

Comparison of neural network and factorial design in optimizing red mulberry juice turbidity reduction

Reza Beigzadeh¹, Omid Ahmadi^{2*}

¹ Associate Professor, Department of Chemical Engineering, Faculty of Engineering, University of Kurdistan, Sanandaj, Iran.

² Assistant Professor, Department of Chemical Engineering, Faculty of Engineering, University of Kurdistan, Sanandaj, Iran, Email: o.ahmadi@uok.ac.ir

Article Info

Article type:
Research Full Paper

Article history:

Received: 2024-09-26
Revised: 2025-01-14
Accepted: 2025-02-14

Keywords:

Optimization
Natural Adsorbent
Banana Peel
Neural Network
Red Berry Juice

ABSTRACT

Background and Objectives: In recent years, increasing attention to the health and quality of food products has led to the importance of food processing using new methods. One of the significant challenges in this field is the turbidity of fruit juices, particularly red berry juice. An effective way to reduce turbidity is by using natural absorbents. In this regard, banana peel is introduced as a natural absorbent that can significantly contribute to the reduction of turbidity in red mulberry juice. Known for its rich compounds, including pectin and plant fibers, banana peel is recognized as a potential source for absorbing suspended particles and reducing turbidity.

Materials and Methods: The primary materials studied in this research are red berry juice and banana peel. The berry juice prepared for this research had a Brix value of approximately 78, which was reduced using distilled water through a series of 15 dilutions. The banana peel was dried at a mild temperature of 45 °C in a laboratory oven and then ground to a uniform size of 1 mm using industrial sieves. The study compared neural network and factorial methods for reducing the turbidity of red mulberry juice with the natural absorbent of banana peel. The independent variables considered included temperature, time, and stirrer speed, each investigated at four different levels, with the experimental design employing a factorial approach. The responses measured were the percentage reduction in turbidity and the percentage reduction in absorbent efficiency.

Results: The results showed that the maximum reduction in turbidity (47.22%) with the lowest reduction in the efficiency of the natural absorbent (57.65%) was achieved at a temperature of 30 °C, with surface absorption duration of 3 hours and a stirring speed of 300 rpm. Additionally, a neural network was utilized to predict the two dependent variables as functions of the independent variables. The neural network modeling demonstrated high accuracy in predicting the target variables, with mean relative error (MRE) values of 2.06% and 0.90% for the turbidity reduction percentage and the absorbent efficiency reduction percentage, respectively. In

contrast, the factorial method yielded MRE values of 4.58% and 6.04%, thus significantly enhancing the prediction accuracy for the two dependent variables.

Conclusion: Banana peel, as a natural absorbent, was effective in reducing the turbidity of red mulberry juice. Furthermore, the factorial method proved to be effective as one of the experimental design approaches for identifying optimal operating conditions in the turbidity reduction process. The use of a neural network for predicting the results of laboratory research demonstrated a high degree of confidence in modeling outputs. In this study, the neural network provided improved predictions for the two dependent responses, leading to enhanced outcomes in both turbidity reduction and absorbent efficiency reduction.

Cite this article: Reza Beigzadeh, Omid Ahmadi. 2025. Comparison of neural network and factorial design in optimizing red mulberry juice turbidity reduction. *Food Processing and Preservation Journal*, 16(4), 103-102.



© The Author(s).

DOI: 10.22069/fppj.2025.22813.1838

Publisher: Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources



مقایسه شبکه عصبی و طراحی فاکتوریل در بهینه‌سازی کاهش کدورت

شیره توت قرمز

رضا بیگزاده^۱، امید احمدی^{۲*}

^۱ دانشیار، گروه مهندسی شیمی، دانشکده مهندسی، دانشگاه کردستان، سنندج، ایران

^۲ استادیار، گروه مهندسی شیمی، دانشکده مهندسی، دانشگاه کردستان، سنندج، ایران؛ رایانامه: o.ahmadi@uok.ac.ir

چکیده

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:

مقاله کامل علمی-پژوهشی

سابقه و هدف: در سال‌های اخیر، افزایش توجه به سلامت و کیفیت محصولات غذایی موجب شده است که فرآوری مواد غذایی با به‌کارگیری روش‌های نوین، بسیار مهم تلقی شده و در رأس توجه قرار گیرد. یکی از چالش‌های مهم در این زمینه، کدورت شیرهای میوه‌ای و به‌ویژه شیره توت قرمز است. یکی از راه‌های مؤثر در کاهش کدورت، استفاده از جاذب‌های طبیعی است. در این راستا، پوست موز به‌عنوان یک جاذب طبیعی معرفی می‌شود که می‌تواند به‌عنوان یک فاکتور مؤثر در فرایند کاهش کدورت شیره توت قرمز عمل کند. پوست موز با ترکیبات غنی، شامل پکتین و فیبرهای گیاهی، به‌عنوان یکی از منابع بالقوه برای جذب ذرات معلق و کدورت شناخته می‌شود.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۷/۰۵

تاریخ ویرایش: ۱۴۰۳/۱۰/۲۵

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۱/۲۶

مواد و روش‌ها: ماده هدف و اولیه مورد مطالعه در تحقیق حاضر، شیره توت قرمز و پوست موز بوده که شیره توت تهیه گردیده در تحقیق حاضر دارای حدوداً ۷۸ درجه بریکس بود، با استفاده از آب مقطر بریکس آن کاهش داده شده و تا مقدار ۱۵ رقیق‌سازی انجام گرفت. پوست موز پس از خشک‌کردن آن در دمای ملایم ۴۵ سانتی‌گراد در آن آزمایشگاهی توسط الک‌های صنعتی به اندازه‌های یکسان ۱ میلی‌متر تبدیل گردید. در نهایت با مقایسه روش‌های شبکه عصبی و فاکتوریل در کاهش کدورت شیره توت قرمز با استفاده از جاذب طبیعی پوست موز پرداخته شد. متغیرهای مستقل در نظر گرفته شده شامل دما، زمان و سرعت همزن بودند که هر کدام در ۴ سطح مختلف بررسی گردیده و توسط روش فاکتوریل به طراحی آزمایش پرداخته شد. پاسخ‌های در نظر گرفته شده شامل درصد کاهش کدورت و درصد کاهش کارایی جاذب بودند.

واژه‌های کلیدی:

بهینه‌سازی

جاذب طبیعی

پوست موز

شبکه عصبی

شیره توت قرمز

یافته‌ها: نتایج نشان داد که بیشترین کاهش کدورت (۴۷/۲۲٪) با کمترین کارایی جاذب طبیعی (۵۷/۶۵٪) در دمای ۳۰ سانتی‌گراد و مدت‌زمان فرایند جذب سطحی ۳ ساعت با سرعت هم‌زدن ۳۰۰ دور در دقیقه حاصل خواهد شد. همچنین از شبکه عصبی برای پیش‌بینی دو متغیر وابسته در نظر گرفته شده به‌عنوان تابعی از متغیرهای مستقل استفاده گردید. نتایج مدل‌سازی شبکه عصبی دقت بالایی را به‌منظور پیش‌بینی متغیر هدف نشان داد، به‌طوری‌که مقادیر متوسط خطای نسبی (MRE) برای دو متغیر وابسته درصد کاهش کدورت و درصد کاهش کارایی

جاذب به ترتیب برابر با ۲/۰۶ و ۰/۹۰ درصد بود که در مقایسه با روش فاکتوریل که مقادیر آن برابر با ۴/۵۸ و ۶/۰۴ درصد بودند، باعث بهبود چشمگیر پیش‌بینی دو متغیر وابسته در نظر گرفته شده گردید.

نتیجه‌گیری: پوست موز به‌عنوان عامل جاذب طبیعی در کاهش کدورت شیر توت قرمز مؤثر عمل نمود همچنین روش فاکتوریل به‌عنوان یکی از روش‌های طراحی آزمایش در جهت یافتن نقاط بهینه عملیاتی در فرایند کدورت‌زدایی به‌خوبی عمل کرد. در نهایت استفاده از شبکه عصبی جهت پیش‌بینی نتایج حاصل از پژوهش‌های آزمایشگاهی به‌خوبی توانایی مدل نمودن خروجی با درصد اطمینان بالا را داشته، به‌طوری‌که در تحقیق حاضر در مقایسه با روش فاکتوریل در میان ۲ پاسخ وابسته در نظر گرفته شده، به بهبود نتایج هر دو ۲ متغیر وابسته کاهش کدورت و کاهش کارایی جاذب طبیعی منجر گردید.

استناد: بیگزاده، رضا؛ احمدی، امید. (۱۴۰۳). مقایسه شبکه عصبی و طراحی فاکتوریل در بهینه‌سازی کاهش کدورت شیر توت قرمز. *فرآوری و نگهداری مواد غذایی*، ۱۶ (۴)، ۱۰۲-۱۰۳.



© نویسندگان.

DOI: 10.22069/fppj.2025.22813.1838

ناشر: دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

مقدمه

در سال‌های اخیر، افزایش توجه به سلامت و کیفیت محصولات غذایی موجب شده است که فرآوری مواد غذایی با به‌کارگیری روش‌های نوین، بسیار مهم تلقی شده و در رأس توجه قرار گیرد (۱). یکی از چالش‌های مهم در این زمینه، کدورت شیرهای میوه‌ای و به‌ویژه شیر توت قرمز است (۲). شیر توت قرمز به‌عنوان یک محصول طبیعی با ویژگی‌های منحصربه‌فرد، حاوی مواد مغذی فراوانی است که می‌تواند در رژیم غذایی انسان مهم باشد. با این حال، وجود کدورت در این محصول می‌تواند به‌عنوان یک عامل بازدارنده در جذب مشتریان و همچنین افت کیفیت محصول شناخته شود (۳). بنابراین استفاده از روش‌های نوین در فرآوری و کاهش کدورت این محصول باید در دستور کار قرار گیرد. کدورت می‌تواند تأثیر منفی بر ویژگی‌های حسی محصول، از جمله رنگ، طعم و عطر داشته باشد و از طرفی به‌عنوان یک نشانگر کیفیت مطرح می‌شود. این مشکل می‌تواند در نهایت منجر به عدم پذیرش محصول توسط مصرف‌کنندگان شود و به همین دلیل، بهینه‌سازی شرایط عملیاتی برای کاهش کدورت از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است (۴، ۵).

یکی از راه‌های مؤثر در کاهش کدورت، استفاده از جاذب‌های طبیعی است (۶). در این راستا پوست موز به‌عنوان یک جاذب طبیعی معرفی می‌شود که می‌تواند به‌عنوان یک فاکتور مؤثر در فرایند کاهش کدورت شیر توت قرمز عمل کند (۷، ۸). پوست موز با ترکیبات غنی، شامل پکتین و فیبرهای گیاهی، به‌عنوان یکی از منابع بالقوه برای جذب ذرات معلق و کدورت شناخته می‌شود (۹). استفاده از این جاذب طبیعی نه تنها به کاهش بار آلودگی در محصولات غذایی کمک می‌کند، بلکه به حفظ ساختار و کیفیت محصولات نیز کمک می‌نماید (۱۰). استفاده از

جاذب‌های طبیعی مانند پوست موز در کاهش کدورت، به‌عنوان یک راهکار پایدار و زیست‌محیطی مطرح می‌شود. این روش، به دلیل عدم استفاده از مواد شیمیایی مضر، مورد توجه ویژه‌ای قرار گرفته است. پوست موز به دلیل ساختار خاص و ظرفیت جذب بالای خود در حذف ذرات ریز و ناخالصی‌ها، می‌تواند بهبود قابل توجهی را در کیفیت شیر توت ایجاد کند (۱۱، ۱۲).

طراحی آزمایش و تفسیر نتایج حاصل از آن به پژوهشگران و محققان کمک نموده تا در تحلیل نتایج و تفسیر خروجی‌های مختلف از تحقیقات خود بهتر بتوانند ادامه مراحل را پیش‌بینی نمایند، روش‌های مختلف و متعددی برای طراحی آزمایش وجود دارد که شامل پاسخ سطح، فاکتوریل، تاگوچی و طرح مخلوط می‌باشند (۱۳-۱۵). فاکتوریل به‌عنوان یک روش آماری قابل اعتماد، این امکان را فراهم می‌کند تا اثرات همزمان چندین فاکتور بر روی ویژگی‌های شیمیایی و فیزیکی شیر توت مورد بررسی قرار گیرد. این روش به پژوهشگران اجازه می‌دهد تا با تحلیل نتایج، نتایج حاصله را تفسیر و ترکیب بهینه عوامل را شناسایی کنند (۱۶، ۱۷). شبکه‌های عصبی به‌عنوان ابزارهای قدرتمند در تحلیل داده‌ها و شبیه‌سازی الگوهای غیرخطی، قابلیت یادگیری و پیش‌بینی شرایط عملیاتی مناسب را دارند. این روش، با تجزیه و تحلیل داده‌های مربوط به پارامترهای عملیاتی نظیر دما، زمان، pH و غلظت جاذب، می‌تواند نقاط بهینه را برای کاهش کدورت شناسایی کند. در پیگیری این هدف، شبکه‌های عصبی به‌عنوان یک ابزار مدرن، می‌توانند با شبیه‌سازی فرآیندهای غیرخطی و شناسایی الگوهای موجود در داده‌ها، پایش دقیقی از اثرات مختلف شرایط عملیاتی بر روی کدورت شیر توت ارائه دهند. در عین حال، طراحی فاکتوریل نیز امکان بررسی تأثیرات متقابل بین مولفه‌های مختلف را

شماره ۴۰ جهت جداسازی جاذب طبیعی و نمونه کدورت‌زدایی شده استفاده گردید.

روش‌ها

آماده‌سازی شربت شیر توت قرمز: شیر میوه‌جات دارای غلظت بالا و به تناسب آن میزان بریکس بالایی (۷۰-۸۵ درجه بریکس) می‌باشند. شیر توت تهیه گردیده در تحقیق حاضر دارای حدوداً ۷۸ درجه بریکس بوده و استفاده و ارزیابی ماده با بریکس بالا امکان‌ناپذیر است، به همین علت غلظت شیر توت قرمز با استفاده از آب مقطر کاهش داده شده و رقیق سازی انجام گرفت. با توجه به مطالعه تحقیقات پیشین عهدنو و جعفری زاده مالگیری در سال ۲۰۱۶ (۱۹) بر روی شیر خرما، بریکس مورد استفاده در فرایند کدورت‌زدایی مقدار ۱۵ درجه بریکس انتخاب گردیده و شیر توت قرمز به این میزان رقیق گردید.

آماده‌سازی جاذب طبیعی پوست موز: پوست موز جمع‌آوری شده به‌عنوان ماده اولیه جهت تهیه جاذب طبیعی استفاده گردید، به‌طوری‌که پس از خشک‌کردن آن در دمای ملایم ۴۵ سانتی‌گراد در آون آزمایشگاهی، با توجه به این که جاذب‌های مورد استفاده معمولاً اندازه‌هایی بین ۵۵ میکرومتر تا ۱۰ میلی‌متر دارند، در تحقیق حاضر پوست موز خشک شده توسط الک‌های صنعتی به اندازه‌های یکسان ۱ میلی‌متر تبدیل گردید.

طراحی آزمایش و آنالیز آماری داده‌ها: در تحقیق حاضر حذف کدورت از شیر توت قرمز با استفاده از جاذب طبیعی پوست موز انجام گرفت که تجهیز مورد استفاده گرمکن همزن‌دار بود. متغیرهای مختلف مقداری و غیر مقداری (عملیاتی) بر حذف کدورت مربوط به شیر توت قرمز تأثیرگذار می‌باشند که متغیرهای مقداری شامل: جرم جاذب و غلظت شیر بوده و متغیرهای عملیاتی شامل: دما و زمان فرایند

فراهم می‌آورد و به ایجاد یک مدل عملکردی جامع برای بهینه‌سازی شرایط کمک می‌کند (۱۸).

پژوهش حاضر به دنبال آن است که روند کلی مقایسه بین روش‌های شبکه عصبی و طراحی فاکتوریل را بررسی کند تا به این سؤال پاسخ دهد که کدامیک از این روش‌ها در بهینه‌سازی شرایط کاهش کدورت شیر توت قرمز با استفاده از جاذب طبیعی پوست موز موثرتر است. هدف تحقیق حاضر، مقایسه موثر بودن روش‌های شبکه عصبی و طراحی فاکتوریل در بهینه‌سازی شرایط عملیاتی (دما، زمان و سرعت هم زدن) در کاهش کدورت شیر توت قرمز با استفاده از جاذب طبیعی پوست موز است. در این راستا، ابتدا به معرفی ویژگی‌ها و خواص شیر توت قرمز و چالش‌های موجود در کدورت آن پرداخته شد. پس‌از آن، شیوه‌های مدل‌سازی شامل شبکه‌های عصبی و طراحی فاکتوریل به تفصیل توضیح داد شده و در نهایت، به تحلیل نتایج حاصل از این دو روش پرداخته می‌شود. نتایج حاصل از این تحلیل همچنین می‌تواند پایه‌ی خوبی برای پژوهش‌های آتی در زمینه بهینه‌سازی فرایندهای مشابه در صنعت غذایی باشد و به پژوهشگران و فعالان این حوزه کمک کند تا با استفاده از روش‌های نوین، کیفیت و ایمنی محصولات غذایی را بهبود بخشند.

مواد و روش‌ها

مواد: ماده هدف و اولیه مورد مطالعه در تحقیق حاضر، شیر توت قرمز و پوست موز بوده که شیر توت از بازارهای محلی سنج و پوست موز از بازار میوه به‌صورت مواد دورریز جمع‌آوری گردید. از آب دو بار دیونیزه به‌عنوان ماده پایه جهت رقیق‌سازی بریکس شیر توت قرمز خریداری شده از شرکت زلال طب شیمی، استفاده شد. از کاغذ صافی واتمن

آنالیزها و بررسی خواص: میزان جذب اولیه شیره توت قرمز و نمونه‌های حاصل از فرایند کدورت‌زدایی مربوط به طراحی آزمایش با استفاده از روش طیف‌سنجی نور مرئی-فرابنفش UV-Vis با دستگاه Jenway مدل 6705 در طول موج 625 نانومتر جهت بررسی میزان کدورت ارزیابی گردید و توسط رابطه ۲ درصد حذف یا کاهش آن گزارش شد. جهت بررسی کاهش کارایی جاذب طبیعی پوست موز (کاهش سطح ویژه) مربوط به هر آزمایش، جاذب استفاده گردیده تحت شرایط دمایی 50 سانتی‌گراد در آن خشک شده و با هاون چینی پودر شده و از آنالیز BET جهت بررسی سطح ویژه و مقایسه آن با جاذب اولیه با دستگاه مدل JW-BK132F ارزیابی گردید و با سطح ویژه نمونه اولیه مقایسه گردید.

$$\text{رابطه (۲)} \quad \text{درصد حذف کدورت} = \frac{(Y_1 - Y_2)}{Y_1} \times 100$$

روش اندازه‌گیری کاهش کارایی جاذب طبیعی: جهت بررسی خاصیت جذب سطحی جاذب طبیعی مورد استفاده، سطح ویژه اولیه جاذب توسط آنالیز BET بررسی گردیده (X1) و برای هر نمونه پس از استفاده جاذب جهت فرآیند کدورت‌زدایی و خشک‌کردن جاذب دوباره سطح ویژه توسط آنالیز BET ارزیابی گردید (X2) و در نهایت توسط رابطه (۳) درصد کاهش کارایی جاذب طبیعی به دست آمد.

$$\text{رابطه (۳)} \quad \text{درصد کاهش کارایی جاذب طبیعی} = \frac{(X_1 - X_2)}{X_1} \times 100$$

مدل‌سازی شبکه عصبی مصنوعی: شبکه‌های عصبی مصنوعی (ANN)، سیستم‌های محاسباتی هستند که با استفاده از تعدادی نورون به‌هم‌پیوسته، توانایی‌های محاسباتی سیستم‌های بیولوژیکی را تقلید می‌کنند (۲۰). با توجه به توانایی ذاتی شبکه‌های عصبی مصنوعی در یادگیری و تشخیص روابط غیرخطی و

جذب سطحی، pH و سرعت هم‌زن می‌باشد. با استفاده از طراحی آزمایش به روش فاکتوریل، می‌توان به‌صورت هم‌زمان تأثیر چند پارامتر را بررسی کرد. طراحی آزمایش به روش فاکتوریل یکی از رویکردهای قدرتمند برای بررسی تأثیر چندین پارامتر بر روی پاسخ‌های فرایند است. در پژوهش حاضر با توجه به استفاده از گرمکن هم‌زن‌دار ۳ متغیر دمایی گرمکن، دور هم‌زن و زمان فرایند انتخاب گردید که می‌توان یک طرح فاکتوریل کامل با ۴ سطح برای هر پارامتر را ایجاد کرد. با توجه به این که تمامی متغیرهای در نظر گرفته شده دارای مقادیر بهینه‌ای در جهت کاهش کدورت بوده و مقادیر بالا یا پایین آن‌ها نمی‌تواند به‌تنهایی عامل مثبتی باشد، از این‌رو برای ۳ متغیر در نظر گرفته شده ۴ سطح مختلف انتخاب گردید. با توجه به در نظر گرفتن ۳ متغیر در ۴ سطح از نظر ترکیب‌های مختلف تعداد آزمایش‌ها به‌صورت رابطه ۱ محاسبه می‌گردد.

رابطه (۱)

$$\text{تعداد پارامترها} \quad \text{تعداد سطوح} = \text{تعداد آزمایش‌ها} \\ 4^3 = 64 = \text{تعداد آزمایش‌ها}$$

متغیرهای انتخاب شده به همراه سطح‌های آن شامل: ۱- دمای حرارت دهی گرمکن (چهار سطح ۲۰، ۳۰ و ۴۰ سانتی‌گراد، ۲- زمان فرایند کدورت‌زدایی چهار سطح ۱، ۲، ۳ و ۴ ساعت، ۳- سرعت هم‌زن ۱۰۰، ۳۰۰، ۵۰۰ و ۷۰۰ دور در دقیقه) می‌باشد. که مجموع کل تعداد آزمایش‌ها ۶۴ نمونه بود که در هر ظرف به میزان یکسان ۳۰ میلی‌لیتر شیره توت قرمز رقیق‌شده با بریکس ۱۵ و ۱ گرم جاذب طبیعی پوست موز با میانگین اندازه ۱ میلی‌متر مخلوط شده و در محدوده‌های طراحی شده توسط نرم‌افزار، فرایند کدورت‌زدایی انجام گرفت.

مجموعه‌های از ۶۴ داده تجربی برای توسعه مدل نورومورفیک مورد استفاده قرار گرفت. جدول ۱ محدوده داده‌های تجربی مورد استفاده در توسعه شبکه پیشنهادی را ارائه می‌کند.

داده‌ها به دو بخش شامل مجموعه داده‌های آموزشی و ارزیابی تقسیم شدند. سه چهارم از کل داده‌ها برای آموزش شبکه انتخاب شده و باقی به‌عنوان مجموعه داده‌های ارزیابی استفاده شدند. مجموعه داده‌های آموزشی به‌گونه‌ای انتخاب شد که بتواند تمام محدوده داده‌های تجربی را پوشش دهد. در این مطالعه، متغیرهای ورودی شبکه شامل دما، زمان و سرعت همزن بود. خروجی مدل نیز درصد حذف کدورت و کاهش کارایی جاذب در نظر گرفته شد. از آنجایی که ورودی و خروجی مدل دارای واحدهای فیزیکی و محدوده مختلفی هستند برای جلوگیری از هرگونه مشکل محاسباتی، تمام داده‌ها در محدوده ۰ تا ۱ نرمال‌سازی شدند.

پس از تعیین ورودی و خروجی شبکه، گام بعدی تعیین ساختار آن است. یک شبکه با یک لایه پنهان به‌عنوان ساختار شبکه انتخاب شد. تعداد نورون‌ها در لایه پنهان را نمی‌توان به‌صورت تئوری به دست آورد بنابراین از روش آزمون و خطا برای طراحی شبکه عصبی استفاده شد. در این روش تعداد کمی از نورون‌ها در لایه پنهان استفاده شده و اگر خطای مدل آموزش دیده به‌دقت مورد نظر نرسد، تعداد نورون‌ها در لایه پنهان افزایش می‌یابد و چرخه تمرین و تخمین عملکرد تکرار می‌شود (۲۵). این روند تا زمانی ادامه می‌یابد که شبکه آموزش دیده عملکرد رضایت بخشی داشته باشد (خطاهای آموزش و تست آن کمتر از هدف مورد نظر باشد). معمولاً زمانی که مدل پیچیده است، افزایش تعداد نورون‌های پنهان

می‌توان از آن‌ها در زمینه‌های مختلف مهندسی شیمی استفاده کرد (۲۱). شبکه‌های عصبی مصنوعی شامل تعدادی گره به‌هم پیوسته هستند که در لایه‌های مربوط به لایه ورودی لایه پنهان و لایه خروجی پیچیده شده‌اند. لایه‌های پنهان اطلاعات دریافتی از لایه ورودی را کدگذاری و مرتب کرده و به لایه خروجی تحویل می‌دهند. هر نورون شبکه با یک وزن مرتبط، از طریق پیوندهای مستقیم به دیگر نورون‌ها متصل می‌شود، که در نهایت یک رابطه منطقی بین پارامترهای ورودی و خروجی ایجاد می‌کند. تعداد نورون‌ها برای لایه‌های ورودی و خروجی معمولاً به ترتیب با تعداد متغیرهای ورودی و خروجی تعیین می‌شود. اما تعداد نورون‌ها در لایه‌های پنهان متغیر بوده و می‌بایست بهینه گردد.

جدول ۱- محدوده داده‌های استفاده شده در این مطالعه.

Table 1- Range of data used in this study.

Variable	Range
متغیر	محدوده
Temperature (°C) دما (درجه سلسیوس)	20 - 50
Time (h) زمان (ساعت)	1 - 4
Stirrer (rpm) سرعت همزن (دور در دقیقه)	100 - 700
Turbidity removal (%) کاهش کدورت (%)	18.46 - 57.65
Reduction of adsorbent efficiency (%) کاهش کارایی (%)	31.62 - 69.98

شبکه عصبی عصبی مورد استفاده در این مطالعه یک شبکه عصبی پیش‌خور چند لایه با ترتیب یادگیری پس انتشار خطاها و الگوریتم لونیگ-مارکوارت (۲۲-۲۴). برای تصحیح وزن‌های اتصال است. در این مطالعه از داده‌های آزمایشگاهی برای توسعه مدل نورومورفیک برای پیش‌بینی شرایط کاهش کدورت شیر توت قرمز استفاده شد.

بایاس‌ها به‌طور مکرر تنظیم می‌شوند تا انحراف خروجی از مقادیر هدف به حداقل برسد.

ممکن است باعث برآزش بیش‌ازحد شود. خروجی نهایی شبکه از معادله (۴) محاسبه می‌شود (۲۶):

رابطه (۴)

$$Y_k = F_l \left\{ \sum_{j=1}^n W_{kj} [F_i (\sum_{i=1}^m W_{ji} X_i + b_j)] + b_k \right\}$$

در معادله Y, X, W, b, n, m به ترتیب پاسخ نهایی، مقدار ورودی شبکه، وزن، بایاس، تعداد نورون‌ها، تعداد متغیرهای ورودی هستند. i, j, k به ترتیب به لایه ورودی، پنهان و خروجی اشاره دارند. متغیر F تابع انتقال است که مجموع وزن‌ها و بایاس را به مقادیر خروجی نرمال شده تبدیل می‌کند. در این تحقیق تابع انتقال سیگموئید تانژانت هیپربولیک برای لایه پنهان و تابع خطی برای لایه خروجی در نظر گرفته شد. در روش تمرین پس انتشار خطا، وزن‌ها و

نتایج و بحث

تجزیه و تحلیل نتایج روش فاکتوریل: طبق نتایج طراحی آزمایش به روش فاکتوریل، تعداد ۶۴ آزمایش انجام شده و درصد کاهش (حذف) کدورت و درصد کاهش کارایی (کاهش سطح ویژه) جاذب طبیعی مورد استفاده به‌عنوان پاسخ‌ها در نظر گرفته شد. نتایج حاصل همراه نتایج پیش‌بینی شده توسط نرم‌افزار Minitab با روش فاکتوریل در جدول ۲ با انجام ۳ تکرار گزارش گردیده است.

جدول ۲- طراحی آزمایش انجام گرفته و نتایج مربوط به هر کدام از متغیرهای مستقل به همراه نتایج پیش‌بینی شده توسط مدل

Table 2- The design of the experiment has been carried out and the results related to each of the independent variables along with the results predicted by the model

Parameters پارامترها			Responses پاسخ‌ها			
			Experimental آزمایشگاهی		Predicted پیش‌بینی شده	
Temperature (C) دما (سانتی‌گراد)	Time (min) زمان (دقیقه)	Stirrer (rpm) دور همزن (دور در دقیقه)	Turbidity Removal (%) کاهش کدورت (%)	Reduction of natural adsorbent efficiency (%) کاهش کارایی	Turbidity Removal (%) کاهش کدورت (%)	Reduction of natural adsorbent efficiency (%) کاهش کارایی (%)
20	1	100	18.46	31.62	19.45	35.21
20	1	300	20.64	40.35	21.65	41.98
20	1	500	27.45	46.71	26.66	49.41
20	1	700	25.74	55.46	24.47	51.44
20	2	100	27.96	34.65	29.12	37.52
20	2	300	29.44	42.22	30.4	44.69
20	2	500	31.47	48.63	32.89	49.93
20	2	700	30.87	55.55	30.92	57.52
20	3	100	28.66	36.12	27.96	38.18
20	3	300	30.47	43.36	28.92	46.79
20	3	500	32.73	48.91	31.91	51.97
20	3	700	31.42	55.71	29.6	53.74
20	4	100	31.41	40.58	32.49	43.12
20	4	300	34.44	45.67	34.59	46.94
20	4	500	35.69	51.51	37.67	53.81
20	4	700	33.12	58.63	32.97	60.89
30	1	100	30.72	36.46	31.25	39.44
30	1	300	37.41	46.32	38.87	44.73
30	1	500	39.62	52.23	40.42	53.73
30	1	700	38.44	55.61	39.88	57.61
30	2	100	39.42	37.69	40.66	36.09
30	2	300	52.11	46.45	54.23	48.63
30	2	500	51.43	53.19	54.02	57.92

30	2	700	48.96	59.44	47.02	57.04
30	3	100	41.74	39.08	40.96	42.96
30	3	300	57.65	47.22	59.02	49.07
30	3	500	52.32	58.63	50.62	56.12
30	3	700	49.44	61.02	49.23	64.92
30	4	100	39.77	40.74	39.46	42.92
30	4	300	51.03	48.11	48.63	52.97
30	4	500	50.67	58.96	47.61	56.1
30	4	700	48.06	64.36	48.62	61.72
40	1	100	29.41	39.28	31.63	42.79
40	1	300	35.93	48.32	34.72	46.51
40	1	500	36.44	59.06	35.67	57.18
40	1	700	34.74	60.71	32.9	63.99
40	2	100	36.32	40.25	35.55	45.21
40	2	300	41.21	49.05	43.57	46.74
40	2	500	41.02	59.62	43.59	63.63
40	2	700	40.94	63.79	41.99	66.12
40	3	100	39.32	40.96	37.26	44.63
40	3	300	42.12	49.92	41.62	46.31
40	3	500	41.88	61.63	40.32	63.87
40	3	700	39.99	65.7	39.55	67.96
40	4	100	37.55	41.63	36.08	49.41
40	4	300	40.81	50.21	40.02	58.12
40	4	500	39.46	63.12	39.23	59.02
40	4	700	38.91	66.24	38.23	63.91
50	1	100	28.66	41.02	28.87	45.32
50	1	300	33.75	52.65	34.63	58.68
50	1	500	31.47	63.17	33.56	61.05
50	1	700	29.42	64.79	30.96	69.79
50	2	100	29.45	42.96	31.29	44.56
50	2	300	30.44	53.12	33.09	54.99
50	2	500	29.75	65.75	31.45	67.83
50	2	700	27.45	66.25	30.56	63.57
50	3	100	26.41	43.19	29.26	45.85
50	3	300	25.52	54.62	29.12	57.26
50	3	500	25.43	66.85	28.47	69.45
50	3	700	24.74	67.52	28.06	70.93
50	4	100	24.61	43.89	27.12	46.12
50	4	300	22.12	55.72	24.54	61.19
50	4	500	21.79	68.79	23.12	71.66
50	4	700	20.02	69.98	22.06	73.82

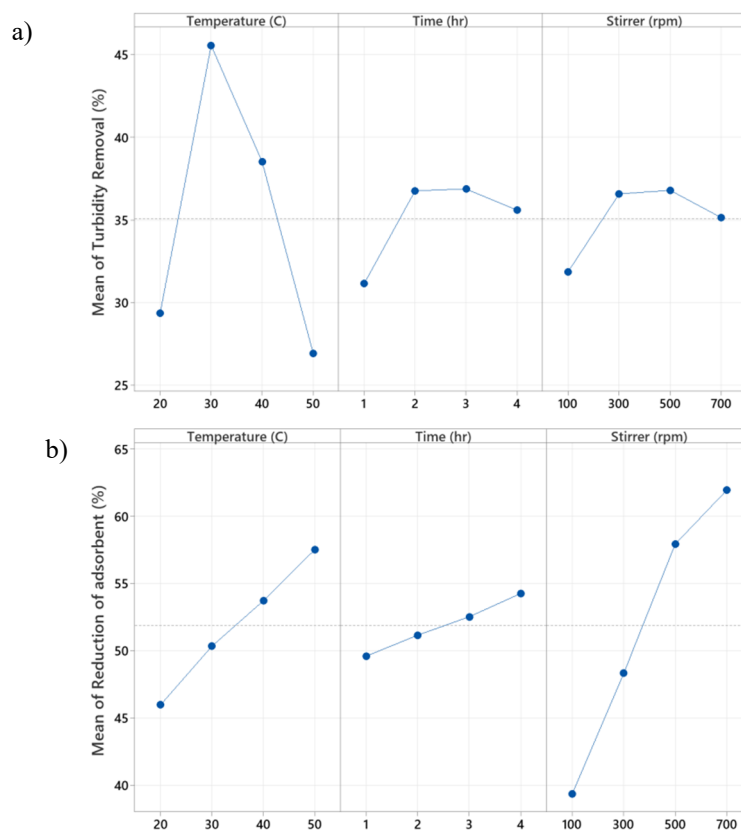
جاذب طبیعی می‌باشند، پاسخ‌های در نظر گرفته شده نسبت به متغیرهای انتخابی و افزایش و کاهش آن‌ها، رفتارهای کاملاً متفاوتی نشان داده‌اند، به طوری که در شکل ۱ الف، ارتباط دما و کاهش میزان کدورت به نحوی می‌باشد که در دماهای پایین (۲۰ سانتی‌گراد) و دماهای بالا (۵۰ سانتی‌گراد) کمترین اثر و یا به عبارتی کمترین میزان حذف کدورت شیر توت قرمز به دست آمده است، دمای گرمکن در فرایند کدورت‌زدایی، ممکن است بر واکنش‌های شیمیایی مؤثر باشد به طوری که با افزایش دما معمولاً باعث افزایش سرعت واکنش‌های شیمیایی می‌شود.

پس از انجام آزمایش‌ها مختلف که شامل ۳ متغیر و هر کدام دارای ۴ سطح بود، ۶۴ آزمایش انجام گرفته و پاسخ‌های کاهش کدورت شیر توت قرمز (٪) و کاهش کارایی و ویژه جاذب طبیعی (٪) مورد بحث و بررسی قرار گرفت و اثر هر کدام از پارامترهای انتخاب شده در سطح‌های در نظر گرفته شده بررسی گردید که نتایج آن در شکل ۱ الف (ب) گزارش شده است.

همان‌طور که در شکل ۱ الف (ب) مشاهده می‌شود، خروجی‌های در نظر گرفته شده که شامل کاهش کدورت شیر توت قرمز و کاهش کارایی

است موجب تجزیه برخی ترکیبات طبیعی موجود در شیر شود که در نهایت کیفیت محصول را تحت تأثیر قرار می‌دهد. در تحقیق حاضر دمای ۳۰ سانتی‌گراد بهترین حالت در جهت کاهش کدورت شیر توت قرمز بوده و دمای ۲۰ و ۳۰ سانتی‌گراد کمترین آسیب را به جاذب طبیعی وارد نموده و در نهایت کارایی و سطح ویژه آن را کمتر دستخوش تغییرات قرارداده‌اند.

در صورتی که دما به حد مناسبی افزایش یابد، ممکن است ذرات معلق عامل کدورت بهتر جذب و حذف شوند. همچنین دما می‌تواند بر برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی شیر تأثیر داشته باشد. به‌عنوان مثال، با افزایش دما، ویسکوزیته مایع کاهش می‌یابد که در نتیجه امکان جداسازی ذرات معلق بهبود می‌یابد. اما اگر دما بیش از حد افزایش یابد، ممکن



شکل ۱. تغییرات متغیرهای وابسته بر اساس متغیرهای مستقل انتخاب شده (الف) درصد حذف کدورت

(ب) کاهش کارایی و سطح ویژه جاذب طبیعی پوست موز

Figure 1. Changes in the dependent variables based on the selected independent variables a) Removal of turbidity (%) b) Reducing the efficiency and specific surface of the natural adsorbent of banana skin (%)

سرعت هم‌زدن ۳۰۰ و ۵۰۰ دور در دقیقه است. متغیر زمان به‌عنوان یکی از متغیرهای بحرانی در فرآیندهای جذب شناخته می‌شود. هرچه مدت‌زمان تماس جاذب (پوست موز) با شیر بیشتر باشد، احتمال جذب و حذف ذرات کدورت بیشتر می‌شود. اما با توجه به این که جذب سطحی دارای زمان معینی می‌باشد و در

در شکل ۱ الف و ب، تغییرات میزان کدورت و کاهش سطح ویژه جاذب نسبت به زمان فرایند و دور هم‌زدن نیز مشاهده می‌گردد که در ارتباط بین این دو عامل و کاهش کدورت، مشابه با دمای فرایند، بازه بهینه‌ای وجود داشته که بیشترین میزان حذف کدورت اتفاق می‌افتد که مربوط به زمان ۲ و ۳ ساعت و

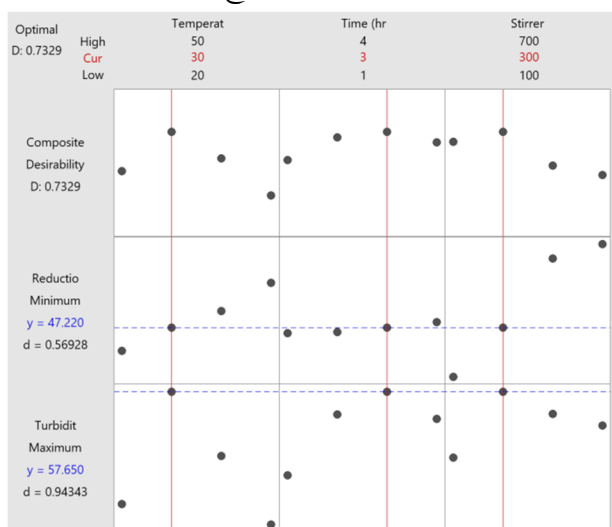
باعث آسیب به ساختار جاذب (پوست موز) شود و کارایی آن را کاهش می‌دهد.

شکل ۱ ب مربوط به اثرات متغیرهای در نظر گرفته شده بر روی کاهش کارایی جاذب طبیعی پوست موز بوده که در آن نتایج نشان می‌دهد تمامی متغیرهای در نظر گرفته شده در حالت حدی (بیشترین حالت ممکن) باعث بیشترین آسیب به جاذب شده و همچنین سطح ویژه آن را دستخوش تغییرات نامطلوبی قرار می‌دهند، کاملاً امری واضح بوده که با توجه به استفاده جاذب طبیعی در پژوهش حاضر، عوامل مختلف از جمله دما، زمان و تنش‌های مکانیکی (دور همزن) اثر نامطلوبی بر ساختار جاذب وارد نموده که در نهایت منجر به کاهش سطح ویژه آن می‌گردد.

بهینه‌سازی نتایج حاصل از طراحی آزمایش: با توجه به نتایج به دست آمده از طراحی آزمایش و بررسی اثرات و متغیرهای انتخاب شده بر پاسخ‌های در نظر گرفته شده، نتایج نشان داد که هر کدام از متغیرهای انتخاب شده شامل دما، زمان فرایند و سرعت همزن اثرات مختلف و متفاوتی بر پاسخ‌های کاهش کدورت شیر توت و کاهش کارایی و سطح ویژه جاذب دارند. به همین خاطر بهینه‌سازی نهایی انجام گرفت و نتایج آن در شکل ۲ مشاهده می‌گردد.

این حالت تعادل ایجاد می‌شود که در اثر آن، جذب و حذف ذرات به حالت پایدار رسیده و از این رو، سطوح کدورت ممکن است دیگر کاهش نیابد. عامل زمان همواره به‌عنوان فاکتور اقتصادی شناخته شده و زمان بالاتر برای فرایند ممکن است منجر به افزایش هزینه‌ها شود بنابراین یافتن یک زمان بهینه از اهمیت بالایی برخوردار است.

سرعت همزن نیز به‌عنوان یک متغیر عملیاتی باعث یکنواختی اختلاط می‌شود، به عبارتی سرعت همزن مناسب می‌تواند به توزیع بهتر جاذب در شیر کمک کند. هنگامی که هم زدن به‌صورت صحیح انجام می‌شود، ذرات جاذب می‌توانند به‌طور یکنواخت در سرتاسر حجم شیر توزیع شوند و از همین رو جذب ذرات کدورت با کارایی بیشتری انجام می‌شود. این متغیر با افزایش سطح تماس می‌گردد یعنی سرعت هم زدن بالا می‌تواند سطح تماس بین جاذب و ذرات کدورت را افزایش دهد که منجر به جذب بهتری می‌شود. با این حال، سرعت خیلی بالا ممکن است تأثیر منفی داشته باشد و منجر به ایجاد حباب‌های هوا شود که ممکن است در کدورت تأثیرگذار باشد در نهایت سرعت بالای هم زدن باعث آسیب به جاذب می‌گردد که در برخی موارد، هم زدن بیش از حد ممکن است



شکل ۲- بهینه‌سازی نهایی حاصل از طراحی آزمایش به روش فاکتوریل.

Figure 2. The final optimization resulting from the experimental design using the factorial method.

آزمایشگاهی وجود نداشت، به طوری که حذف کدورت شیر توت قرمز ۵۷/۰۸٪ (اختلاف تقریباً ۱٪) و کاهش سطح ویژه جاذب پوست موز ۴۷/۹۷٪ (اختلاف تقریباً ۱/۵٪) به دست آمد؛ بنابراین مدل‌های به دست آمده با انجام صحت‌سنجی نهایی، تأیید گردیده و به درستی توانستند اثرات متغیرهای در نظر گرفته شده را بر روی پاسخ‌های انتخاب شده در محدوده مورد نظر مشخص نمایند.

نتایج مدل‌سازی شبکه عصبی مصنوعی: در این مطالعه از تعداد نوروهای مختلف برای لایه پنهان استفاده شد و تعداد بهینه نوروها مورد ارزیابی قرار گرفت. توابع هدف که برای انتخاب بهترین ساختار شبکه مورد استفاده قرار گرفتند، میانگین خطای نسبی (MRE) و میانگین مربع خطا (MSE) هستند که به شرح رابطه (۵) تعریف می‌شوند:

$$MRE(\%) = \frac{100}{N} \sum_{i=1}^N \left(\frac{|t_i - y_i|}{t_i} \right)$$

$$MSE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (t_i - y_i)^2$$

رابطه (۵)

همان‌طور که در شکل ۲ قابل مشاهده می‌باشد، اثرات متغیرهای مختلف بر پاسخ‌های در نظر گرفته شده بررسی شد و بهینه‌سازی نهایی جهت به دست آوردن بیشترین درصد حذف یا کاهش کدورت (۵۷٪/۶۵)، و کمترین کاهش کارایی و سطح ویژه جاذب (۴۷٪/۲۲) در دمای (۳۰ سانتی‌گراد)، زمان فرایند (۳ ساعت) و سرعت هم‌زدن (۳۰۰ دور در دقیقه) حاصل خواهد شد.

پس از به دست آوردن نقاط بهینه گزارش شده از نتایج بهینه‌سازی، در شرایط به دست آمده از طراحی آزمایش صحت‌سنجی نتایج انجام شد که در بخش حاضر، فرایند کدورت‌زدایی از شیر توت قرمز توسط جاذب طبیعی پوست موز انجام گردیده و مقادیر مربوط به متغیرهای وابسته (درصد حذف کدورت شیر توت قرمز و درصد کاهش سطح ویژه جاذب طبیعی) مورد تحلیل و بررسی قرار گرفت. پس از انجام آزمایش‌ها مربوط به صحت‌سنجی طراحی آزمایش، نتایج حاکی از آن بود که با مقایسه نتایج پیش‌بینی شده و نتایج به دست آمده از انجام آزمایش‌ها، اختلاف معناداری بین داده‌های مدل پیش‌بینی با نتایج

جدول ۳- مقادیر MRE و MSE شبکه‌ها با نوروهای مخفی مختلف

Table 3. MRE and MSE values of the networks with different hidden neurons.

Number of neurons تعداد نوروها	Turbidity Removal (%) کاهش کدورت (%)		Reduction of Natural Adsorbent Efficiency (%) کاهش کارایی (%)	
	MRE (%)	MSE	MRE (%)	MSE
2	7.91	13.60	1.67	1.27
3	4.64	4.55	1.34	0.78
4	3.31	2.26	1.09	0.50
5	2.42	1.24	0.90	0.40
6	2.06	1.13	0.94	0.53
7	2.08	1.15	0.94	0.49
8	2.18	1.68	0.99	0.55
9	2.08	1.73	0.98	0.64

است. در این جدول مقادیر MRE و MSE شبکه آموزش دیده برای تعداد متفاوت نوروها نشان داده شده است. طبق جدول ۲، بهترین پیکربندی شبکه عصبی دارای یک لایه پنهان با ۶ و ۵ نورو است.

جایی که N ، t و y به ترتیب تعداد داده‌ها، داده‌های هدف (تجربی) و مقادیر پیش‌بینی شده مدل هستند. نتایج روش سعی و خطا به منظور تعیین تعداد بهینه نورو در لایه پنهان در جدول ۳ ارائه شده

مقادیر MRE و MSE برای پیش‌بینی حذف کدورت به ترتیب ۲/۰۶ درصد و ۱/۱۳ و برای کاهش کارایی جاذب ۰/۹ درصد و ۰/۴ بود. پارامترهای (وزن و

بایاس) بهترین شبکه عصبی انتخاب شده در جداول ۴ و ۵ آورده شده است.

جدول ۴- پارامترهای مدل برای پیش‌بینی حذف کدورت.

Table 4. Parameters of the model to predict Turbidity Removal.

Neuron نورون	W _{ji}			b _j	b _k =-0.1855 W _{kj}
	Temperature (°C) دما (درجه سلسیوس)	Time (h) زمان (ساعت)	Stirrer (rpm) سرعت همزن (دور در دقیقه)		
1	-0.564	-1.061	-0.311	1.536	0.275
2	7.717	-0.541	0.037	-4.921	-0.320
3	-3.150	-0.873	-5.355	2.246	-0.244
4	13.637	-1.280	-3.944	1.764	0.146
5	5.964	2.826	-0.847	-2.073	0.172
6	-4.503	-12.340	1.372	2.303	-0.106

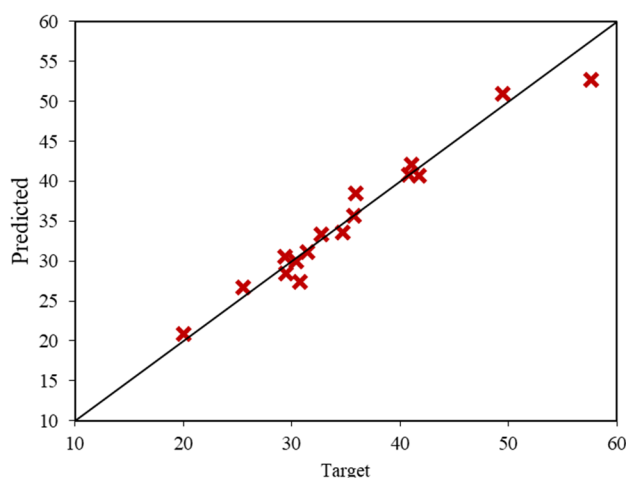
جدول ۵- پارامترهای مدل برای پیش‌بینی کاهش کارایی جاذب.

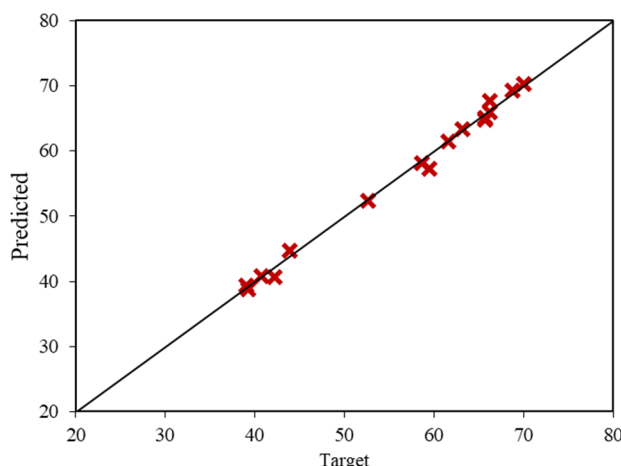
Table 5- Parameters of the model to predict Reduction of Natural Adsorbent Efficiency.

Neuron نورون	W _{ji}			b _j	b _k =-0.4858 W _{kj}
	Temperature (°C) دما (درجه سلسیوس)	Time (h) زمان (ساعت)	Stirrer (rpm) سرعت همزن (دور در دقیقه)		
1	6.589	0.598	2.217	-7.268	0.036
2	0.246	0.930	-1.246	-0.471	0.400
3	1.430	-0.159	5.138	-3.944	0.138
4	0.107	-0.620	2.389	-0.231	0.509
5	6.892	2.579	-3.729	-0.283	0.075

نقاط به خط نیمساز در شکل، همبستگی خوبی بین پیش‌بینی‌های شبکه و داده‌های تجربی نشان می‌دهد. همچنین در جدول ۶ دقت دو مدل استفاده شده در این تحقیق مقایسه شده است. نتایج بیانگر دقت بالای شبکه عصبی مصنوعی در پیش‌بینی دو متغیر هدف می‌باشد.

همبستگی بین نتایج مدل‌سازی در پیش‌بینی حذف کدورت و کاهش کارایی جاذب برای مجموعه داده‌های ارزیابی (شامل یک چهارم داده‌ها که در فرایند آموزش شبکه استفاده نشدند) در شکل ۳ نشان داده شده است. تناسب کامل (خروجی برابر با اهداف) با خط نیمساز نشان داده شده است. نزدیکی





شکل ۳- مقایسه بین داده‌های تجربی و پیش‌بینی شده ANN مربوط به مجموعه داده‌های اعتبارسنجی.

Figure 3. Comparison between the experimental and predicted data of ANN related to the validation data set.

جدول ۶- مقایسه مقادیر MRE (%) به دست آمده توسط شبکه عصبی و طراحی آزمایش.

Table 6- Comparison of MRE (%) values obtained by ANN and Factorial.

Target variable متغیر هدف	Model مدل	MRE (%)
Turbidity Removal (%) کاهش کدورت (%)	ANN	2.06
	Factorial	4.58
Reduction of Natural Adsorbent Efficiency (%) (%) کاهش کارایی	ANN	0.90
	Factorial	6.04

به‌عنوان یکی از روش‌های طراحی آزمایش در جهت یافتن نقاط بهینه عملیاتی در فرایند کدورت‌زدایی به‌خوبی عمل کرد. در نهایت استفاده از شبکه عصبی جهت پیش‌بینی نتایج حاصل از پژوهش‌های آزمایشگاهی به‌خوبی توانایی مدل نمودن خروجی با درصد اطمینان بالا را داشته، به طوری‌که در تحقیق حاضر در مقایسه با روش فاکتوریل در میان ۲ پاسخ وابسته در نظر گرفته شده، به بهبود نتایج هر دو ۲ متغیر وابسته کاهش کدورت و کاهش کارایی جاذب طبیعی منجر گردید.

نتیجه‌گیری

تحقیق حاضر شامل بخش‌های مختلفی از جمله کاهش کدورت شیره توت قرمز با استفاده از جاذب طبیعی پوست موز، طراحی آزمایش و بهینه‌سازی شرایط عملیاتی (دما، زمان و سرعت هم‌زدن) با طراحی فاکتوریل و در نهایت استفاده از شبکه عصبی جهت تهیه مدلی که دارای اعتبار بوده و بتواند نتایج حاصل از تحقیق حاضر را پیش‌بینی نماید بود. نتایج حاصل از تحقیق حاضر نشان داد که پوست موز به‌عنوان عامل جاذب طبیعی در کاهش کدورت شیره توت قرمز مؤثر عمل نمود همچنین روش فاکتوریل

منابع

1. Fanzo, J., Bellows, A.L., Spiker, M.L., Thorne-Lyman, A.L., and Bloem, M.W. 2021. The importance of food systems and the environment for nutrition. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 113(1): 7-16.
2. Cosme, F., Pinto, T., Aires, A., Morais, M.C., Bacelar, E., Anjos, R., Ferreira-Cardoso, J., Oliveira, I., Vilela, A., and Gonçalves, B.J.F. 2022. Red fruits composition and their health benefits—A review. *Foods*, 11(5): 644.
3. Dereli, B.O., Türkyılmaz, M., and Özkan, M. 2023. Clarification of pomegranate and strawberry juices: Effects of various clarification agents on turbidity, anthocyanins, colour, phenolics and antioxidant activity. *Food Chemistry*, 413: 135672.
4. Shirvani, A., Mirzaaghaei, M., and Goli, S.A.H. 2023. Application of natural fining agents to clarify fruit juices. *Comprehensive Reviews in Food Science Food Safety*, 22(6): 4190-4216.
5. Türkyılmaz, M., Hamzaoglu, F., and Özkan, M. 2021. Effects of pasteurization and storage on turbidity and copigmentation in pomegranate juices clarified with various hydrocolloid combinations. *Food Chemistry*, 358: 129803.
6. Rezaei, M., Alizadeh Khaledabad, M., Moghaddas Kia, E., and Ghasempour, Z. 2020. Optimization of grape juice deacidification using mixture of adsorbents: A case study of Pekmez. *Food Science Nutrition*, 8(6): 2864-2874.
7. Azamzam, A.A., Rafatullah, M., Yahya, E.B., Ahmad, M.I., Lalung, J., Alam, M., and Siddiqui, M.R. 2022. Enhancing the efficiency of banana peel bio-coagulant in turbid and river water treatment applications. *Water*, 14(16): 2473.
8. Karmakar, S. and De, S., *Pectin removal and clarification of juices*, in *Separation of functional molecules in food by membrane technology*. 2019, Elsevier. p. 155-194.
9. Vu, H.T., Scarlett, C.J., and Vuong, Q.V. 2018. Phenolic compounds within banana peel and their potential uses: A review. *Journal of functional foods*, 40: 238-248.
10. Akpomie, K.G. and Conradie, J. 2020. Banana peel as a biosorbent for the decontamination of water pollutants. A review. *Environmental Chemistry Letters*, 18(4): 1085-1112.
11. Topare, N.S. and Wadgaonkar, V.S. 2023. A review on application of low-cost adsorbents for heavy metals removal from wastewater. *Materials Today: Proceedings*, 77: 8-18.
12. Ververi, M. and Goula, A.M. 2019. Pomegranate peel and orange juice by-product as new biosorbents of phenolic compounds from olive mill wastewaters. *Chemical Engineering Processing-Process Intensification*, 138: 86-96.
13. Hu, J., Coombes, K.R., Morris, J.S., and Baggerly, K.A. 2005. The importance of experimental design in proteomic mass spectrometry experiments: some cautionary tales. *Briefings in Functional Genomics*, 3(4): 322-331.
14. Ahmadi, O., Sayyar, Z., and Jafarizadeh Malmiri, H. 2023. Optimization of Processing Time, Temperature, and Stirring Rate to Synthesize the Ag Nanoparticles Using Oregano Extract. *Iran. J. Chem. Chem. Eng.*, 42(10).
15. Eshghi, M., Kamali-Shojaei, A., Vaghari, H., Najian, Y., Mohebian, Z., Ahmadi, O., and Jafarizadeh-Malmiri, H. 2021. *Corylus avellana* leaf extract-mediated green synthesis of antifungal silver nanoparticles using microwave irradiation and assessment of their properties. *Green Processing Synthesis*, 10(1): 606-613.
16. Hanrahan, G. and Lu, K. 2006. Application of factorial and response surface methodology in modern experimental design and optimization. *Critical reviews in analytical chemistry*, 36(3-4): 141-151.
17. De Oliveira, M., Lima, V.M., Yamashita, S.M.A., Alves, P.S., Portella, A.C.J.I.I.o.A.E.R., and Science. 2018. Experimental planning factorial: a brief review. 5(6): 264164.
18. Abdolrasol, M.G., Hussain, S.S., Ustun, T.S., Sarker, M.R., Hannan, M.A., Mohamed, R., Ali, J.A., Mekhilef, S., and Milad, A. 2021. Artificial neural networks based optimization techniques: A review. *Electronics*, 10(21): 2689.

19. Ahdno, H. and Jafarizadeh-Malmiri, H. 2015. Clarification of date syrup by activated carbon: investigation on kinetics, equilibrium isotherm, and thermodynamics of interactions. *International Journal of Food Engineering*, 11(5): 651-658.
20. Hagen, M., Demuth, H., and Beale, M., *Neural Network Design PWS Publishing Co.* 1996, Boston.
21. Hussain, M.A. 1999. Review of the applications of neural networks in chemical process control—simulation and online implementation. *Artificial intelligence in engineering*, 13(1): 55-68.
22. Dennis Jr, J.E. and Schnabel, R.B., *Numerical methods for unconstrained optimization and nonlinear equations.* 1996: SIAM.
23. Marquardt, D.W. 1963. An algorithm for least-squares estimation of nonlinear parameters. *Journal of the society for Industrial*, 11(2): 431-441.
24. Hagan, M.T. and Menhaj, M.B. 1994. Training feedforward networks with the Marquardt algorithm. *IEEE transactions on Neural Networks*, 5(6): 989-993.
25. Haykin, S., *Neural networks: a comprehensive foundation.* 1998: Prentice Hall PTR.
26. Beigzadeh, R., Rahimi, M.J.I.C.i.H., and Transfer, M. 2012. Prediction of heat transfer and flow characteristics in helically coiled tubes using artificial neural networks. 39(8): 1279-1285.

