

بهینه یابی ترکیبات پلی فنلی عصاره مادون بحرانی آب پوست بنه با شبکه عصبی مصنوعی

رضوان شاددل^{*1}، محمد حسین حداد خداپرست²، عبدالمجید مسکوک³، رضا گل مزرجی⁴

- 1- دانش آموخته کارشناسی ارشد علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.
- 2- استاد گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.
- 3- دانشیار گروه علوم و صنایع غذایی، پژوهشکده علوم و صنایع غذایی خراسان رضوی، مشهد، ایران.
- 4- دانش آموخته کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک، دانشکده فنی و مهندسی، گروه مهندسی مکانیک دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.

تاریخ پذیرش: 1392/8/5

تاریخ دریافت: 1392/1/25

چکیده

بخش عمده‌ای از قدرت آنتی اکسیدانی پوست پسته وحشی مربوط به ترکیبات پلی فنلی آن می باشد. یکی از روش های جدید استخراج ترکیبات پلی فنلی، استفاده از آب مادون بحرانی است. در این تحقیق میزان ترکیبات پلی فنلی پوست بنه رقم موتیکا، با بهره گیری از شبکه عصبی انتشار معکوس مدل سازی شد. مدل سازی این فرایند به کمک 27 مجموعه از داده های تجربی انجام شده و متغیرهای ورودی شبکه عصبی شامل سه پارامتر دما (110 الی 200°C)، زمان فرایند (30 الی 60 دقیقه) و نسبت اختلاط حلال (1:10 الی 1:50) بودند. به علاوه، میزان ترکیبات پلی فنلی (میلی گرم اسید گالیک بر کیلوگرم) به عنوان پارامتر خروجی شبکه عصبی انتخاب گردید. نتایج نشان داد که شبکه عصبی انتشار معکوس با تعداد 12 نرون در لایه پنهان همراه با تابع فعال سازی سیگموئیدی به عنوان بهترین شبکه، توانست میزان ترکیبات پلی فنلی پوست بنه را با ضریب تبیین 95 درصد پیش بینی نماید. در ادامه با بررسی تمام جواب‌ها، سطوح بهینه فرایند تعیین گردید. نتایج بهینه‌سازی نشان داد که انجام فرآیند استخراج ترکیبات پلی فنلی در دمای 166°C، مدت زمان 60 دقیقه و نسبت اختلاط 36:1 پوست بنه-آب (وزنی-حجمی) بیشترین میزان ترکیب استخراج شده را بدست می‌دهد. نتایج تجربی حاصل از آزمایشات با شرایط بهینه نشان دهنده عملکرد مناسب روش پیشنهادی می باشد.

واژه های کلیدی: آب مادون بحرانی، آنتی اکسیدان، پوست بنه، پلی فنل، شبکه عصبی

1- مقدمه

تمایل به استفاده از آنتی اکسیدان های طبیعی به علت آثار فیزیولوژیکی نامطلوب آنتی اکسیدان های سنتزی و همچنین کارایی پایین برخی از آن ها نظیر توکوفرول ها زیاد شده است. درخت بنه (*Pistacia atlantica*) از انواع درختان پسته ی وحشی است که در مناطق مختلف ایران پراکنده شده است که معروف ترین رقم آن، موتیکا¹ نام دارد؛ وسعت درختان بنه در ایران به بیش از یک میلیون و دویست هزار هکتار می رسد (1).

آب مادون بحرانی ناحیه ای از فاز کندانس شده ی آب است که دمای بین 100 °C (نقطه ی جوش آب) تا 374 °C (نقطه ی بحرانی آب) و همچنین میزان فشاری که آب در حالت مایع بماند و تغییر فاز ندهد را در بر می گیرد (12). تحت این شرایط حلالیت ترکیبات با قطبیت کم و ترکیبات آلی نسبت به دمای اتاق افزایش می یابد (9). لذا انتظار می رود ترکیباتی با قطبیت متوسط تا پایین استخراج شوند. همچنین بعضی از آنتی اکسیدان ها در دماهای بالا از بین می روند لذا بایستی اپتیمم فشار و دما که فعالیت آنتی اکسیدانی حداکثر باشد تعیین شود. امروزه نگرش به سوی فرایندهای سبز زیاد شده است؛ استخراج با آب مادون بحرانی روشی سریع، ارزان، با قابلیت بازیافت مجدد و سازگار با محیط زیست است و در مقایسه با حلال های آلی سمی مورد استفاده در روش های مرسوم، از آب به عنوان سبزترین حلال استفاده می شود (2).

رنگس ریوونق و همکاران (2009) استخراج ترکیبات فنلی مثل اسید گالیک، اسید الایگیک² و کریگالین³ از میوه "هلیله کابلی"⁴ به روش آب مادون بحرانی را مورد بررسی قرار دادند. نتایج این تحقیق نشان دادند که عصاره ی بدست آمده به این روش نسبت به روش های استخراج مرسوم دارای ترکیبات فنلی قابل توجه با فعالیت آنتی اکسیدانی بالا بودند. بهترین شدت جریان و دما برای اپتیمم فعالیت آنتی اکسیدانی در این تحقیق به ترتیب 4 ml/min و 180 °C تعیین شد (13).

شلماشی و همکاران (2010) کافئین را از تفاله ی چای با استفاده از روش استخراج آب مادون بحرانی ایزوله کردند؛ تأثیر شرایط مختلف فرایند مثل دمای آب (100، 125، 150، 175 و 200 °C)، شدت جریان آب (1، 2، 4 g/min)، اندازه ی ذرات (0/5، 0/25 و

1/2mm) و همچنین فشار (20، 30 و 40bar) بر روی بازده استخراج بررسی شد. مناسب ترین متغیرهای فرایند دمای 175 °C، شدت جریان 4g/min و اندازه ی ذرات 0/5mm، همچنین مدت زمان استخراج 1/5 ساعت بود (16).

مدل سازی روابط بین متغیرهای ورودی و خروجی یک فرایند در سیستم های چند متغیره و غیر خطی از طریق روش های مدل سازی مرسوم بسیار سخت و زمانگیر است. اولین مشکل، محدودیت این روش ها در یافتن نقاط بهینه است؛ به گونه ای که در خیلی مواقع جواب بهینه غیر معقول می باشد. دومین مشکل این است که در این مدل ها به ازای یک سری ورودی های خاص، خروجی های نامطلوبی حاصل می گردد و در واقع این مدل ها قابلیت شناسایی پدیده های خاص فرایند را ندارند. در سال های اخیر، شبکه های عصبی قابلیت زیادی در مدل سازی چنین سیستم هایی نشان داده اند. از نظر معماری شبکه و همچنین توابع فعال سازی مورد استفاده در ارتباط بین نورون های تشکیل دهنده، انواع متفاوتی از شبکه های عصبی وجود دارد (4). به علت کاربرد وسیع و قابلیت تخمین مناسب شبکه های عصبی انتشار معکوس⁵، برای مدل سازی فرایند استخراج آنتی اکسیدان ها از پوست بنه از این نوع شبکه استفاده گردید. کاربرد مدل سازی شبکه های عصبی مصنوعی در مواد غذایی در زمینه های مختلفی نظیر پیش بینی فعالیت آنتی اکسیدانی و میزان آنتوسیانین گیلاس (17)، فعالیت آنتی اکسیدانی جوانه چلیپای⁶ (5)، فعالیت آنتی اکسیدانی روغن های ضروری (6)، مدل سازی و بهینه سازی پلی فنل های چای سبز (18)، بهینه سازی میزان ترکیبات فنلی کل میوه ترگیل⁷ (7) و بهینه سازی شرایط فرایند خشک کردن مواد غذایی (8) ارائه شده است.

در تحقیق حاضر تأثیر شرایط استخراج شامل دما، مدت زمان استخراج و نسبت اختلاط حلال-نمونه بر روی میزان ترکیبات پلی فنلی عصاره های بدست آمده از پوست بنه با آب مادون بحرانی بررسی شد. برای رسیدن به این هدف، شرایط استخراج بر اساس مقدار پلی فنل کل با استفاده از شبکه عصبی بهینه گردید.

5- Back Propagation Neural Network (BPNN)

6- Cruciferous sprouts

7- Garcinia mangostana

1- Mutica

2- Ellagic Acid

3- Corilagin

4- Terminalia

2- مواد و روش ها

1-1- مواد

میوه رسیده بنه (*Pistacia atlantica var mutica*) اوایل آبان ماه از شهرستان مرو دشت در استان فارس تهیه گردید. به منظور به حداقل رساندن تغییرات، میوه‌ها تا زمان استفاده در سردخانه زیر صفر نگهداری شدند؛ پوست بنه‌ها با دستگاه پوست گیر جدا شد. معرف فولین سیوکالچو¹، اسید گالیک، کربنات سدیم از شرکت های مرک، شارلو و کالدون خریداری شد.

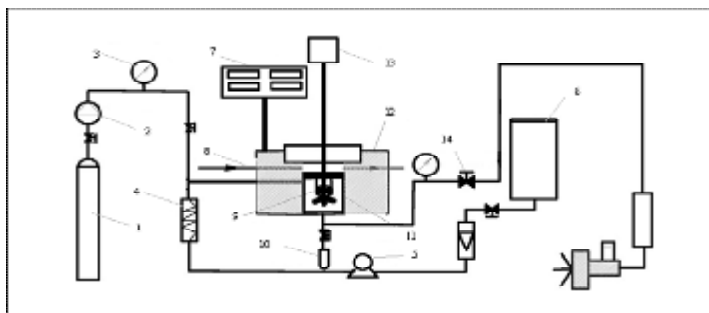
2-2- استخراج با آب مادون بحرانی

عملیات استخراج توسط دستگاه استخراج با آب مادون بحرانی، طراحی و ساخته شده در آزمایشگاه فن آوری های نوین پژوهشکده صنایع غذایی خراسان رضوی در پایلوت آزمایشگاهی انجام گرفت (شکل 1). این دستگاه شامل تانک آب مقطر، پمپ (Comet type: MTP AX 2/70 m) جهت تأمین فشار لازم (با حداکثر فشار 70 بار، قطر داخلی 2 cm)، سل استخراج به حجم 140 میلی لیتر، کویل گرم کننده سل و پنل کنترل دما می‌باشد (شکل 1). استخراج با این روش بدین ترتیب انجام گرفت: ابتدا پوست بنه به مقدار مشخصی وزن شده و در داخل سل استخراج قرار گرفت؛ سپس مقدار آب مورد نیاز بسته به نسبت اختلاط مناسب پوست بنه -آب (وزنی -حجمی) در تانک آب ریخته شد. عمل استخراج با تنظیم درجه حرارت و با فشار مناسب (2bar-110°C، 5bar-155°C و 15bar-200°C) انجام گرفت؛ فشارهای بکار رفته، حداقل فشار لازمی بودند که آب در حالت مایع باقی بماند و تغییر فاز ندهد. دما و فشار مناسب با استفاده از جداول ترمودینامیکی تعیین گردید. زمان لازم برای افزایش دما در داخل

مخزن مادون بحرانی آب از هنگام قرار دادن نمونه تا رسیدن دما به بالای 100 درجه سانتی‌گراد، 10 دقیقه بود. بعد از رسیدن به دمای 100 درجه سانتی‌گراد، استخراج به مدت زمان لازم (30، 45 و 60 دقیقه) انجام گرفت. حجم عصاره‌ی استخراج شده اندازه‌گیری شد؛ سپس عصاره با استفاده از کاغذ واتمن شماره 4 فیلتر گردید. برای صاف شدن هر چه بیشتر عصاره و حذف ذرات زائد از فیلتر تحت خلأ استفاده شد. به منظور حذف حلال، نمونه‌ی فیلتر شده در آون 40 درجه سانتی‌گراد و سپس در آون تحت خلأ تا رسیدن به وزن ثابت قرار گرفت (2). بعد از هر مرحله استخراج برای خنک نمودن مخزن دستگاه مادون بحرانی، آب سرد سیرکوله شد. جهت شستشوی بهتر و اطمینان از باقی نماندن نمونه در قسمت‌های مختلف دستگاه، از الکل بازیافتی استفاده گردید؛ در نهایت شستشوی مجدد با آب انجام گرفت.

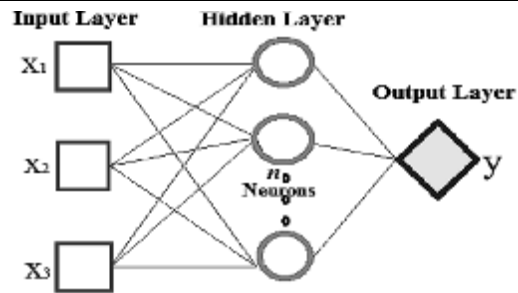
2-3- تعیین مقدار ترکیبات فنولیک

0/5 میلی لیتر عصاره (با ماده خشک مشخص) با 2/5 میلی لیتر محلول 10 درصد فولین سیوکالچو مطابق روش سینگ و همکاران (2002) مخلوط و سپس در طی مدت 0/5 تا 8 دقیقه، 2 میلی لیتر محلول 7/5 درصد کربنات سدیم (75 گرم بر لیتر) اضافه شد. نمونه به مدت 30 دقیقه در دمای اتاق نگهداری شده و سپس جذب در 765 نانومتر قرائت شد. نتایج بر حسب گرم اسید گالیک موجود در یک کیلوگرم عصاره بیان شد. به عنوان شاهد از 0/5 میلی لیتر آب مقطر استفاده شد؛ غلظت ترکیبات فنولیک بر اساس معادله‌ی بدست آمده از منحنی استاندارد اسید گالیک تعیین گردید (15). جهت رسم منحنی استاندارد از رقت‌های 0 تا 200 میلی گرم اسید گالیک (استاندارد) به صورت هفت نقطه‌ای استفاده گردید.



شکل 1- نمایی شماتیک از دستگاه استخراج با آب مادون بحرانی: 1، گاز N₂؛ 2، کپرسور؛ 3، فشارسنج؛ 4، پیش گرمکن؛ 5، پمپ؛ 6، آب مقطر؛ 7، نمایشگر دیجیتال؛ 8، آب سرد؛ 9، کویل کندانسور؛ 10، جمع کننده؛ 11، وسل استخراج؛ 12، ژاکت گرمایش؛ 13، همزن مغناطیسی؛ 14، شیر فشار برگشت

شامل یک نرون (مقدار ترکیبات پلی فنلی (y)) بود. بنابراین مدل شبکه عصبی مصنوعی بر اساس سه ورودی و یک خروجی طراحی گردید. شکل 2 ساختار شماییک شبکه ی عصبی توسعه یافته را نشان می دهد.



شکل 2- ساختار مدل ANN فرآیند مورد مطالعه

معادله ی بدست آمده بدین صورت بود:

$$Y = 1.31/3 X - 2/1.23 \quad (R^2 = 0.996) \quad (1)$$

که X جذب خوانده شده در طول موج 765 نانومتر و Y مقدار ترکیبات پلی فنلی بر حسب میلی گرم بر لیتر است.

4-2- مدل سازی با شبکه عصبی انتشار معکوس

برای مدل سازی شبکه ی عصبی مصنوعی از نرم افزار MATLAB 7.8.0 (R 2011) استفاده گردید. شبکه عصبی انتشار معکوس از تعدادی نرون های در ارتباط با یکدیگر تشکیل شده است که این نرون ها در سه لایه ی ورودی، لایه ی پنهان و لایه ی خروجی طبقه بندی می شوند. نرون های لایه ی ورودی برای دریافت اطلاعات ورودی و نرون های لایه ی خارجی برای دریافت اطلاعات خروجی سیستم بکار می روند. لایه ی پنهان می تواند از یک یا چند لایه تشکیل شود و توابع فعال سازی متفاوتی در این لایه استفاده شود؛ مرسوم ترین تابع فعال سازی، تابع سیگموئیدی است و توسط رابطه ی زیر مطرح می شود (4):

$$F_{i,j} = \frac{1}{1 + \exp^{-P(W_{i,j-1}, O_{i,j-1})}} \quad (2)$$

که در این رابطه برای نرون i ام در زیر لایه j ام $P(W_{i,j-1}, O_{i,j-1})$ خصیصه ی عملکرد نرون بوده که توسط رابطه ی زیر تعیین می شود:

$$P(W_{i,j-1}, O_{i,j-1}) = \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n W_{i,j-1} \cdot O_{i,j-1} \quad (3)$$

m و n به ترتیب تعداد نرون های لایه ی پنهان و تعداد زیر لایه های این لایه را مشخص می نماید و $W_{i,j-1}$ وزن اثر نرون نامیده می شود که این فاکتور تأثیر نرون را در خروجی شبکه تعیین می کند. در شبکه ی مورد استفاده، لایه ی ورودی شامل سه نرون دما (x_1)، زمان (x_2) و نسبت اختلاط (x_3) و لایه ی خروجی

معماری شبکه های عصبی در نظر گرفته شده در این پژوهش به صورت 3-1-n بوده، یعنی شبکه دارای یک لایه ی ورودی (با 3 نورون)، یک لایه خروجی (با 1 نرون) و یک لایه پنهان می باشد و n تعداد نرون های لایه پنهان بین 5 تا 30 تغییر می نماید تا در بین این 26 معماری شبکه در نظر گرفته شده بهترین شبکه عصبی تعیین داده شود. برای این منظور، اولین گام فاز پیشرو تعیین است زمانی که به ازای یک بردار ورودی خاص، خروجی توسط شبکه عصبی تخمین زده و با خروجی های واقعی حاصل از آزمایش مقایسه می شود؛ بنابراین، خطای باقی مانده بین داده های آزمایشگاهی (Y_k) (تجربی) و داده های پیش بینی شده (y_k) و میانگین مربعات خطای باقی مانده¹ به صورت زیر است:

$$MSE = \frac{1}{p} \sum_{k=1}^p (Y_k - y_k)^2 \quad (4)$$

که در رابطه اخیر p نمایانگر تعداد داده های آزمایش است. ضریب تبیین مدل R_{adj}^2 از رابطه زیر محاسبه می گردد:

$$R_{adj}^2 = 1 - \left(\frac{n_e - 1}{n_e - k} \times \frac{SS_E}{SS_R} \right) \quad (5)$$

در این رابطه n_e تعداد مشاهدات (آزمایشات) و n_e درجه آزادی تغییرات نامیده می شود. همچنین k تعداد متغیرهای (ورودی ها) آزمایش، SS_R مجموع مربعات مقادیر برازش یافته توسط مدل ANN و SS_E مجموع مربعات خطای برازش نامیده می شود.

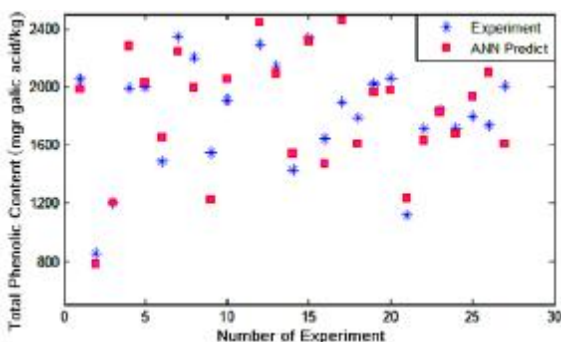
3- نتایج و بحث

3-1- مدل سازی شبکه عصبی مصنوعی

در تعلیم شبکه های در نظر گرفته شده نرخ تعلیم 0/5، تعداد داده های تعلیم شبکه ها 17 و داده های تست شبکه 10 داده می باشد. برای انتخاب تعداد نورونهای لایه پنهان از روش سعی و خطا استفاده شد و در بین کلیه شبکه های عصبی برازش یافته، شبکه عصبی با 12 نرون در لایه ی پنهان بهترین شایستگی برازش را نتیجه داد، که برای مدل سازی فرایند و بهینه سازی از این مدل استفاده

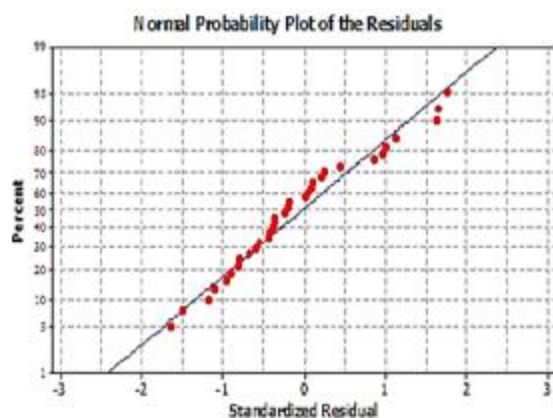
1- Mean Square Error (MSE)

روش بررسی کلیه جواب های در نظر گرفته شده در صورت مسئله، حل گردید. با بهره گیری از مدل ANN توسعه یافته می توان نتایج انجام فرآیند استخراج تحت شرایط دما، زمان و نسبت اختلاط متنوعی (متفاوت با شرایط آزمایشات انجام شده در این پژوهش) را با دقت بالایی تخمین زد. برای تعیین بهترین شرایط انجام فرآیند مسئله بهینه سازی در شرایط دمای فرآیند بین 110 تا 200، زمان انجام فرآیند بین 30 تا 60 دقیقه و نسبت اختلاط 10 الی 50 به عنوان قیود مسئله بهینه سازی فرآیند مطرح می شود. در مسئله مطرح شده گام تغییرات دمایی یک درجه، گام تغییرات زمان 0/5 دقیقه و نسبت اختلاط یک واحد در نظر گرفته شد. با بررسی پیش بینی مدل توسعه یافته در کلیه شرایط مورد مطالعه، بیشترین مقدار ترکیب پلی فنلی تخمین زده شرایط بهینه را حاصل می نماید.



شکل 3- مقایسه داده های تجربی و پیش بینی شده توسط

مدل شبکه عصبی



شکل 4- منحنی احتمال نرمال باقیمانده ها

شده؛ معیار انتخاب شبکه داشتن بیشترین ضریب تبیین (R_{adj}^2) و کمترین مربع خطا (MSE) بوده است.

نتایج این مقایسه در جدول 1 ثبت شده است. با توجه به ستون آخر این جدول که مربوط به درصد خطای باقی مانده است، مدل شبکه عصبی از برازش بالایی برخوردار بوده و همچنین بر اساس نتایج تحلیل آماری، ضریب تبیین مدل 95 درصد است ($R_{adj}^2=0/963$)؛ به عبارت دیگر مدل توسعه یافته از دقت بالای 96 درصد برخوردار بود.

نتایج مشابه توسط بوسینسکی و همکاران (2004) در خصوص کاربرد ابزار شبکه ی عصبی مصنوعی در پیش بینی قدرت آنتی اکسیدانی جوانه چلیپایی بدست آمد (5). همچنین کاربرد شبکه عصبی برای پیش بینی فعالیت آنتی اکسیدانی روغن های اساسی (5) و چندین گیاه دارویی (11) نتایج مشابهی را نشان می دهند.

شکل 3 مقایسه ی نتایج واقعی و تخمین زده برای بهترین معماری شبکه را نمایش می دهد.

همچنین برای مشاهده نتایج برازش و مقادیر باقیمانده ها منحنی احتمال نرمال¹ باقیمانده ها نمایش داده شده است (شکل 4). همان طور که دیده می شود خطای برازش برای اکثر داده ها بسیار ناچیز است.

3-2- بهینه سازی

حضور ترکیبات تشکیل شده در طول فرآیند در دمای بالا را می توان از روی رنگ و بوی خاص عصاره در دماهای بالاتر توضیح داد. رنگ قهوه ای و بوی برشته ی خاصی که در دماهای بالاتر طی فرآیند استخراج مشاهده شد احتمالاً² به خاطر قهوه ای شدن غیر آنزیمی بین قندها و آمینو اسیدهای نمونه و یا واکنش کاراملیزاسیون قندها در دمای استخراج باشد (14).

ترکیبات فنلی بیشتر از دیدگاه بروز فعالیت آنتی اکسیدانی مورد توجه قرار می گیرند؛ ترکیبات فنلی همچنین دارای فعالیت های بیولوژیکی مهمی در موجودات می باشند و ممکن است در برابر بیماری های مرتبط با تولید رادیکال اکسیژن با غلظت های بیش از ظرفیت دفاع آنتی اکسیدانی بدن انسان مفید باشند (3 و 10). برای یافتن شرایط بهینه فرآیند استخراج ترکیبات پلی فنلی از پوست پسته وحشی با این روش، از شبکه عصبی استفاده شد و با تعیین قیده های مناسب برای هر یک از متغیرهای فرآیند، مسئله ی بهینه سازی با

جدول 1- شرایط آزمایش و مقایسه نتایج واقعی و پیش بینی شده توسط ANN

شماره آزمایش	دما (°C)	زمان (min)	نسبت اختلاط	پلی فنل (mg Galic acid/ 100g substance)		خطا(درصد)
				واقعی (تجربی)	پیش بینی شبکه عصبی	
1	155	60	50	2112/93	2053/261	2/824
2	155	30	10	857/4	857/708	0/036
3	200	45	10	1127/655	1204/45	4/001
4	155	45	50	1990/93	1991/517	0/029
5	200	45	30	2002/75	2003/221	0/023
6	110	30	50	1440/19	1490/736	3/509
7	155	60	30	2283/43	2346/11	2/744
8	110	60	30	2203/25	2203/993	0/033
9	200	60	10	1548/66	1548/957	0/019
10	200	30	50	2006/32	1910/9	4/752
11	200	30	10	488/97	489/3761	0/083
12	200	60	50	2292/34	2291/425	0/039
13	200	45	50	2139/115	2139/57	0/021
14	110	45	10	1429/155	1429/715	0/039
15	200	60	30	2336/1	2335/841	0/011
16	110	60	10	1643/72	1644/092	0/022
17	110	60	50	1891/84	1892/581	0/039
18	155	30	50	1785/64	1786/043	0/022
19	155	45	30	1993/51	2023/46	1/502
20	110	45	30	2045/11	2059/441	0/70
21	110	30	10	1117/88	1118/302	0/037
22	110	30	30	1712/37	1713/617	0/072
23	155	30	30	1841/68	1842/663	0/053
24	155	60	10	1713/89	1714/317	0/024
25	200	30	30	1761/87	1796/747	1/979
26	110	45	50	1738/615	1739/326	0/040
27	155	45	10	2138/44	2004/96	6/241

برازش مدل توسعه یافته می‌باشد. افزایش ثابت یونی آب (K_w) در شرایط مادون بحرانی، موجب بهبود استخراج ترکیبات فنلی از میوه‌ها در اثر تجزیه‌ی هیدرولیتیکی شبکه‌ی پلی ساکاریدی- لیگنینی دیواره سلولی می‌شود (13). در دماهای بالاتر ساختار ماده‌ی تحت فرایند، متلاشی شده و در نتیجه کاهش میزان ترکیبات فنلی کل انتظار می‌رود.

به عبارت ساده در مسئله بهینه‌سازی مورد بررسی دامنه تغییرات هر یک از متغیرهای ورودی فرآیند استخراج و نیز گام تغییرات به عنوان قیده‌های مسئله و همچنین میزان ترکیبات استخراج شده به عنوان معیار بهینه‌سازی در نظر گرفته شده‌اند. جدول (2) مربوط به مقایسه نتایج حاصل از مدل شبکه عصبی و آزمایشات تجربی انجام شده است که انطباق مناسب نتایج، دلیل دیگری بر دقت بالای

جدول 2- شرایط بهینه حاصل از مدل شبکه عصبی

خطای برازش (%)	پلی فنل (mg Galic acid / kg)		مقدار بهینه	متغیر مستقل
	تجربی	پیش بینی ANN		
(الف)				
2/209	2561/23	2617/81	161	دما (°C)
			57/5	زمان (min)
			34	نسبت اختلاط
(ب)				
0/331	2609/57	2597/94	166	دما (°C)
			60	زمان (min)
			36	نسبت اختلاط

4. Bishop, C. M. 1994. Neural networks and their applications. *Review on Scientific Instrumentation*, 65(6): 1803-18

5- Bucinski, A. Zielinski, H. and Kozłowska, H. 2004. Artificial neural networks for prediction of antioxidant capacity of cruciferous sprouts. *Trends in Food Science and Technology*, 15: 161-169.

6- Cabrera, A. C. and Prieto, J. M. 2010. Application of artificial neural networks to the prediction of the antioxidant activity of essential oils in two experimental in vitro models. *Food Chemistry*, 118: 141-146.

7. Cheok, Ch.Y. Chin, N. L. Yusof, Y.A. Talib, R.A. and Law, Ch.L. 2012. Optimization of total phenolic content extracted from *Garcinia mangostana* Linn. hull using response surface methodology versus artificial neural network. *Industrial Crops and Products*, 40: 247-253.

8. Hernandez-Perez, J. A. 2009. Optimum operating conditions for heat and mass transfer in foodstuffs drying by means of neural network inverse. *Food Control*, 20(4): 435-438.

9- Miller, D. J. and Hawthorne, S. B. 1998. Method for determining the solubilities of hydrophobic organics in subcritical water. *Anal. Chem.*, 70: 1618-1621.

10- Morello, J. R. Motilva, M. J. Tovar, M. J. and Romero, M. P. 2004. Changes in commercial virgin olive oil (cv Arbequina) during storage, with special emphasis on the phenolic fraction. *Food chemistry*, 85: 357-364.

11- Nasiri-Aghdam, A. Farzi-Vejjouyeh, N. and Nasiri-Aghdam, M. 2011. Antioxidant activity prediction of some medical plants using artificial neural network. The Fifth Iran Data Mining Conference, Amirkabir University of Technology Tehran, Iran.

12- Ramos, L. Kristenson, E. M. and Brinkman, U. A. Th. 2002. Current use of pressurised liquid

4- نتیجه گیری

در این مطالعه مقدار ترکیبات پلی فنلی عصاره مادون بحرانی آب پوست بته تحت شرایط مختلف استخراج تعیین و با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی مدل سازی گردید. شبکه مورد استفاده برای بهینه سازی، شبکه‌ی عصبی انتشار معکوس بود. نتایج نشان داد که شبکه عصبی با 12 نورون در لایه ی پنهان بهترین شایستگی برازش را نتیجه می دهد، که برای مدل سازی فرایند و بهینه یابی از این مدل استفاده شد. به عبارت دیگر بهترین عملکرد بهینه سازی با شبکه‌ی عصبی انتشار معکوس برای پیش بینی میزان ترکیبات پلی فنلی کل، پیکربندی 1-12-3 تعیین گردید. همچنین، نتایج به دست آمده نشان می دهد می توان از روش استخراج با آب مادون بحرانی به عنوان فرایندی مناسب جهت استخراج ترکیبات پلی فنلی از پوست بته استفاده نمود.

5- منابع

1- حاجی حیدری، د. 1376. طرح تحقیقاتی استخراج روغن از پسته‌ی وحشی. جهاد دانشگاهی صنعتی اصفهان.

2- شاددل ر، حداد خداپرست م ح، مسکوکی ع، شریف ع و آزادمرد دمیرچی ص، 1391. بررسی فعالیت آنتی اکسیدانی عصاره‌ی استخراج شده از پوست بته رقم موتیکا به روش مادون بحرانی آب، نشریه پژوهش و نوآوری در علوم و صنایع غذایی. شماره 2، جلد 1. صفحه: 73-84.

3- Aparicio, R. Roda, L. Albi, M. A. and Gutierrez, F. 1999. Effect of various compounds on virgin olive oil stability measured by Rancimat. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 47: 4150-4155 .

extraction and subcritical water extraction in environmental analysis. *Journal of Chromatography A*, 975: 3-29.

13- Rangsriwong, P. Rangkadilok, N. Satayavivad, J. Goto, M. and Shotipruk, A. 2009. Subcritical water extraction of polyphenolic compounds from *Terminalia chebula* Retz. fruits. *Separation and Purification Technology*, 66: 51-56.

14- Rodriguez-Meizoso, I. Jaime, L. Santoyo, S. Senorans, F. J. Cifuentes, A. and Ibanez, E. 2010. Subcritical water extraction and characterization of bioactive compounds from *Haematococcus pluvialis* microalga. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*, 51(2): 456-463.

15- Singh, R. P. Murthy, K. N. C. and Jayaprakasha, G. K. 2002. Studies on the antioxidant activity of pomegranate peel and seed extracts using in vitro models. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50:81-86.

16- Shalmashi, A. Abedi, M. Golmohamad, F. and Eikani, M. H. 2010. Isolation of caffeine from tea waste using subcritical water extraction. *Journal of Food Process Engineering*, 33: 701-711.

17. Taghadomi-Saberi, S. Omid, M. Emam-Djomeh, Z. Ahmadi, H. 2013. Evaluating artificial neural network and neuro-fuzzy techniques potential for estimating antioxidant activity and anthocyanin content of sweet cherry during ripening by using image processing. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, in press.

18. Xi, J. Xue, Y. Xu, Y. and Shen, Y. 2013. Artificial neural network modeling and optimization of ultrahigh pressure extraction of green tea polyphenols. *Food Chemistry*, 141(1): 320-326.