

استخراج ترکیبات فنلی از برگ‌های درخت اکالیپتوس (*Eucalyptus camaldulensis* Dehn.) به کمک مایکروویو و پیش‌گویی روند استخراج با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی

مهدی قره‌خانی^{۱*}، امیراحمد دهقانی^۲، احمد قره‌خانی^۳، شاهرخ جبرائیلی^۴، محمد قربانی^۵

^۱ دانشجوی دکتری، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تبریز، تبریز، ایران.

^۲ استادیار، گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران.

^۳ مربی، گروه دامپزشکی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد ماکو، ماکو، ایران.

^۴ کارشناس ارشد، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران.

^۵ دانشیار، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران.

تاریخ پذیرش ۱۳۹۱/۰۴/۰۶

تاریخ دریافت: ۱۳۹۰/۱۲/۰۳

چکیده

روش‌های استخراج جدید همچون استخراج به کمک مایکروویو، روش‌های سریع و مؤثر برای استخراج ترکیب‌های موثره از بافت‌های گیاهی هستند. با انتخاب صحیح و مناسب روش استخراج می‌توان حداکثر غلظت ترکیب‌های فنلی را با خلوص بالا از ماده مورد نظر در مقایسه با روش‌های سنتی استخراج کرد. در این تحقیق تاثیر غلظت اتانول (۱۰، ۲۰، ۳۰، ۴۰، ۵۰، ۶۰، ۷۰، ۸۰، ۹۰ و ۱۰۰ درصد) و زمان استخراج (۰/۵، ۱، ۲، ۵، ۷، ۹، ۱۱، ۱۳ و ۱۵ دقیقه) بر روی میزان استخراج ترکیبات فنلی از برگ‌های اکالیپتوس به کمک مایکروویو بررسی گردید و از روش شبکه عصبی برای پیش‌بینی روند استخراج استفاده شد. نتایج نشان داد که غلظت ۵۰ درصد اتانول بیشترین میزان استخراج را داشت. شبکه مورد استفاده برای شبیه‌سازی، شبکه پس انتشار پیشخور با الگوریتم یادگیری لونیگ-مارکوات برای آموزش الگوها استفاده شد. متغیرهای شبکه عصبی مصنوعی، تعداد نرون در لایه پنهان (۴ تا ۳۰) و نوع تابع محرک (تانژانت‌هایپربولیک و سیگموئید) در لایه پنهان بود. برای توسعه مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی، بردار ورودی شامل غلظت اتانول و زمان استخراج و بردار خروجی میزان ترکیبات فنلی برگ‌های اکالیپتوس در نظر گرفته شد. نتایج نشان داد که شبکه پس انتشار پیشخور با تابع محرک تانژانت‌هایپربولیک و با ۱۶ نرون در لایه پنهان قادر است که میزان ترکیبات فنلی را با ضریب تعیین ۰/۹۶۳۲ و میانگین مربعات خطای برابر با ۰/۰۰۰۶۹ در مقایسه با سایر شبکه‌ها پیش‌بینی کند.

واژگان کلیدی: اکالیپتوس، تابع محرک، ترکیبات فنلی، شبکه‌های عصبی مصنوعی، مایکروویو.

مقدمه

ترکیب‌های فنلی در گیاهان عمدتاً به دلیل ویژگی‌های اکسایش-کاهش^۱ و ساختار شیمیایی آنها است که می‌توانند نقش‌های مهمی را در خشتی کردن رادیکال‌های آزاد، شلاته کردن فلزات انتقالی و

فعالیت آنتی‌اکسیدانی بعضی از میوه‌ها و سبزیجات به مقدار کل ترکیب‌های فنلی آنها بستگی دارد (Mour et al., 2011). فعالیت آنتی‌اکسیدانی

نخستین بار در دهه ۵۰ قرن بیستم مطرح شد، زمانی که فرانک روزبنلات در سال ۱۹۸۵ شبکه پرسپترون را معرفی نمود (شریفی و همکاران، ۱۳۸۹). در این شبکه‌ها هدف آن است که با معرفی تاریخچه عملکرد یک سیستم مکانیکی، مدل آموزش یافته و نحوه عملکرد سیستم در حافظه ذخیره شود و در مواردی که قبلاً با آن مواجه نشده است، مورد استفاده قرار گیرد (دهقانی و همکاران، ۱۳۸۸).

مدل‌های شبکه عصبی در مورد فرآیندهایی که تعریف دقیق و درک خاصی از آنها وجود ندارد، بسیار مؤثر عمل می‌کنند. خصوصیت دیگر این مدل‌ها که آنها را نسبت به سایر روش‌ها و الگوریتم‌ها متمایز می‌نماید حساسیت کمتر آنها نسبت به وجود خطا در ورودی‌ها است، علت این امر پردازش گسترده اطلاعات توزیعی می‌باشد. در این سیستم فعالیت‌های پیچیده با ساختاری به شدت موازی انجام می‌شود و به جای اینکه تمام بار فعالیت بر دوش یک واحد محاسباتی سریع قرار گیرد، تعداد زیادی واحدهای محاسباتی ساده به صورت مشترک انجام آن را بر عهده دارند. این تقسیم کار، پیامد مثبت دیگری نیز در پی دارد و آن این است که چون تعداد زیادی نرون در یک زمان درگیر فعالیت هستند، سهم هر یک از نرون‌ها چندان دارای اهمیت نیست. بنابراین وجود خطا در یکی از آنها و نتیجه آن تأثیر چندانی بر روی سایر واحدهای محاسباتی نخواهد داشت (دهقانی و همکاران، ۱۳۸۸ ب).

شبکه‌های عصبی مصنوعی اخیراً برای شبیه سازی فرآیندهایی همچون تخمیر، میکروفیلتراسیون، رفتار خشک کردن مواد غذایی مختلف و مواد کشاورزی همچون هویچ و سیب زمینی و رفتار جذب آب مواد

فروشانندن^۱ مولکول‌های اکسیژن یگانه و سه گانه بازی کنند. این ویژگی‌ها با تاثیرات مفید آنتی‌اکسیدان‌های فنلی بر روی سلامت در ارتباط است که به دلیل تاثیرات بازدارندگی‌شان در مقابل پیشرفت بسیاری از بیماری‌های وابسته به تنش-اکسایش، همچون بیماری‌های قلبی-عروقی، سندرم روده التهابی^۲ و بیماری آلزایمر است (Ahmadi et al., 2007).

استخراج اولین مرحله اساسی را در تحقیقات گیاهان دارویی تشکیل می‌دهد و آماده‌سازی عصاره‌ها از گیاهان، نقطه شروعی برای جداسازی و خالص‌سازی اجزای شیمیایی حاضر در گیاهان هستند (Mandal et al., 2007). عصاره‌های گیاهی به طور وسیعی در صنایع غذایی، داروسازی و صنایع آرایشی-بهداشتی استفاده می‌شوند. روش‌های مختلف استخراج به طور وسیعی به منظور به دست آوردن چنین ترکیب‌های طبیعی با ارزش بررسی شدند. روش‌های سنتی استخراج همچون روش غرقابی نیاز به صرف زمان طولانی و مقدار حلال زیادی دارند، بنابراین نیاز به روش‌های استخراج جدید با زمان استخراج کوتاه‌تر، مصرف حلال آلی کمتر و ایجاد آلودگی کمتر، افزایش یافته است. روش‌های استخراج جدید شامل استخراج به کمک اولتراسوند^۳ و استخراج به کمک مایکروویو^۴ روش‌های سریع و مؤثر برای استخراج ترکیب‌های موثره از بافت‌های گیاهی هستند (Wang and Weller, 2006). با انتخاب صحیح و مناسب روش استخراج می‌توان حداکثر غلظت ترکیب‌های فنلی را با خلوص بالا از ماده مورد نظر استخراج کرد.

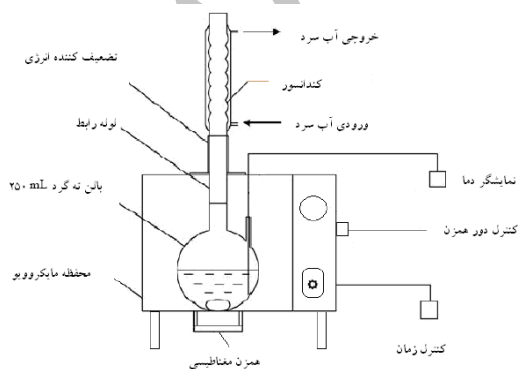
شبکه‌های عصبی مصنوعی در واقع مدل ساده‌ای شده‌ای از مغز انسان بوده که یکی از ابزارهای پیش‌بینی پدیده‌های فیزیکی است و به‌طور کاربردی

1. Quenching
2. Inflammatory bowel syndrome
3. Ultrasound-assisted extraction
4. Microwave-assisted extraction

خشک شده تا زمان آزمایش در یخچال زیر صفر نگهداری شدند. مواد شیمیایی مورد نیاز نیز از شرکت مرک تهیه شدند.

استخراج به کمک مایکروویو

برای استفاده از امواج مایکروویو و مطالعه اثرات آن، با انجام تغییرات و اضافه کردن ملحقات دیگر یک دستگاه مایکروویو (سامسونگ، کره) به‌عنوان مایکروویو محفظه باز طراحی شد. اصلاحات صورت گرفته با اضافه کردن یک همزن مغناطیس با قابلیت تنظیم دور چرخش، کندانسور آب، سنسور دما و کنترل زمان بر روی مایکروویو صورت گرفت (شکل ۱). در این روش نمونه‌های ۵ گرمی پودر خشک اکالیپتوس با نسبت ۱:۲۰ (حلال (میلی‌لیتر): ماده گیاهی (گرم)) در غلظت‌های مختلف اتانول آبی (۱۰، ۲۰، ۳۰، ۴۰، ۵۰، ۶۰، ۷۰، ۸۰، ۹۰ و ۱۰۰ درصد) مخلوط شدند. مخلوط‌های حاصله سپس با امواج مایکروویو در زمان‌های مختلف (۰/۵، ۱، ۲، ۳، ۵، ۷، ۹، ۱۱، ۱۳، ۱۵ دقیقه) در معرض اشعه قرار گرفتند. عصاره‌های استخراج شده با استفاده از کاغذ صافی از مواد گیاهی جدا و سپس در یخچال نگهداری شدند. قابل ذکر است که همه اندازه‌گیری‌ها در همان روز صورت گرفته است (Pan et al., 2000).



شکل ۱. سیستم مایکروویو محفظه باز

غذایی همچون گندم به کار برده شده است (Kashaninejad et al., 2009). در زمینه استخراج ترکیبات فنلی با روش مایکروویو تحقیقات کمی صورت گرفته است. استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی در تعیین ترکیبات فنلی گزارش شده است (Gutes et al., 2005; Torrecilla et al., 2008; Trojanowicz et al., 1999). از شبکه‌های عصبی مصنوعی برای پیش بینی فعالیت آنتی اکسیدانی چای‌ها (Cimpoi et al., 2011) و اسانس‌ها (Cabrera and Preto, 2010) و برای پیش بینی غلظت ترکیبات فنلی (اسید کافئیک) در ضایعات حاصل از روغن زیتون (Torrecilla et al., 2007) استفاده شده‌اند. نتایج آنها نشان داد که شبکه‌های عصبی مصنوعی ابزاری بسیار مناسب، سریع، قابل اعتماد و ارزان جهت پیش‌بینی و تعیین ترکیبات فنلی می‌باشد و می‌تواند برای مدل‌سازی خصوصیات بیوشیمیایی محصولات طبیعی همچون پیش بینی پارامترهای مرتبط با خصوصیات ترکیبات غذا داروی اجزای غذایی استفاده گردند. این مطالعه برای بررسی اثر غلظت‌های مختلف اتانول و زمان‌های مختلف بر روی میزان استخراج ترکیبات فنلی با روش مایکروویو از برگ‌های درخت اکالیپتوس انجام گردید و کارایی روش شبکه عصبی مصنوعی برای آزمایش و پیش گویی میزان استخراج بررسی شد.

مواد و روش‌ها

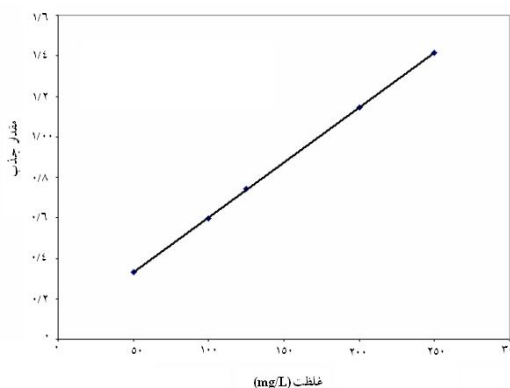
مواد گیاهی و شیمیایی

برگ‌های اکالیپتوس (*Eucalyptus camaldulensis*) (Dehn) از منطقه هزار پیچ و ناهارخوران واقع در شهر گرگان در تیر ماه ۱۳۸۸ جمع‌آوری گردید و تحت شرایط طبیعی محیطی و با استفاده از جریان هوای خشک در سایه خشک شدند و با استفاده از دستگاه آسیاب با مش ۴۰ به صورت پودر درآمدند. نمونه‌های

اندازه‌گیری مقدار کل ترکیب‌های فنلی

مقدار کل ترکیب‌های فنلی موجود در عصاره اکالیپتوس از طریق رنگ سنجی به روش فولین-سیوکالتو^۱ اندازه‌گیری شد (McDonald et al., 2001). مقدار ۰/۵ میلی‌لیتر از عصاره استخراجی با ۵ میلی‌لیتر از معرف فولین-سیوکالتو (ساخت شرکت مرک) که با آب مقطر ۱۰ برابر رقیق شده بود و ۴ میلی‌لیتر معرف کربنات سدیم ۱ مولار به خوبی مخلوط شد. نمونه‌ها به مدت ۱۵ دقیقه در دمای اتاق قرار گرفتند. سپس مقدار جذب محلول توسط دستگاه اسپکتروفتومتر دوپرتویی ماوراء بنفش-مرئی (PG instruments, UK) در طول موج ۷۶۵ نانومتر خوانده شد. مقدار کل ترکیب‌های فنلی با استفاده از معادله خط رسم شده برای اسید گالیک (ساخت شرکت مرک)، بر مبنای اسیدگالیک و به صورت میلی‌گرم در گرم نمونه خشک بیان گردید (McDonald et al., 2001). منحنی استاندارد اسید گالیک (شکل ۲) و معادله خط رگرسیونی که رابطه با میزان جذب محلول‌ها در ۷۶۵ نانومتر نشان می‌دهد به صورت زیر می‌باشند. در این معادله Y مقدار جذب و X مقدار ترکیبات فنلی بر اساس اکی‌والانت اسید گالیک را نشان می‌دهد:

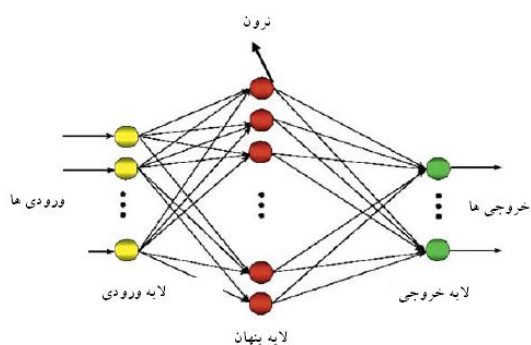
$$Y = 0.0054X + 0.0628 \quad R^2 = 0.9998$$



شکل ۲. منحنی استاندارد اسید گالیک جهت تعیین مقدار کل ترکیب‌های فنلی عصاره‌های اکالیپتوس.

شبکه‌های عصبی پس‌خور با ساختار پرسپترون چند لایه، MLP^۲

به‌منظور پیش‌بینی، مدل‌های (BPNN^۳) شامل یک لایه ورودی، تعدادی لایه میانی و یک لایه خروجی هستند که به‌طور شماتیک در شکل ۳ نشان داده شده است. تعداد نرون در هر لایه مخفی از طریق سعی و خطا تعیین می‌گردد. نرون‌ها برای محاسبه خروجی خود، ورودی دریافتی را از یک تابع آستانه عبور می‌دهند. این توابع به انواع مختلف نظیر توابع باینری، سیگموئیدی، تانزانت هیپربولیک، خطی و گوسی تقسیم می‌شوند.



شکل ۳. شبکه عصبی پس‌خور با ساختار پرسپترون چند لایه.

شبکه عصبی مورد استفاده برای آموزش، شبکه پرسپترون چندلایه و روش آموزش آن، پس انتشار خطا می‌باشد. این شبکه با استفاده از نرم‌افزار MATLAB 7.2 شبیه‌سازی شده و لایه ورودی آن از ۲ نرون شامل غلظت اتانول و زمان استخراج و لایه خروجی آن از یک نرون شامل میزان ترکیبات فنلی تشکیل شده است. به این منظور از ۱۰۰ داده استفاده شده که ۸۰ نمونه برای آموزش و ۲۰ نمونه برای آزمون شبکه بود. به منظور ارزیابی نتایج از آماره‌های

1. Folin- ciocalteu
2. Multi-layer perceptron
3. Back-Propagation Neural Network

مختلف مانند ضریب تعیین (R^2) و میانگین مربعات خطا (MSE) استفاده شده است.

آنالیز آماری

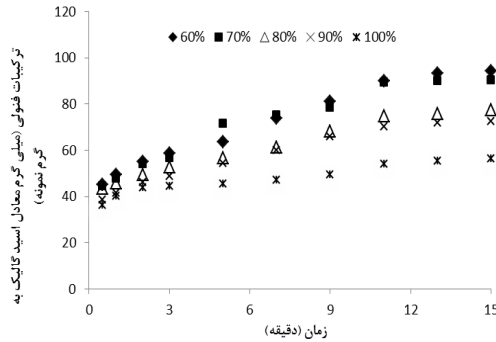
در این تحقیق تاثیر غلظت اتانول و زمان استخراج بر روی مقدار ترکیبات فنلی با آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی و در ۳ تکرار انجام شد. نتایج به دست آمده با استفاده از روش آنالیز واریانس (ANOVA) و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ($p < 0.05$) مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. آنالیزهای آماری با استفاده از نرم‌افزار SAS و رسم نمودارها با نرم‌افزار EXCEL صورت گرفت.

نتایج

تاثیر غلظت اتانول و زمان استخراج با روش

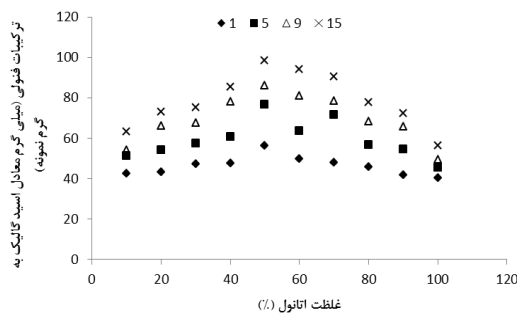
مایکروویو بر روی میزان ترکیبات فنلی

اتانول به دلیل اینکه حلال سمی در مقایسه با متانول نیست و می‌تواند با آب در نسبت‌های مختلف مخلوط شود و همچنین به دلیل اینکه به آسانی می‌تواند توسط عمل تقطیر بازیابی گردد، در این مطالعه استفاده شد. نتایج تاثیر زمان استخراج بر روی میزان ترکیبات فنلی در شکل ۴ و ۵ نشان داده شده است.

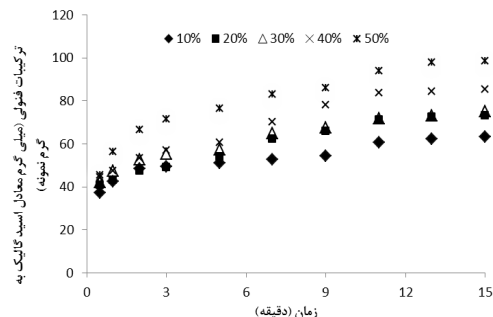


شکل ۵. تاثیر زمان استخراج با مایکروویو بر روی میزان ترکیبات فنلی برگ‌های اکالیپتوس در غلظت‌های مختلف اتانول (۶۰، ۷۰، ۸۰، ۹۰ و ۱۰۰٪).

همان‌طور که مشاهده می‌شود با افزایش زمان استخراج میزان ترکیبات فنلی رو به افزایش بود و از زمان ۱۱ دقیقه به بعد سیر افزایشی شیب کمتری داشت و اختلاف معنی‌داری با زمان‌های ۱۳ و ۱۵ دقیقه نداشت. تاثیر غلظت اتانول نیز بر روی میزان ترکیبات فنلی در شکل ۶ برای نشان دادن بهتر افزایش غلظت اتانول در زمان‌های ۱، ۵، ۹ و ۱۵ دقیقه نشان داده شده است. زمانی که غلظت اتانول از ۱۰ درصد به ۵۰ درصد افزایش یافت، میزان ترکیبات فنلی در همه زمان‌ها تقریباً سیر صعودی داشت ولی با افزایش بیشتر غلظت اتانول تا ۱۰۰ درصد میزان این ترکیبات کاهش یافت.



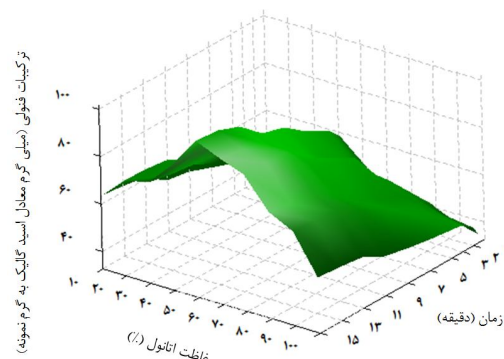
شکل ۶. تاثیر غلظت اتانول بر میزان استخراج ترکیبات فنلی با روش مایکروویو در زمان‌های مختلف (۱، ۵، ۹ و ۱۵ دقیقه).



شکل ۴. تاثیر زمان استخراج با مایکروویو بر روی میزان ترکیبات فنلی برگ‌های اکالیپتوس در غلظت‌های مختلف اتانول (۱۰، ۲۰، ۳۰، ۴۰ و ۵۰٪).

تعیین (R^2) و میانگین مربعات خطا (MSE) برای شبکه عصبی در جدول ۱ آمده‌اند. نتایج نشان داد که از بین شبکه‌های اجرا شده، شبکه‌های با تابع محرک تانژانت‌هایپربولیک و با تعداد ۸ و ۱۶ نرون در لایه پنهان بیشترین میزان ضریب تعیین و کمترین میانگین مربعات خطا را داشتند که به ترتیب برابر با ۰/۹۶۲۹، ۰/۰۰۰۵۸، ۰/۹۶۳۲ و ۰/۰۰۰۶۹ بودند. در بین شبکه‌های با تابع محرک سیگموئید، بیشترین میزان ضریب تعیین و کمترین میانگین مربعات خطا به شبکه با ۱۴ نرون در لایه پنهان تعلق داشت که به ترتیب برابر با ۰/۹۵۶۹ و ۰/۰۰۰۶۳ بود. در بین سه شبکه انتخابی شبکه با تابع تانژانت‌هایپربولیک و ۱۶ نرون در لایه پنهان به‌عنوان بهترین شبکه برای پیش‌گویی میزان استخراج ترکیبات فنلی معرفی می‌گردد. ماتریس‌های وزن برای لایه ورودی به لایه پنهان (۱)، لایه پنهان به لایه خروجی (۲)، ماتریس‌های بایاس برای لایه ورودی به لایه پنهان (۳) و لایه پنهان به لایه خروجی (۴) برای توپولوژی بهینه (شبکه عصبی با تابع محرک تانژانت‌هایپربولیک و ۱۶ نرون در لایه پنهان) به ترتیب عبارتند از:

نمودار سه بعدی زیر (شکل ۷) اثر متقابل زمان و غلظت اتانول را بر روی میزان استخراج ترکیبات فنلی نشان می‌دهد.



شکل ۷. تاثیر زمان و غلظت اتانول بر میزان استخراج ترکیبات فنلی با روش مایکروویو از برگ‌های اکالیپتوس.

پیش‌گویی روند استخراج ترکیبات فنلی با شبکه‌های عصبی مصنوعی

به‌منظور طراحی بهینه ساختار شبکه عصبی اجراهای متعددی انجام شد و توابع محرک مختلف (تانژانت‌هایپربولیک و سیگموئید) و تعداد نرون‌های مختلف در لایه پنهان (۴ تا ۳۰ نرون) در این مقاله آزمون گردید. نتایج آماره‌های مختلف مانند ضریب

$$[-2/0176 \quad 4/8369; \quad 1/031 \quad 2/3944; \quad 1/4127 \quad 0/3333; \quad 2/0071 \quad -3/9971; \quad 0/98298 \quad -4/0171; \quad -1/0005 \quad -0/1604;$$

$$2/7960 \quad -0/2878; \quad 3/2391 \quad -4/308; \quad 2/6824 \quad -7/3017; \quad 1/28 \quad -0/6744; \quad -7/9773 \quad -0/22047; \quad 1/8403 \quad 4/8417;$$

$$-2/7000 \quad -6/4381; \quad 2/4638 \quad -6/1493; \quad 2/9101 \quad 0/0828; \quad 0/9313 \quad 0/7093] \quad (1)$$

$$[0/2298 \quad -2/1234 \quad 0/8900 \quad -0/4326 \quad 0/1797 \quad -0/0300 \quad -0/24198 \quad -0/21769 \quad -0/01636 \quad 0/029029 \quad -0/4676$$

$$0/07937 \quad 0/01604 \quad -0/1373 \quad -0/1409 \quad 0/3268] \quad (2)$$

$$[0/1310; \quad -2/9419; \quad -0/0089; \quad -2/7017; \quad -1/9343; \quad 2/4902; \quad 0/48166; \quad -0/42829; \quad 1/1317; \quad -2/404; \quad 4/1049; \quad 1/8232;$$

$$3/9727; \quad 0/01; \quad 0/1333] \quad (3)$$

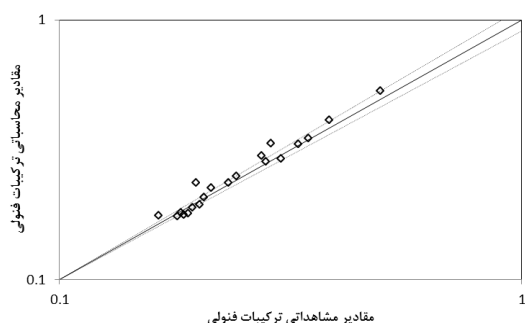
$$[-1/7623] \quad (4)$$

جدول ۱. مقایسه اثر نوع تابع محرک و تعداد نرون در لایه پنهان بر دقت پیش بینی ترکیبات فنلی استخراجی با روش مایکروویو

تابع محرک	تعداد نرون‌های لایه پنهان	میانگین مربعات خطا (MSE)	ضریب تعیین (R ²) آموزش	ضریب تعیین (R ²) آزمون	
تابع محرک تانزانت‌هاپروبولیک (TANSIG)	۴	۰/۰۰۱۷۱	۰/۹۷	۰/۸۸۱۲	
	۵	۰/۰۰۰۷۹	۰/۹۸	۰/۹۴۰۹	
	۶	۰/۰۰۱۳۱	۰/۹۹۲	۰/۸۹۰۲	
	۷	۰/۰۰۲۱۳	۰/۹۸۳	۰/۸۸۰۳	
	۸	۰/۰۰۰۵۸	۰/۹۹۷	۰/۹۶۲۹	
	۹	۰/۰۰۰۱۹۲	۰/۹۸۷	۰/۸۷۸۱	
	۱۰	۰/۰۰۱۱۳	۰/۹۸۹	۰/۹۲۵۶	
	۱۱	۰/۰۰۱۶۲	۰/۹۹۲	۰/۹۱۲۱	
	۱۲	۰/۰۰۰۹۱	۰/۹۸۶	۰/۹۳۸۶	
	۱۳	۰/۰۰۱۵۷	۰/۹۹۷	۰/۹۱۰۸	
	۱۴	۰/۰۰۰۲	۰/۹۹۷	۰/۹۳۶۲	
	۱۵	۰/۰۰۱۱۸	۰/۹۹۵	۰/۹۲۸۸	
	۱۶	۰/۰۰۰۶۹	۰/۹۹۶	۰/۹۶۳۲	
	۱۷	۰/۰۰۰۹۲	۰/۹۹۹	۰/۹۳۳۹	
	۱۸	۰/۰۰۰۱۸۸	۰/۹۹۸	۰/۸۷۷۲	
	۱۹	۰/۰۰۱۶۳	۰/۹۹۹	۰/۸۵۹۶	
	۲۰	۰/۰۰۰۴۲	۰/۹۹۶	۰/۶۷۶۱	
	۲۱	۰/۰۰۸۷۶	۰/۹۹۶	۰/۷۹۰۶	
	۲۲	۰/۰۰۱۵۴	۰/۹۹۶	۰/۹۳۸۵	
	۲۳	۰/۰۰۲۴۶	۰/۹۹۸	۰/۸۸۷۰	
	۲۵	۰/۰۰۳۰۲	۰/۹۹۷	۰/۸۳۵۲	
	۲۷	۰/۰۰۳۷۰	۰/۹۹۷	۰/۷۹۰۶	
	۳۰	۰/۰۰۷۴۸	۰/۹۹۹	۰/۳۸۳۸	
	تابع محرک سیگموئید (LOGSIG)	۴	۰/۰۰۱۱۸	۰/۹۸	۰/۹۲۶۶
		۵	۰/۰۰۰۸۵	۰/۹۸۹	۰/۹۴۳۱
		۶	۰/۰۰۲۸۹	۰/۹۹۲	۰/۷۹۹۱
		۷	۰/۰۰۰۸۸	۰/۹۸۳	۰/۹۳۳۲
		۸	۰/۰۰۱۷۱	۰/۹۸۶	۰/۹۱۷۴
		۹	۰/۰۰۱۴۱	۰/۹۹	۰/۹۰۳۲
		۱۰	۰/۰۰۱۵۱	۰/۹۸۶	۰/۹۲۷۱
۱۱		۰/۰۰۱۶۵	۰/۹۹۲	۰/۹۰۹۳	
۱۲		۰/۰۰۱۵۲	۰/۹۹۳	۰/۸۸۱۵	
۱۳		۰/۰۰۲۵	۰/۹۹۴	۰/۷۸۷۶	

۰/۹۵۶۹	۰/۹۹۶	۰/۰۰۰۶۳	۱۴
۰/۸۰۲۲	۰/۹۹۷	۰/۰۰۲۲۱	۱۵
۰/۸۶۵۷	۰/۹۹۴	۰/۰۰۲۳۰	۱۶
۰/۹۴۱۳	۰/۹۹۵	۰/۰۰۱۱	۱۷
۰/۸۸۰۵	۰/۹۹۵	۰/۰۰۱۵۵	۱۸
۰/۸۹۶۴	۰/۹۹۹	۰/۰۰۱۷۹	۱۹
۰/۸۹۷۵	۰/۹۹۵	۰/۰۰۱۳۱	۲۰
۰/۷۵۳۲	۰/۹۹۸	۰/۰۰۲۸۸	۲۱
۰/۹۰۱۵	۰/۹۹۸	۰/۰۰۱۹۶	۲۲
۰/۶۷۱۸	۰/۹۹۴	۰/۰۰۴۷۱	۲۳
۰/۹۳۳۲	۰/۹۹۷	۰/۰۰۱۳۵	۲۵
۰/۷۹۳۳	۰/۹۹۵	۰/۰۰۳۵۸	۲۷
۰/۶۱۰۸	۰/۹۹۷	۰/۰۰۵۸۵	۳۰

همان‌طور که از شکل مشخص است، نتایج به‌دست آمده از شبکه عصبی حول خطی با زاویه ۴۵ به خوبی پراکنده شده است. مقدار R^2 و MSE برای شکل ۸ به ترتیب ۰/۹۶۳۲ و ۰/۰۰۰۶۹ بدست آمد.



شکل ۸. مقایسه ما بین داده‌های مشاهده‌ای و محاسباتی ترکیبات فنلی با روش پرسپترون چند لایه با ۱۶ نرون در لایه پنهان و با تابع محرک تانژانت‌هایپربولیک

در شکل زیر داده‌های پیش‌گویی شده از شبکه عصبی برای کلیه تیمارها (شامل داده‌های آموزش و آزمون) از شبکه عصبی بهینه استخراج گردید و نمودار سطح پاسخ زیر (شکل ۹) برای مقایسه پیش‌گویی روند استخراج با شبکه عصبی در مقایسه با

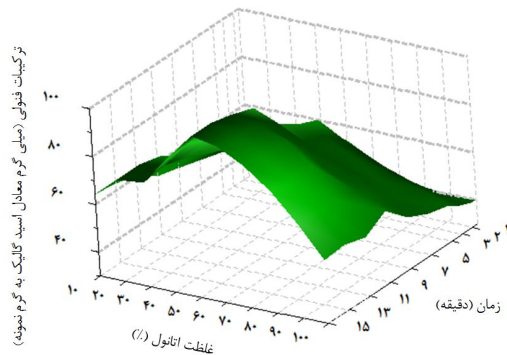
1. Number of iteration (epochs)

جدول ۲. پارامترهای بهینه مورد استفاده برای ساختار مدل شبکه عصبی مصنوعی

پارامترها	
تعداد نرون در لایه ورودی	۲
تعداد نرون در لایه پنهان	۱۶
تعداد تکرارها ^۱	۳۱
تعداد نرون در لایه خروجی	۱
آهنگ یادگیری	۰/۰۰۱

در جدول ۲، پارامترهای بهینه مورد استفاده برای ساختار مدل شبکه عصبی مصنوعی که بیشترین میزان ضریب تعیین (R^2) و کمترین میزان میانگین مربعات خطا (MSE) را داشت، آورده شده است. میزان کارایی شبکه عصبی مصنوعی بهینه در پیشگویی میزان ترکیبات فنلی در مورد داده‌های آزمون که حین آموزش شبکه به آن نشان داده نشده است، در شکل ۸ آورده شده است. در این شکل مقادیر واقعی ترکیبات فنلی استخراجی در مقابل مقادیر پیش‌گویی شده رسم شده است.

داده‌های واقعی بدست آمده از نتایج آزمایشگاهی (شکل ۷) آورده شده است.



شکل ۹. نمودار سطح پاسخ شبکه عصبی مصنوعی برای ترکیبات فنولی استخراجی در مقابل غلظت اتانول و زمان استخراج.

بحث

اصول حرارت دهی با استفاده از انرژی میکروویو به اثرات مستقیم امواج میکروویو روی مولکول‌ها با مکانیسم‌های چرخش دوقطبی و انتقال یونی وابسته است. مولکول‌های قطبی (همچون پلی‌فنل‌ها) و محلول‌های یونی، انرژی میکروویو را به دلیل داشتن گشتاور دوقطبی دائمی به میزان زیادی جذب می‌کنند که منجر به افزایش دما و تکمیل سریع واکنش می‌شود و این امر موجب انتقال سریع انرژی به حلال استخراجی و مواد گیاهی خام می‌شود. بنابراین بر هم کنش مستقیم امواج میکروویو با حلال منجر به شکست دیواره‌های سلولی و آزادسازی سریع مواد درون سلولی به حلال می‌شود. در زمان‌های بالاتر اشعه دهی امواج میکروویو ممکن است به دلیل تخریب حرارتی، میزان استخراج ترکیب‌های فنولی کاهش یابد. در مقایسه با نتایج سایر محققین، زمان‌های مختلف اشعه دهی امواج میکروویو (۱ تا ۱۰ دقیقه) برای استخراج پلی‌فنل‌ها و کافئین از برگ‌های چای سبز بررسی گردید.

نتایج نشان داد زمان ۴ دقیقه بیشترین میزان استخراج را برای هر دو ترکیب داشت. با افزایش زمان از ۴ تا ۱۰ دقیقه میزان استخراج پلی‌فنل‌ها تقریباً ثابت بود ولی میزان استخراج کافئین از برگ‌های چای سبز کاهش یافته بود (Pan et al., 2003). نتایج Xiao و همکاران (۲۰۰۸) در بررسی تاثیر زمان‌های مختلف اشعه‌دهی امواج میکروویو (۵ تا ۳۰ دقیقه) بر میزان استخراج فلاونوئیدها از گیاه *Radix astragali* نشان داد که بازده فلاونوئیدها در ابتدا با افزایش زمان اشعه دهی امواج میکروویو افزایش یافت و به بیشترین مقدار خود در ۲۵ دقیقه رسید و سپس به آرامی کاهش یافت. بنابراین قرار گرفتن بیشتر در معرض امواج میکروویو باعث اتلاف ترکیبات فنولی می‌شود.

برای بیان علت افزایش کارایی استخراج با افزایش غلظت اتانول تا ۵۰ درصد و کاهش آن با افزایش بیشتر غلظت باید بیان کرد که در کل افزودن مقدار مشخصی آب به اتانول می‌تواند کارایی استخراج را با میکروویو بهبود ببخشد (Pan et al., 2003). زمانی که اتانول خالص برای استخراج این ترکیبات از برگ‌های اکالیپتوس استفاده شد، بعضی ترکیبات لیپیدی می‌تواند همچنین استخراج شود که استخراج ترکیبات فنولی را از برگ‌های اکالیپتوس محدود می‌کند. برای بخش مربوط به پیشگویی میزان استخراج ترکیبات فنولی با شبکه عصبی مصنوعی، مطالعات مشابهی یافت نشد که نتایج با آنها مقایسه گردد.

نتیجه‌گیری نهایی

در این مطالعه میزان استخراج ترکیبات فنولی با روش میکروویو از برگ‌های اکالیپتوس در غلظت‌های اتانول و زمان استخراج مختلف تعیین و روند استخراج آن توسط شبکه‌های عصبی مصنوعی مدلسازی گردید. با افزایش زمان استخراج و غلظت

شبکه‌های عصبی مصنوعی. فصلنامه علوم و صنایع غذایی، دوره ۷، شماره ۱، صفحات ۴۹-۳۹

Ahmadi, F., Kadivar, M. and Shahedi, M. (2007). Antioxidant activity of *Kelussia odoratissima* Moza. in model and food systems. Food Chemistry. 105: 57-64.

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.

Cimpoi, C., Cristea, V., Hosu, A., Sandru, M and Seserman, L. (2011). Antioxidant activity prediction and classification of some teas using artificial neural networks. Food Chemistry. 127: 1323-1328.

Gutes, A., Cespedes, F., Alegret, S and del Valle, M. (2005). Determination of phenolic compounds by a polyphenol oxidase amperometric biosensor and artificial neural network analysis. Biosensors and Bioelectronics. 20:1668-1673.

Kashaninejad, M., Dehghani, A.A. and Kashiri, M. (2009). Modeling of wheat soaking using two artificial neural networks (MLP and RBF). Journal of Food Engineering. 91: 602-607.

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

McDonald, S., Prenzler, P.D., Autolovich, M. and Robards, K. (2001). Phenolic content and antioxidant activity of olive extracts. Food Chemistry. 73:73-84.

Mour, A., Srucz, G.M., Franco, D. and Dominguez, J. (2001). Natural antioxidant from residual sources. Food chemistry. 72: 145-171.

Pan, X., Liu, H., Jia, G. and Shu, Y.Y. (2000). Microwave assisted extraction of glycyrrhizic acid from licorice root. Biochemical Engineering Journal. 5: 173-77.

Pan, X., Niu, G. and Liu, H. (2001). Microwave assisted extraction of tanshinones from *Salvia multiorrhiza* bunge with analysis by high performance liquid chromatography. Journal of Chromatography A. 922, 371-75.

Pan, X., Niu, G. and Liu, H. (2003). Microwave-assisted extraction of tea polyphenols and tea caffeine from green tea leaves. Chemical Engineering and Processing. 42: 129-133.

اتانول تا ۵۰ درصد میزان ترکیبات فنلی افزایش یافت ولی با افزایش غلظت اتانول تا ۱۰۰ درصد، میزان این ترکیبات کاهش یافت. پیکربندی‌های مختلف شبکه عصبی چند لایه پرسپترون برای پیشگویی میزان استخراج ترکیبات فنلی مورد آزمون قرار گرفت و نتایج نشان داد، مدل شبکه عصبی مصنوعی با تابع محرک تانژانت‌هایپربولیک و دارای ۱۶ نرون در لایه پنهان، کمترین میزان خطا و بیشترین میزان همبستگی را در پیشگویی ترکیبات فنلی در طی استخراج با مایکروویو دارد. در نهایت می‌توان گفت که مقادیر بالای همبستگی، گویای کارایی بالای شبکه عصبی مصنوعی در پیش‌گویی و شبیه‌سازی میزان استخراج ترکیبات فنلی با روش مایکروویو می‌باشد.

منابع

دهقانی، ا.ا.، زنگانه، م.ا.، مساعدی، ا. و کوهستانی، ن. (۱۳۸۸). مقایسه تخمین بار معلق به دو روش منحنی سنج رسوب و شبکه عصبی مصنوعی (مطالعه موردی رودخانه دوغ استان گلستان). مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی، جلد شانزدهم، ویژه نامه ۱- الف، صفحات ۲۷۶-۲۶۶.

دهقانی، ا.ا.، هاشمی‌نجفی، س.ف.، ایوب‌زاده، س.ا. و مشکاتی، م.ا. (۱۳۸۸). تخمین هوشمند حداکثر عمق آب شکستگی اطراف آب شکن‌های L شکل با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی و سیستم استنتاج فازی-عصبی. مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، جلد شانزدهم، شماره اول، صفحات ۱۶۱-۱۴۳.

شریفی، م.، رفیعی، ش.، کیهانی، ع. و امید، م. (۱۳۸۹). شبیه‌سازی مدل سینتیک خشک شدن بستر نازک پرتقال رقم تامسون با استفاده از

- Torrecilla, J.S., Mena, M.L., Yanez-Sedeno, P and Garcia, J. (2007).** Application of artificial neural network to the determination of phenolic compounds in olive oil mill wastewater. *Journal of Food Engineering*. 81:544–552.
- Torrecilla, J.S., Mena, M.L., Yanez-Sedeno, P and Garcia, J. (2008).** Field determination of phenolic compounds in olive oil mill wastewater by artificial neural network. *Biochemical Engineering Journal*. 38:171–179.
- Trojanowicz, M., Jagielska, A., Rotkiewicz, P., and Kierzek, A. (1999).** flow-injection determination of phenols with tyrosinase amperometric biosensor and data processing by neural network. *Chemia Analityczna*. 44, 865–878.
- Wang, L. and Weller, C.L. (2006).** Recent advances in extraction of nutraceuticals from plants. *Trends in Food Science and Technology*. 17: 300-312.
- Xiao, W., Han, N. and Shi, B. (2008).** Microwave-assisted extraction of flavonoids from *Radix Astragali*. *Separation and Purification Thechnology*. 62(3): 614-618.

Archive of SID