

# بررسی تجربی و مدل سازی ریاضی استخراج نشاسته از برنج گرده به کمک حلال قلیایی

عهدیه نوری وشکاسوقه<sup>۱</sup>، کامیار موقرنژاد<sup>۲\*</sup>

۱- کارشناس ارشد مهندسی شیمی، دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل

۲- استاد مهندسی شیمی، دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل

تاریخ دریافت: ۹۷/۰۳/۱۳ تاریخ پذیرش: ۹۷/۱۱/۰۸

پیام‌نگار: movagharnejad@yahoo.com

## چکیده

در این مطالعه استخراج نشاسته از برنج گرده با بهره‌گیری از محلول سدیم هیدروکسید، به‌عنوان حلال، بررسی شده است. آزمایش‌های استخراج در دماهای ۲۰، ۳۰، ۴۰ و ۵۰ درجه سلسیوس انجام و مقدار نشاسته استخراج شده از نمونه‌ها در زمان‌های مختلف اندازه‌گیری شده است. تأثیر دما و زمان در غلظت نشاسته استخراج شده مطالعه شده است. طبق نتایج به‌دست آمده، افزایش دما و زمان عملیات استخراج سبب افزایش میزان نشاسته استخراج شده از برنج شده است. مقدار نشاسته استخراج شده توسط شبکه عصبی چند لایه پرسپترون پیش بینی شده است. شبکه عصبی سه لایه ۲-۱۳-۱ شامل داده‌های ورودی و یک لایه میانی و یک لایه خروجی با ۱۳ نورون لایه میانی، مناسب‌ترین ساختار برای بهینه‌سازی شبکه عصبی بوده است. رگرسیون کل داده‌ها  $0.99646$  است که تمرکز داده‌ها روی خط ۴۵ درجه به خوبی مشخص است. خطای ریشه مربعی (MSE) برای کل داده‌ها برابر  $0.00066047$  و خطای ریشه میانگین مربعی (RMSE) برای کل داده‌ها  $0.01269$  است.

کلیدواژه‌ها: مدل سازی ریاضی، استخراج، برنج گرده، شبکه عصبی چند لایه پرسپترون.

## ۱. مقدمه

از برنج شامل نشاسته است. نشاسته ماده‌ای با ارزش در تولید مواد غذایی و مهم‌ترین منبع کربوهیدرات در رژیم غذایی انسان به‌شمار می‌آید [۲ و ۳] و به‌طور گسترده‌ای به‌عنوان قوام‌دهنده، تثبیت‌کننده کلوئیدی، عامل ژلاتینه، حجم‌دهنده، عامل نگهدارنده آب، و چسب در صنایع غذایی، کاغذ، مواد شیمیایی و دارویی مصرف می‌شود [۲]. در سال ۲۰۱۷ وزارت کشاورزی ایالات متحده آمریکا<sup>۱</sup> برآورد کرده است که تولید جهانی برنج در سال ۲۰۱۷ تا ۲۰۱۸ معادل  $481/04$

برنج از مهم‌ترین غلات و اقلام غذایی جهان به‌شمار می‌آید. نیمی از جمعیت جهان به‌عنوان یک غذای اصلی به برنج وابسته‌اند. به‌طور نسبی هر ۱۰۰ گرم برنج شامل ۱۳۰ کیلو کالری انرژی،  $68/5$  گرم آب، ۲۹ گرم کربوهیدرات،  $2/4$  گرم پروتئین،  $1/764$  میلی‌گرم ویتامین‌ها و  $67/3$  میلی‌گرم مواد معدنی است [۱]. درصد زیادی

\* بابل، دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل، دانشکده مهندسی شیمی، گروه مهندسی شیمی

1. United States Department of Agriculture (USDA)

شبکه عصبی برای بهبود سرعت فروشویی ایندیم بررسی کرده‌اند. بازیابی ایندیم از اکسید قلع- ایندیم خرد شده با بهره‌گیری از اکسیدان و هیدروکلریک اسید در فرایند استخراج انجام شده است. این مدل پس انتشار شبکه عصبی برای پیش‌بینی آهنگ فروشویی بهینه ایندیم به کار گرفته شده است. بنابر نتایج به دست آمده، میانگین خطای نسبی بین آهنگ فروشویی پیش‌بینی شده و تجربی کوچک است. بنابراین، مدل پس انتشار شبکه عصبی می‌تواند به عنوان یک مدل دقیق برای پیش‌بینی آهنگ فروشویی به کار رود [۹].

در سال ۲۰۱۴، دایانا دوسوزا<sup>۲</sup> و همکارانش به بررسی ویژگی‌های نشاسته و پروتئین حاصل از استخراج قلیای دانه‌های شکسته برنج پرداخته‌اند. در این پژوهش تأثیر دما، نسبت حلال به حل‌شونده و زمان را بر فرایند استخراج بررسی کرده‌اند. دانه‌های شکسته برنج آسیاب شده و آرد برنج به دست آمده برای انجام آزمایش به کار گرفته شد. استخراج با استفاده از حلال سدیم هیدروکسید ۰/۱۸٪ در دمای ۲۰ و ۳۰ درجه سلسیوس در فواصل زمانی مشخص انجام شده است. نتایج از این قرار بوده‌اند که ماهیت پروتئین در طی استخراج به علت حلال قلیایی، تغییر کرده است<sup>۳</sup>. همچنین مشاهده شده است که مقداری از نشاسته زلاتینه شده است؛ از آنجا که از آرد برنج به عنوان ماده اولیه استفاده شده، در نتیجه مقدار نشاسته آسیب دیده زیاد بوده است [۱۰].

در سال ۲۰۱۶ میلادی، حسن‌زاده و همکارش به بررسی نظری و آزمایشگاهی انتقال جرم در طی استخراج نشاسته و پروتئین از سیب زمینی پرداخته‌اند. از آب مقطر به عنوان حلال سود جسته‌اند. میزان کاهش نشاسته و پروتئین و افزایش رطوبت نمونه سیب زمینی را در دمای ۳۰، ۴۵ و ۵۵ درجه سلسیوس در زمان‌های مختلف بررسی کرده‌اند؛ از دو مدل ریاضی، مدل دو پارامتری آزارا<sup>۴</sup> و همکارانش در سال ۱۹۹۲ میلادی و روش تحلیل ریاضی قانون دوم فیک برای بررسی نظری نتایج تجربی با استفاده از نرم افزار متلب نیز استفاده شده است [۱۱]. مقادیر در نتایج به دست آمده از مدل‌سازی با مقادیر گزارش شده در پژوهش‌هایی که در زمینه نفوذ املاح و رطوبت در مواد غذایی بوده، انطباق داشته است [۱۲].

شبکه عصبی مصنوعی یکی از روش‌های مدل‌سازی داده‌های تجربی است. در سال‌های اخیر حرکتی مستمر، از تحقیقات صرفاً نظری به

میلیون تن خواهد بود. تولید برنج در سال گذشته ۴۸۳/۱ میلیون تن بوده است که حاکی از کاهش تولید ۲/۰۶ میلیون تنی تولید برنج در سراسر جهان است [۴]. بنابر تحقیقات انجام شده، مهم‌ترین خاستگاه‌های گیاهی برای تولید نشاسته، به ترتیب، ذرت، کاواسا، گندم، سیب زمینی و برنج‌اند.

نشاسته شامل دو درشت‌مولکول، آمیلوز (معمولاً ۱۸ تا ۳۳ درصد) و آمیلوپکتین (معمولاً ۶۷ تا ۸۲ درصد) است [۳]. از لحاظ ساختاری، نشاسته ترکیبی خوشه‌ای از بسپارهای خطی است که در آن پیوندهای زنجیری آلفا ۱ و ۴ ستونی از واحدهای گلوکز و شاخه‌های فرعی با پیوند آلفا ۱ و ۶ را تشکیل داده‌اند. آمیلوز، در اصل یک بسپار خطی، شامل تنها پیوند آلفا ۱ و ۶ است، در حالی که آمیلوپکتین با ۶/۵ درصد پیوند ۱ و ۶ بزرگتر و بسیار منشعب‌تر است [۵].

اندازه و شکل گرانول‌های نشاسته مختلف است که به منشأ گیاهی آن بستگی دارد. اندازه گرانول از چند میکرومتر برای نشاسته برنج تا بیش از ۱۰۰ میکرومتر برای نشاسته سیب زمینی فرق می‌کند. شکل آن‌ها ممکن است گرد، بیضوی یا چند وجهی باشد [۳]. خواص فیزیکی و شیمیایی نشاسته تحت تأثیر آمیلوز و آمیلوپکتین، وزن مولکولی، طول زنجیره، و توزیع آن قرار دارند؛ با توجه به موارد مصرف یادشده، نشاسته را می‌توان از غلات استخراج کرد.

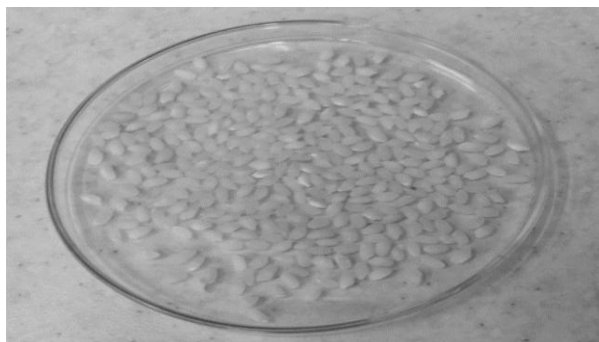
فروشویی (استخراج به کمک حلال) ماده از مواد جامد به کمک مایع، فرایندی معمول در مهندسی شیمی و صنایع غذایی به شمار می‌آید که می‌تواند در استخراج مواد زیستی، معدنی و آلی به کار می‌رود. این فرایند در بازیافت ترکیبات از پسماند ضایعات نیز به کار گرفته می‌شود [۶]. در روش معمول فروشویی، نمونه جامد در حلال غوطه‌ور و پس از رسیدن به شرایط تعادل نهایی عصاره جمع‌آوری می‌شود [۶]. نمونه‌هایی از فروشویی، عبارت‌اند از حذف مس و طلا از سنگ معدن با کاربرد اسید سولفوریک و سدیم سیانید، حذف شکر از چغندر قند با استفاده از آب گرم، استخراج روغن از دانه‌ها با استفاده از حلال‌های آلی مانند هگزان، استون یا اتر [۷] و استخراج محلول در موادی غذایی از طریق غوطه‌وری در آب [۸].

در سال ۲۰۱۳ میلادی، راییدی لی<sup>۱</sup> و همکارانش روش‌های بهینه‌سازی فروشویی را با استفاده از آزمایش‌ها تجربی و بهینه‌سازی

1. Rui-Di Li

2. Daiana De Souza  
3. Denaturation  
4. Azuara

پلاستیکی در یخچال در دمای ۴ درجه سلسیوس برای استفاده در انجام آزمایش‌ها نگهداری می‌شود؛ یک ساعت قبل از آزمایش از یخچال خارج می‌شود تا دمای آن به دمای محیط برسد. برای استفاده از برنج در آزمایش‌ها، با دستمال کاغذی خاک روی دانه‌های برنج گرفته می‌شود؛ ابعاد ذرات برنج ۲ در ۳ میلی‌متر است. سدیم هیدروکسید، هیدروکلریک اسید، پتاسیم یدید، ید و نشاسته استاندارد محصول شرکت‌های مرک و سیگما، خریداری شده‌اند.



شکل ۱. برنج کرده.

## ۲-۲ روش‌های آزمایشگاهی

عملیات استخراج با بهره‌گیری از محلول سدیم هیدروکسید ۰/۲٪ به‌عنوان حلال انجام شده است. نسبت جامد - حلال به صورت اختیاری ۱:۲۰ در نظر گرفته شد؛ آزمایش‌ها در دماهای ۲۰، ۳۰، ۴۰ و ۵۰ درجه سلسیوس و در بازه زمانی ۰ تا ۴۲۰ دقیقه [۱۲] با شرایط ثابت درون حمام آب که روی هیتر استیر قرار دارد، انجام شده است (شکل (۲)). نمونه در خلال فرایند استخراج با مگنت هم‌زده شد [۱۰].



شکل ۲. حمام آب و نمونه

تحقیقات کاربردی در زمینه‌های پردازش اطلاعات، برای مسائلی که بدون راه‌حل و یا به سختی قابل حل‌اند، انجام گرفته است. طراحی و تدوین نظری سیستم‌های دینامیکی هوشمند مدل آزاد<sup>۱</sup> مبتنی بر داده‌های تجربی نیز صورت گرفته است. شبکه عصبی جزء این دسته از سیستم‌های دینامیکی است که به استخراج دانش یا قانون نهفته در داده‌های تجربی می‌پردازد. شبکه عصبی مصنوعی<sup>۲</sup> (ANNs) از عناصر ساده تشکیل شده که این عناصر در یک راهبرد محاسباتی موازی کار می‌کنند. این عناصر نورون نامیده می‌شوند و از سیستم‌های نورون‌های زیستی الهام گرفته‌اند [۱۳].

شبکه‌های عصبی مصنوعی را می‌توان بر اساس ساختار اتصالات یاخته‌های عصبی (نورون) در دو دسته کلی، شبکه‌های رو به جلو و شبکه برگشتی<sup>۳</sup> دسته‌بندی کرد [۱۴]. در متداول‌ترین خانواده شبکه‌های رو به جلو که پرسپترون چند لایه<sup>۴</sup> نامیده می‌شوند، یاخته‌های عصبی در لایه‌هایی قرار می‌گیرند و اتصال بین آن‌ها یک طرفه است [۱۴]. مدل عمومی شبکه پرسپترون، شبکه جلورونده یا روال تعلیم به عقب است. شبکه‌های جلورونده شبکه‌هایی‌اند که ورودی‌های لایه اول یاخته‌های عصبی آن به لایه بعدی متصل است و در هر سطح این موضوع صادق است تا به لایه خروجی برسد. روال انتشار به عقب از این قرار است که پس از مشخص شدن خروجی شبکه، ابتدا وزن لایه آخر و بعد، به ترتیب، اوزان لایه‌های قبلی تصحیح می‌شود؛ شبکه‌های پرسپترون از یک لایه ورودی، تعدادی لایه پنهان و یک لایه خروجی تشکیل شده است [۱۵].

از آنجا که برنج یکی از مهم‌ترین منابع تولید نشاسته در جهان است و نقش بسیار مهمی در رژیم غذایی بشر دارد، هدف اصلی این مطالعه، بررسی استخراج نشاسته از دانه برنج کرده به کمک حلال سدیم هیدروکسید ۰/۲٪ و مدل سازی ریاضی از طریق شبکه عصبی چند لایه پرسپترون است.

## ۲. مواد و روش‌ها

### ۲-۱ مواد

ماده اولیه به کار رفته در این آزمایش برنج کرده است (شکل (۱))، که از شالیکوبی در شهر ساری تأمین شده است. برنج، درون کیسه

1. Model Free
2. Artificial Neural Networks(ANNs)
3. Recurrent
4. Multi Layer Perceptron (MLP)

نشاسته، آن را با استفاده از هیتر- استیرر در دمای ۸۰ درجه سلسیوس به مدت ۲۰ دقیقه حرارت می‌دهند، سپس می‌گذارند تا محلول مورد نظر پس از مدتی خنک شود و به دمای محیط برسد، سرانجام با آب مقطر به حجم ۲۵۰ میلی لیتر رسانده می‌شود.

### ۲-۳ اندازه‌گیری غلظت نشاسته

برای اندازه‌گیری کردن غلظت نشاسته استخراج شده، طبق پژوهش جی جوانگ سیر<sup>۱</sup> و همکارانش، از روش پیوند- ید- نشاسته استفاده شده است. این روش عبارت است از معرف ید (۵ میلی مولار ید و ۵۰ میلی مولار پتاسیم یدید) که با توجه به نمودار استاندارد غلظت نشاسته محاسبه می‌شود [۱۶]. نمونه شاهد، آب مقطر است که به ۲ میلی لیتر از آب مقطر، ۴ میلی لیتر معرف ید اضافه می‌کنند. سپس شاهد مورد نظر را درون کووت<sup>۲</sup> کوارتز<sup>۳</sup> می‌ریزند و آن را درون دستگاه طیف نورسنج قرار می‌دهند که ۲۰ دقیقه قبل از نمونه گذاری به منظور پایداری حرارتی و الکتریکی روشن شده است؛ در طول موج ۵۸۰ نانومتر توسط دستگاه طیف نورسنج میزان جذب نمونه شاهد، صفر قرار داده می‌شود؛ در ادامه، برای اندازه‌گیری غلظت نشاسته‌های استخراج شده به ۲ میلی لیتر از محلول نشاسته استخراج شده، ۴ میلی لیتر معرف ید اضافه می‌کنند. میزان جذب نمونه به کمک دستگاه طیف نورسنج در طول موج ۵۸۰ نانومتر اندازه‌گیری می‌شود.



شکل ۳. املاحی که در دستگاه سانتریفیوژ چرخانده شده‌اند.

1. Zhizhuang Xiao
2. Cuvet
3. Quartz

ابتدا حمام آب مورد نظر را که با آب مقطر پر شده است، روی هیتر - استیرر قرار می‌دهند و برای انجام آزمایش دمای حمام را روی ۲۰ درجه سلسیوس تنظیم می‌کنند؛ پس از تنظیم دمای حمام آب ۲۰ میلی لیتر از حلال سدیم هیدروکسید ۰/۲٪ را درون ارلن می‌ریزند، ارلن را توسط گیره پایه درون حمام آب ثابت نگه می‌دارند. محلول درون ارلن توسط مگنت هم زده می‌شود. پس از مدتی، دمای محلول به دمای حمام آب می‌رسد؛ سپس ۱ گرم برنج گرده که توسط ترازوی دیجیتالی وزن شده است، به حلال درون ارلن اضافه می‌شود. آزمایش‌های مورد نظر در مدت زمان‌های ۲۰، ۴۰، ۶۰، ۸۰، ۱۰۰، ۱۲۰، ۱۴۰، ۱۶۰، ۱۸۰، ۲۰۰، ۲۲۰، ۲۴۰، ۲۶۰، ۲۸۰، ۳۰۰، ۳۲۰، ۳۴۰، ۳۶۰، ۳۸۰، ۴۰۰ و ۴۲۰ دقیقه انجام گرفته است.

برای انجام آزمایش در دمای ۳۰ درجه سلسیوس دمای حمام آب با استفاده از آب مقطر تنظیم می‌شود؛ در دماهای ۴۰ و ۵۰ درجه سلسیوس هیتر را روشن می‌کنند و دمای حمام آب، با تنظیم دمای هیتر در دمای مورد نظر ثابت می‌شود. فروشویی در دمای ۳۰، ۴۰ و ۵۰ درجه سلسیوس نیز مانند عملیات انجام شده در دمای ۲۰ درجه سلسیوس انجام شده است.

بعد از پایان یافتن زمان فروشویی، با استفاده از دستگاه سانتریفیوژ محلول شامل املاح استخراج شده با ۴۰۰۰ دور در دقیقه به مدت ۶ دقیقه در سانتریفیوژ قرار داده شده است؛ سه فاز تشکیل می‌شود، فاز بالا حلال قلبایی همراه با درصد زیادی پروتئین، فاز وسط شامل درصدی از نشاسته استخراج شده که به صورت ژلاتینه در آمده، و فاز پایین، نشاسته استخراج شده است [۱۰]. بعد از جداسازی فاز بالا از دو فاز پایین، دو فاز نشاسته‌دار با استفاده از ۴ میلی لیتر سدیم هیدروکسید ۰/۲٪ شسته و سپس با استفاده از دستگاه سانتریفیوژ با سرعت ۴۰۰۰ دور در دقیقه به مدت ۶ دقیقه داخل سانتریفیوژ قرار داده می‌شود (شکل (۳)). بعد از قرار دادن در سانتریفیوژ، فاز بالا از دو فاز پایین جدا می‌شود. به منظور خنثی‌سازی محیط قلبایی املاح نشاسته‌دار، املاح نشاسته‌دار ته‌نشین شده را درون بشر می‌ریزند و مقداری آب مقطر اضافه می‌کنند، با هیتر- استیرر هم‌زده می‌شود تا محلول یکنواخت شود. در ادامه، با استفاده از محلول هیدرو کلریک اسید ۰/۱ مولار توسط pH متر به pH = ۷ رسانده شده است [۱۰]. به منظور انحلال

## ۲-۴ پیش‌بینی نشاسته استخراج شده با استفاده از شبکه

## عصبی پرسپترون چند لایه

در این پژوهش از شبکه عصبی پرسپترون چند لایه با بهره‌گیری از نرم افزار R2013b برای پیش‌بینی نشاسته استخراج شده از دانه برنج گرده استفاده شده است.

ورودی‌های شبکه شامل عناصر دما و زمان‌اند. پس از اینکه داده‌های ورودی شبکه مشخص شدند، در مرحله بعد باید ساختار شبکه مشخص شود؛ شبکه عصبی به کار رفته شامل سه لایه است. ساختار شبکه شامل یک لایه ورودی، یک لایه میانی و یک لایه خروجی است؛ اکثراً تعداد لایه‌های میانی را یک یا دو لایه در نظر می‌گیرند که آن هم با بررسی مسئله مورد نظر به دست می‌آید. زمانی که با تعداد لایه کمتر می‌توان به نتیجه مطلوب رسید، افزایش تعداد لایه‌های میانی متداول نیست، زیرا شرایط را پیچیده می‌کنند.

با توجه به رابطه (۱) نیز می‌توان محدوده مجاز تعداد یاخته‌های عصبی لایه میانی را به دست آورد:

$$2(n_i + n_o) \leq n_1 \leq \frac{k(n_i + n_o) - n_o}{n_i + n_o + 1} \quad (1)$$

$n_i$  تعداد ورودی‌ها،  $n_o$  تعداد خروجی‌ها،  $n_1$  تعداد یاخته‌های عصبی لایه میانی که قرار است بهینه شود.  $K$  تعداد داده‌ها است. سمت چپ این رابطه تجربی است و دقت زیادی ندارد، اما سمت راست این رابطه که حد بالای تعداد یاخته عصبی را مشخص می‌کند، کاربرد بیشتری دارد تا تعداد یاخته‌های عصبی از یک مقدار بیشتر نشود و عملکرد نامناسب به وجود نیاید. تعداد یاخته‌های عصبی لایه آخر همیشه با تعداد خروجی‌ها برابر است [۱۷].

راه دیگر تعیین محدوده تعداد یاخته عصبی بهینه لایه میانی نیز از این قرار است:

$$\frac{n}{2} + 1 < 2n + 1 < \text{تعداد یاخته عصبی بهینه} \quad (2)$$

در رابطه (۲)،  $n$  تعداد ورودی شبکه و ورودی‌های شبکه است [۱۸]. در این پژوهش با استفاده از روش حدس و خطا از تعداد یاخته عصبی کم که نشان دهنده ساختار ساده شبکه است شروع می‌کنند؛ اگر خطای شبکه مورد قبول نباشد به این منظور که خروجی شبکه به خروجی مورد نظر نزدیک نباشد، تعداد یاخته‌های عصبی را

تک تک افزایش می‌دهند و این افزایش تعداد یاخته‌های عصبی تا رسیدن به کم‌ترین میزان خطا ادامه می‌یابد. تعداد یاخته عصبی به دست آمده در این حالت (کمترین خطا) یاخته عصبی بهینه لایه میانی شبکه عصبی است. تعداد یاخته عصبی لایه خروجی همیشه با تعداد خروجی شبکه عصبی برابر است. در این پژوهش تنها خروجی شبکه عصبی غلظت نشاسته است، در نتیجه تعداد یاخته عصبی شبکه عصبی در لایه خارجی یک است.

برای اینکه داده‌ها همه در یک مقیاس سنجیده شوند باید آنها را بهنجار کرد:

$$\hat{x} = \frac{x - x_{\min}}{x_{\max} - x_{\min}} \quad (3)$$

در رابطه بالا داده‌ها بین ۰ و ۱ بهنجارش می‌شوند. در این پژوهش بهنجارسازی داده‌ها بین ۰/۱ و ۰/۹ بهتر پاسخ می‌دهد و در نتیجه بهنجارش داده‌ها بنابر رابطه (۴) انجام شده است:

$$\hat{x} = 0.8 \frac{x - x_{\min}}{x_{\max} - x_{\min}} + 0.1 \quad (4)$$

در این روابط  $x$  داده‌های واقعی،  $\hat{x}$  داده‌های بهنجارشده،  $x_{\min}$  کمینه مقدار عددی داده‌ها و  $x_{\max}$  بیشینه مقدار عددی داده‌هاست. پس از آماده سازی داده‌ها، آن‌ها را به سه دسته آموزش، تعیین اعتبار و آزمایش تقسیم‌بندی می‌کنند. کارایی شبکه عصبی با اندازه‌گیری خطای آموزش، اعتبار سنجی و آزمایش تعیین می‌شود. با توجه به بررسی‌های انجام شده و استناد به مقالات مرتبط، سرانجام ۷۰٪ داده‌ها به آموزش، ۱۵٪ به اعتبار و ۱۵٪ باقی‌مانده به آزمایش شبکه اختصاص داده شده است. برای تعیین توابع انتقال، توابع انتقال مختلفی از جمله لگاریتمی-خطی، شعاعی-خطی، تانژانت بیضوی-خطی و تانژانت بیضوی - تانژانت بیضوی - تانژانت بیضوی بررسی و امتحان شدند که در انتها، تابع تانژانت بیضوی برای لایه میانی و تابع خطی برای لایه خروجی نتیجه بهتری را ارائه کرده‌اند، و به کار گرفته شدند.

## ۲-۵ اندازه‌گیری خطا

به منظور بررسی میزان کمی دقت و صحت در پیش‌بینی غلظت نشاسته استخراج شده، میانگین درصد خطای مطلق، خطای

1. Absolute Average Relative Deviation (AARD%)

### ۳. نتایج

#### ۳-۱ تحلیل داده‌های تجربی

##### ۳-۱-۱ تأثیر دما و زمان بر غلظت نشاسته

با توجه به شکل (۴)، با افزایش زمان آزمایش میزان استخراج نشاسته افزایش یافته است؛ در واقع، هر چه مدت زمان تماس بین دانه‌های برنج و حلال طولانی‌تر شود استخراج بیشتری انجام می‌گیرد. با طولانی شدن زمان آزمایش انتقال جرم بیشتری صورت می‌گیرد و املاح بیشتری استخراج می‌شود.

همانطور که از نمودارها برمی‌آید، با افزایش دما میزان استخراج نیز افزایش یافته است. در واقع، افزایش دما سبب افزایش سرعت انتقال جرم شده است. با استناد به مقالات تأثیر دما بر استخراج نشاسته از دانه‌های برنج تا دمای ۵۰ درجه سلسیوس بررسی می‌شود، زیرا افزایش دما سبب تخریب نشاسته می‌شود [۱۹]. البته این انتقال جرم با رسیدن به حالت تعادل متوقف می‌شود و زمان رسیدن به حالت تعادل نیز در دماهای بالاتر سریع‌تر روی می‌دهد که این اتفاق را نیز به روشنی در شکل (۴) مشاهده می‌کنیم.

مربعی میانگین<sup>۱</sup>، خطای ریشه میانگین مربعی<sup>۲</sup>، خطای درصد میانگین<sup>۳</sup> و ضریب همبستگی<sup>۴</sup> به کار گرفته شده‌اند که بنا بر تعریف عبارت‌اند از رابطه‌های (۵) تا (۹):

$$AARD\% = \frac{100}{N} \sum_{i=1}^N \left| \frac{C_{exp} - C_{cal}}{C_{exp}} \right| \quad (5)$$

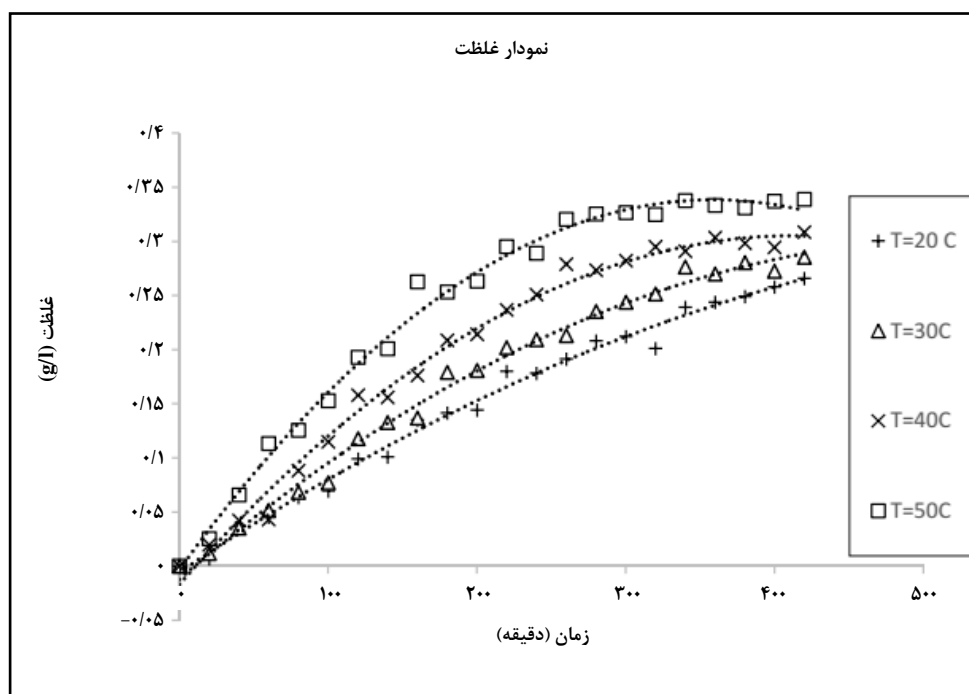
$$MSE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (C_{exp} - C_{cal})^2 \quad (6)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (C_{exp} - C_{cal})^2} \quad (7)$$

$$MPE = \frac{100}{N} \sum_{i=1}^N \frac{C_{cal} - C_{exp}}{C_{exp}} \quad (8)$$

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N C_{cal} - C_{exp}}{\sum_{i=1}^N C_{cal} - C_m} \quad (9)$$

در معادلات (۵) تا (۹)، N تعداد نقاط تجربی موجود برای غلظت نشاسته،  $C_{exp}$  مقادیر تجربی غلظت نشاسته،  $C_{cal}$  مقادیر غلظت پیش‌بینی شده توسط شبکه عصبی و  $C_m$  میانگین مقادیر غلظت تجربی برای تمام نقاط است.



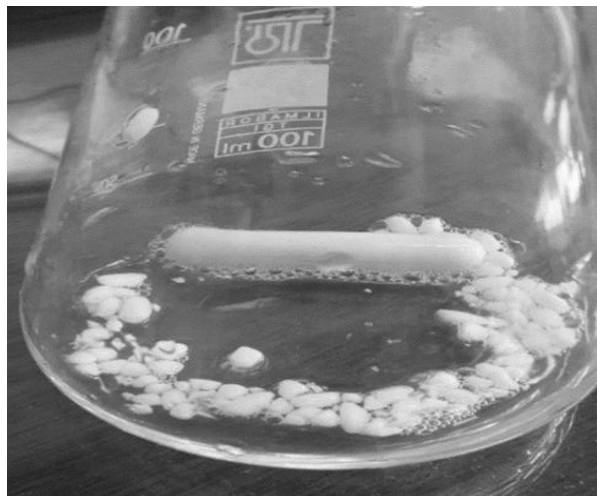
شکل ۴. غلظت نشاسته استخراج شده از دانه‌های برنج در دمای ۲۰، ۳۰، ۴۰ و ۵۰ درجه سلسیوس با نسبت حلال به حل شونده ۱:۲۰.

1. Mean Squared Error (MSE)  
4. Correlation Coefficient

2. Root Mean Square Error (RMSE)

3. Mean Percentage Error (MPE)

در نتیجه تعداد یاخته عصبی ۱۳ در لایه میانی به عنوان تعداد بهینه یاخته عصبی برای این شبکه در نظر گرفته شده است.



شکل ۵. دانه‌های برنج خرد شده.

### ۲-۱-۳ تأثیر دما و زمان بر استقامت دانه برنج

با طولانی‌تر شدن زمان و افزایش دما، دانه‌های برنج خرد می‌شوند. با گذشت تقریباً ۲ ساعت از زمان آزمایش دانه‌ها شروع به شکستن می‌کنند این امر سبب افزایش سرعت انتقال جرم می‌شود. با کوچکتر شدن اندازه ذرات برنج، سطح بیشتری از دانه‌ها در تماس با حلال قرار می‌گیرد. این امر سبب افزایش سرعت انتقال جرم و در نتیجه استخراج املاح بیشتری می‌شود.

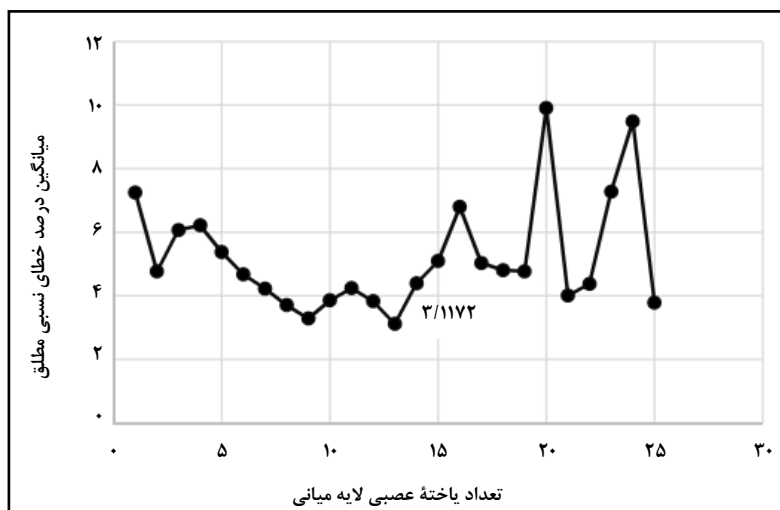
### ۲-۲ نتایج حاصل از شبیه‌سازی توسط شبکه عصبی

#### ۱-۲-۳ روش شبکه عصبی

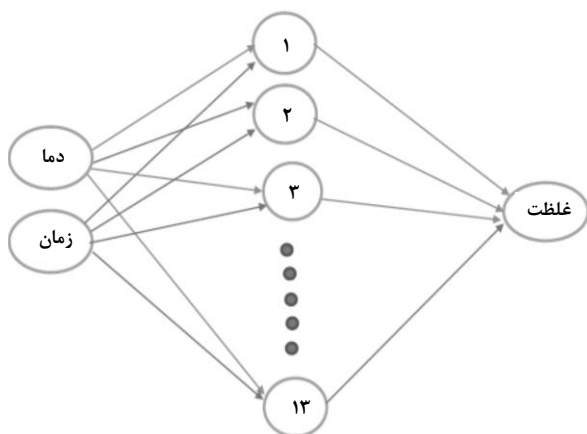
از یاخته عصبی ۱ تا ۲۵ شبکه عصبی اجرا شده است؛ میانگین درصد خطای نسبی مطلق در جدول (۱) درج و در شکل (۶) نمایش یافته است؛ همانطور که مشخص است، در یاخته عصبی ۱۳ کمترین مقدار میانگین درصد خطای نسبی مطلق به‌دست آمده است.

جدول ۱. تعداد یاخته‌های عصبی لایه میانی نسبت به میانگین درصد خطای نسبی مطلق.

تعداد یاخته عصبی	۱	۲	۳	۴	۵
AARD%	۷/۲۵۰۵	۴/۷۶۱۹	۶/۰۶۹	۶/۲۱۳۵	۵/۳۷۱
تعداد یاخته عصبی	۶	۷	۸	۹	۱۰
AARD%	۴/۶۷۱۱	۴/۲۲۵	۳/۷۰۴۴	۳/۲۸۶۴	۳/۸۵۳۲
تعداد یاخته عصبی	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴	۱۵
AARD%	۴/۲۴۱۶	۳/۸۲۵۶	۳/۱۱۷۲	۴/۳۹۰۸	۵/۰۹۰۱
تعداد یاخته عصبی	۱۶	۱۷	۱۸	۱۹	۲۰
AARD%	۶/۷۹۳۳	۵/۰۲۹۲	۴/۸۰۵۵	۴/۷۶۹۵	۹/۹۰۸۲
تعداد یاخته عصبی	۲۱	۲۲	۲۳	۲۴	۲۵
AARD%	۴/۰۰۵۴	۴/۳۷۵۴	۷/۲۷۹۱	۹/۴۸۶۲	۳/۷۸۳



شکل ۶. خطای نسبی مطلق.



شکل ۷. ساختار شبکه عصبی با ۱۳ یاخته عصبی لایه میانی.

پس از استاندارد کردن داده‌ها و تعیین ساختار شبکه، آزمایش شبکه اجرا و نتایج گزارش می‌شود. در شکل (۷) ساختار شبکه عصبی مصنوعی ۳ لایه پرسپترون با ۱۳ یاخته عصبی در لایه میانی را که مناسب‌ترین شبکه عصبی برای پیش‌بینی و مدل‌سازی داده‌های تجربی است، مشاهده می‌کنیم. در جدول (۲)، وزن‌ها و گرایش (بایاس)‌های شبکه عصبی آورده شده است.

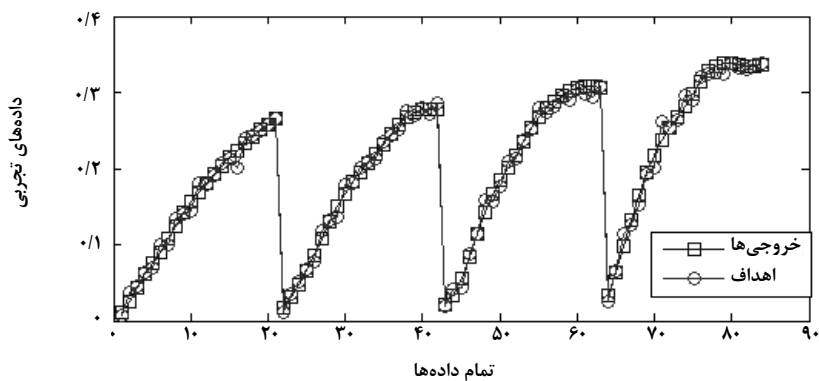
همانطور که از شکل‌های (۸) تا (۱۱) پیداست، انطباق خطوط داده‌های تجربی و داده‌های به‌دست آمده از شبکه عصبی که، به ترتیب، با دایره و مربع در نمودار مشخص شده است، برای هر سه تقسیم‌بندی، داده‌ها حاکی از دقت مناسب مدل برای پیش‌بینی غلظت نشاسته استخراج شده از دانه‌های برنج گرده‌اند.

جدول ۲. وزن‌ها و گرایش‌های شبکه عصبی سه لایه پرسپترون.

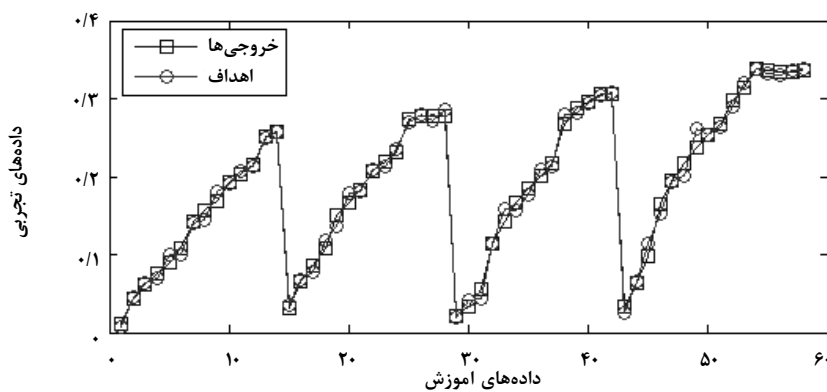
گرایش	وزن‌های ورودی		یاخته عصبی
	زمان	دما	
-۴/۷۸۱۶	۱/۰۷۵۶	۵/۱۳۹۳	یاخته عصبی ۱
۴/۷۱۰۱	-۲/۸۵۷۲	-۳/۵۹۹۱	یاخته عصبی ۲
-۳/۶۱۹۳	۳/۵۴۴۶	۳/۳۲۰۷	یاخته عصبی ۳
-۱/۹۰۰۹	۰/۴۲۶۴	۵/۲۱۴۸	یاخته عصبی ۴
-۲/۲۹۷۳	۳/۱۳۰۲	-۳/۳۲۰۲	یاخته عصبی ۵
۰/۸۵۴۹	-۳/۳۷۶۲	۳/۷۰۶۷	یاخته عصبی ۶
-۰/۵۳۷۳	-۴/۷۳۱۴	۱/۳۷۵۶	یاخته عصبی ۷
۰/۸۲۱۸	۴/۲۴۵۸	-۲/۸۳۵۶	یاخته عصبی ۸
۲/۲۷۶۷	۱/۹۶۱۴	۳/۱۸۷۶	یاخته عصبی ۹
۲/۳۳۶۷	۳/۴۴۵۵	۴/۰۳۵۵	یاخته عصبی ۱۰
-۳/۵۲۹۶	-۳/۱۳۹۵	۴/۰۷۱۷	یاخته عصبی ۱۱
۴/۱۴۵۹	۳/۱۸۹۲	-۴/۱۰۴۹	یاخته عصبی ۱۲
۵/۳۶۰۵	۲/۳۰۹۲	-۳/۵۱۹۰	یاخته عصبی ۱۳

گرایش	وزن لایه میانی	یاخته عصبی
-۰/۹۴۸۵	۰/۵۰۴۷	یاخته عصبی ۱
	۰/۵۸۷۵	یاخته عصبی ۲
	-۰/۰۹۳	یاخته عصبی ۳
	۰/۶۵۷۸	یاخته عصبی ۴
	۰/۲۱۷۵	یاخته عصبی ۵
	-۰/۱۰۱۱	یاخته عصبی ۶
	-۰/۰۳۴۸	یاخته عصبی ۷
	۰/۱۴۱۴	یاخته عصبی ۸
	۰/۵۳۴۱	یاخته عصبی ۹
	-۰/۱۴۶۴	یاخته عصبی ۱۰
	-۰/۶۴۶۶	یاخته عصبی ۱۱
	-۰/۱۵۸۶	یاخته عصبی ۱۲
	۰/۷۲۴۵	یاخته عصبی ۱۳

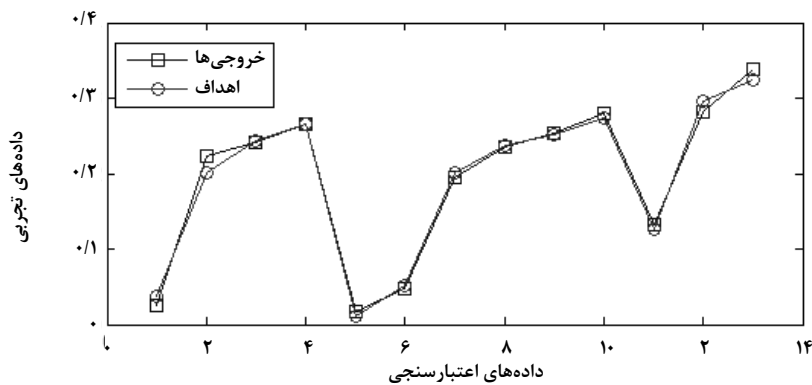




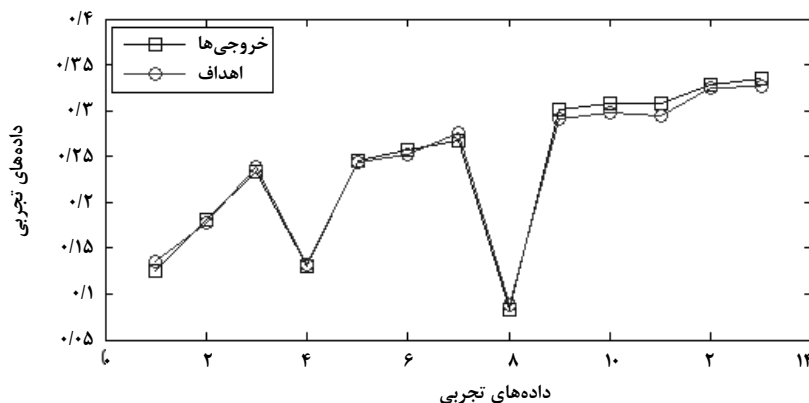
شکل ۸. داده‌های تجربی برحسب کل داده‌های شبکه عصبی.



شکل ۹. داده‌های تجربی برحسب داده‌های آموزش شبکه عصبی.

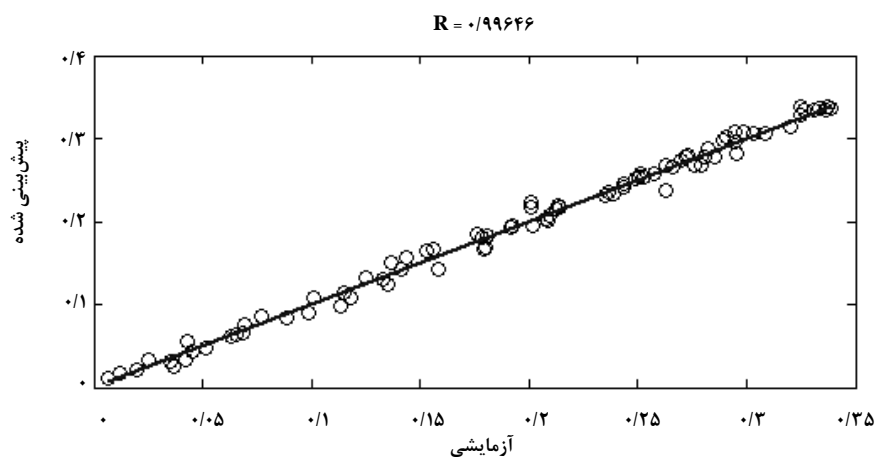


شکل ۱۰. داده‌های تجربی برحسب داده‌های اعتبارسنجی شبکه عصبی.

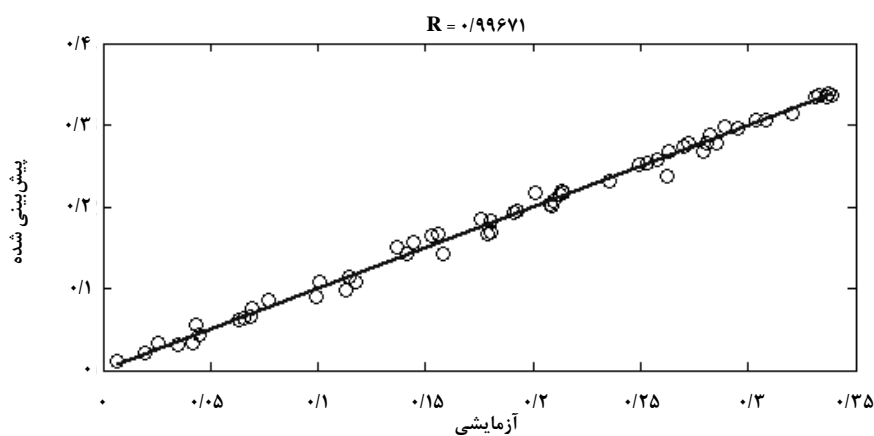


شکل ۱۱. داده‌های تجربی برحسب آزمایش شبکه عصبی.

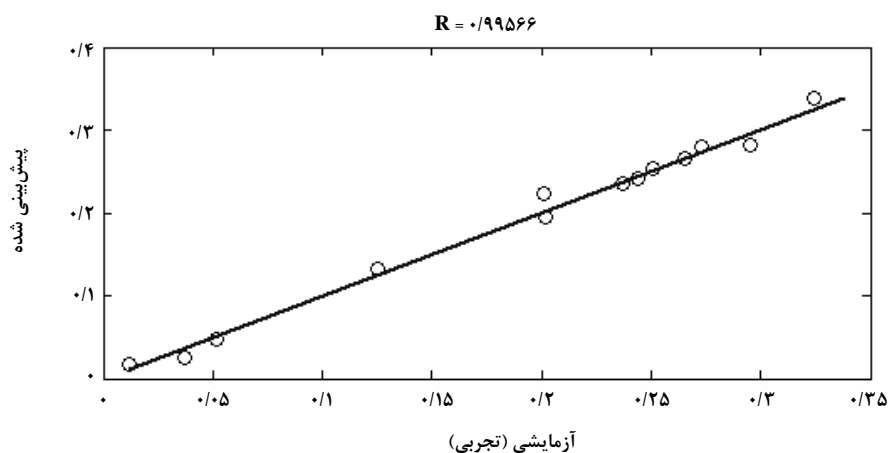
نمودارهای رگرسیون، به ترتیب، برای کل داده‌ها، داده‌های آموزشی، اعتبارسنجی و آزمایشی را در شکل‌های (۱۲) تا (۱۵) مشاهده می‌کنید. در نمودارهای رگرسیون، تمرکز داده‌ها در اطراف خط ۴۵ درجه است. رگرسیون داده‌های آموزشی ۰/۹۹۶۷۱، رگرسیون



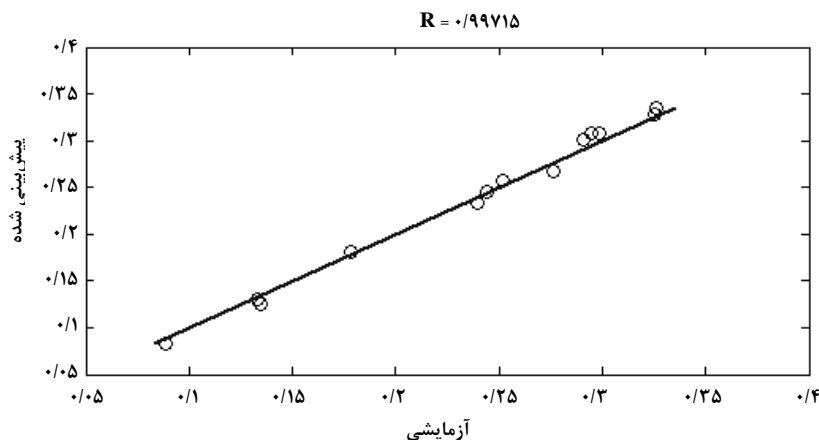
شکل ۱۲. رگرسیون کل داده‌ها.



شکل ۱۳. رگرسیون داده‌های آموزش.



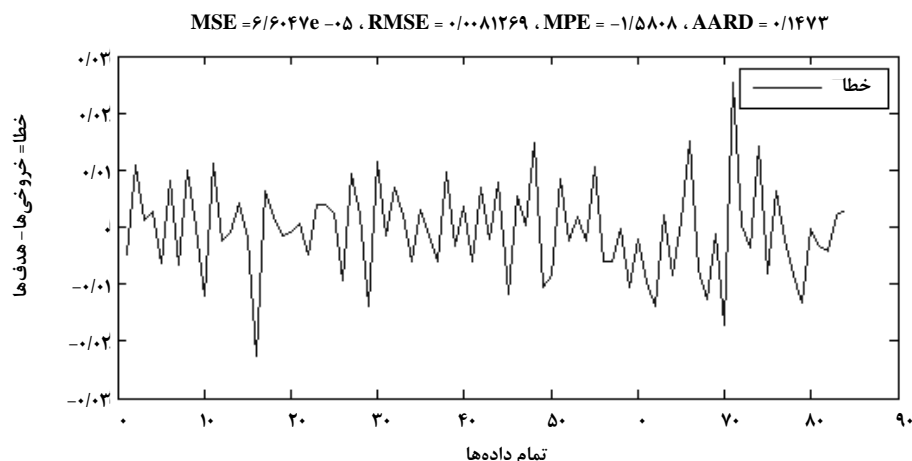
شکل ۱۴. رگرسیون داده‌های اعتبارسنجی.



شکل ۱۵. رگرسیون داده‌های آزمایشی.

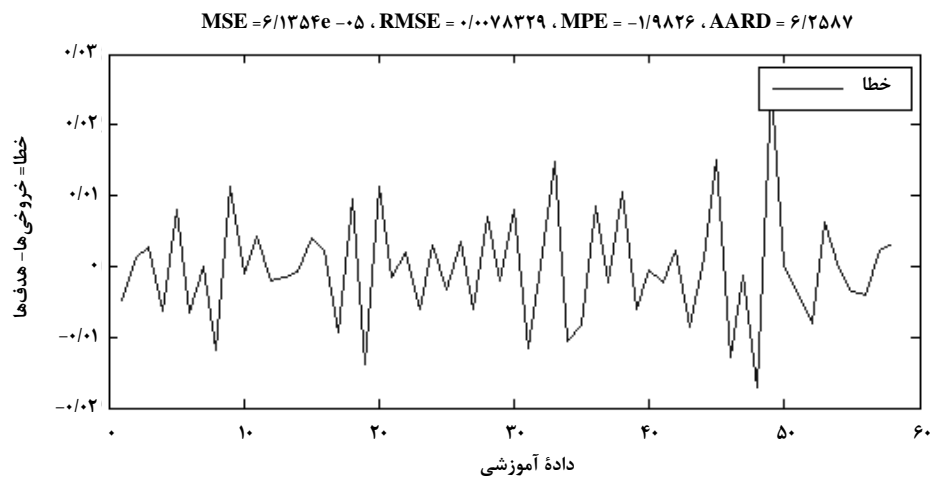
اعتبارسنجی  $0.0096071$ ، برای داده‌های آزمایش  $0.0077932$  و برای کل داده‌ها  $0.0081269$  است. از آنجا که درصد خطای میانگین می‌تواند مقدار منفی نیز داشته باشد، جمع جبری این معیار نمی‌تواند مقدار خطای یک مدل را به درستی بیان کند. با این حال، درصد خطای میانگین برای داده‌های آزمایشی  $1/9826$ ، برای داده‌های اعتبارسنجی  $1/5103$ ، و برای کل داده‌ها  $1/5808$  به دست آمده است. مقدار میانگین در صد خطای مطلق (AARD%) برای داده‌های آموزشی  $6/2587$ ، داده‌های اعتبارسنجی  $8/6804$ ، داده‌های آزمایشی  $3/1172$  و کل داده‌ها  $6/1473$  است، که، به ترتیب، خطای مربعات میانگین، خطای ریشه میانگین مربعی و خطای درصد میانگین برای داده‌های آزمایشی، آموزشی، اعتبارسنجی بهتر بوده است.

در شکل‌های (۱۶) تا (۱۹) در نمودارهای خطا، اختلاف بین داده‌های تجربی و داده‌های محاسبه شده توسط شبکه عصبی را مشاهده می‌کنید، که اختلاف خطا بین داده‌های تجربی و داده‌های محاسباتی آموزش در حدود  $[-0.03 - 0.02]$ ، بین داده‌های تجربی و داده‌های محاسباتی اعتبارسنجی در حدود  $[-0.03 - 0.02]$ ، بین داده‌های تجربی و داده‌های محاسباتی آزمایش در حدود  $[-0.015 - 0.01]$  و بین داده‌های تجربی و داده‌های محاسباتی کل در حدود  $[-0.03 - 0.03]$  قرار دارد. میانگین مربعات خطا (MSE) برای داده‌های آموزشی  $0.00061354$ ، برای داده‌های اعتبارسنجی  $0.00092297$ ، برای داده‌های آزمایشی  $0.00060734$  و برای کل داده‌ها  $0.00066047$  است و خطای مربعات میانگین (RMSE) برای داده‌های آموزش  $0.0078329$ ، برای داده‌های

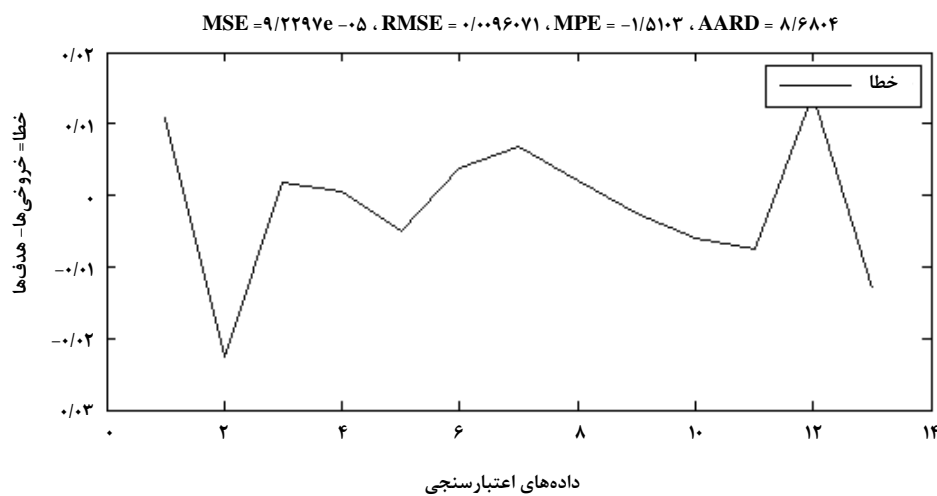


شکل ۱۶. منحنی خطای کل.

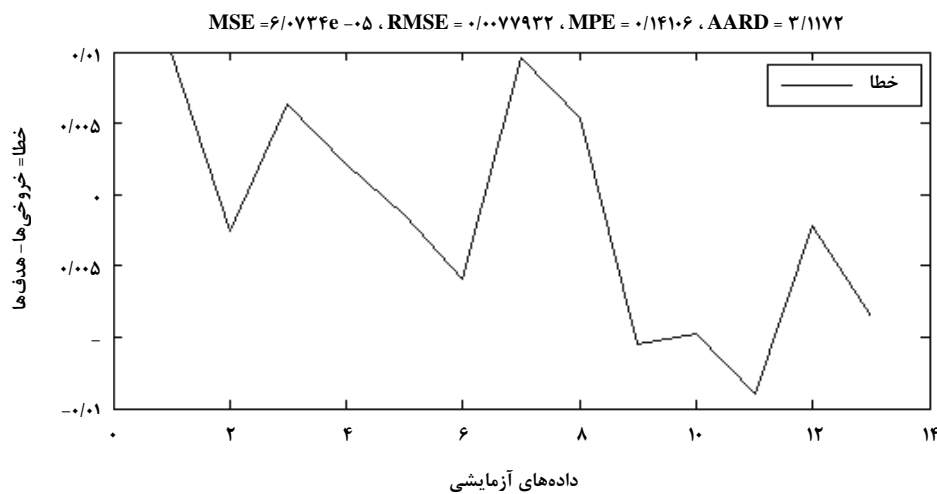
MSE = 6/6047e - 05 . RMSE = 0/0081269 . MPE = -1/5808 . AARD = 0/1473



شکل ۱۷. منحنی خطای داده‌های آموزش.



شکل ۱۸. منحنی خطای داده‌های اعتبارسنجی.



شکل ۱۹. منحنی خطای داده‌های آموزش.

## ۴. نتیجه‌گیری کلی

عملیات فروشویی نشاسته از دانه برنج گرده توسط حلال سدیم هیدروکسید ۰/۰۲٪ در دماهای ۲۰، ۳۰، ۴۰ و ۵۰ درجه سلسیوس و در بازه زمانی ۲۰ الی ۴۲۰ دقیقه انجام شده است. میزان استخراج نشاسته با افزایش دما و زمان آزمایش، افزایش یافته است. در واقع، هر چه زمان تماس بین دانه‌های برنج و حلال افزایش می‌یابد حجم استخراج بیشتر می‌شود. با افزایش زمان آزمایش انتقال جرم بیشتری صورت می‌گیرد و املاح بیشتری استخراج می‌شود. افزایش دمای فرایند استخراج سبب می‌شود میزان استخراج افزایش یابد؛ در واقع افزایش دما سبب افزایش سرعت انتقال جرم می‌شود.

شبکه عصبی قادر است غلظت نشاسته را در شرایط مختلف پیش‌بینی و مدل‌سازی کند. داده‌های تجربی به‌دست آمده از آزمایش‌های عملیات استخراج در بازه [۰/۹۰/۱] به‌نچهار شده‌اند. در ادامه، تعداد لایه‌های میانی و یاخته‌های عصبی لایه میانی با روش حدس و خطا مشخص شدند و نیز توابع انتقال مناسب و درصد داده‌های آموزش، اعتبارسنجی و آزمایش تعیین شدند. یاخته عصبی ۱۳ کم‌ترین مقدار میانگین درصد خطای نسبی مطلق به‌دست آمده است؛ در نتیجه یاخته عصبی ۱۳، برای این شبکه بهینه است.

رگرسیون کل داده‌ها ۰/۹۹۶۴۶ و رگرسیون داده‌های آزمایش ۰/۹۹۷۱۵ است که تمرکز داده‌ها روی خط ۴۵ درجه به خوبی مشخص شده است. در نمودارهای خطا، اختلاف بین داده‌های تجربی و داده‌های محاسبه شده توسط شبکه عصبی را مشاهده می‌کنید، که اختلاف خطا بین داده‌های تجربی و داده‌های محاسباتی کل در حدود [۰/۰۳/۰/۰۳-] و بین داده‌های تجربی و داده‌های محاسباتی آزمایش در حدود [۰/۰۱/۰/۱۵-] قرار دارد. میانگین مربعات خطا (MSE) برای کل داده‌ها ۰/۰۰۰۶۶۰۴۷ و برای داده‌های آزمایش ۰/۰۰۰۶۰۷۳۴ است و خطای مربعات میانگین (RMSE) برای کل داده‌ها ۰/۰۰۸۱۲۶۹ و برای داده‌های آزمایشی ۰/۰۰۷۷۹۳۲ است. خطای مربعات میانگین (MPE): چون می‌تواند مقدار منفی نیز داشته باشد جمع جبری این معیار نمی‌تواند مقدار خطای یک مدل را به درستی بیان کند. با این حال، خطای درصد میانگین برای کل داده‌ها ۱/۵۸۰۸- و برای داده‌های آزمایشی ۰/۱۴۱۰۶ به‌دست آمده است. مقدار میانگین درصد خطای

مطلق (AARD%) کل داده‌ها ۶/۱۴۷۳ و داده‌های آزمایش ۳/۱۱۷۲ است که، به ترتیب، خطای مربعات میانگین، خطای ریشه میانگین مربعی، و خطای درصد میانگین مطلق برای داده‌های آزمایشی، آموزشی، اعتبارسنجی بهتر است.

## مراجع

- [1] "Nutrient data laboratory", United States Department of Agriculture, August 10, (2016).
- [2] Waterschoot, J., Gomand, S. V., Fierens, E., Delcour, J. A., "Production, structure, physicochemical and functional properties of maize, cassava, wheat, potato and rice starches", *Journal of Starch-Stärke*, 67, 14-29, (2014).
- [3] Waterschoot, J., Gomand, S. V., Fierens, E., Delcour, J. A., "Starch blends and their physicochemical properties", *Journal of Starch-Stärke*, 67, 1-13, (2013). <https://www.worldriceproduction.com>.
- [4] Buléon, A., Colonna, P., Planchot, V., Ball, S., "Starch granules: Structure and biosynthesis", *International journal of biological macromolecules*, 23, 85-112, (1998).
- [5] Chan, C. H., Yusoff, R., Ngho, G. C., "Modeling and kinetics study of conventional and assisted batch solvent extraction, " *Chemical engineering research and design*, 96, 1169-1186, (2014).
- [6] Treybal, R. E., *Mass Transfer Operations*, 3rd ed., McGraw- Hill, Singapore, (1981).
- [7] Mestdagh, F., De Wilde, T., Fraselle, S., Govaert, Y., Ooghe, W., Degroot, J. M., Verhé, R., Van Peteghem, C., De Meulenaer, B., "Optimization of the blanching process to reduce acrylamide in fried potatoes" *LWT-Food Science and Technology*, 41, 1648-1654, (2008).
- [8] Li, R. D., Yuan, T. C., Fan, W. B., Qiu, Z. L., Su, W. J., Zhong, N. Q., "Recovery of indium by acid leaching waste ITO target based on neural network", *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, p. 257-262, (2014).
- [9] de Souza, D., Sbardelotto, A. F., Ziegler, D. R., Marczak, L. D. F., Tessaro, I. C., "Characterization of rice starch and protein obtained by a fast alkaline extraction method", *Journal of J.Food Chemistry*, 191, 36-44, (2016).
- [10] AZUARA, E., CORTÉS, R., GARCIA, H. S., BERISTAIN, C. I., "Kinetic model for osmotic dehydration and its relationship with Fick's second law", *International journal of food science & technology*, p. 409-418, (1992).
- [11] Hasanzadeh, R., Souraki, B. A., "Experimental and Theoretical Investigation of Mass Transfer during Leaching of Starch and Protein from Potato", *Journal of Chemical Engineering Communications*, 203-203(8), 1105-1115, (2016).

- [13] Hagan, M., Demuth, H.B., Beale, M.H., Neural Network Design. International Thomson publishing, (2002).
- [۱۴] بیگدلی، مصطفی؛ معرفی شبکه های عصبی و ساختار نورون عصبی، پژوهشگاه علوم و فناوری اطلاعات ایران، (۲۰۱۱).
- [15] Bianconi, A., Zuben, C. J. V., Serapião, A. B. D. S., Govone, J. S., "Artificial neural networks: A novel approach to analysing the nutritional ecology of a blowfly species, *Chrysomya megacephala*", *Journal of Insect Science*, 10, 58, (2010).
- [16] Xiao, Z., Storms, R., Tsang, A., "A quantitative starch-iodine method For measuring alpha-amylase and glucoamylase activities", *Journal of Analytical Biochemistry*, 351, 146-148, (2006).
- [17] Kalami, H. M.; <http://faradars.org/courses/mvrnn9102ac-mlp-neural-networks-in-matlab>.
- [18] Astray, G., Cid, A., Moldes, O., Ferreiro-Lage, J. A., Gálvez, J. F., Mejuto, J. C., "Prediction of refractive index of polymers using artificial neural networks", *Journal of Chemical & Engineering Data*, 5388-5393, (2010).
- [19] Waterschoot, J., Gomand, S. V., Fierens, E., Delcour, J. A., "Production, structure, physicochemical and functional properties of maize, cassava, wheat, potato and rice starches", *Journal of Starch-Stärke*, 14-29, (2015).