical, fuzzy logic and artificial neural network modeling of extraction kinetics of essential oil from aerial parts of yarrow (*Achillea millefolium L.*) using ohmic-assisted hydrodistillation. *Food Science and Technology (Iran)*, 19 (123), 341-354. [In Persian].
- [28] Lužaić, T., Romanić, R., Grahovac, N., Jocić, S., Cvejić, S., Hladni, N., & Pezo, L. (2021). Prediction of mechanical extraction oil yield of new sunflower hybrids: artificial neural network model. *The Journal of the Science of Food and Agriculture*, 101, 5827-5833. <https://doi.org/10.1002/jsfa.11234>.
- [29] Suryawanshi, B., & Mohanty, B. (2018). Application of an artificial neural network model for the supercritical fluid extraction of seed oil from *Argemone mexicana (L.)* seeds. *Industrial Crops and Products*, 123, 64-74. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2018.06.057>.
- [30] Moghimi, M., Bakhshabadi, H., & Bazrafshan, M. (2017). Modeling of oil Extraction from Flaxseed by Using Microwave Pretreatment with Artificial Neural Network. *Research and Innovation in Food Science and Technology*, 6(2), 199-210. doi: 10.22101/JRIFST.2017.09.02.627.
- [31] Ghorbani, M., Naghipour, L., Karimi, V. & Farhoudi, R. (2013). Sensitivity analysis of the effective input parameters upon the ozone concentration using artificial neural networks. *Iranian Journal of Health and Environment*, 6(1), 11-22. [In Persian].
- [32] Tzuc, O. M., Bassam, A., Ricalde, L.J., & May, E. C. (2019). Chapter 10 - Sensitivity Analysis with Artificial Neural Networks for Operation of Photovoltaic Systems, Editor(s): Alma Y. Alanis, Nancy Arana-Daniel, Carlos López-Franco, *Artificial Neural Networks for Engineering Applications, Academic Press*, 127-138. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818247-5.00019-8>
- [33] Asnaashari, M., Farhoosh, R., & Sharif, A. (2014). Evaluation of the methyl gallate effect on oxidation kinetic of purified kilka fish oil using sensitivity analysis based on artificial neural networks modeling. *Food Research Journal*, 24, 3, 473-485. [In Persian]



Modeling of microwave pretreatment effect on the oil extraction from tomato seeds by artificial neural network method

Zahra Mamivand¹, Aryou Emamifar^{2*}, Fakhreddin Salehi³, Mostafa Karami⁴

1-Graduated Student of Food Sciences and Technology, Department of Food Science and Technology, Faculty of Food Industry, Bu-Ali Sina University, Hamedan, 65178-38695, Iran.

2*-Associate Professor, Department of Food Science and Technology, Faculty of Food Industry, Bu-Ali Sina University, Hamedan, 65178-38695, Iran

3-Associate Professor, Department of Food Science and Technology, Faculty of Food Industry, Bu-Ali Sina University, Hamedan, 65178-38695, Iran.

4-Associate Professor, Department of Food Science and Technology, Faculty of Food Industry, Bu-Ali Sina University, Hamedan, 65178-38695, Iran.

ARTICLE INFO	ABSTRACT
<p>Article History: Received:2024/3/10 Accepted:2024/4/15</p>	<p>Increasing consumers demand for natural and additive-free foods and high volumes of food industry wastes, are stimulating the use of these resources in other food industries. Tomato pomace is one of the food factory wastes is the resulting by-product of tomato paste and sauce factories. The aim of this study was to evaluate the effect extraction method and microwave pretreatment of tomato seeds on the physicochemical characteristics of their extracted oil. The seeds were treated with microwaves using various power levels (0, 200 and 500 W) and different process times (0, 1, 3 and 5 min) and their oil was extracted by Soxhlet and press methods. Fatty acids composition of oils was determined by gas chromatography. Some physicochemical characteristics of extracted seed oil including oil yield, viscosity, acid value, peroxide value, and color index (L, b, a values) were evaluated. Data was analyzed with factorial treatment structure in a Completely Randomized Design in three replications. The experimental data was modeled by artificial neural network with 3 inputs (extraction method, microwave power and pretreatment time) and 7 outputs (oil yield, acid value, peroxide value, viscosity, L value, b value and a value). The results of artificial neural network modeling showed that the network with a 3-8-7 structure and using the Hyperbolic tangent activation function can predict the oil yield, acid value, peroxide value, viscosity, L value, b value and a value of tomato seed oil with high correlation coefficient and low error. Based on the results of the sensitivity analysis, the extraction method compared to the power and time of microwave assisted pretreatment of seeds was determined as the main factor.</p>
<p>Keywords:</p> <p>Artificial neural network. Sensitivity analysis, Tomato seed oil, Microwave.</p>	
<p>DOI: 10.22034/FSCT.21.152.181. *Corresponding Author E- a.emamifar@basu.ac.ir</p>	