مجله علوم تغذیه و صنایع غذایی ایران
سال دهم، شماره 1، بهار 1394، صفحات 80-71

مدل‌سازی و پیش بینی پایداری اکسیداسیون روغن زیتون طی نگهداری در شرایط محیطی با استفاده از مدل شبکه عصبی مصنوعی

روشنک رفیعی نظری[1]، مجید عرب عامری[2]، لیلا نوری[3]

1- نویسنده مسئول: استادیار گروه فیزیک، واحد دامغان، دانشگاه آزاد اسلامی، دامغان، ایران، پست الکترونیکی: ro.rafiei@gmail.com

2- کارشناس ارشد علوم و صنایع غذایی، شاهرود، دانشگاه علوم پزشکی شاهرود، معاونت غذا و دارو، شاهرود، ایران

3- استادیار گروه علوم و مهندسی صنایع غذایی، واحد دامغان، دانشگاه آزاد اسلامی، دامغان، ایران

تاریخ دریافت: 93/5/2 تاریخ پذیرش: 93/7/15

چکیده

سابقه و هدف: پایداری اکسیداسیون یکی از پارامترهای مهم در حفظ کیفیت روغن زیتون طی نگهداری می باشد اطمینان از ثبات کیفیت روغن زیتون یکی از مسائل و نگرانی‌های مهم تولیدکنندگان و مصرف کنندگان است. لذا این مطالعه با هدف مدل‌سازی پایداری اکسیداسیون روغن زیتون با استفاده شبکه‌های عصبی مصنوعی به منظور به بهبود فرآیند کنترل کیفیت این محصول انجام شد.

مواد و روش‌ها: در این مطالعه از روش شبکه عصبی پیش‌خور برای پیش‌بینی پایداری اکسیداسیونی روغن زیتون در طی نگهداری استفاده شد. در ساختار شبکه عصبی پارامترهای اسیدیته، عدد پراکسید، ترکیبات فنلی، ضریب خاموشی k_{232} و ساختار اسیدهای چرب اشباع و غیراشباع به عنوان ورودی و ضریب خاموشی k_{270} به‌عنوان خروجی در نظر گرفته شد.

یافته‌ها: بهترین مدل شبکه عصبی پیش‌خور با استفاده از تابع فعال سازی لگاریتم سیگموئید، الگوریتم آموزش لونبرگ مارکوارت، ده نرون در لایه پنهان ارائه گردید که دارای کمترین میانگین مربعات خطا و بهترین ضریب رگرسیون (R^2) بود. مقدار ضریب تبیین (Coefficient of Determination) بهترین مدل شبکه عصبی پیش‌خور در روزهای (30-120-210-300-420) به ترتیب 0/936، 0/955، 0/957، ۰/۹۷۴و 0/9769 و میانگین مربعات خطا 0/0057، 0/0015، 0/0012، 0/00974و 0/0062 بود.

نتیجه‌گیری: تجزیه و تحلیل مدل نشان داد که شبکه عصبی پیش‌خور یک ابزار قدرتمند برای پیش‌بینی پایداری اکسیداسیونی روغن زیتون در طول نگهداری است.

واژگان کلیدی: ثبات اکسیداسیونی، شبکه عصبی مصنوعی، روغن زیتون بکر

• مقدمه

امروزه تحقیقات انجام گرفته در زمینه مزایای تغذیه‌ای روغن زیتون سبب افزایش مصرف و در نتیجه رشد تولید این محصول در دنیا و ایران شده است. روغن زیتون جزء مفیدترین و سالم‌ترین روغن‌های گیاهی است که امروزه ارزش غذایی و پزشکی آن اثبات شده است. نوع و میزان اجزاء تشکیل دهنده روغن زیتون که شامل ترکیب اسیدهای چرب، ترکیبات آنتی‌اکسیدانی نظیر ترکیبات فنلی، توکوفرول‌ها و رنگدانه‌ها، نشان دهنده کیفیت آن است و پایداری اکسداسیونی روغن در طی نگهداری به این ترکیبات بستگی دارد. علیرغم پیچیدگی و گستردگی فرآیند اکسیداسیون در روغن‌ها مهم‌ترین واکنش‌های موثر در فساد روغن زیتون اکسیداسیون آنزیمی، اکسیداسیون خودبخودی و اکسیداسیون نوری است (1). پایداری اکسیداسیونی روغن زیتون از مهم‌ترین ویژگی‌های کیفی است که به علت تغییرات شیمیایی در طی نگهداری در روغن بوجود می‌آید و از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. این واکنش‌ها سبب تشکیل طیف وسیعی از ترکیبات حد واسط ناپایدار تحت عنوان هیدروپراکسیدها می‌شوند که در طی زمان به ترکیبات ثانویه اکسیداسیونی مانند کتون‌ها و آلدهیدها تبدیل می‌شوند. در طی اکسیداسیون روغن، به دلیل آرایش مجدد پیوندهای دوگانه اسیدهای چرب غیر اشباع

[Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2026-09-09]

ترکیبات دی ان مزدوج (Conjugated diene systems) تشکیل می‌شوند که میزان آن‌ها با جذب اشعه فرابنفش و در طول موج 232 نانومتر تحت عنوان ضریب خاموشی K_{232} نشان داده می‌شود و با گذشت زمان این ترکیبات به مشتقات کربنیلی اسیدهای چرب کوتاه‌تر (آلدهیدی و ستونی) تبدیل شده که نشان دهنده مرحله اکسیداسیون ثانویه بوده و با جذب اشعه فرابنفش در طول موج 270 نانومتر ارزیابی می گردد و به آن ضریب خاموشی K_{270} می‌گویند که نماد ترکیبات کربنیلی (مهمترین ترکیبات حاصل از اکسیداسیون لیپیدها) با پایداری نسبتاً بالایی بوده و نقش عمده‌ای در بروز طعم تندی و نامطلوب روغن‌های اکسید شده می‌گردد که این شاخص بسیار مناسبی برای ارزیابی پایداری اکسیداسیونی روغن تلقی می‌گردد (2).

بررسی نتایج تغییرات کمی و کیفی روغن زیتون نشان داده است که رابطه معنی داری بین پایداری اکسیداسیونی و پارامترهای اسیدیته، پراکسید، ترکیبات فنلی، ضریب خاموشی k_{232} و ساختار اسیدهای چرب اشباع و غیر اشباع و ضریب خاموشی k_{270} وجود دارد این کمیت‌ها برای مطالعه کیفیت روغن در طی مراحل تولید، نگهداری و عرضه، مکررا مورد استفاده قرار گرفته‌اند همچنین مطالعات مختلف نشان داده است که بین ویژگی‌های حسی روغن زیتون و ضریب خاموشی k_{270} همبستگی زیادی وجود دارد (5-3). لذا از این پارامترها در طراحی مدل شبکه عصبی به عنوان ورودی و خروجی استفاده گردید.

تاکنون چندین مدل ریاضی مربوط به بررسی ثبات روغن زیتون ارائه شده است با این وجود، اکثر آن‌ها به تناسب دامنه کاربردی خود دارای محدودیت‌هایی می‌باشند از جمله این موارد، می‌توان به تفاوت در شرایط نگهداری، بسته بندی و ترکیبات ساختاری روغن اشاره کرد. شبکه‌های عصبی مصنوعی، برای اولین بار در سال 1943 توسط McCulloch and Pitts معرفی شد. مدل شبکه عصبی از مجموعه ای عناصر محاسباتی به نام نرون تشکیل شده است که عملکرد آن‌ها شبیه به نرون‌های زیستی می‌باشد (6). محققین زیاد دیگری از شبکه عصبی مصنوعی برای دستیابی به اهداف مورد نظر در زمینه صنایع غذایی استفاده کرده اند (8، 7). در گذشته برخی از محققین اقدام به ارائه مدل‌های مختلف جهت پیش‌بینی پارامترهای کیفی انواع روغن کردند که بیشتر آن‌ها دارای نتایج مشابهی به هم می‌باشند.

Dehghani و همکاران (2012) در زمینه امکان استفاده از شبکه‌های عصبی برای پیش‌بینی پایداری اکسیداسیونی روغن کانولا (Canola) پرداختند آن‌ها در لایه ورودی از ساختار اسید های چرب و در لایه خروجی از زمان القا (Induction Time) توسط دستگاه رنسیمت (Rancimat) استفاده کردند نتایج آن‌ها نشان داد که مدل شبکه عصبی پایداری اکسیداسیونی روغن کانولا را با دقت مناسبی پیش‌بینی کند (9). Przybylski و همکاران (2000) در زمینه امکان استفاده از شبکه‌های عصبی 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 (oxygen consumption during accelerated storage) استفاده کردند در پایان بیان داشتند که مدل حاصل از شبکه عصبی از دقت بیشتری برای مدل سازی پایداری اکسیداسیونی روغن‌های گیاهی برخوردار است (10). Karaman 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 (Adaptive Neuro Fuzzy Inference System) و هوش مصنوعی برای پیش‌بینی زمان ماندگاری روغن آفتابگردان حاوی ترکیبات آنتی اکسیدانی پرداختند. نتایج کار آن‌ها نشان از کارایی بالای روش انفیس و شبکه‌های عصبی در پیش بینی زمان ماندگاری روغن داشت (11). Klaypradit 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 عبارت بودند از : طول موج و میزان جذب اسپکتروسکوپی مادن قرمز در لایه ورودی و عدد پراکسید (برای اندازه‌گیری محصولات حاصل از تغییرات اکسیداسیون اولیه) و عدد آنیسیدین (Anisidine) (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 (12).

هدف این تحقیق ارائه یک مدل شبکه عصبی برای پیش‌بینی ضریب خاموشی k_{270} در روغن زیتون بر اساس داده‌های اسیدیته، پراکسید، ضریب خاموشی k_{232} میزان اسیدهای چرب تشکیل‌دهنده و ترکیبات فنلی روزهای (30-120-210-300-420) می‌باشد که در نهایت ساختار بهینه

[Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2026-09-09]

شده شبکه عصبی مصنوعی برای پیش‌بینی ثبات اکسیداسیون روغن، معرفی شود.

• مواد و روش‌ها

مواد اولیه: روغن‌های زیتون بکر ایرانی طبیعی با نام‌های تجاری مختلف از کارگاه‌های روغن کشی استان‌های گلستان مازندران و گیلان در آبان ماه شامل بیست و چهار نمونه که یک روز از تولیدشان گذشته بود خریداری شدند. به طور معمول زمان مصرف روغن زیتون بکر بین 12 تا 14 ماه پس از زمان تولید است. روغن‌های زیتون در دمای 25 درجه سانتی‌گراد در بطری پلی اتیلن در نور محیط نگهداری شد و در طی نگهداری، ویژگی‌های اکسیداسیونی روغن مورد بررسی قرار گرفت. هر آزمایش در سه تکرار انجام گرفت.

ساختار اسید چربی: ترکیب اسید چربی نمونه‌های روغن به وسیله کروماتوگرافی گاز – مایع تعیین و بر اساس درصد نسبی سطوح گزارش شد. برای تهیه استرهای متیلی اسیدهای چرب نمونه روغن، ابتدا 0/3 گرم نمونه روغن را در 7 میلی لیتر هگزان نرمال با 2 میلی لیتر پتاس متانولی 7 نرمال به مدت 10 دقیقه در دمای 50 درجه سانتی‌گراد به‌شدت هم زده شد. استرهای متیل با دستگاه کروماتوگراف HP-5890, (Hewlett-Packard, CA, USA) دارای آشکارساز FID و ستون موئینه تعیین شد. ازت با سرعت جریان0/75 میلی لیتر بر دقیقه به عنوان گاز حامل مورد استفاده قرار گرفت. دمای آون 198 درجه سانتی‌گراد و دمای بخش‌های تزریق نمونه (انجکتور سرنگی) و آشکارساز 250 درجه سانتی‌گراد بود (13).

تعیین میزان فنل‌ها: تعیین پلی فنل کل طبق روش AOCS (American Oil Chemist's Society) انجام شد. بدین صورت که 10 گرم روغن در 50 میلی لیتر هگزان حل شد و سه بار با حجم‌های 20 میلی‌لیتر متانل 60 درصد در آب استخراج گردید. در هر بار استخراج، مخلوط 2 دقیقه، تکان داده شد. عصاره‌های الکلی به هم افزوده و در دمای 40 درجه سانتی‌گراد در دستگاه اواپراتور دوار تحت خلاء تبخیر گردید باقیمانده در یک میلی‌لیتر متانل حل و در 20- درجه سانتی گراد تا زمان آزمایش نگهداری شد. یک میلی لیتر از عصارهٔ الکلی در بالن ژوژهٔ ده میلی‌لیتری ریخته و به آن 5 میلی لیتر معرف فولین سیوکالتیو اضافه شد. پس از 3 دقیقه یک میلی لیتر محلول سدیم کربنات اشباع 35 درصد اضافه و با آب مقطر به حجم رسانده و پس از یک ساعت در طول موج 725 نانومتر در برابر شاهد اندازه‌گیری شد. غلظت پلی فنل کل بر حسب کافئیک اسید در محدوده 1000-0 میلی‌گرم در میلی لیتر محاسبه شد (14).

تعیین عدد پراکسید: پنج گرم نمونه روغن به همراه 30 میلی گرم محلول اسید استیک–کلروفرم را با یدور پتاسیم اشباع بهم زده و با استفاده از هیپوسولفیت سدیم مصرفی پراکسید تعیین گردید (15).

تعیین اسیدیته: اندازه گیری اسیدیته طبق روش استاندارد ملی ایران شماره 4178 در روغن‌ها و چربی‌های خوراکی انجام شد. (16).

تعیین میزان ضریب ویژه خاموشی : برای تعیین ضریب ویژه خاموشی یا k با استفاده از دستگاه اسپکتروفوتومتر، جذب در 232 و 270 نانومتر، ابتدا 0/25 گرم روغن را در یک ارلن تا حجم 25 میلی لیتر توسط سیکلو هگزان خالص رقیق کرده سپس جذب محلول هموژن شده در نواحی 232 و 270 نانومتر اندازه گیری شد (17).

مدل سازی شبکه عصبی

ایجاد پایگاه داده: در طول مدت نگهداری در دمای 25 درجه سانتی‌گراد، در زمان‌های مختلف نگهداری (یک تا 420 روز) روند تغییرات کمی و کیفی روغن شامل اسیدیته، پراکسید و ضریب ویژه خاموشی، میزان ترکیبات پلی فنل و ساختار اسیدهای چرب بررسی گردید تا اطلاعات جامع مناسب در هر شرایط مشخص گردد. سپس با استفاده از این پایگاه داده‌ها نسبت به تهیه یک مدل مناسب اقدام شد. برای مدل سازی از نرم‌افزار متلب نسخه 7 استفاده شد. نوع شبکه طراحی شده شبکه عصبی پیش‌خور چند لایه بود در لایه ورودی از اسیدیته، پراکسید، میزان اسیدهای چرب تشکیل دهنده (C16, C18:1,C 18:2, C 18:3)، ضریب خاموشی k_{232} و ترکیبات فنلی روزهای (1-30-120-210-300-420) و در لایه خروجی ضریب خاموشی k_{270} استفاده شد. یکی از پرکاربردترین شبکه عصبی مدل پرسپترون چند لایه (Multilayer Perceptron) می‌باشد. این مدل اغلب از یک لایه ورودی یک لایه خروجی و یک یا چند لایه پنهان تشکیل شده است. هر لایه می‌تواند شامل چندین نرون باشد سیگنال ورودی نرون‌ها Xi طبق معادله زیر بوسیله مجموعه ورودی‌های وزن دهی شده بیان می‌شود (18).

$$h_i = \sum_{\substack{i=1 \\ i \neq j}}^{N} x_i . w_{j,i} + \theta \qquad (1)$$

که Xi, i مین سیگنال از لایه قبلی است. Wij وزن ارتباطی بین نرون‌ها و θ میزان بایاس می‌باشد. بردار h_i نتیجه حاصل از شبکه می باشد. در این مطالعه از توابع محرک

[Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2026-09-09]

مختلف لگاریتم سیگموئید و خطی استفاده شد. پس از فرآیند آموزش شبکه عصبی با ساختار مناسب، لازم است کارایی آن بررسی شود. برای این‌کار از مقدار میانگین مربع خطاها و میزان R^2 جهت برازش در نمودار نمونه‌های پیش‌بینی شده در مقابل نمونه‌های واقعی استفاده شد (18).

انتخاب بهترین آرایش شبکه: برای این منظور به ترتیب 70، 15، 15 درصد داده‌ها برای آموزش، ارزیابی و آزمون شبکه استفاده گردید اساس آموزش شبکه‌های عصبی بر مبنای آزمون و خطا می‌باشد تا بهترین آرایش شبکه با تغییر تعداد لایه‌های پنهان و نرون‌های آن‌ها، تابع فعالیت، الگوریتم آموزش و تعداد تکرار در مرحله آموزش جهت برآورد پارامتر خروجی مورد نظر ارائه شود. مبنای تصمیم گیری برای انتخاب بهترین شبکه در هر بار اجرای برنامه پارامتر ضریب همبستگی R^2 و کمترین میزان مربعات خطا MSE می‌باشد که در زیر ارائه شده است (19).

$$R^2 = 1 - \left[\sum_{1}^{N}\left(\frac{Q_{\exp} - Q_{cal}}{Q_{\exp}^{\ 2}}\right)^2\right] \qquad (2)$$

$$MSE = \left[\sum_{1}^{N}\left(\frac{Q_{\exp} - Q_{cal}}{n}\right)^2\right] \qquad (3)$$

در روابط بالا Q_{exp} : مقادیر مشاهده شده Q_{cal} : مقادیر پیش‌بینی تعداد N : نمونه‌ها در لایه خروجی، P : تعداد متغیرهای خروجی و n : تعداد داده‌ها می‌باشد (19).

• یافته‌ها

عدد پراکسید: عدد پراکسید همه تیمارها در ابتدای آزمایش کمتر از حد قانونی (20 میلی‌اکی والان گرم بر کیلوگرم) بود (20) اما در طی 420 روز نگهداری روند صعودی را نشان داد معهذا روند این تغییرات در نمونه‌های مختلف، الگوی متفاوتی را نشان داد به طوری که سرعت افزایش آن در نمونه‌هایی با عدد پراکسید اولیه بالاتر بیشتر بود همچنین در پایان ماه سوم تا ماه هفتم این تغییر با شیب بیشتری افزایش یافت اما این روند در ماه‌های بعد به شکل ملایم‌تری ادامه یافت (جدول 1).

جدول 1. خلاصه نتایج آماری پارامترهای شیمیایی روغن زیتون مورد استفاده شده

متغیر	حداکثر	حداقل	میانه	انحراف معیار	متغیر	حداکثر	حداقل	میانه	انحراف معیار
عدد پراکسید* 0	15	10	12	1/43	اسید پالمیتیک 120	13/4	11	11/8	0/79
عدد پراکسید* 30	17	11	12	2/03	اسید پالمیتیک 300	13/2	8/8	10/6	1/17
عدد پراکسید* 120	19	۱۱	۱۴	4/83	اسید پالمیتیک 420	12/2	10/7	11	0/79
عدد پراکسید* 210	21	14	17	6/43	اسیدیته*** 0	0/32	0/28	0/31	0/77
عدد پراکسید* 300	25	16	18	5/24	اسیدیته*** 30	0/43	0/29	0/385	59/5
عدد پراکسید* 420	29	18	21	7/18	اسیدیته*** 120	0/47	0/3	0/42	49/47
ترکیبات فنلی** 0	429	2632	378	57/1	اسیدیته*** 210	0/5	0/31	0/435	48/03
ترکیبات فنلی** 30	418	252	368	59/5	اسیدیته*** 300	0/53	0/34	0/455	51/95
ترکیبات فنلی** 120	368	215	۲۹۳	49/47	اسیدیته*** 420	0/61	0/39	0/495	39/66
ترکیبات فنلی** 210	330	۲۴۸	286	48/03	0 k_{232}	1/59	0/56	0/961	0/32
ترکیبات فنلی** 300	۲۸۵	156	232	51/95	30 k_{232}	1/68	0/58	0/985	0/47
ترکیبات فنلی** 420	252	112	۱۵۳	39/66	120 k_{232}	1/58	0/47	0/775	0/28
اسید اولئیک 0	۷۸/۲	75/9	۷۷/۵	2/14	210 k_{232}	1/99	0/67	1/08	0/29
اسید اولئیک 30	۷۸	۷۵	77/6	2/14	300 k_{232}	2/03	0/99	1/73	0/37
اسید اولئیک 120	۷۷/6	۷۶	76/6	2/42	420 k_{232}	2/34	1/27	1/935	0/33
اسید اولئیک 210	۷۸/۱	۷۶/۲	۷۷	2/51	0 k_{270}	0/19	0/04	0/115	0/04
اسید اولئیک 300	۷۸/۳	۷۵/۳	۷۷/۶	1/95	30 k_{270}	0/2	0/05	0/12	0/04
اسید اولئیک 420	۷8/7	75	۷۷/۷	2/14	120 k_{270}	0/26	0/1	0/185	0/05
اسید پالمیتیک 0	13	11/4	12/2	0/96	210 k_{270}	0/27	0/15	0/2	0/06
اسید پالمیتیک 30	13/1	۱۱/۵	۱۲	0/95	300 k_{270}	0/3	0/17	0/21	0/05
اسید پالمیتیک 120	13/4	۱۱	۱۱/۸	0/73	420 k_{270}	0/33	0/19	0/225	0/06

* عدد پراکسید برحسب میلی اکی والان گرم اکسیژن برکیلوگرم **میلی گرم بر کیلوگرم *** درصد اسید اولئیک

[Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2026-09-09]

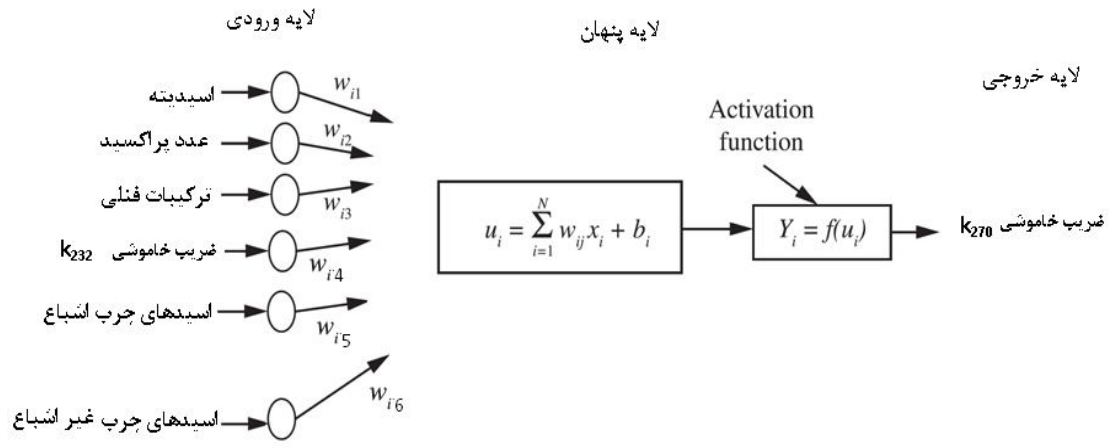
اسیدیته: میزان اسیدیته کلیه نمونه‌ها در طی نگهداری کمتر از حد قانونی (یک درصد اولئیک اسید) بود(20) روند بررسی پایداری روغن‌های مختلف در طی نگهداری بیانگر افزایش میزان اسیدیته همه نمونه‌ها بود. مقایسه میانگین‌ها نشان داد که اسیدیته در طی نگهداری روند افزایشی داشته و میزان آن در هفته چهارم به طور قابل توجهی افزایش یافت. در هر نمونه مستقل کمترین میزان مربوط به روز صفر وبیشترین آن در پایان زمان نگهداری بود (جدول 1).

ضریب خاموشی: میانگین ضریب خاموشی k_{270} و k_{232} اولیه نمونه‌های روغن به ترتیب 0/12 و 0/77 بود در اکثر نمونه‌ها ضریب خاموشیk_{232} پس از 120 روز کاهش یافته و سپس به شکل خطی و با شیب ملایم افزایش یافتند اما ضریب خاموشی k_{270} به شکل خطی و با شیب ملایم افزایش یافتند البته کلیه روغن‌ها در انتهای زمان نگهداری ضریب خاموشی در محدوده قانونی قرار داشتند (جدول 1).

ترکیبات فنلی: در میان انواع ایرانی روغن‌های زیتون مورد مطالعه در طی نگهداری، بیشترین میزان ترکیبات فنلی 418 میلی‌گرم بر کیلوگرم و کمترین آن112میلی‌گرم بر کیلوگرم بود. روند کاهش ترکیبات فنلی در طی نگهداری در دمای محیط به شکل خطی باشیب تند در کلیه نمونه‌ها مشاهده گردید. در هر نمونه مستقل بیشترین میزان مربوط به روز صفر وکمترین آن در پایان زمان نگهداری بود (جدول 1).

اسیدهای چرب: نتایج این مطالعه نشان داد که ساختار اسید چرب روغن‌های زیتون تجاری ایران عمدتاً حاوی اسیدهای چرب یک غیراشباعی بویژه اسید اولئیک (C18:1) و اسیدهای چرب اشباع به ویژه اسید پالمیتیک (C16:0) می‌باشد. میزان اسیدهای چرب اسید اولئیک و اسید پالمیتیک برای روغن‌های زیتون ایرانی به ترتیب در محدوده‌های 75 تا 78/6 درصد و 10/6 تا 13/4 درصد قرار داشت. در طی نگهداری برخی از نمونه‌ها، کاهش جزئی در درصد اسید اولئیک به‌علت تجزیه و اکسیداسیون نمونه‌ها مشاهده شد. همچنین درصد اسیدهای چرب چند غیر اشباعی باقیمانده طی گذشت زمان در برخی از نمونه‌ها کاهش یافت (جدول 1).

شبکه عصبی: شکل 1 شبکه عصبی چند لایه طراحی شده در این مقاله را نشان می‌هد که پارامترهای اسیدیته، عدد پراکسید، ترکیبات فنلی، ضریب خاموشی k_{232} و ساختار اسیدهای چرب اشباع و غیر اشباع در لایه ورودی و تغییرات ضریب خاموشی k_{270} در لایه خروجی قرار دارند. با استفاده از روش سعی و خطا، با مشاهده عملکرد آموزش شبکه‌ها کارایی مدل بررسی گردید و بهترین ساختار انتخاب شد (21). بعد از مرحله پیش پردازش تلاش زیادی در راستای کاهش تابع خطای آموزش شبکه‌ها با افزایش تعداد لایه‌های مخفی و تعداد نرون‌های آن‌ها انجام شد. نتایج نشان دادند که افزایش تعداد لایه‌های مخفی (بیش از یک لایه مخفی) تابع خطای شبکه‌ها را به صورت قابل توجهی کاهش نداد، ولی افزایش تعداد نرون‌های لایه مخفی هر دو نوع شبکه ارائه شده به میزان معینی تابع خطای آن‌ها را تا حدی کاهش داد.



شکل 1. نمودار شبکه عصبی چند لایه مورد استفاده

[Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2026-09-09]

نتایج به‌دست آمده از پیش پردازش داده‌های ورودی دو مدل تعریف شده در جدول2 آورده شده است. برای بهینه‌سازی مدل در لایه پنهان از تعداد نرون‌های متفاوتی استفاده شده تا تعداد بهینه آن مشخص شود. در ابتدا از تعداد نرون کم استفاده شد و به مرور افزایش تعداد نرون تا هنگامی که تاثیری بر بهبود خطا نداشته باشد ادامه یافت. بدین منظور از یک تا بیست نرون استفاده گردید. از سویی در لایه پنهان از توابع محرک مختلف لگاریتم سیگموئید و خطی استفاده شد. در نهایت یک شبکه با یک لایه مخفی وتعداد 10 نرون در این لایه توانست بهترین نتیجه را تولید کند.

براساس نتایج به‌دست آمده، اغلب مدل‌ها از دقت تخمین مناسبی جهت پیش‌بینی ضریب خاموشی (K_{270}) در دوره زمانی (30-120-210-300-420) روز برخوردار بودند. مقایسه مقادیر ضریب خاموشی (K_{270}) روغن زیتون واقعی آزمایشگاهی و پیش‌بینی شده توسط مدل نشان داد که این مقادیر تقریباً نزدیک به هم بوده و دارای انطباقی قابل قبول هستند و نشان دهنده کارایی و دقت مدل ارائه شده برای پیش‌بینی ضریب خاموشی (K_{270}) در زمان‌های مختلف می باشد. البته تا به حال مدل مناسبی برای پیش‌بینی پایداری اکسیداسیونی روغن زیتون بکر با استفاده از شبکه عصبی ارائه نشده است، اما در برخی از تحقیقات به بررسی عوامل مؤثر بر پایداری اکسیداسیونی روغن زیتون بکر پرداخته شده است.

جدول 2. مقایسه اثر تعداد نرون‌ها در هر لایه پنهان بر دقت پیش‌بینی ضریب خاموشی (K_{270}) در روز 420

Feed-forward

خطی			لگاریتم سیگموئید			
میانگین مربعات خطا	ضریب تبیین آزمایش	ضریب تبیین اعتبار سنجی	میانگین مربعات خطا	ضریب تبیین آزمایش	ضریب تبیین اعتبار سنجی	نرون درلایه پنهان
0/326	0/۹۶۴	0/۹۳۸	0/۵۷	0/945	0/۹۲۱	۱
0/104	0/۹۵۶	0/۹۴۸	0/۱۵	0/۹۵۶	0/۹۴۱	۵
0/064	0/۹۷1	0/۹۶۸	0/۰۰۶۲	0/۹۷۷	0/۹۷۵	**۱۰**
0/42	0/۹۷۶	0/۹۵۰۸	0/۰۱۵	0/۹۶۶	0/۹۴۳۸	۱۵
0/15	0/۹۶۲	0/۹۵۶۸	0/۳۷۳	0/۹۶۱	0/۹۴۹۸	۲۰

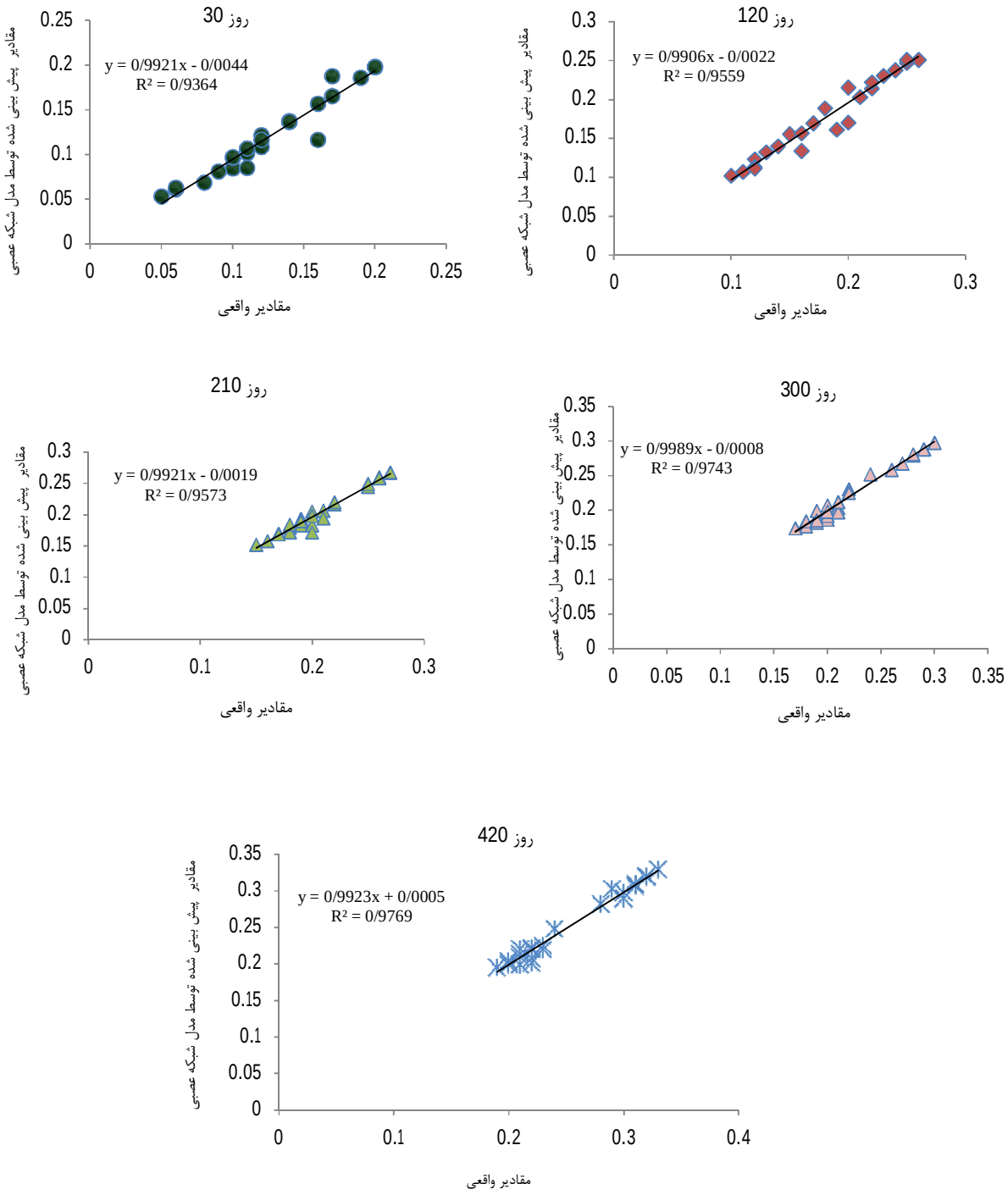
• بحث

عدد پراکسید: بررسی روند تغییرات عدد پراکسید نشان داد که با افزایش زمان ماندگاری غلظت هیدروپراکسیدها افزایش می‌یابد هیدروپراکسیدها در مراحل اولیه اکسیداسیون تولید می‌شوند و افزایش آن در طی نگهداری نشان از افزایش اکسیداسیون روغن است. نتیجه مشابهی از مطالعه Méndezهمکاران بر روی روغن زیتون گزارش شد (1).

اسیدیته: میزان میانگین اسیدیته کلیه تیمارها در طی نگهداری کاهش یافت روغن های با عدد اسیدیته کمتر از پایداری اکسایشی بالاتری بر حسب این عامل نسبت به انواع دیگر برخوردار بودند که نتایج مشابهی در مطالعات گذشته به‌دست آمده است (4، 1). اندازه گیری اسیدیته روغن مهم است اما نمی‌تواند به تنهایی نشان دهنده پایداری اکسیداسیونی روغن زیتون باشد زیرا اسیدهای چرب آزاد حالت ناپایدار داشته و ممکن است به محض تشکیل اسیدهای چرب اکسید شده و به سایر فراورده‌ها تجزیه و تبدیل شوند (5).

ضریب خاموشی: با توجه به نتایج در مطالعه حاضر ، اکسیداسیون باعث تغییر در ضرایب خاموشی روغن می‌شود به طوریکه وجود گروه‌های آلدهیدی و کتونی در مولکول سبب افزایش ضرایب خاموشی می‌شود. در تحقیقی در سال 2011 با بررسی پایداری اکسیداسیونی روغن زیتون اعلام گردید که مقادیر آلدهیدها روغن زیتون در طی نگهداری روند افزایشی را از خود نشان می‌دهد که با یافته های ما مطابقت دارد (4).

[Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2026-09-09]



شکل 2. همبستگی بین مقادیر واقعی و پیش‌بینی شده ضریب خاموشی (K_{270}) توسط مدل در روزهای (30-120-210-300-420)

[Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2026-09-09]

ترکیبات فنلی: روغن هایی با ترکیبات فنلی کمتر دارای پایداری کمتری نسبت به سایر تیمارها بودند. بررسی تغییرات میانگین ترکیبات فنلی نشان داد که مراحل نخست اکسیداسیون در روغن‌های با ترکیبات فنلی بالاتر بطور موثری کنترل شده است و در نتیجه روند تغییرات عدد پراکسید در این روغن‌ها نسبت به سایر روغن‌ها ملایم‌تر بود بنابراین، مقایسه ترکیبات فنلی روغن‌های مورد مطالعه را می‌توان به عنوان عاملی موثر بر پایداری اکسایشی آن‌ها در نظر گرفت. Lerma-Garcı´a و همکاران (2009) با بررسی میزان تغییرات ترکیبات فنلی و پایداری اکسایشی روغن زیتون در طی نگهداری نشان دادند که بالا بودن میزان ترکیبات فنلی معیاری از پایداری میزان روغن زیتون و نشان دهنده تمایل کمتر روغن به اکسایش است. از این رو، بیشترین میزان پایداری اکسایشی مربوط به نمونه‌های با میزان ترکیبات فنلی اولیه بالاتر بود (3).

اسیدهای چرب: نتایج نشان داده است که ساختار اسیدهای چرب روغن زیتون به میزان بسیار جزئی در طی نگهداری تغییر می‌کند اسیدهای چرب غیر اشباع از مواد اولیه اصلی اکسیداسیون در طی فرآیند و نگهداری از طریق اکسیداسیون خودبخودی و نوری محسوب می‌شوند. محققین دیگر نیز بیان کردند که در حقیقت تغییر میزان اسید اولئیک و لینولئیک روغن‌های زیتون بکر ممکن است علت کاهش پایداری اکسیداسیونی روغن را توضیح دهد (3-4).

شبکه عصبی: به طور کلی نتایج تجربی حاصل از این تحقیق توانست به شکل مناسبی به کشف روابط ریاضی حاکم بین پارامترهای فیزیکوشیمیایی موثر بر پایداری اکسیداسیونی روغن زیتون در طی نگهداری توسط مدل شبکه عصبی مصنوعی کمک کند و در نتیجه پایداری اکسیداسیونی روغن زیتون را بدون طی زمان و انجام آزمایشات پرهزینه به خوبی پیش بینی کرد. Przybylski و همکاران (2000) با استفاده از شبکه عصبی توانستند پایداری اکسیداسیونی روغن کانولا بر اساس ویژگی‌های شیمیایی (ساختار اسیدهای چرب، توکوفرول و میزان اکسیژن مصرفی در طی نگهداری) را با ضریب تبیین 0/91 پیش‌بینی کنند که با نتایج ما با آن مطابقت دارد (10). البته مدل شبکه عصبی ما نسبت به آن‌ها از دقت بالاتری (با ضریب تبیین 0/99) برخوردار بود. در مطالعه ایی دیگر Karaman و همکاران (2012) گزارش کردند که مدل سیستم‌های عصبی فازی تطبیقی دارای توانایی بیشتری (R^2 =0/99) نسبت به مدل شبکه عصبی (R^2 = 0/899) و رگرسیون چند متغیری خطی (R^2 = 0/63) برای پیش‌بینی پارامترهای اکسیداسیونی به‌ویژه اندیس پراکسید در روغن آفتابگردان دارد (11). در واقع یافته‌های تحقیق نشان داد که دقت کامل مدل مذکور مبتنی بر داده‌های ورودی می‌تواند برآورد بسیار مناسبی از پایداری اکسیداسیونی داشته باشد.

توسعه روش های جدید برای پایش و پیش بینی کیفیت محصول از طریق مدل‌سازی می تواند یک فرآیند کلیدی برای تحقق اطمینان از ثبات کیفیت روغن زیتون بکر در طی نگهداری در سطح عرضه باشد. برای کنترل محصول، ابزارها و روش‌های کنترلی مختلفی وجود دارد. در این پژوهش مدل شبکه عصبی به راحتی توانست رابطه پیچیده غیر خطی میان متغیرهای ورودی و خروجی فرآیندهای پیچیده‌ای مانند اکسیداسیون روغن زیتون را مشخص کند. با توجه به نتایج می‌توان مدل شبکه عصبی مصنوعی ارائه شده را به عنوان مدلی قابل قبول برای پیش‌بینی سینتیک اکسیداسیون روغن که فرآیندی تحت تاثیر متغیرهای مختلف و پیچیده می‌باشند معرفی نمود. مقایسه نتایج حاصل از مدل‌های شبکه عصبی با مقادیر واقعی، نشان می‌دهد که مدل‌ها می‌توانند پایداری اکسیداسیونی روغن زیتون را با دقت بسیار بالایی پیش‌بینی نمایند. اگرچه مدل‌ها با دقت بالا پیش‌بینی پایداری اکسیداسیونی روغن زیتون را ارائه نموده‌اند ولیکن با افزایش آزمایشات تجربی استفاده شده به منظور ورودی‌های شبکه می‌توان به سادگی دقت مدل‌ها را افزایش داد و علاوه بر آن مدل‌های پیشرفته به سادگی می‌توانند اثر پارامترهای دیگر را نیز بررسی و ارائه نمایند.

تشکر و قدردانی : این تحقیق در قالب طرح پژوهشی به شماره51423911001002 تحت عنوان" ارائه یک مدل کامپیوتری جهت پیش‌بینی ثبات اکسیداسیونی روغن زیتون بکر با استفاده از شبکه عصبی" با حمایت مالی و معنوی دانشگاه آزاد اسلامی واحد دامغان انجام پذیرفته است. لذا از ریاست محترم دانشگاه تشکر و قدردانی می‌گردد.

[Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2026-09-09]

References

1. Méndez AI, Falqué E. Effect of storage time and container type on the quality of extra-virgin olive oil. Food Control. 2007; 18(5):521-9.
2. Zhong Y. Lipid oxidation: measurement methods. In: Shahidi F. editors. Bailey's industrial oil products. Edible Oil and Fat Products: Chemistry, Properties, and Health Effects. 6th ed. vol 1. Wiley-Interscience. 2005: 3616 -78
3. Lerma-García MaJ, Simó-Alfonso EF, Chiavaro E, Bendini A, Lercker G, Cerretani L. Study of chemical changes produced in virgin olive oils with different phenolic contents during an accelerated storage treatment. J. Agri. Food Chem. 2009;57(17):7834-40.
4. Frankel EN. Chemistry of extra virgin olive oil: adulteration, oxidative stability, and antioxidants. . J. Agri. Food Chem. 2010;58(10):5991-6006.
5. Bosque-Sendra J, De La Mata-Espinosa P, Cuadros-Rodríguez L, González-Casado A, Rodríguez-García F, García-Toledo H. Stability for olive oil control materials. Food Chem. 2011;125(4):1418-22.
6. Huang Y, Kangas LJ, Rasco BA. Applications of artificial neural networks (ANNs) in food science. Crit. Rev. Food Sci. Nutr. 2007;47(2):113-26
7. Sharifi Arab Gh.A., Rafiei Nazari R., Arab Ameri M. Quality of probiotic yoghurt Prediction Using Intelligent Computing Expert System Models. J. Food Process. Preserv. 2011; 4 (1): 47-64
8. Eerikäinen T, Linko P, Linko S, Siimes T, Zhu Y. Fuzzy logic and neural network applications in food science and technology. Trends food sci. Tech. 1993;4(8):237-42.
9. Dehghani AA, Mohammadi ZB, Maghsoudlou Y, Mahoonak AS. Intelligent estimation of the canola oil stability using artificial neural networks. Food and bioprocess technology Food bioprocess sci. 2012;5(2):533-40.
10. Przybylski R, Zambiazi RC. Predicting oxidative stability of vegetable oils using neural network system and endogenous oil components. J. Am. Oil Chem. Soc. 2000;77(9):925-32.
11. Karaman S, Ozturk I, Yalcin H, Kayacier A, Sagdic O. 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 Agr. 2012;92(1):49-58.
12. Klaypradit W, Kerdpiboon S, Singh RK. Application of artificial neural networks to predict the oxidation of menhaden fish oil obtained from Fourier transform infrared spectroscopy method. Food bioprocess sci. 2011;4(3):475-80.
13. European Union Commission Regulation. The characteristics of olive oil and olive- residue oil and on the relevant methods of analysis. (EEC) No 2568/ 91. Official Journal of the Commission of the European Communities.1991.
14. American Oil Chemists' Society. Official methods and recommended practices of the American Oil Chemists' Society:, 5th ed. AOCS Champaign, linois, US; 1989.
15. Institute of Standards and Industrial Research of Iran. vegetable fats and oils - Determination of peroxide value - Iodometric (visual) endpoint determination. ISIRI no. 4178 1rd. revision, Karaj: ISIRI; 2000 [in Persian].
16. Institute of Standards and Industrial Research of Iran. Animal and vegetable fats and oils Determination of acid value and acidity Test method. ISIRI no. 4178 3rd. revision, Karaj: ISIRI; 2011 [in Persian].
17. Institute of Standards and Industrial Research of Iran. Olive oil–Determination of specific extinction ultraviolet absorption method. ISIRI no. 10503 1rd. revision, Karaj: ISIRI; 2007 [in Persian].
18. Schalkoff RJ. Artificial neural networks: McGraw-Hill Higher Education, Singapore.1997. p. 497.
19. Grossberg S. Nonlinear neural networks: Principles, mechanisms, and architectures. Neural networks. 1988;1(1):17-61.
20. Institute of Standards and Industrial Research of Iran. . Olive oil– Specifications and test methods. ISIRI no. 1446 3rd. revision, Karaj: ISIRI; 2011 [in Persian].
21. Tetko IV, Villa AE. Efficient partition of learning data sets for neural network training. Neural Networks. 1997;10(8):1361-74.
22. Zanoni B, Bertuccioli M, Rovellini P, Marotta F, Mattei A. A preliminary approach to predictive modelling of extra virgin olive oil stability. J. Sci. Food Agr. 2005; 85(9):1492-8.

[Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2026-09-09]

Modeling and Predicting the Oxidative Stability of Olive Oil during the Storage Time at Ambient Conditions Using Artificial Neural Network

Rafiei Nazari R [1], Arabameri M[2], Nouri L[3]*

*1 - *Corresponding author: Assistant Professor, Department.of Physics, Damghan Branch, Islamic Azad University, Damghan, Iran, E-mail: ro.rafiei@gmail.com*

2- M.Sc in Food Science and Technology, Vice-Chancellery for Food and Drug, Shahroud University of Medical Sciences, Shahroud, Iran.

3- Assistant Professor, Department of Food Science and Technology, Damghan Branch, Islamic Azad University, , Damghan, Iran

Received 24 Jul, 2014 **Accepted 7 Oct, 2014**

Background and Objectives: Oxidative stability is one of the most significant parameters in maintaining the quality of olive oil during the storage time. The confidence of the stability and quality of olive oil is a great concern for producers and sellers. Therefore, this study aimed at modeling of the oxidation stability of olive oil by using artificial neural network (ANN) in order to improve the quality control process of this product.

Materials and Methods: In the present study, a Feed-forward Neural Network(FF-ANN)was used to estimate the oxidative stability of olive oils during storage. In the neural network structure, the parameters of acidity, peroxide value (PV) specific extinction coefficient K_{232}, phenolic compounds, structure of saturated and unsaturated fatty acids were used as input variables, and the extinction coefficient k_{270} was used as the output variable.

Results: The Feed-Forward-Back-Propagation network using the Tangent Sigmoid transfer function, Levenberg–Marquardt learning algorithm, and ten neurons in the hidden layer with lowest mean square error, and the best regression coefficient was determined as the best neural model. The regression coefficients of the best FF-ANN model in (30-120-210-300-420) days were 0.936، 0.955, 0.957, 0.974 and 0.9769, respectively and the mean square errors were 0.0057, 0.0015, 0.0012, 0.0046, and 0.0062, respectively.

Conclusion: Our analysis demonstrated that FF-ANN was a powerful tool capable to predict oxidative stability of olive oils during the storage time.

Keywords: Artificial neural network, Virgin olive oil, Oxidative stability

[Downloaded from nsft.sbmu.ac.ir on 2026-09-09]