مدلسازی پراکنده شدن ذرات فیتواسترول در امولسیون روغن/آب با استفاده از شبکه عصبی و رگرسیون چند متغیره

زهرا ایزدی[1]، علی نصیرپور[2]، محبوبه استادزاده[3*]

۱-گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد . ایران

۲-گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران

۳-دانشجوی دکتری علوم و صنایع غذایی ، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، ، واحد بین الملل، مشهد ،ایران

تاریخ دریافت:۹۵/۰۵/۱۲ تاریخ پذیرش:۹۶/۰۶/۰۳

چکیده

فیتواسترول‌ها ترکیبات نامحلول در آب می‌باشند. تهیه‌ی امولسیون روغن در آب، روش موثر جهت پراکنده نمودن فیتواسترول‌ها در فاز آبی و افزایش کارایی این ترکیبات در کاهش کلسترول است. مقدار امولسیفایر مورد استفاده و میزان روغن بر خصوصیات امولسیون از جمله پایداری و ویژگی‌های رئولوژیک آن تأثیر می‌گذارد. از آنجایی که این عوامل در اثرات درمانی امولسیون‌های دارویی مؤثر می باشند در پژوهش حاضر، از مدلسازی به روش شبکه عصبی مصنوعی جهت تخمین ویسکوزیته، اندازه ذرات و دوفاز شدن ذرات فیتواسترول در امولسیون روغن در آب استفاده شده است. همچنین مقایسه‌ی این روش و روش رگرسیون چند متغیره نیز انجام شد. عملکرد سیستم با استفاده از مربع مجذور میانگین خطا، خطای مطلق میانگین و ضریب تبیین مورد بررسی قرار گرفت. با مقایسه مدل‌ها مشخص شد که مدل شبکه عصبی برای ارزیابی ویسکوزیته، اندازه ذرات و دوفاز شدن نتایج بهتری نسبت به روش رگرسیون چند متغیره نشان می‌دهد. ضریب تبیین در روش شبکه عصبی برای ویسکوزیته، اندازه ذرات و دوفاز شدن به ترتیب برابر با ۰/۹۹۱۱، ۰/۹۹۳۹ و ۰/۹۹۰۳ بدست آمد. با توجه به ضریب تبیین زیاد فاکتورهای اندازه گیری شده، مشخص شد که شبکه عصبی مصنوعی روشی سریع و دقیق جهت مدلسازی ذرات فیتواسترول در امولسیون روغن/آب است.

واژه های کلیدی: امولسیون، استرول‌های گیاهی، مدل سازی، شبکه عصبی

*مسوول مکاتبات: m.ostadzadeh@gmail.com

۱- مقدمه

استرول‌های گیاهی (موسوم به فیتواسترول‌ها) ترکیباتی هستند که به طور طبیعی در گیاهان وجود دارند و متعلق به گروه تری ترپن‌ها هستند. فیتواسترول‌ها در تمام غذاها با منشاء گیاهی خصوصا" دانه‌ها و روغن‌ها وجود دارند. نقطه‌ی ذوب این ترکیبات °C ۱۰۰-۲۱۵ است و در هگزان و کلرفرم به آسانی و به طور کامل و در اتانول به میزان اندکی حل می‌شوند و در آب نامحلول می‌باشند (۵). فیتواسترول‌ها از لحاظ ساختار شیمیایی به کلسترول شباهت دارند، تنها تفاوت فیتواسترول و کلسترول در وضعیت شاخه جانبی آنها است (۲). اثر فیتواسترول‌ها در کاهش کلسترول، حتی در مقادیر کم (مصرف ۱/۵- گرم در روز) موجب گسترش کاربرد این ترکیبات در مواد غذایی و غنی سازی آنها با فیتواسترول شده است (۴). همچنین، همانند بسیاری از رنگدانه های گیاهی، فیتواسترول‌ها فعالیت آنتی اکسیدانتی دارند. فعالیت آنتی اکسیدانی این ترکیبات به دلیل تشکیل رادیکال‌های آزاد آلیلیک است که با سایر رادیکال‌های آزاد، ایزومره می‌شوند (۱۴ و ۱۶). جلوگیری از رشد میکروب‌ها در محصولات لبنی و تاثیر مثبت در بقای کشت های آغازگر ماست از دیگر مزایا استفاده از این ترکیبات است. بتا سیتواسترول‌های حاصل از چندین گیاه، فعالیت ضد میکروبی در برابر باسیلوس سوبتلیس و کاندیدا آلبیکانس نشان دادند (۳ و ۱۰). همچنین فیتواسترول-ها در بهبود دیابت نوع دو، کاهش خطر ابتلا به سرطان معده و کلون، جلوگیری از رشد تومور، کاهش خطر بیماری‌های التهابی، جلوگیری از تصلب شرایین، کاهش بیماری‌های قلبی-عروقی مفید می باشند(۱ و۱۷). مشکلات اساسی در غنی سازی مواد غذایی با استرول‌های گیاهی، نقطه ی ذوب بالا، طعم و مزه ی گچی و حلالیت پایین آن‌ها در آب است. فیتو استرول‌ها چربی دوست هستند که این ویژگی، استفاده از آنها را در غذاهای پر چرب تسهیل می‌نماید. از طرف دیگر تا حدی مومی هستند، که می‌تواند استفاده از آنها را مشکل کند. فرم کریستالی، جهت حل شدن در محلول نمک‌های صفراوی روزها یا هفته‌ها زمان نیاز دارد (۱۲). حلالیت فیتواسترول‌های-آزاد در تری‌گلیسیریدها نیزکم (۱-۲ درصد) است (۱۱). لذا جهت پراکنده نمودن این ترکیبات از امولسیون‌ها می‌توان استفاده نمود. در این حالت کارایی آن‌ها در کاهش کلسترول نیز افزایش می‌یابد (۱۳). مدلسازی خواص و فرآیندهای مواد غذایی موضوع بسیاری از تحقیقات در حوزه مهندسی مواد غذایی است. شبکه عصبی مصنوعی[1] جهت مدلسازی در صنایع غذایی مورد استفاده قرار می‌گیرد که یک روش موثر و کارآمد جهت پیش بینی و مدلسازی پارامترها در سیستم‌های غیرخطی است. ساختار موادغذایی به عنوان سیستم‌های غیرخطی شناخته شده‌اند و از این تکنیک برای مدلسازی پارامترهای مختلف در مواد غذایی استفاده می‌شود (۷). در معادلات رگرسیونی فرض اصلی بر این است که داده‌های آزمایشی بیانگر واقعیت پدیده هستند و به کمک معادلات جبری بیان می‌شود. از آن جا که پیش بینی شاخص‌های کیفی شامل چند متغیر ورودی و خروجی است، تحلیل آماری و تفسیر آن‌ها مشکل است، از این رو باعث پیچیده شدن مساله می‌شود. در روش‌های آماری ابتدا مدل ایجاد می‌شود و دیگر نمی توان دقت مدل برازش شده را افزایش داد. سیستمی در پیش بینی دقیق تر عمل می‌کند که از الگوهای ورودی بیاموزد، زیرا قابلیت اعتماد بیشتری در طی زمان خواهد داشت و قابلیت سازگاری آن با تغییرات پیش بینی نشده در داده ها بیشتر خواهد بود. شبکه‌های عصبی مصنوعی به علت داشتن چنین قابلیتی در بین روش‌های ناپارامتری کاربرد بیشتری دارد (۶). شبکه عصبی مصنوعی، یکی از روش‌های محاسباتی است که به کمک فرآیند یادگیری و با استفاده از پردازشگرهایی به نام نرون، با شناخت روابط ذاتی بین داده‌ها، مدلی میان فضای ورودی (لایه ورودی) و فضای مطلوب (لایه خروجی) ارائه دهد. لایه یا لایه‌های پنهان اصلاعات دریافت شده از لایه

[1] - Artificial Neural Networks (ANN)

ورودی را پردازش کرده و در اختیار لایه خروجی قرار می-
دهد. هر شبکه با دریافت مثال‌هایی آموزش می‌بیند. هدف از

مرحله آموزش شبکه، گسترش یک ساختار درونی است که شبکه را قادر سازد تا الگوهای جدید و مشابه را به طرز صحیحی مشخص یا طبقه بندی کند و در نهایت یادگیری رخ دهد. یادگیری شبکه زمانی انجام می‌شود که وزن‌های ارتباطی بین لایه‌ها چنان تغییر کند که اختلاف بین مقادیر پیش بینی شده و محاسبه شده در حد قابل قبولی باشد. این وزن‌ها حافظه و دانش شبکه را بیان می‌کند. شبکه عصبی آموزش دیده می‌تواند برای پیش بینی خروجی‌های متناسب با مجموعه جدید داده به کار رود (۶). یلماز و همکاران سه روش شبکه عصبی مصنوعی، رگرسیون چند متغیره[2] و سیستم استنتاج تطبیقی فازی- عصبی[3] برای مدلسازی ویسکوزیته سیستم گوشتی امولسیون آب/ روغن را استفاده نمودند. غلظت‌های مختلف روغن، دما و سرعت برش به عنوان پارامترهای ورودی مدل در نظر گرفته شد. نتایج این تحقیق نشان داد که روش‌های سیستم استنتاج عصبی- فازی تطبیقی و شبکه عصبی مصنوعی برای مدل سازی ویسکوزیته سیستم گوشتی امولسیون آب/ روغن مناسب می‌باشند و نتایج بهتری را نسبت به رگرسیون چند متغیره نشان داد (۱۵). کومار و همکاران (۲۰۱۱) از شبکه عصبی مصنوعی در بهینه سازی غلظت الکل در فرمولاسیون امولسیون روغن در آب استفاده نمودند. نتایج این تحقیق نشان داد که مدل شبکه عصبی می‌تواند در فرمولاسیون‌های دارویی جهت پیش بینی اندازه ذرات، پتانسیل زتا، هدایت الکتریکی و ویسکوزیته و همچنین ارزیابی ثبات امولسیون روغن/ آب مورد استفاده قرار گیرد (۹). همچنین در تحقیق دیگر از روش شبکه عصبی برای بهینه سازی فرمولاسیون امولسیون‌های چند گانه استفاده شده است که نتایج این تحقیق نشان داد که روش شبکه عصبی مصنوعی تکنیک غربالگری سریع و دقیق به منظور بهینه سازی فرمولاسیون امولسیون‌های چندگانه می‌باشد (۸). مقدار امولسیفایر مورد استفاده و حجم فاز روغنی بر خصوصیات امولسیون از جمله پایداری و ویژگی‌های رئولوژیک آن تأثیر می‌گذارد. با توجه به اینکه تاکنون مدلسازی پایداری ذرات فیتواسترول در امولسیون روغن در آب انجام نشده است، از این رو، هدف از انجام تحقیق، مدلسازی ذرات فیتواسترول در امولسیون روغن در آب جهت تهیه امولسیون پایدار با استفاده از دو تکنیک شبکه عصبی مصنوعی و رگرسیون چند متغیره بود.

۲- مواد و روش ها

۲-۱- مواد

فیتواسترول از طرف شرکت یاس سپید وش نماینده شرکت دارویی ژجیانگ (Zhejiang Medicine Co., China) تامین شد. فیتواسترول استفاده شده در این مطالعه حاوی بتا-سیتواسترول (حدود۴۰ درصد)، استیگمااسترول (۳۰-۱۵درصد)، کامپسترول (۳۰-۱۵درصد) و براسیکااسترول (کمتر از ۱۰ درصد) و امولسیفایر گلیسرول منو استئارات لاکتیلیت از شرکت پراتوس بلژیک (Peratus, Belgium) تهیه گردید. آب مورد استفاده، آب دوبار تقطیر دیونیزه بود.

۲-۲- روش ها

۲-۲- ۱- فرمولاسیون امولسیون

با استفاده از آزمایشات مقدماتی، مقادیر حداقل و حداکثر برای هر یک از ۴ ترکیب فیتواسترول، امولسیفایر LACTEM، آب و روغن سویا تعیین شد و با استفاده از طرح مخلوط، ۲۴ امولسیون روغن در آب طراحی گردید. جهت تهیه امولسیون با بافت یکنواخت و سفید رنگ، فیتو-استرول‌ها به همراه امولسیفایر و روغن در یک بشر مخلوط و تا دمای ۱۳۰-۱۴۰ °C حرارت داده شدند. فاز آبی امولسیون (آب مقطر) تا دمای جوش حرارت داده شد. سپس فاز روغنی در زیر همزن با سرعت ۷۰۰ دور در دقیقه به مدت ۲ دقیقه مخلوط و در ادامه، فاز آبی به تدریج به فاز روغنی اضافه شد. عمل همزدن به مدت ۴ دقیقه با سرعت ۳۰۰۰ دور در دقیقه ادامه یافت.

[2] - Multiple linear regression (MLR)
[3] - Adaptive-Network-based Fuzzy Inference Systems (ANFIS)

۲-۲-۲- اندازه ذرات

ابتدا نمونه ها با محلول ۰/۱درصد SDS رقیق شدند. بدین صورت که، ۰/۰۵ گرم از امولسیون در بشر ریخته شد و به تدریج ۱۵۰میلی لیتر از محلول SDS به آن اضافه و محلول به دست آمده تا زمانیکه هیچگونه ذرات معلقی در آن مشاهده نگردد همزده شد. سپس نمونه‌ها با دستگاه , Mastersizer) Malvern Instrument, UK) آنالیز گردیدند.

۳-۲-۲- گرانروی (ویسکوزیته)

اندازه گیری گرانروی نمونه‌ها با استفاده از ویسکومتر (Brookfield, model DVII, USA) انجام شد. قبل از اندازه‌گیری، ابتدا نمونه‌ها بوسیله میله شیشه‌ای همگن شدند و سپس گرانروی نمونه‌ها، با اسپیندل شماره ۴، در دمای ۵ °C و سرعت ۱/۵ دور در دقیقه اندازه گیری شد.

٤-۲-۲- دوفاز شدن

به منظور اندازه گیری ثبات امولسیون، ۱۰ میلی لیتر از امولسیون در لوله‌های سانتریفوژ به مدت ۱۵ دقیقه (در دور معادل g ×۳۰۰۰ و دمای محیط) سانتریفوژ گردید-Sigma, 2 16,Germany). سپس با اندازه گیری میزان دو فاز شدن و جدا شدن روغن در نمونه‌ها، پایداری امولسیون ها به سانتریفوژ مشخص گردید. آزمایش‌ها در ۳ تکرار انجام شد.

۵-۲-۲- طراحی سیستم شبکه عصبی مصنوعی

۱-۵-۲-۲- انتخاب مدل بهینه

به منظور مقایسه‌ی مدلها و انتخاب مدل مطلوب، عملکرد سیستم با استفاده از مربع مجذور میانگین خطا[4]، خطای مطلق میانگین[5] و ضریب تبیین[6] مورد بررسی قرار گرفت. نحوه محاسبه به شرح زیر است:

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}\left(Yi_{observed} - Yi_{predicted}\right)^2}$$

$$MAE = \frac{1}{N}\sum_{i-1}^{N}\left|Yi_{observed} - Yi_{predicted}\right|$$

$$R^2 = \left(\frac{\sum_{i=1}^{n}(xi-x)(yi-y)}{\sqrt{\sum_{i=1}^{n}(xi-x)^2\sum_{i=1}^{n}(yi-y)^2}}\right)^2$$

N برابر با تعداد داده‌ها و Yi خروجی‌های مدل (ویسکوزیته، فاز سرمی و اندازه ذرات) است. کمترین مقدار RMSE و MAE نشان دهنده‌ی کمترین سطح خطا است و بیشترین مقدار R^2 نشان دهنده بیشترین حدی است که متغیر وابسته (ویسکوزیته، اندازه ذرات و فاز سرمی) توسط متغیرهای مستقل (روغن، آب، امولسیفایر و فیتواسترول) توصیف می-شود. در این بررسی از رایانه‌ای با پردازشگر دو هسته ای ۲/۸ گیگا هرتز و حافظه ۲ گیگا بایتی و نرم افزار متلب (۲۰۱۲a)، جهت پردازش داده‌ها استفاده شد. با توجه به اینکه آزمایشات سه بار تکرار شده است، در این تحقیق، از دو تکرار برای آموزش و یک تکرار برای تست استفاده شده است. بنابراین، ۶۷ درصد داده ها به عنوان آموزش و ۳۳ درصد به عنوان آزمایش در نظر گرفته شد. تعداد لایه‌های پنهان ۱۰ و هر سری داده ۱۰ مرتبه اجرا شده و در هر مرتبه تعداد تکرار ۱۰۰۰ بوده است و بهترین نتیجه در تکرارهای مختلف گزارش شد.

۳- نتایج و بحث

پارامترهای عملکرد مدل‌های شبکه عصبی و رگرسیون چند متغیره جهت تخمین ویسکوزیته، اندازه ذرات و دو فاز شدن در جدول ۱ نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود شبکه عصبی مصنوعی در تمام پارامترهای ارزیابی پایداری امولسیون، نتایج بهتری نسبت به روش رگرسیون چند متغیره نشان می‌دهد. کمترین مقادیر مربع مجذور میانگین خطا برای مدل شبکه عصبی مصنوعی مشاهده شد در حالیکه در مدل رگرسیون چند متغیره بالاترین مقادیر گزارش شده است. به

[4] - Root mean square error (RMSE)
[5] - Mean absolute error (MAE)
[6] - Determination coefficient

به عبارت دیگر، کمترین میزان دقت در تمام پارامترهای ارزیابی شده، در روش رگرسیون چند متغیره با بالاترین مقدار کمترین مقادیر مربع مجذور میانگین خطا و کمترین حد ضریب تبیین مشاهده شد. کمترین مقدار مربع مجذور میانگین خطا نشان دهنده‌ی کمترین سطح خطا است و بیشترین مقدار ضریب تبیین نشان دهنده بیشترین حدی است که متغیر وابسته (ویسکوزیته، اندازه ذرات و دوفاز شدن) توسط متغیرهای مستقل (امولسیفایر، فیتواسترول، روغن و آب) توصیف می-شود. شکل های ۱، ۲ و ۳ مقادیر مشاهده شده و پیش بینی شده ویسکوزیته، اندازه ذرات و دوفاز شدن را با استفاده از دو مدل شبکه عصبی و رگرسیون چند متغیره نشان می‌دهند. دقت پایین روش رگرسیون چند متغیره در شکل ها مشاهده می‌شود. مقادیر مشاهده شده و پیش بینی شده پارامترهای ارزیابی پایداری امولسیون برای فرمولاسیون‌ها در جدول ۲ نشان داده شده است. در تمام نمونه‌ها مقادیر پیش بینی شده با روش شبکه عصبی بسیار نزدیک با مقادیر اندازه گیری شده می باشد. به عنوان مثال در نمونه ۱ مقدار ویسکوزیته، اندازه ذرات و دوفاز شدن اندازه گیری شده به ترتیب برابر با ۷۸۱۰۰ cP ، ۲۲/۸۲ µm و ۴ ml می‌باشد و مقادیر پیش بینی شده به ترتیب برابر با ۷۸۷۰۰/۰۷ cP، ۲۲/۵۴۶۵ µm و ۴/۰۵ ml باروش شبکه عصبی مصنوعی به دست آمده است. تاکنون مدل شبکه عصبی مصنوعی جهت مدلسازی پراکنده شدن ذرات فیتواسترول در امولسیون روغن/آب در منابع علمی به جز مدل حاضر ارائه نشده است بنابراین نمی توان مقایسه ای جهت کارایی شبکه عصبی این پژوهش با کار سایر محققین انجام داد با این وجود به عنوان نمونه کارایی این شبکه با چند شبکه توسعه داده شده توسط سایر پژوهشگران در این حوزه مقایسه می شود. هرمن و همکاران (۲۰۱۳) با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی یک مدل پیش بینی رئولوژیکی برای سیستم-های تعلیق و امولسیون مواد غذایی ارائه نمودند. مقدار کربوهیدرات، پروتئین، چربی، آب، خاکستر و هیدروکلویئد در ۳۴ نوع امولسیون غذایی که در بازار وجود داشت به عنوان پارامترهای ورودی مدل و ثابت‌های مدل هرشل بالکلی (τ_0 (Pas)، K (Pasn)، n و r^2) به عنوان پارامتر خروجی در نظر گرفته شد. مدل ANN با سه لایه مخفی و دو نرون در هر لایه، نتایج بسیار خوبی (r^2=۰/۹۱۹) برای پیش بینی پارامترهای هرشل بالکلی نشان داد (۷). در تحقیق کومار و همکاران (۹) غلظت‌های مختلف لوریل الکل و زمان به عنوان پارامترهای ورودی و اندازه ذرات، ویسکوزیته، پتانسیل زتا و هدایت الکتریکی به عنوان پارامترهای خروجی مدل به منظور ارزیابی پایداری امولسیون در نظر گرفته شد. ۸۰ درصد داده ها به عنوان آموزش و ۲۰ درصد برای آزمایش استفاده گردید. ضریب تبیین مدل ۰/۸۴ بدست آمد. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که مشابه تحقیقات پیشین از جمله مدل سازی ویسکوزیته امولسیون گوشتی آب/ روغن (۱۵)، بهینه سازی فرمولاسیون امولسیون‌های چندگانه (۹)، بهینه سازی غلظت الکل چرب در امولسیون روغن در آب (۸) و پیش بینی رئولوژیکی برای سیستم‌های تعلیق و امولسیون مواد غذایی (۷) می‌توان از روش شبکه‌ی عصبی جهت مدل سازی ذرات فیتواسترول در امولسیون روغن در آب استفاده نمود.

جدول ۱: مقادیر کل، آموزش دیده و تست مدل‌های شبکه عصبی و رگرسیون چند متغیره پارامترهای ارزیابی پایداری امولسیون

پارامترهای پایداری	مجموعه داده ها	ANN			MLR		
		R^2	MAE	RMSE	R^2	MAE	RMSE
ویسکوزیته	کل	۰/۹۹۱۱	٤۲۹۷/٦	۸۰۹۳/٤	۰/٥۳٤۱	٤۲۹۳٦	٥۸٦۱٥
	آموزش	۰/۹۹۱۰	٤٤۰۳/۱	۸۱٤۳/۷	۰/٥۳٤۰	٤۱۲٤٥	٥۷٤۸٥
	آزمایش	۰/۹۹۱۳	٤۰۸٦/٥	۷۹۹۱/۹	۰/٥۳٤۳	٤٦۷۷۸	٦۱۱۰٥
اندازه ذرات	کل	۰/۹۹۳۹	۰/۲۸۲۰	۰/٤۹۸۳	۰/٦۷۲٦	۲/۸۰۲۲	۳/٥۳۹۷
	آموزش	۰/۹۹۲٤	۰/۳۰۷۱	۰/٥۷۸۲	۰/٦٦٤۷	۲/٦٦۳۷	۳/٤٥۷۹
	آزمایش	۰/۹۹۸٥	۰/۲۳۱۹	۰/۲۷٦٤	۰/٦۸۹۲	۳/۱۱۷۱	۳/۷۱۸۹
دوفازشدن	کل	۰/۹۹۰۳	۰/۱۰٤۲	۰/۱۷٤۱	۰/٦٤۹٤	۰/۷۸٦۹	۱/۰٤٥۷
	آموزش	۰/۹۸۸۷	۰/۱۱۰۱	۰/۱۸۷٥	۰/٦٥۷۹	۰/۷۳٦۳	۱/۰۰۲۹
	آزمایش	۰/۹۹٤۰	۰/۰۹۲٥	۰/۱٤۳۷	۰/٦۳۳۲	۰/۹۰۱۹	۱/۱۳۷۱

شکل ۱: تخمین ویسکوزیته با استفاده از مدل سازی شبکه عصبی و رگرسیون چندمتغیره

شکل ۲: تخمین اندازه ذرات با استفاده از مدل سازی شبکه عصبی و رگرسیون چندمتغیره

شکل ۳: تخمین دوفازشدن با استفاده از م ، سازی شبکه عصبی و رگرسیون چندمتغیره

جدول۲: مقادیر مشاهده شده و پیش بینی شده پارامترهای ارزیابی پایداری امولسیون در فرمولاسیون‌های مختلف در داده‌های آزمایش

	فرمولاسیون (امولسیفایر،فیتواسترول،آب،روغن)	ویسکوزیته (at 1.5 rpm)(cP)			اندازه ذرات(µm)			دوفازشدن (ml)		
		مشاهده شده	پیش بینی		مشاهده شده	پیش بینی		مشاهده شده	پیش بینی	
			MLR	ANN		MLR	ANN		MLR	ANN
۱	(۶/۲۵، ۱۷/۵، ۶۱/۲۵، ۱۵)	۷۸۱۰۰	۱۱۳۳۳۱/۲۵	۷۸۷۰۰/۰۷	۲۲/۸۲	۱۹/۱۵۷۵۰	۲۲/۵۴۶۵	٤	۱/۳۹۲۱	٤/۰۵
۲	(۱۰، ۱۰، ۸۰، ۰)	۲۳۳۱۰۰	۱۸۷٤۸۰	۲۰۹۹۲۶	۱۲/۹۹	۱۶/۳۰۰۰۰	۱۲/۷۲۹۹	۱/۱	۱/۹۰٤۰	۱/۲
۳	(۵، ۱۵، ۷۰، ۱۰)	۱۱۸۰۰۰	۹۵۰۵۰	۱۱۸٤٤۸/۲	۱۹/۹۱	۲۱/۰۹۰۰۰	۱۹/۹۱۰۰۷	۰/۶	۲/۳٤۱۰	۰/۵
٤	(۵، ۱۰، ۶۵، ۲۰)	۱۲۵۰۰۰	۱۸٤۹۲۵	۱۲۷۳۲٤/۷	۱۵/۳۵	۱۳/٤۷۰۰۰	۱۵/٤۷۹٤۶	۰	۰/٤۳٤٤	۰
۵	(۱۰، ۲۰، ۷۰، ۰)	٤۵۱۰۰	۹۱۱۷۰	٤۵۷۰۰/۲۷	۲٤/۲۵	۲۲/۹٤۰۰۰	۲٤/۱۱۶۵۵	۱/۸	۲/۶۹۱۰	۲/۰۳۳۳
۶	(۱۰، ۱۰، ۶۰، ۲۰)	۲۸۵۳۰۰	۲۷۰۹۲۰	۲۸۷۰۳۷/۷	۱۰/۰۸	۷/۷۰۰۰۰	۱۰/۵۰۶٤٤	۰	−۱/۱۲۲۰	۰
۷	(۱۰، ۲۰، ۵۰، ۲۰)	۱۸۳۲۰۰	۱۷٤۶۱۰	۱۶۷۷٤۹/۶	۱٤/۸۵	۱٤/۳٤۰۰۰	۱۵/۱۵۷۵۲	۰	−۰/۳۳۵۰	۰
۸	(۷/۵، ۱۵، ۵۷/۵، ۲۰)	۱۸۵۸۰۰	۱۷۹۷۶۷/۵۰	۱۸۶۳۹۹/۸	۱٤/۱۳	۱۳/۹۰۵۰۰	۱۳/۹۰٤۶۸	۰/۳	۰/۰٤۹۷	۰/۲
۹	(۵، ۱۰، ۸۵، ۰)	۲۶۸۰۰	۱۰۱٤۸۵	۲۶۹۵۱/۶۹	۲٤/٤۵	۲۲/۰۷۰۰۰	۲٤/۳۳٤۰۳	۳/٤	۳/٤۶۰۵	۳/٤
۱۰	(۵، ۲۰، ۵۵، ۲۰)	۱۲۳۸۰۰	۸۸۶۱۵	۱۲۸۰۲۳/۹	۱۶/۰۷	۲۰/۱۱۰۰۰	۱۵/٤۳۲۳	۰	۱/۲۲۱۵	۰
۱۱	(۷/۵، ۱۰، ۷۲/۵، ۱۰)	۱۸۳۱۰۰	۱۸۶۲۰۲/۵۰	۱۸۳٤۳۳/۳	۱٤/٤۲	۱٤/۸۸۵۰۰	۱٤/۱۸۷۵	۰/۸	۱/۱۶۹۲	۰/۹
۱۲	(۵، ۱۵، ۸۰، ۰)	۲۲٤۰۰	۵۳۳۳۰	۱۹۷۰۵/۷۸	۳۳/۲۹٤	۲۵/۳۹۰۰۰	۳۳/۰۶۰۰۳	٤	۳/۸۵٤۰	٤/۲
۱۳	(۱۰، ۱۰، ۸۰، ۰)	۱۸۸۰۰۰	۱۸۷٤۸۰	۲۰۹۹۲۶	۱۲/۷۵	۱۶/۳۰۰۰۰	۱۲/۷۲۹۹	۱/۳	۱/۹۰٤۰	۱/۲
۱٤	(۱۰، ۱۵، ۷۵، ۰)	۵۸٤۰۰	۱۳۹۳۲۵	۵۸۵۰۳/۰۲	۲۳/۰۷	۱۹/۶۲۰۰۰	۲۳/۲۰۹۸۸	۱/۷	۲/۲۹۷۵	۱/۷۳۳۳
۱۵	(۶/۲۵، ۱۲/۵، ۷۶/۲۵، ۵)	۲۸۲۰۰۰	۱۱۹۷۶۶/۲۵	۲۸۲٤۹۷/۲	۱۲/۹۸	۲۰/۱۳۷۵۰	۱۲/۶٤۰۱۵	۲/۹	۲/۵۱۱۶	۲/۷
۱۶	(۱۰، ۲۰، ۶۰، ۱۰)	۱۲۱۲۰۰	۱۳۲۸۹۰	۱۲۱۹۹۷/۲	۱۹/٤۶	۱۸/۶٤۰۰۰	۱۹/۵۸۲٤۸	۰/۱۵	۱/۱۷۸۰	۰/۲
۱۷	(۵، ۱۰، ۶۵، ۲۰)	۱۲۷٤۰۰	۱۸٤۹۲۵	۱۲۷۳۲٤/۷	۱۵/۵۸	۱۳/٤۷۰۰۰	۱۵/٤۷۹٤۶	۰	۰/٤۳٤٤	۰
۱۸	(۶/۶۷، ۲۰، ۶۶/۶۷، ۶/۶۷)	۲٤۰۰۰	۶۱۶۵۳/۳۳۳	۲۳۱۵۱/۰۱	۳۵/۳۸	۲۳/۹۲۰۰۰	۲٤/۹۹۹۸	۳/۳	۲/۷۲۰۰	۳/۰۶۶۶
۱۹	(۵، ۲۰، ۷۵، ۰)	۱۸۰۰۰	۵۱۷۵	۱۸۹۰۰/۶۶	۳۳/٤۹	۲۸/۷۱۰۰۰	۳۳/۱۲۳۹۶	۷/۱	٤/۲٤۷۵	۶/۷
۲۰	(۵، ۲۰، ۵۵، ۲۰)	۱۳۲۹۰۰	۸۸۶۱۵	۱۲۸۰۲۳/۹	۱۵/۰۸	۲۰/۱۱۰۰۰	۱۵/٤۳۲۳	۰	۱/۲۲۱۵	۰
۲۱	(۱۰، ۱۵، ۶۵، ۱۰)	۱۲۳۹۰۰	۱۸۱۰٤۵	۱۲٤۶۰۰/۲	۱۶/۰۳	۱۵/۳۲۰۰۰	۱۵/۶۲۰۵۱	۰/۱۲	٫۸٤٤	۰/۱
۲۲	(۱۰، ۲۰، ۵۰، ۲۰)	۱۵۳۱۰۰	۱۷٤۶۱۰	۱۶۷۷٤۹/۶	۱۵/۳۹	۱٤/۳٤۰۰۰	۱۵/۱۵۷۵۲	۰	−۰/۳۳۵۰	۰
۲۳	(۱۰، ۱۰، ۶۰، ۲۰)	۲۸۷٤۰۰	۲۷۰۹۲۰	۲۸۷۰۳۷/۷	۱۰/۳۸	۷/۷۰۰۰۰۰	۱۰/۵۰۶٤٤	۰	−۱/۱۲۲۰	۰
۲٤	(۸/۷۵، ۱۵، ۷۲/۲۵، ۵)	۲۸۲۳۰۰	۱۱۳۳۳۱/۲۵	۲۸۲۳۰۰/۲	۱۲/۳۸	۱۹/۱۵۷۵۰	۱۲/۳۷۹۸۲	۱/۹	۱/۹۳۰۱	۲/۲

٤- نتیجه گیری:

در این تحقیق، مدلسازی ذرات فیتواسترول در امولسیون روغن/آب با استفاده از روش رگرسیون چند متغیره و شبکه عصبی مورد بررسی قرار گرفت. براساس یافته‌های این مطالعه شبکه عصبی مصنوعی روشی سریع، دقیق با توانایی تقریب تابع قوی جهت مدلسازی ذرات فیتواسترول در امولسیون آب/روغن می‌باشد. بر اساس مقایسه مدل‌ها شبکه عصبی مصنوعی نسبت به روش رگرسیون چند متغیره عملکرد و دقت بیشتری در ارزیابی پارامترهای پایداری امولسیون، ویسکوزیته، اندازه ذرات و دوفاز شدن نشان داد.

۵-منابع

1. Awad, A. B. and C. S. Fink .2000. Phytosterols as anticancer dietary components: evidence and mechanism of action. Journal of Nutrition 130: 2127-2130.
2. Baker, V. A., P. A. Hepburn, S. J. Kennedy, P. A. Jones, L. J. Lea, J. P. Sumpte, and J. Ashby. 1999. Safety and evaluation of phytosterol esters. Part 1. Assessment of oesterogenicity using a combination of in vitro and in vivo assays. Food and chemical Toxicology 37: 13-22.
3. Beltrame, F.L., G.L. Pessini, D.L. Doro, B.D. Dias Filho, R.b. Bazotte and D.A.G. Cortez. 2002. Evaluation of antidiabetic and antibacterial activity of Cissus secyoides. Brazilian Archives of Biology and Technology 45: 21- 25.
4. Doornbos, A.M.E., E.M. Meynen, G. Duchateau, H.C.M. van der Knaa, and E.A. Trautwein. 2006. Intake occasion affects the serum cholesterol lowering of a plant sterol enriched single dose yoghurt drink in mildly hypercholesterolaemic subjects. European Journal of Clinical Nutrition 60: 325-333.
5. Goad, J. L., B. V. Charlewood and D. V. Banthorpe. 1991. Methods in Plant Biochemistry. Academic Press, London, 7, 369.
6. Goyal, S. and G. K. Goyal. 2012. Smart artificial intelligence computerized Models for shelf life prediction of processed cheese. International Journal of Engineering and Technology 1: 281-289.
7. Herrmann, J., A. Brito Alayón, J. Trembley and U. Grupa. 2013. Development of a rheological prediction model for food suspensions and emulsions. Journal of Food Engineering 115: 481–485.
8. Huixian, W., Z. Fang, M. Jianguo and W. Zhengwu. 2008. Formula Optimization of Emulsifiers for Preparation of Multiple Emulsions Based on Artificial Neural Networks. Journal of Dispersion Science and Technology 29: 319–326.
9. Kumar, k. J., G. Mohanpanpalia and S. Priyadarshinis. 2011. Application of artificial neural networks in optimizing the fatty alcohol concentration in the formulation of an O/W emulsion. Acta Pharmaceutica 61: 249–256.
10. Moshi, M. J., C. C. Joseph, E. Innocent and M. H. H. Nkunya. 2004. In vitro antibacterial and antifungal activities of extract and compounds from Uvaria scheffleri. Pharmaceutical biology 42: 269-273.
11. Noakes, M., P. M. Clifton, A. M. E. Doornbos and E. A. Trautwein. 2005. Plant sterol ester enriched milk and yoghurt effectively reduce serum cholesterol in modestly hypercholerolemic subjects. European Journal of Nutrition 44: 214-222.
12. Ostlund, R. E. 2002. Phytosterols in human nutrition. Annual Reviews in Human Nutrition 22: 533-549.
13. Richelle, M., M. Enslen, C. Hager, M. Groux, I. Tavazzi, J.P. Godin, A. Berger, S. Metairon, S. Quaile, C. Piguet-Welsch, L. Sagalowicz, H. Green and L.B. Fay. 2004. Both free and esterified plant sterols reduce cholesterol absorption and the bioavailability of beta-carotene and alpha-tocopherol in normocholesterolemic humans. The American Journal of Clinical Nutrition 80: 171-177.
14. Wang,T., K.B. Hicks and R.A. Moreau. 2002. Antioxidant Activity of Phytosterols, Oryzanol, and Other Phytosterol Conjugates. Journal of the American Oil Chemists Society 79: 1201-1206.
15. Yilmaz, M. T., S. Karaman, A. Kayacier, M. Dogan and H. Yetim. 2012. Construction of predictive models to describe apparent and complex viscosity values of O/W model system meat emulsions using adaptive neuro – fuzzy inference system (ANFIS) and artificial neural networks (ANN). Food Biophysics 7: 329–340.

16. Yoshida, Y. and E. Niki. 2003. Antioxidant effect of phytosterol and its components. Journal of Nutritional Science and Vitaminology 49: 277-280.
17. Zawistowski, J. and D. D. Kitts. 2004. Functional foods- a new step in the evaluation of food development. Clinical Rounds 4: 1-6.