



استخراج اسانس بیدمشک (*Salix aegyptiaca L.*) با روش تقطیر مقاومتی و مدل‌سازی سینتیک

استخراج با شبکه عصبی مصنوعی

محسن زندی^{۱*}، علی گنجلو^۲، ماندانا بی مکر^۲

۱- استادیار، گروه علوم و مهندسی صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران.

۲- دانشیار، گروه علوم و مهندسی صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران.

چکیده

اطلاعات مقاله

در این پژوهش، تاثیر متغیرهای مختلف فرایند تقطیر مقاومتی شامل گرادیان ولتاژ (۵، ۱۵ و ۲۵ ولت بر سانتی‌متر)، زمان استخراج (۳۰، ۷۵ و ۱۲۰ دقیقه) و غلظت نمک کلرید سدیم (۰/۵، ۱ و ۱/۵ درصد) بر عملکرد استخراج، مصرف انرژی و محتوای فنول کل اسانس بیدمشک مورد بررسی قرار گرفت و با روش تقطیر آبی مقایسه شد. در نهایت از مدل‌سازی شبکه عصبی مصنوعی برای پیش‌بینی سینتیک استخراج اسانس استفاده شد. نتایج نشان داد که بازده استخراج، مصرف انرژی و محتوای فنول کل به‌طور معنی‌داری تحت تاثیر متغیرهای زمان استخراج و گرادیان ولتاژ می‌باشد ($p < 0/05$). بازده اسانس به‌دست آمده توسط روش‌های تقطیر مقاومتی و تقطیر آبی به‌ترتیب برابر $0/119 \pm 0/012$ و $0/081 \pm 0/01$ بود. بین وزن مخصوص، ضریب شکست و محتوای فنول کل اسانس حاصل از روش‌های تقطیر مقاومتی و تقطیر آبی تفاوت معنی‌داری وجود نداشت ($p > 0/05$)، با این حال IC_{50} اسانس استخراج شده توسط روش تقطیر مقاومتی به‌طور معنی‌داری ($p < 0/05$) بالاتر از اسانس به‌دست آمده با روش تقطیر آبی بود. در طراحی مدل شبکه عصبی مصنوعی گرادیان ولتاژ، زمان استخراج و غلظت نمک به‌عنوان ورودی در نظر گرفته شد و بازده استخراج اسانس به‌عنوان خروجی مدل پیش‌بینی گردید. نتایج نشان داد که بهترین عملکرد پیش‌بینی مربوط به پیکربندی ۳-۹-۸ بود ($RMSE = 0/036$ و $R^2 = 0/99$). بنابراین، می‌توان نتیجه گرفت که روش تقطیر مقاومتی برای استخراج اسانس قابل استفاده است و مدل شبکه عصبی مصنوعی یک ابزار کمی کارآمد در پیش‌بینی سینتیک استخراج اسانس است.

تاریخ‌های مقاله:

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۵/۲۴

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۷/۱۲

کلمات کلیدی:

بیدمشک،

تقطیر مقاومتی،

شبکه عصبی مصنوعی،

بازده استخراج.

DOI: 10.52547/fsct.18.120.14

DOR: 20.1001.1.20088787.1400.18.120.14.6

* مسئول مکاتبات:

Zandi@znu.ac.ir

۱- مقدمه

بیدمشک^۱ با نام علمی *سالیکس ایجیپتیکا* (*Salix aegyptiaca L.*) به گروهی از درخت یا درختچه‌های زینتی از سرده بید گفته می‌شود که سنبله‌های آن (که پرمانند و دارای اسانس معطری هستند) در آغاز فصل بهار به عمل می‌آیند. *سالیکس ایجیپتیکا* دارای گل‌های زرد کم‌رنگ دم‌گربه‌ای با برگ‌های بیضوی و دندانه‌دار است و ارتفاع درخت آن به ۹ متر می‌رسد؛ گل‌های این گیاه از اوایل اسفند تا اواسط فروردین ظاهر می‌شوند. اسانسی که از این گیاه گرفته می‌شود عرق بیدمشک نام دارد که به‌طور سنتی برای معطر کردن شربت و برخی غذاها استفاده می‌گردد [۱ و ۲]، این گیاه در طب سنتی دارای خواص درمانی بالا شامل درمان و تسکین سردرد (ناشی از عوامل محیطی یا تغذیه‌ای)، محرک دستگاه گوارش، محافظت‌کننده قلب و عروق، اثر ملین یا ضدیبوست، آرام‌بخش، ضد درد در دردهای حاد، افزایش میل جنسی و ریفلاکس معده و مری، خواب‌آور، ضدتبخال، ضدالتهاب، ضدعفونی‌کننده و فعالیت ضداکسایشی است [۳-۱].

روش‌های مختلفی برای جداسازی اسانس‌ها وجود دارد که از آن می‌توان به روش‌های سنتی مانند تقطیر آبی، تقطیر بخار و استخراج با حلال آلی اشاره نمود. این روش‌ها اغلب معایبی نظیر تلفات ترکیبات فرار و طولانی بودن زمان استخراج دارند و همچنین به‌عنوان روش‌های پر انرژی شناخته می‌شوند. به‌علاوه، دمای بالا می‌تواند باعث تخریب جزئی یا کامل ترکیبات طبیعی به‌ویژه مونوترپن‌ها شود که در شرایط تقطیر بخار نسبت به تغییرات ساختاری آسیب‌پذیر هستند (۴). برای بهبود کارایی این روش‌ها، اخیراً فناوری‌های جدید همراه با تکنیک‌های سبز مانند فراصوت^۲، حرارت‌دهی مقاومتی، سیال فوق بحرانی^۳ و استخراج با کمک میدان الکتریکی پالسی^۴ اجرا شده است [۵-۷]. در این

میان، حرارت‌دهی مقاومتی یک فناوری حرارتی جدید است که می‌تواند دمای محصولات را هنگام عبور جریان‌های الکتریکی افزایش دهد. این فناوری به‌دلیل کاربردهای مختلف بالقوه از جمله خشک‌کردن، آنزیم‌بری، تبخیر، تخمیر، پاستوریزاسیون و استخراج مورد توجه خاص قرار گرفته است. حرارت‌دهی مقاومتی در مقایسه با گرمایش معمولی، زمان فرآیند کوتاه‌تر، بهره‌وری انرژی بهتر و هزینه‌های عملکردی پایین‌تر دارد [۹-۷]. تقطیر مقاومتی^۵ یک سیستم تقطیر است که در آن منبع گرمایش سنتی با سیستم حرارت‌دهی مقاومتی جایگزین شده است [۱۰]. این روش جدید برای استخراج اسانس از گیاهان معطر و تقطیر اتانول پیشنهاد شده است. این فناوری نوظهور از حرارت‌دهی مقاومتی برای تولید سریع گرما در داخل مواد (بسته به هدایت الکتریکی آن) استفاده می‌کند. در نتیجه، تخریب بیشتر و سریع‌تر سلول‌ها و همچنین سرعت گرم شدن بیشتر می‌تواند زمان فرآیند مورد نیاز را کاهش دهد. این روش برای استخراج اسانس به‌عنوان یک روش سریع و سازگار با محیط زیست نسبت به تقطیر آبی است [۱۱]. از آنجائی که گرمایش مستقیم توسط فرآیند حرارت‌دهی مقاومتی به هدایت الکتریکی محدود می‌شود و آب مقطر یک عایق الکتریکی استثنایی است، آب نمک به‌عنوان فاز مایع در این فرآیند استفاده می‌شود. حرارت‌دهی مقاومتی فقط در سیستم‌های مداوم آب کار می‌کند (به‌دلیل ضرورت تحرک یونی) و مواد با هدایت الکتریکی پایین مانند قطرات روغن در سیستم‌های مخلوط (به عنوان مثال گیاه معطر) نمی‌توانند مستقیماً توسط حرارت‌دهی مقاومتی گرم شوند؛ اما قطرات روغن به‌دلیل ابعاد کوچک به سرعت توسط انتقال حرارت از فاز آبی مجاور گرم می‌شوند، بنابراین برای قطرات روغن (با هدایت الکتریکی پایین) قابل انجام است [۱۲-۱۴]. نتایج نشان می‌دهند که روش تقطیر مقاومتی انرژی کمتری مصرف می‌کند، زمان استخراج کمتری دارد و تقریباً همان مقدار اسانس تولید می‌کند. هنگام استفاده از سیستم تقطیر مقاومتی می‌توان از گرمایش و استخراج

1. Pussy willow
2. Ultrasound
3. Supercritical fluid
4. Pulsed electric field-assisted extraction

5. Ohmic-assisted hydrodistillation

[۲۱]. گزارش شده است؛ ولی تا کنون گزارشی مبنی بر استفاده از آن در مدل‌سازی فرایند استخراج با روش تقطیر مقاومتی ارائه نشده است. لذا هدف از انجام این مطالعه در درجه اول بررسی عوامل موثر بر فرایند استخراج اسانس بیدمشک به روش تقطیر مقاومتی و سپس بررسی امکان استفاده از روش شبکه عصبی مصنوعی برای پیش‌بینی بازده استخراج اسانس بیدمشک با استفاده از تقطیر مقاومتی بود.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- مواد گیاهی و شیمیایی

گل آذین دم‌گربه‌ای^۶ بیدمشک (*Salix aegyptiaca L.*)، قبل از طلوع آفتاب از گیاهان کشت‌شده در باغی واقع در شهرستان ارومیه (استان آذربایجان غربی- ارتفاع ۱۳۳۳ متر از آب‌های آزاد) در ماه فروردین سال ۱۴۰۰ برداشت شد و پس از تایید گونه و سایه خشک نمودن آن در هوای آزاد، تا زمان استفاده در شرایط کنترل‌شده از نظر رطوبتی و نور (تاریک) در دمای ۴ درجه سلسیوس نگهداری گردید. کلیه مواد شیمیایی از شرکت‌های مرک، سیگما آلدریج (آلمان)، دکتر مجملی (ایران) و قطران شیمی (ایران) خریداری شد.

۲-۲- استخراج اسانس با روش تقطیر آبی

تقطیر آبی با استفاده از دستگاه تقطیر شامل بالن به حجم ۲۰۰۰ میلی‌لیتر، کلاونجر شیشه‌ای، شوف بالن و سنسور دمایی انجام پذیرفت. برای این منظور ۳۰۰ گرم بیدمشک گل آذین با ۱۵۰۰ میلی‌لیتر آب نمک ۰/۵ درصد (کلرید سدیم) به مدت ۱۸۰ دقیقه جوشانده شد. افزودن نمک به منظور قابلیت مقایسه با روش تقطیر مقاومتی انجام پذیرفت. اسانس به دست آمده پس از حذف رطوبت اضافی با سولفات سدیم بدون آب تا زمان استفاده در فریزر ۱۸- درجه سلسیوس در ویال شیشه‌ای تیره نگهداری

سریع‌تر و تمیزتر استفاده کرد [۱۵]. علی‌رغم مزایای بی‌شمار تقطیر مقاومتی، تحقیقات از امکان واکنش‌های الکتروشیمیایی و مهاجرت یون‌های فلزی گزارش می‌دهند و در حقیقت خوردگی الکترودها از جمله موانعی است که کاربرد تجاری این روش را محدود می‌کند [۱۶].

عوامل مختلفی ممکن است عملکرد سیستم مقاومتی را تحت تأثیر قرار دهند. به‌عنوان مثال، سرعت گرمایش سیستم به قدرت میدان الکتریکی، هدایت الکتریکی ماده غذایی و همچنین فرکانس مورد استفاده بستگی دارد. قدرت میدان الکتریکی با ولتاژ ورودی مرتبط است. همچنین، رسانایی الکتریکی مواد غذایی (از ۰/۱ تا ۳ ثانیه در متر) ممکن است تحت تأثیر اسید، نمک یا محتوای آب باشد و در نتیجه، وجود یا غلظت برخی از الکترولیت‌ها مانند کلرید سدیم احتمالاً میزان هدایت الکتریکی سیستم را تغییر می‌دهد [۱۷، ۱۶، ۱۲، ۴]. تحقیقات در مورد رفتار این عوامل برای بهبود کارایی سیستم بسیار مهم است. اگرچه اطلاعات محدودی در مورد اثرات ولتاژ بر روی سیستم مقاومتی وجود دارد [۴، ۱۱، ۵].

شبکه‌های عصبی مصنوعی، به‌دلیل ویژگی‌های قابل‌توجه و قابل‌اعتماد آنها در مدل‌سازی روابط پیچیده بین متغیرها، اخیراً در زمینه‌های مختلفی مورد استفاده قرار گرفته است. فرایند یادگیری مغز انسان اولین نکته در مورد توسعه ساختارهای عددی شبکه‌های عصبی بود. بنابراین، آنها به عنوان ابزارهای ریاضی جایگزین برای حل مشکلات مختلفی که در حوزه شناسایی سیستم، پیش‌بینی، شناسایی الگو، طبقه‌بندی، کنترل فرآیند و غیره اتفاق می‌افتد، توسعه یافتند و استفاده شدند [۱۸]. چندین پژوهش در زمینه استفاده از مدل‌سازی با شبکه‌های عصبی مصنوعی در استخراج اسانس دانه کاریا (*Hildegardia barteri*) با روش سیال فوق بحرانی [۱۹]، استخراج اسانس ترخون با روش استخراج به کمک امواج فراصوت [۱۸]، استخراج اسانس نعناع فلفلی با روش استخراج به کمک مایکروویو [۲۰] و استخراج اسانس زردچوبه با روش تقطیر آبی

6. Catkins

گردید.

۲-۵- محتوای فنول کل (TPC)

برای این منظور از روش احیاء معرف فولین-سیوکالتو^۷ در محیط قلیایی استفاده گردید. در این روش محلول فولین-سیوکالتو به عنوان معرف و اسید گالیک که یک نوع اسید فنولی می باشد، به عنوان استاندارد جهت رسم منحنی استفاده شد. برای این منظور از هر تیمار ۲ غلظت (۵۰۰۰ ppm و ۱۰۰۰۰) در متانول تهیه گردید، سپس به ۵ میکرولیتر از آن، آب مقطر، معرف فولین-سیوکالتو و سدیم کربنات ۷/۵ درصد اضافه گردید. بعد از گذشت ۳۰ دقیقه نگهداری در مکان تاریک و دمای اتاق میزان جذب نوری نمونه‌ها در مقایسه با شاهد، توسط دستگاه اسپکتروفوتومتر (Specord 250, Jena, Germany) در طول موج ۷۶۵ اندازه‌گیری شد. مقدار کل ترکیبات فنولی از معادله خط رسم شده بر مبنای غلظت‌های مختلف گالیک اسید به عنوان ترکیب فنولی استاندارد به صورت میلی‌گرم معادل گالیک اسید بر گرم گیاه خشک محاسبه گردید [۲۴ و ۲۳].

۲-۶- فعالیت ضد اکسایشی

برای این منظور از روش تعیین فعالیت مهار رادیکال‌های آزاد DPPH (۲،۲-دی فنیل-۱-پیکریل هیدرازیل) استفاده گردید. ۵۰ میکرولیتر از غلظت‌های مختلف نمونه‌های اسانس در متانول (۱۰ تا ۱۰۰ میکروگرم در میلی‌لیتر) به ۵ میلی‌لیتر محلول متانول ۰/۰۰۴ درصدی DPPH اضافه شد. مخلوط تکان داده شد و به مدت ۳۰ دقیقه در تاریکی و در دمای اتاق نگهداری گردید. میزان جذب نمونه‌ها در ۵۱۷ نانومتر نسبت به نمونه شاهد با استفاده از دستگاه اسپکتروفوتومتر (Specord 250, Jena, Germany) اندازه‌گیری شد. از محلول DPPH به عنوان شاهد استفاده گردید. IC₅₀ (میکروگرم بر میلی‌لیتر) (مقدار نمونه (میکرولیتر) لازم برای کاهش غلظت اولیه DPPH تا ۵۰ درصد (IC₅₀)) توسط یک منحنی نمایی تعیین شد [۴].

۲-۷- خواص فیزیکی اسانس بیدمشک

۲-۳- استخراج اسانس با روش تقطیر مقاومتی

استخراج اسانس از گل آذین‌های بیدمشک با روش تقطیر مقاومتی در سه گرادیان ولتاژ (۵، ۱۵ و ۲۵ ولت بر سانتی‌متر)، سه زمان فرایند (۳۰، ۷۵ و ۱۲۰ دقیقه) و سه غلظت نمک کلرید سدیم (۰/۵، ۱ و ۱/۵ درصد (وزنی/حجمی)) انجام شد. سیستم تقطیر مقاومتی مورد استفاده شامل محفظه حرارت‌دهی مقاومتی، کلاونجر شیشه‌ای، ترانسفورماتور ولتاژ متغیر (واریاک)، سیستم کنترل ولتاژ، دما (ترموکوپل تیپ K) و جریان و نیز همزن مغناطیسی بود. محفظه حرارت‌دهی مقاومتی شامل بالن شیشه‌ای به حجم ۲۰۰۰ میلی‌لیتر مجهز به دو الکتروود از جنس تیتانیوم بود که در فاصله ۰/۱ متری از یکدیگر واقع شده‌اند. گل آذین بیدمشک با نسبت ۱ به ۵ با آب نمک (غلظتی بین ۰/۵ تا ۱/۵ درصد بسته به تیمار) مخلوط گردید. نمک رسانایی کافی برای فرایند را تامین می‌نماید. دمای مورد نیاز تا نقطه جوش محلول با اعمال ولتاژهای ثابت (۲۵۰-۵۰ ولت) بدست آمد و فرایند بسته به تیمار پس از ۳۰ تا ۱۲۰ دقیقه متوقف گردید. اسانس بدست آمده با سولفات سدیم بدون آب آب‌گیری شد و در دمای ۱۸- درجه سلسیوس و به دور از نور در ویال شیشه‌ای تیره نگهداری گردید.

۲-۴- بازده استخراج و مصرف انرژی

بازده استخراج (درصد بر مبنای وزن خشک) با استفاده از نسبت وزن اسانس استخراج شده (گرم) به وزن خشک گیاه (گرم) محاسبه گردید. مصرف انرژی در روش تقطیر مقاومتی به صورت کیلووات ساعت بر هر گرم با استفاده از رابطه ۱ محاسبه گردید و در روش تقطیر آبی نیز پس از اندازه‌گیری با کمک وات‌متر (MPM 10, TAIPO, Taiwan) و تقسیم آن به وزن اسانس استخراجی، میزان مصرف انرژی به ازای هر گرم اسانس بدست آمد [۲۲]:

$$EC \left(\frac{kWh}{g} \right) = \frac{\int V I dt}{m_{EO}} \times \frac{1 h}{3600 s} \quad (\text{رابطه ۱})$$

7. Folin-ciocalteu

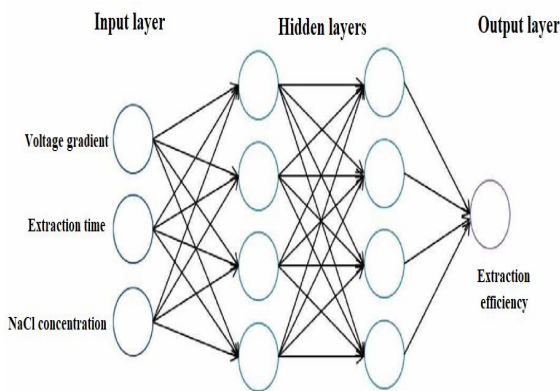


Fig 1 ANN structure.

در این پژوهش، متغیرهای ورودی و خروجی در محدوده ۰ تا ۱ نرمال شدند. هدف از نرمال‌سازی داده‌ها این بود که مقدار تمام عناصر در یک الگو معادل باشد. در صورت عدم نرمال‌سازی، ممکن است اثرات برخی متغیرها در نظر گرفته نشود و برخی اطلاعات ارزشمند در پیش‌بینی داده‌های خروجی از دست برود. انتقال داده‌های نرمال در شبکه پرسپترون چندلایه‌ای از لایه ورودی به لایه پنهان، از طریق وزن تعیین‌شده انجام گردید؛ نورون‌های لایه خروجی با استفاده از تابع آستانه‌ای انتقال سیگموئید لگاریتمی (Logsig) خروجی مدل (بازده استخراج پیش‌بینی شده) را تولید نمود. همچنین از الگوریتم پس‌انتشار خطای لونیگ-مارکوآرت^{۱۰} به منظور آموزش شبکه استفاده شد. در این مطالعه، داده‌ها به‌طور تصادفی برای سه بخش آموزش (۷۰ درصد)، ارزیابی (۱۰ درصد) و آزمون (۲۰ درصد) تقسیم گردید؛ به‌طوری‌که از ۸۱ نمونه سینتیک استخراج، ۵۷ نمونه برای آموزش، ۸ نمونه برای ارزیابی و ۱۶ نمونه نیز برای آزمون مدل استفاده شد؛ همچنین نرخ آموزش به روش خطا و آزمون و نیز مومتوم به ترتیب ۰/۲ و ۰/۳ در نظر گرفته شد.

به‌منظور بررسی تأثیر هر متغیر ورودی بر پیش‌بینی بازده استخراج، عملکرد پیکربندی‌های زیر مجموعه شبکه عصبی مصنوعی با متغیرهای ورودی کمتر (۱ و ۲ ورودی) نیز ارزیابی

خصوصیات فیزیکی اسانس بیدمشک شامل ضریب شکست و وزن مخصوص به‌ترتیب توسط رفاکومتر (Kruss, Germany) و پیکنومتر اندازه‌گیری شد. اندازه‌گیری ضریب شکست و وزن مخصوص نمونه‌ها با توجه به استاندارد کدکس به‌ترتیب در دمای ۲۵ و ۲۰ درجه سلسیوس انجام شد (۲۵). متغیرهای رنگی اسانس (L^* ، a^* و b^*) با کمک دستگاه رنگ‌سنج (TES 135A, Taiwan) اندازه‌گیری شد [۱۷ و ۲۶]. علاوه بر آن، ظاهر و رنگ بصری اسانس با روش توصیف شده توسط کدکس تعیین گردید [۲۵].

۲-۸- سینتیک استخراج

محتوای اسانس در فواصل زمانی مشخص اندازه‌گیری گردید تا سینتیک استخراج با توجه به بازده تولید اسانس در زمان مدل‌سازی گردد. برای این منظور مقدار روغن استخراجی بر اساس میلی‌متر گزارش گردید.

۲-۹- مدل‌سازی با شبکه عصبی مصنوعی

شبکه عصبی مصنوعی مجموعه‌ای از گره‌ها و یا نورون‌ها با سه عنصر اصلی وزن، بایاس و تابع انتقال است. وزن‌ها و بایاس‌ها طی فرایند آموزش که در حقیقت رابطه بین نورون‌ها است، ابتدا توسط اعداد کوچک تصادفی بارگذاری می‌شوند و سپس این اعداد تصحیح می‌گردند. در این پژوهش، شبکه پرسپترون چندلایه‌ای^۸ برای پیش‌بینی عملکرد استخراج با کمک جعبه ابزار شبکه عصبی نرم افزار متلب (R2019a، آمریکا) ایجاد گردید. شبکه پرسپترون چندلایه‌ای در عین سادگی، دقت بالایی نیز دارد. برای این منظور از شبکه‌ای با الگوریتم پس‌انتشار خطا^۹ و تعداد مختلفی لایه پنهان استفاده گردید. شبکه عصبی طراحی شده دارای یک لایه ورودی با سه نورون شامل گرادیان ولتاژ، زمان استخراج و غلظت نمک، یک یا دو لایه پنهان (با تعداد نورون بین ۱ تا ۲۰) و یک لایه خروجی با یک نورون (بازده استخراج) بود (شکل ۱).

8. Multi-layer perceptron

9. Backpropagation

10. Levenberg-Marquardt

۳- نتایج و بحث

۳-۱- بررسی تغییرات بازده استخراج، مصرف

انرژی و محتوای فنول کل در فرایند تقطیر

مقاومتی

تأثیر متغیرهای موثر در فرایند شامل زمان استخراج (۳۰، ۷۵ و ۱۲۰ دقیقه)، گرادیان ولتاژ (۵، ۱۵ و ۲۵ ولت بر سانتی متر) و غلظت نمک (۰/۵، ۱ و ۱/۵ درصد) بر بازده اسانس بیدمشک در شکل ۲ نشان داده شده است. نتایج نشان داد که بازده استخراج بین ۰/۱۴۹ - ۰/۸۵ درصد (بر مبنای وزن خشک) متغیر است و به طور معنی داری تحت تأثیر اثرات دو عامل زمان استخراج و گرادیان ولتاژ می باشد ($p < 0/05$) اما تغییرات غلظت نمک تأثیر معنی داری نداشت ($p > 0/05$). همچنین اثرات متقابل دوگانه زمان استخراج با گرادیان ولتاژ و زمان استخراج با غلظت نمک نیز معنی دار بود ($p < 0/05$). تجزیه و تحلیل آماری حاکی از تأثیر معنی دار اثر درجه دوم عوامل نیز بر بازده استخراج دارند. ضریب تبیین مدل درجه دوم برای پیش بینی پاسخ برابر ۰/۹۸۸۱ بود که نشان دهنده نزدیکی داده های تجربی با مقادیر پیش بینی می باشد. بر اساس نتایج به دست آمده بازده استخراج با افزایش زمان استخراج و گرادیان ولتاژ افزایش یافت به طوری که بیشترین بازده استخراج (۰/۱۴۹ درصد (بر مبنای وزن خشک)) در زمان استخراج و گرادیان ولتاژ به ترتیب ۱۲۰ دقیقه و ۲۵ ولت بر سانتی متر حاصل گردید. شمس پور و همکاران مقدار اسانس استخراج شده از گل آذین بیدمشک را با روش تقطیر آبی ۰/۰۷۵ درصد گزارش کردند [۱].

گردید. جدول ۱ پیکربندی های مختلف مورد استفاده در این پژوهش را نشان می دهد. به منظور ارزیابی عملکرد شبکه در پیش بینی بازده استخراج از ضریب تبیین^{۱۱} (R^2) بین مقدار واقعی با مقدار پیش بینی شده و ریشه میانگین مربعات خطا^{۱۲} (RMSE) برای یافتن بهترین پیکربندی استفاده گردید:

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (O-P)^2}{\sum_{i=1}^n (O-\bar{P})^2} \quad (\text{رابطه ۲})$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (O-P)^2}{n-p}} \quad (\text{رابطه ۳})$$

که O، P، n و p به ترتیب داده تجربی، داده پیش بینی شده، تعداد مشاهده و تعداد متغیرهای مدل است.

Table 1 Different ANN subset architectures used to predict the extraction yield.

Model	Architecture	Input parameters
IP11	1-n-1	Voltage gradient
IP12	1-n-1	Extraction time
IP13	1-n-1	Salt concentration
IP21	2-n-1	Voltage gradient & extraction time
IP22	2-n-1	Voltage gradient & salt concentration
IP23	2-n-1	Extraction time & salt concentration
IP31	3-n-1	Voltage gradient, extraction time & salt concentration

۲-۱۰- تجزیه و تحلیل آماری

داده ها با استفاده از تجزیه و تحلیل واریانس (ANOVA) یک طرفه با کمک نرم افزار SPSS (نسخه ۲۴، آمریکا) مورد تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفتند. تفاوت بین میانگین متغیرهای وابسته با آزمون تعقیبی دانکن در سطح معنی داری ۵ درصد مقایسه شد. رسم نمودارها و محاسبه نوار خطا^{۱۳} با کمک نرم افزار اکسل (نسخه ۲۰۱۹، آمریکا) صورت پذیرفت. تمام آزمون ها حداقل با سه تکرار انجام شد.

11. R-squared
12. Root mean squared error
13. Error bar

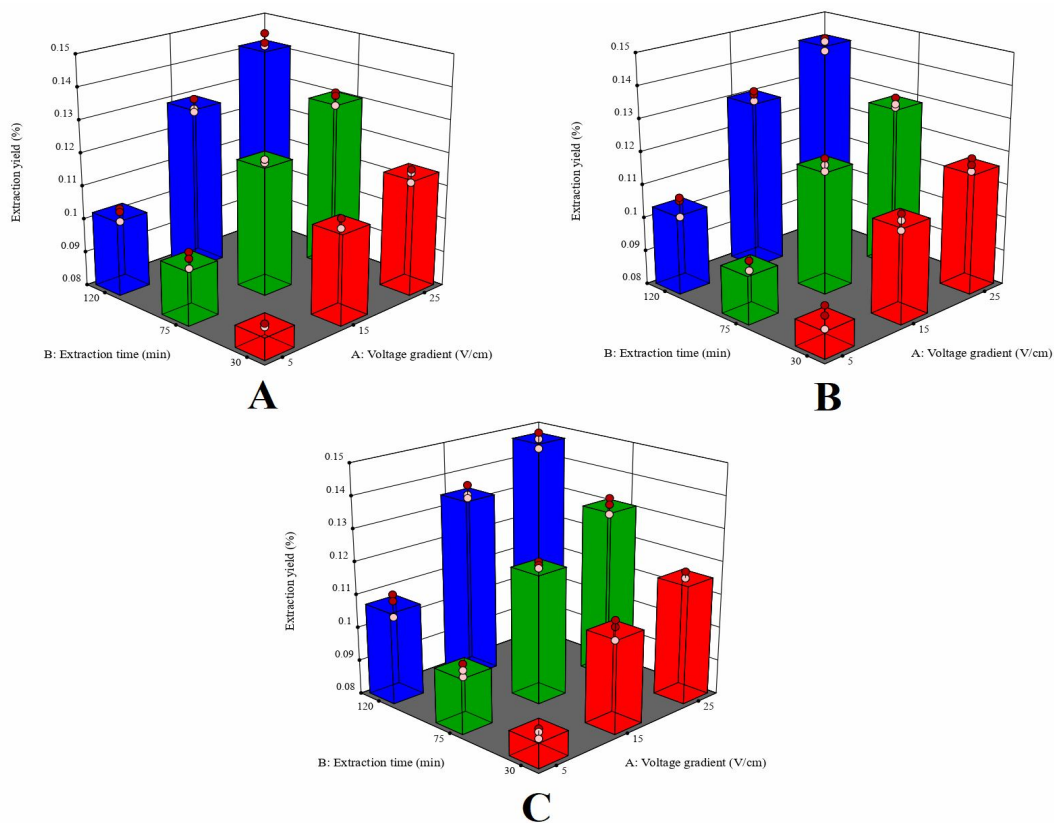


Fig 2 Extraction yield of *S. aegyptiaca* essential oil using ohmic assisted hydrodistillation method (A) 0.5% salt concentration, (B) 1% salt concentration and (C) 1.5% salt concentration

تفاوت در مصرف انرژی روش تقطیر مقاومتی نسبت به متغیرهای مستقل در شکل ۳ نشان داده شده است. نتایج نشان داد که افزایش گرادیان ولتاژ و زمان استخراج تاثیر معنی داری بر میزان مصرف انرژی به عنوان اثرات اصلی دارد ($p < 0.05$) و این درحالی است که تغییر غلظت نمک بر مصرف انرژی به طور معنی دار تاثیر نداشت ($p > 0.05$). همچنین اثرات متقابل دوگانه زمان استخراج با گرادیان ولتاژ و زمان استخراج با غلظت نمک هم بر میزان مصرف انرژی معنی دار بود ($p < 0.05$). نتایج مشابهی توسط تانک و کوکا در استخراج اسانس میخک [۲۲] و گواهیان و یان-هوا در استخراج اسانس اسطوخودوس [۱۲] به روش تقطیر مقاومتی حاصل گردید. کاملاً روشن است که افزایش گرادیان ولتاژ مستلزم مصرف انرژی بیشتر است و با بیشتر شدن زمان استخراج نیز مصرف انرژی افزایش می یابد، با این وجود میزان مصرف انرژی کمتر از روش تقطیر آبی است.

نتایج مشابهی توسط سایر محققان از اثر گرادیان ولتاژ و زمان استخراج بر بازده استخراج طی فرایند تقطیر مقاومتی به دست آمده است [۴، ۵، ۱۱، ۱۴]. با این حال، هنوز سازوکار تأثیر گرادیان ولتاژ بر بازده استخراج در روش تقطیر مقاومتی کاملاً روشن نیست؛ فرض بر این است که گرادیان ولتاژ بالاتر ممکن است باعث افزایش نفوذپذیری سلولها از طریق اعمال انرژی مازاد بر غشاء آنها و در نتیجه تغییر ساختار غشاء و ایجاد حفرات گردد [۲۷]. افزایش گرادیان ولتاژ همچنین سبب می گردد که انرژی بیشتری برای شکستن غدد گیاهی حاوی اسانس در دسترس باشد [۱۱]. با بررسی شکل ۲ می توان دریافت که افزایش غلظت نمک باعث بهبود نسبی بازده شده است؛ اگرچه اثر اصلی تغییر غلظت نمک اثر معنی داری بر بازده استخراج ندارد ($p > 0.05$)، ولی اثر متقابل دوگانه آن با زمان استخراج باعث افزایش بازده استخراج می گردد ($p < 0.05$).

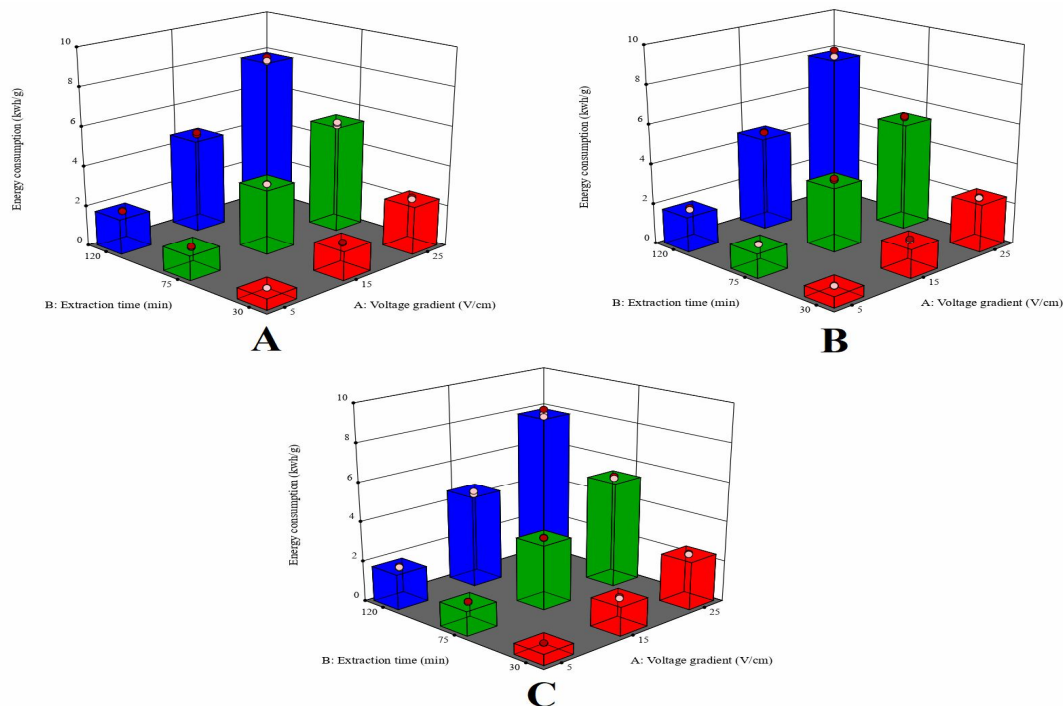


Fig 3 Energy consumption of *S. aegyptiaca* essential oil extraction using ohmic assisted hydrodistillation method (A) 0.5% salt concentration, (B) 1% salt concentration and (C) 1.5% salt concentration

نتایج ارزیابی محتوای فنول کل اسانس استخراج شده تحت تاثیر متغیرهای مختلف شامل گرادیان ولتاژ، زمان استخراج و غلظت نمک در شکل ۴ نشان داده شده است. محتوای فنول کل از ۵۹/۸ تا ۷۹/۳ میلی گرم معادل گالیک اسید بر گرم گیاه خشک متغیر بود.

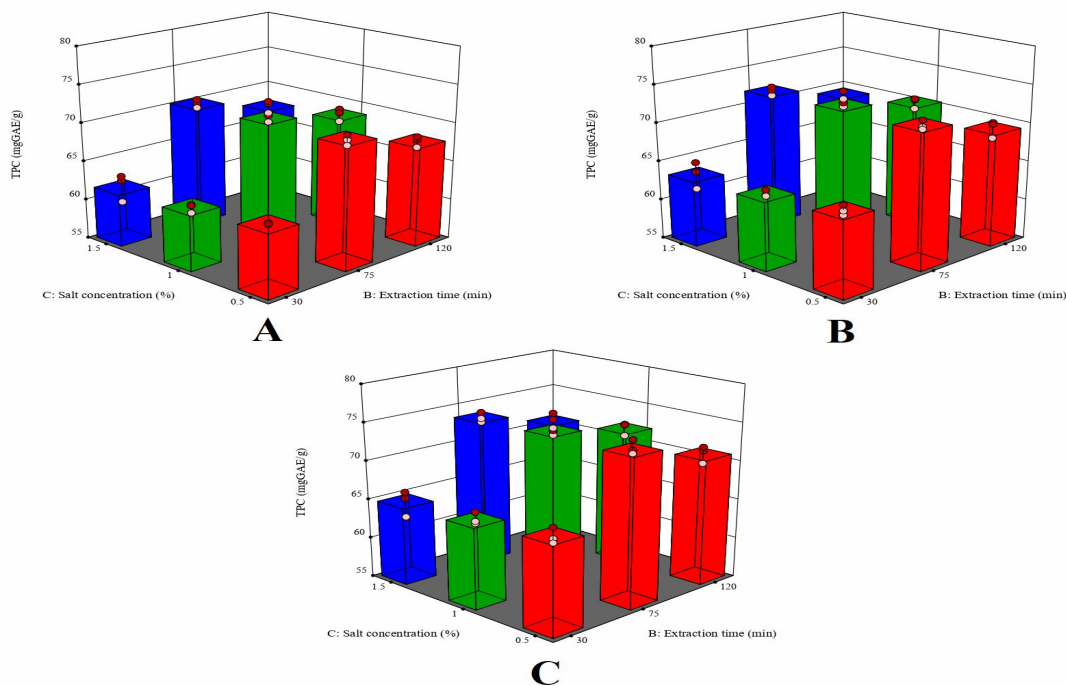


Fig 4 Total phenol content of *S. aegyptiaca* essential oil using ohmic assisted hydrodistillation method (A) 0.5% salt concentration, (B) 1% salt concentration and (C) 1.5% salt concentration

بر خصوصیات عملکردی سیستم استخراج (زمان شروع و پایان تجمع اسانس، طول دوره استخراج، بازده، سرعت تجمع اسانس، سرعت افزایش دما و مصرف انرژی) و ویژگی اسانس تولیدی (محتوای فنول کل و IC_{50}) مورد بررسی قرار گرفت. طول دوره استخراج در روش تقطیر مقاومتی حدود ۵۸ دقیقه بود که این میزان تقریباً ۴۰ درصد روش تقطیر آبی (حدود ۱۱۶ دقیقه) بود و اولین قطرات اسانس حدود ۱۶ دقیقه پس از شروع فرآیند مشاهده گردید که در روش تقطیر آبی حدود ۴۵ دقیقه بود. تولید حجمی گرما در داخل ماتریکس گیاهی به سبب مقاومت آن در برابر جریان الکتریسته عامل سرعت بالاتر حرارت‌دهی (سرعت افزایش دمای ۱۹ درجه سلسیوس بر ثانیه در روش تقطیر مقاومتی نسبت به سرعت حدود ۳/۴ درجه سلسیوس بر ثانیه در روش تقطیر آبی) و در نتیجه آن استخراج سریع‌تر در روش تقطیر مقاومتی نسبت به تقطیر آبی است [۷ و ۱۳]. در این راستا اثر غیر حرارتی روش تقطیر مقاومتی (الکتروپوراسیون) که سبب نفوذپذیری غشاهای دیواره‌های سلولی می‌گردد نیز گزارش شده است [۱۱]. شروع سریع‌تر استخراج، زمان استخراج کل بسیار کوتاه‌تر و عملکرد کمی بیشتر در روش تقطیر مقاومتی با افزایش دما در مقایسه با روش تقطیر آبی سبب صرفه‌جویی در مصرف انرژی در این روش می‌گردد و میزان مصرف انرژی در روش تقطیر مقاومتی حدود یک چهارم روش تقطیر آبی است.

تجزیه و تحلیل نشان داد که تغییرات اعمال شده در گرادیان ولتاژ و زمان استخراج به‌طور معنی‌داری بر محتوای فنول کل موثر است ($p < 0.05$) و اثرات تغییر غلظت نمک معنی‌دار نمی‌باشد ($p > 0.05$). اثرات متقابل دوگانه زمان استخراج و غلظت نمک نیز بر میزان محتوای فنول کل معنی‌دار بود ($p < 0.05$).

افزایش زمان استخراج تا ۷۵ دقیقه سبب افزایش محتوای فنولی گردید که به افزایش استخراج ترکیبات فنولی و افزایش غلظت آنها می‌باشد؛ ولی بعد از این زمان، محتوای فنولی کاهش یافت که علت آن را شاید بتوان به افزایش استخراج ترکیبات سنگین و نیز تخریب حرارتی ترکیبات فنولی نسبت داد. افزایش گرادیان ولتاژ نیز سرعت استخراج اسانس را افزایش می‌دهد و در نتیجه از آسیب حرارتی وارد شده به اسانس جلوگیری می‌نماید [۱۰].

۲-۳- مقایسه فرایند تقطیر مقاومتی با تقطیر آبی

پس از آنکه تاثیر متغیرهای مختلف بر بازده استخراج، مصرف انرژی و محتوای فنول کل اسانس استخراج‌شده با روش تقطیر مقاومتی بررسی گردید؛ با کمک بهینه‌سازی عددی از بین ۲۷ تیمار مختلف، تیماری با گرادیان ولتاژ برابر ۱۵ ولت بر سانتی‌متر، زمان فرایند برابر ۷۵ دقیقه و غلظت نمک برابر ۰/۵ درصد به‌عنوان تیماری با حداکثر بازده و محتوای فنول کل و حداقل مصرف انرژی در بین سایر تیمارها انتخاب گردید. این تیمار با روش تقطیر آبی مقایسه گردید. در جدول ۲ تأثیر روش استخراج

Table 2 Comparison of different extraction methods.

	OAHD	HD
Starting time of oil accumulation (Min)	15.83±2.21 ^a	45.43±4.54 ^a
Total extraction time (Min)	74.11±3.09 ^a	161.35±2.01 ^b
Extraction duration (Min)	58.28±4.01 ^a	115.92±3.46 ^b
Extraction Yield (%v/w)	0.119±0.012 ^a	0.081±0.01 ^b
Rate of essential oil accumulation (mL/min)	0.0059±0.0001 ^a	0.0021±0.0006 ^b
Rate of temperature increase (°C/s)	19.3±0.9 ^a	3.4±0.2 ^b
Electric consumption (Kwh/g)	1.84±0.18 ^a	7.74±0.45 ^b
TPC (mgGAE/g)	72.5±3.6 ^a	76.1±5.3 ^a
IC50 values (µg/mL)	135.3±5.4 ^a	151.6±3.8 ^b

*The same letters indicate that the means are not significantly different ($p < 0.05$). OAHD: Ohmic assisted hydrodistillation and HD: Hydrodistillation.

نتایج منتشر شده توسط سایر محققان، مطابقت دارد (۵، ۷، ۱۳، ۱۴). نتایج نشان داد که محتوای فنول کل اسانس حاصل از روش تقطیر آبی و تقطیر مقاومتی تفاوت معنی‌داری نداشت ($p > 0.05$). همچنین اسانس‌های حاصل از دو روش

بازده استخراج اسانس حاصله با روش تقطیر مقاومتی به‌طور معنی‌داری بالاتر از روش تقطیر آبی بود ($p < 0.05$). بازده بالاتر استخراج در روش تقطیر مقاومتی به‌سبب انفجار غدد حاوی اسانس به‌سبب تولید گرمای داخلی است. نتایج این پژوهش با

انعکاس دو اسانس وجود داشت ($p < 0.05$). با این حال رنگ ظاهری آن‌ها تفاوت چندانی نداشت و در محدوده مشخص شده در کدکس بود. از نظر رنگی هم نمونه اسانس استخراج شده توسط روش تقطیر آبی روشن تر از اسانس حاصل از روش تقطیر مقاومتی بود. با توجه به آزمایشات فیزیکی اسانس‌های استخراج شده می‌توان نتیجه گرفت که روش تقطیر مقاومتی، به‌عنوان یک روش استخراج جدید، هیچ تغییر قابل توجهی در خصوصیات فیزیکی مورد مطالعه اسانس‌های استخراج شده از گل آذین بیدمشک ایجاد نکرده است.

خواص ضد اکسایشی بالایی داشتند که این فعالیت ضد اکسایشی بالاتر با محتوای اوژنول، ترپین‌ها، فنول‌ها و کتون‌های اسانس ارتباط دارد [۱۳]. ولی با این حال IC50 اسانس حاصل از روش تقطیر مقاومتی کمتر از تقطیر آبی بود که نشان از فعالیت ضد اکسایشی بالاتر آن می‌باشد ($p < 0.05$). خصوصیات فیزیکی اسانس‌های حاصل از روش‌های تقطیر آبی و تقطیر مقاومتی در جدول ۳ نشان داده شده است. وزن مخصوص اسانس حاصل از دو روش با هم تفاوت معنی‌داری نداشتند ($p > 0.05$). با این وجود تفاوتی اندک ولی معنی‌داری در شاخص

Table 3 Physical properties of essential oils by OAHD and HD

Physical properties	OAHD	HD
Specific gravity	0.867±0.023 ^a	0.894±0.011 ^a
Refractive index	1.4978±0.0002 ^a	1.4967±0.0001 ^b
Appearance	Chromatic yellow	Pale yellow
<i>L</i> *	40.1±4.3 ^b	59.6±3.7 ^a
<i>a</i> *	21.7±2.1 ^a	8.1±1.9 ^b
<i>b</i> *	46.8±0.07 ^a	46.3±0.04 ^a

*The same letters indicate that the means are not significantly different ($p < 0.05$). OAHD: Ohmic assisted hydrodistillation and HD: Hydrodistillation.

Table 4 Performance evaluation of the ANN architectures with different input parameters.

Model	Number of hidden layer neuron	RMSE	R ²
IP11	7	0.212	0.67
IP12	9	0.262	0.65
IP13	14	0.389	0.51
IP21	8	0.067	0.92
IP22	7	0.184	0.71
IP23	10	0.195	0.69
IP31	9	<u>0.043</u>	<u>0.98</u>

با این حال در بین پیکربندی‌های مختلف بررسی شده در این جدول، پیکربندی ۱-۹-۳ یعنی شبکه‌ای با سه متغیر ورودی (گرادیان ولتاژ، زمان استخراج و غلظت نمک)، یک لایه پنهان با ۷ نورون و یک خروجی (بازده) بهترین عملکرد را داشت؛ به طوری که ریشه میانگین مربعات خطای آن برابر ۰/۰۴۳ است و این بدان معنی است که بازده استخراج پیش‌بینی شده با این روش در مقایسه با مقداری اندازه‌گیری شده تجربی داری مجذور خطای نرمال شده (خطای معیار) برابر ۰/۰۴۳ است. نتایج به دست آمده نشان داد که استفاده از هر سه متغیر در این مورد منجر به کاهش ریشه میانگین مربعات خطای و افزایش ضریب تبیین بین نتایج

۳-۳- مدل‌سازی شبکه عصبی مصنوعی

عملکرد پیکربندی‌های شبکه عصبی مصنوعی با متغیرهای ورودی مختلف در جدول ۴ نشان داده شده است. برای این منظور تنها از یک لایه پنهان استفاده گردید و عملکرد شبکه‌های مختلف با اندازه لایه پنهان شامل ۲ تا ۲۰ نورون مورد مطالعه قرار گرفت و بهترین عملکرد هر پیکربندی با تعداد متغیرهای ورودی تعیین شده برای این محدوده تعداد نورون انتخاب و در جدول ۴ ارائه گردید. ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) گزارش شده در این جدول برابر میانگین مقادیر ریشه میانگین مربعات خطای برای مراحل آموزش، اعتبارسنجی و آزمون است. همان‌طور که در جدول ۴ ملاحظه می‌شود، بهترین عملکرد شبکه عصبی مصنوعی زمانی که از پیکربندی با تنها یک متغیر ورودی استفاده شود، مربوط به پیکربندی با متغیر ورودی گرادیان ولتاژ می‌باشد. بررسی نتایج پیش‌بینی توسط شبکه عصبی مصنوعی با پیکربندی شامل دو متغیر ورودی، نشان‌دهنده موفقیت پیکربندی با ورودی‌های گرادیان ولتاژ و زمان استخراج است که این امر همان‌طور که در بخش قبلی هم مشاهده گردید، به سبب تاثیر معنی‌دار این دو متغیر بر بازده استخراج است.

طی مراحل مختلف آموزش، ارزیابی و آزمون نشان داد که افزایش تعداد نورون در لایه‌های پنهان یا حتی افزایش در تعداد تکرار تاثیر و ارتباطی با افزایش دقت ندارد؛ البته این از ویژگی‌های شبکه‌های عصبی مصنوعی است که پیش‌تر توسط سایر محققان نیز گزارش شده است [۱۸ و ۲۸]. شبکه عصبی مصنوعی به سبب رفتار غیرخطی برای مدل‌سازی رفتارهای غیرخطی موفق‌تر می‌باشد [۱۸]. شکل ۵ نمودار مقادیر پیش‌بینی شده را در مقابل مقادیر داده‌های تجربی نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌گردد، همبستگی خوبی بین داده‌های تجربی با داده‌های پیش‌بینی شده وجود دارد ($R^2=0/991$).

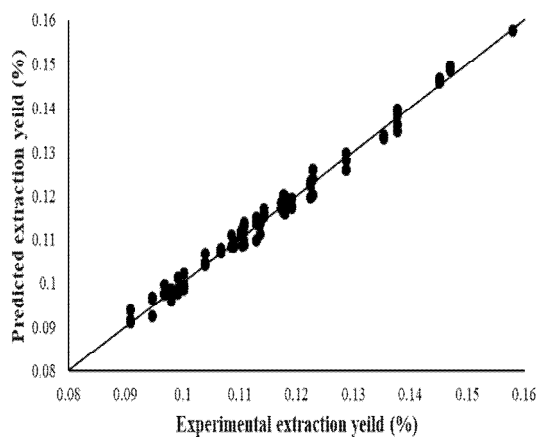


Fig 5 Dispersion curve for the measured and the predicted values of extraction yield (%) by ANN with 3-9-8-1 topology.

۴- نتیجه گیری

نتایج تجزیه و تحلیل نشان داد که تغییرات اعمال شده در گرادیان ولتاژ و زمان استخراج به‌طور معنی‌داری بر بازده استخراج، محتوای فنول کل و مصرف انرژی موثر بود ($p < 0/05$) و اثرات متغیر غلظت نمک معنی‌دار نبود ($p > 0/05$). نتایج مقایسه روش تقطیر مقاومتی با تقطیر آبی نشان داد که بازده استخراج اسانس و فعالیت ضد اکسایشی اسانس حاصل از روش تقطیر مقاومتی به‌طور معنی‌داری بالاتر بود ($p < 0/05$)؛ ولی محتوای فنول کل اسانس حاصل از این دو روش تفاوت معنی‌داری نداشت ($p > 0/05$). با توجه به آزمایشات فیزیکی اسانس‌های استخراج شده می‌توان نتیجه گرفت که روش تقطیر مقاومتی،

پیش‌بینی و تجربی می‌گردد. نتایج حاصل از بخش‌های قبلی نشان داد که تأثیر ورودی‌های گرادیان ولتاژ و زمان استخراج بر بازده استخراج اسانس بیدمشک معنی‌دار بود؛ درحالی‌که اثر غلظت نمک معنی‌دار نبود. همان‌طور که در جدول ۴ نشان داده شده است، هنگام استفاده از گرادیان ولتاژ و زمان استخراج در تعامل با غلظت نمک، مقدار خطا به‌طور قابل توجهی کاهش می‌یابد. بعد از مشخص شدن عملکرد شبکه عصبی مصنوعی با سه متغیر ورودی، شبکه پرسپترون چندلایه‌ای با پیکربندی‌های مختلف شامل یک یا دو لایه پنهان با تعداد ۲ تا ۲۰ نورون مورد بررسی قرار داده شد. فرایند آموزش برای هر پاسخ ۱۰ بار با مقادیر وزن‌دهی اولیه تصادفی تکرار شد، تا اثرات فوق بر نتایج شبکه عصبی به حداقل برسد؛ که این امر باعث ساخت ۲۰۰ شبکه عصبی مصنوعی در مجموع برای هر یک شد (جدول ۵).

Table 5 Performance evaluation of the ANN topologies with three input parameter.

Network topology	RMSE	R^2
3-5-1	0.113	0.83
3-6-1	0.098	0.87
3-8-1	0.082	0.90
3-8-1	0.053	0.95
3-9-1	0.043	0.98
3-10-1	0.048	0.97
3-11-1	0.054	0.95
3-12-1	0.076	0.91
3-6-3-1	0.071	0.91
3-6-8-1	0.066	0.92
3-7-2-1	0.060	0.93
3-7-5-1	0.055	0.94
3-8-4-1	0.048	0.96
3-9-3-1	0.044	0.98
3-9-5-1	0.038	0.99
3-9-8-1	0.036	0.99
3-10-5-1	0.045	0.98
3-10-8-1	0.049	0.97
3-11-4-1	0.051	0.96
3-11-7-1	0.050	0.96

همان‌طور که در جدول ۵ مشاهده می‌گردد، شبکه عصبی مصنوعی با پیکربندی ۳-۹-۸-۱ که دارای دو لایه پنهان با ۹ و ۸ نورون است، به‌عنوان شبکه‌ای با بهترین عملکرد انتخاب گردید که با دقت بالایی قادر به پیش‌بین بازده استخراج است. مقادیر بالای ضریب تبیین برای اعتبارسنجی و آزمایش نشان‌دهنده تعمیم و پیش‌بینی خوب شبکه عصبی است. نتایج بررسی و مدل‌سازی

- [3] Enayat S, Banerjee S. Comparative antioxidant activity of extracts from leaves, bark and catkins of *Salix aegyptiaca* sp. *Food Chemistry*. 2009;116(1):23-8.
- [4] Hashemi SMB, Kamani MH, Amani H, Khaneghah AM. Voltage and NaCl concentration on extraction of essential oil from *Vitex pseudonegundo* using ohmic-hydrodistillation. *Industrial Crops and Products*. 2019;141:111734.
- [5] Hashemi SMB, Nikmaram N, Esteghlal S, Khaneghah AM, Niakousari M, Barba FJ, et al. Efficiency of Ohmic assisted hydrodistillation for the extraction of essential oil from oregano (*Origanum vulgare* subsp. *viride*) spices. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*. 2017;41:172-8.
- [6] Hashemi SMB, Khaneghah AM, Koubaa M, Barba FJ, Abedi E, Niakousari M, et al. Extraction of essential oil from *Aloysia citriodora* Palau leaves using continuous and pulsed ultrasound: Kinetics, antioxidant activity and antimicrobial properties. *Process Biochemistry*. 2018;65:197-204.
- [7] Asl RMZ, Niakousari M, Gahrue HH, Saharkhiz MJ, Khaneghah AM. Study of two-stage ohmic hydro-extraction of essential oil from *Artemisia aucheri* Boiss.: Antioxidant and antimicrobial characteristics. *Food Research International*. 2018;107:462-9.
- [8] Roohi R, Hashemi SMB. Experimental and computational fluid dynamics modeling of *Satureja khuzestanica* essential oil extraction during ohmic - hydrodistillation. *Journal of Food Process Engineering*. 2019;42(5):e13083.
- [9] Achir N, Dhuique-Mayer C, Hadjal T, Madani K, Pain J-P, Dornier M. Pasteurization of citrus juices with ohmic heating to preserve the carotenoid profile. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*. 2016;33:397-404.
- [10] Gavahian M, Farahnaky A. Ohmic-assisted hydrodistillation technology: A review. *Trends in Food Science & Technology*. 2018;72:153-61.
- [11] Gavahian M, Farahnaky A, Farhoosh R, Javidnia K, Shahidi F. Extraction of essential oils from *Mentha piperita* using advanced techniques: Microwave versus ohmic assisted hydrodistillation. *Food and Bioproducts Processing*. 2015;94:50-8.

به‌عنوان یک روش استخراج جدید، هیچ تغییر قابل توجهی در خصوصیات فیزیکی مورد مطالعه اسانس‌های استخراج‌شده از گل آذین بیدمشک ایجاد نکرده است. طی فرایند مدل‌سازی با شبکه عصبی مصنوعی مشخص گردید که دو متغیر گرادیان ولتاژ و زمان استخراج نقش مهمی در پیش‌بینی پاسخ خروجی دارد. هنگام استفاده از گرادیان ولتاژ و زمان استخراج در تعامل با غلظت نمک، مقدار خطا به‌طور قابل توجهی کاهش می‌یابد. یک مدل شبکه عصبی مصنوعی با سه متغیر ورودی، دو لایه پنهان به‌ترتیب با ۹ و ۸ نورون و یک لایه خروجی (بازده) توانست بازده را با ضریب تبیین بالا (برابر ۰/۹۶) و ریشه میانگین مربعات خطا برابر ۰/۰۳۶ پیش‌بینی نماید؛ که مجذور خطای نرمال نشان‌دهنده تطابق خوب بین مقادیر تجربی و پیش‌بینی شده دارد. نتایج این پژوهش نشان داد که می‌توان از مدل شبکه عصبی مصنوعی به‌عنوان ابزاری کارآمد در پیش‌بینی سینتیک استخراج اسانس توسط روش‌های مختلف استخراج نظیر تقطیر مقاومتی بکار برد.

۵- تقدیر و تشکر

مقاله حاضر حاصل از بخشی طرح پژوهشی مصوب گروه علوم و مهندسی صنایع غذایی دانشگاه زنجان با عنوان "بهینه‌سازی استخراج اسانس بیدمشک با کمک تقطیر مقاومتی و فراصوت و ریزپوشانی آن در ریزپوشش آلزینات-پروتئین آب پنیر" مورخ ۱۴۰۰/۰۱/۳۰ و جلسه شورای دانشکده مورخ ۱۴۰۰/۰۲/۰۶ می‌باشد. از دانشکده کشاورزی دانشگاه زنجان که با فراهم آوردن امکانات تحقیق ما را یاری کردند، سپاسگزار می‌نمایم.

۶- منابع

- [1] Shampur T, Sheikhshoae I, Afzali D, Mostafavi A, Mirtadzadini S. Chemical Compositions of *Salix aegyptiaca*. L. Obtained by Simultaneous Hydrodistillation and Extraction. *Journal of Essential Oil Bearing Plants*. 2011;14(5):543-8.
- [2] Sayyari Z, Farahmandfar R. Stabilization of sunflower oil with pussy willow (*Salix aegyptiaca*) extract and essential oil. *Food science & nutrition*. 2017;5(2):266-72.

- Engineering Communications. 2019;206(9):1181-98.
- [20] Pavlič B, Kaplan M, Bera O, Olgun EO, Canli O, Milosavljević N, et al. Microwave-assisted extraction of peppermint polyphenols–Artificial neural networks approach. *Food and Bioproducts Processing*. 2019;118:258-69.
- [21] Akbar A, Kuanar A, Patnaik J, Mishra A, Nayak S. Application of artificial neural network modeling for optimization and prediction of essential oil yield in turmeric (*Curcuma longa* L.). *Computers and Electronics in Agriculture*. 2018;148:160-78.
- [22] Tunç MT, Koca I. Ohmic heating assisted hydrodistillation of clove essential oil. *Industrial Crops and Products*. 2019;141:111763.
- [23] Hasheminya S-M, Dehghannya J. Composition, phenolic content, antioxidant and antimicrobial activity of *Pistacia atlantica* subsp. *kurdica* hulls' essential oil. *Food Bioscience*. 2020;34:100510.
- [24] Vosoughi N, Gomarian M, Pirbalouti AG, Khaghani S, Malekpoor F. Essential oil composition and total phenolic, flavonoid contents, and antioxidant activity of sage (*Salvia officinalis* L.) extract under chitosan application and irrigation frequencies. *Industrial Crops and Products*. 2018;117:366-74.
- [25] Codex FFC. FCC: Food Chemical Codex. 4 ed: National Academic Press, Washington DC; 1996.
- [26] Afshari-Jouybari H, Farahnaky A. Evaluation of Photoshop software potential for food colorimetry. *Journal of Food Engineering*. 2011;106(2):170-5.
- [27] Al-Hilphy ARS. A practical study for new design of essential oils extraction apparatus using ohmic heating. *International Journal of Agricultural Science*. 2014;4(12):351-66.
- [28] Hashemi A, Asefpour Vakilian K, Khazaei J, Massah J. An artificial neural network modeling for force control system of a robotic pruning machine. *Journal of Information and Organizational Sciences*. 2014;38(1):35-41.
- [12] Gavahian M, Chu Y-H. Ohmic accelerated steam distillation of essential oil from lavender in comparison with conventional steam distillation. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*. 2018;50:34-41.
- [13] Seidi Damyeh M, Niakousari M, Golmakani MT, Saharkhiz MJ. Microwave and ohmic heating impact on the in situ hydrodistillation and selective extraction of *Satureja macrosiphonia* essential oil. *Journal of Food Processing and Preservation*. 2016;40(4):647-56.
- [14] Gavahian M, Farahnaky A, Javidnia K, Majzoobi M. A novel technology for extraction of essential oil from *Myrtus communis*: ohmic-assisted hydrodistillation. *Journal of Essential Oil Research*. 2013;25(4):257-66.
- [15] Manouchehri R, Saharkhiz MJ, Karami A, Niakousari M. Extraction of essential oils from damask rose using green and conventional techniques: Microwave and ohmic assisted hydrodistillation versus hydrodistillation. *Sustainable Chemistry and Pharmacy*. 2018;8:76-81.
- [16] Gavahian M, Lee Y-T, Chu Y-H. Ohmic-assisted hydrodistillation of citronella oil from Taiwanese citronella grass: Impacts on the essential oil and extraction medium. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*. 2018;48:33-41.
- [17] Gavahian M, Farahnaky A, Javidnia K, Majzoobi M. Comparison of ohmic-assisted hydrodistillation with traditional hydrodistillation for the extraction of essential oils from *Thymus vulgaris* L. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*. 2012;14:85-91.
- [18] Bahmani L, Aboonajmi M, Arabhosseini A, Mirsaedghazi H. ANN modeling of extraction kinetics of essential oil from tarragon using ultrasound pre-treatment. *Engineering in agriculture, environment and food*. 2018;11(1):25-9.
- [19] Okeleye AA, Betiku E. Kariya (*Hildegardia barteri*) seed oil extraction: comparative evaluation of solvents, modeling, and optimization techniques. *Chemical*



Ohmic assisted hydrodistillation extraction of musk willow (*Salix aegyptiaca* L.) essential oil and artificial neural network modeling of extraction kinetic

Zandi, M. ^{1*}, Ganjloo, A. ², Bimakr, M. ²

1. Assistant Professor, Department of Food Science and Engineering, Faculty of Agriculture, University of Zanjan, Zanjan, Iran.
2. Associate Professor, Department of Food Science and Engineering, Faculty of Agriculture, University of Zanjan, Zanjan, Iran.

ARTICLE INFO

ABSTRACT

Article History:

Received 2021/08/15
Accepted 2021/10/04

Keywords:

Salix aegyptiaca L.,
Ohmic assisted hydrodistillation,
Artificial neural network,
Extraction yield .

DOI: 10.52547/fsct.18.120.14

DOR: 20.1001.1.20088787.1400.18.120.14.6

*Corresponding Author E-Mail:
Zandi@znu.ac.ir

In the current research, the effects of different ohmic assisted hydrodistillation (OAHD) parameters including voltages gradient (5, 15 and 25 v/cm), extraction time (30, 75 and 120 min) and NaCl concentrations (0.5, 1 and 1.5%) on the extraction yield, energy consumption and total phenol content (TPC) of *Salix aegyptiaca* L. essential oil were investigated, and then compared with conventional hydrodistillation (HD). Finally, artificial neural network (ANN) modeling is utilized to predict kinetics of essential oil extraction. Result revealed that extraction time and voltage gradient had significant effect on extraction yield, energy consumption and TPC ($p < 0.05$). Extraction yields of essential oil obtained by OAHD and HD were 0.119 ± 0.012 and 0.081 ± 0.01 , respectively. There was no significant difference ($p > 0.05$) between specific gravity, refractive index and TPC of essential oil of OAHD and HD methods, however IC₅₀ of essential oil extracted by OAHD was significantly higher than essential oil obtained with HD method ($p < 0.05$). To design the ANN model, voltages gradient, extraction time and salt concentrations and their interactions were considered as input vectors while the extraction yield of essential oil was considered as the model output. The results showed that the best prediction performance belonged to 3-9-8-1 ANN architecture (RMSE=0.036 and R²=0.99). Therefore, it can be concluded that the OAHD method is applicable for *S. aegyptiaca* L. essential oil extraction and ANN model is an efficient quantitative tool to predict the kinetics of essential oil extraction.