تعیین شرایط بهینه تولید شربت قند از دانه‌های جارو و شبیه‌سازی آن با شبکه عصبی و تولید اتانول دراین شرایط

امیرحسین قربان فرحی، قاسم نجف‌پور*، علی‌اصغر قریشی، مهسا نریمانی، مجتبی معصومی، مهری اصفهانیان

بابل، دانشگاه صنعتی بابل، دانشکده مهندسی شیمی

پیام‌نگار: **najafpour@nit.ac.ir**

چکیده

سورگوم جارویی یکی از انواع گیاه سورگوم[1] می‌باشد. از گیاه سورگوم جارویی برای تولید جارو استفاده می‌شود به این ترتیب که ابتدا دانه‌های آن ریخته شده و با بستن ساقه‌های آن جارو تهیه می‌شود. پس از تهیه جارو مقادیر زیادی دانه به عنوان پسماند باقی می‌ماند که مقداری از آنرا به عنوان خوراک دام استفاده کرده و مابقی را می‌سوزانند. نشاسته منبع اصلی کربوهیدرات‌های ذخیره شده در دانه‌های سورگوم جارویی است که حدود (۷۵-۷۰)٪ از وزن دانه را تشکیل می‌دهد که از آن بعنوان سوبسترا برای هیدرولیز و تولید شربت قند و اتانول می‌توان استفاده کرد. پس از پیش تیمار با سود و حذف پروتیین‌های ممانعت‌کننده، هیدرولیز آنزیمی نشاستهٔ موجود در دانه‌های سورگوم جارویی مورد بررسی قرار گرفت. بدین منظور از آنزیم‌های آلفا آمیلاز مقاوم حرارتی و آمیلوگلوکوزیداز استفاده شد. برای یافتن شرایط بهینهٔ هیدرولیز نیز از تکنیک RSM و نرم‌افزار DESIGN EXPERT استفاده گردید که این نرم‌افزار توانست با دقت بالایی هیدرولیز آنزیمی دانه‌های سورگوم جارویی را مدل‌سازی و شرایط بهینه را پیش‌بینی نماید. سپس در شرایط بهینه به محلول حاصله مخمر (که در این آزمایش‌ها ساکارومایس سروزیه می‌باشد) اضافه گردید. همچنین مواد دیگری نیز که به عنوان منبع ازتی و... برای رشد مخمر نیاز است به محلول اضافه شد تا عملیات تخمیر انجام و اتانول تولید گردد همچنین پس از بهینه‌سازی، تولید آنزیمی قندهای ساده از سورگوم جارویی با شبکه عصبی پس از انتشار پیشخورشبیه‌سازی شد. میزان سورگوم و آنزیم‌های آلفا آمیلاز و آمیلوگلیکوزیداز به عنوان ورودی شبکه عصبی و میزان قندهای ساده تولید شده به عنوان خروجی شبکه عصبی در نظر گرفته شد. تعداد گذر، تعداد لایه‌های پنهان و تعداد نرون در هر لایه پنهان شبکه عصبی برای رسیدن به بهترین عملکرد، بهینه شد. با توجه به نتایج بدست آمده، تطابق بسیار مطلوبی بین داده‌های تجربی و مقادیر پیش‌بینی شده حاصل گردید. لذا از شبکه عصبی می‌توان به عنوان ابزار قدرتمند برای شبیه‌سازی فرایند هیدرولیز آنزیمی دانه‌های سورگوم جارویی استفاده کرد.

کلمات کلیدی: دانه سورگوم جارویی، هیدرولیز آنزیمی، شربت قند، اتانول، شبکه عصبی

۱- مقدمه

دیر یا زود سوخت‌های فسیلی مانند نفت، زغال سنگ وگاز طبیعی به اتمام خواهد رسید. محدود بودن منابع سوخت‌های فسیلی و همچنین پیامدهای زیان‌بار زیست‌محیطی ناشی از احتراق سوخت‌های فسیلی، جوامع صنعتی را در این اندیشه فرو برد که برای دریافت انرژی به جز منابع نفتی باید در جستجوی یک جایگزین مناسب بود. انرژی توده زیستی، پتانسیل زیادی به عنوان

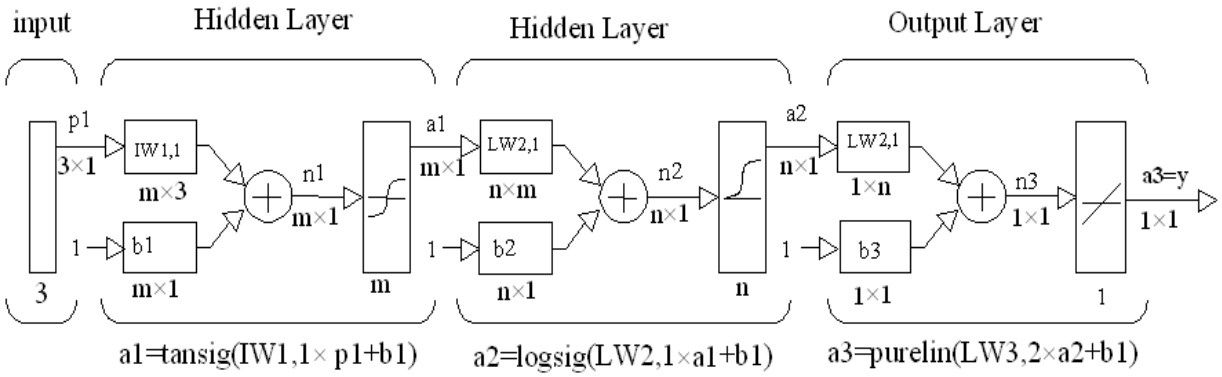
1. Sorghum

www.SID.ir

یک منبع انرژی دارد زیرا با فرایند تخمیر می‌توان زیست توده را به بیو اتانول تبدیل کرد [۱] سورگوم پنجمین غله دنیا پس از گندم، ذرت، برنج و جو محسوب می‌شود. این گیاه دارای انواع علوفه‌ای، دانه‌ای، شیرین و جارویی می‌باشد که در این مقاله از دانه‌های سورگوم جارویی برای تولید اتانول استفاده شده است. نشاسته منبع اصلی کربوهیدرات‌های ذخیره شده در دانه‌های سورگوم جارویی است که حدود ۷۵-۷۰٪ از وزن دانه را تشکیل می‌دهد [۲]. نشاسته یک پلی ساکارید است که از تعداد زیادی مولکول گلوکوز که با پیوندهای گلوکوزیدی به هم متصل شده‌اند، تشکیل یافته است[۳]. این بسپار شامل دو نوع مولکول می‌باشد: آمیلوز که ساختاری خطی دارد و در آب محلول است و شامل پیوندهای ۱-۴ گلوکوزیدی می‌باشد و آمیلوپکتین که دارای ساختاری شاخه‌ای است و نامحلول است و علاوه بر پیوندهای (آلفا ۱-۴ گلوکوزیدی)، پیوندهای (آلفا ۱-۶ گلوکوزیدی) را نیز دارد [۴]. بر حسب نوع، نشاسته دارای (۲۵-۲۰) درصد آمیلوز و (۸۰-۷۵) درصد آمیلوپکتین می‌باشد[۵]. برای هیدرولیز و شکستن این دو نوع پیوند در این پلی ساکارید و تولید قند ساده در این پروژه از آنزیم‌های آلفا آمیلاز مقاوم حرارتی و آمیلوگلوکوزیداز استفاده گردید.

تهیه اتانول از سورگوم در دو مرحله انجام می‌شود. مرحله اول شامل هیدرولیز آنزیمی دانه‌های سورگوم جارویی و تبدیل نشاسته ی موجود در آن به قندهای ساده می‌باشد. مرحله دوم شامل مصرف قندهای ساده توسط میکروارگانیزم طی یک فرایند تخمیری می‌باشد. در این مقاله شرایط بهینه تولید آنزیمی قندهای ساده از دانه‌های سورگوم جارویی توسط آنزیم‌های آلفاآمیلاز و آمیلوگلوکوزیداز به منظور تولید بیواتانول بررسی شده است وپس از تعیین شرایط بهینه، شبیه‌سازی این هیدرولیز نیز انجام شده است. میزان سوبسترای نشاسته ای و آنزیم‌های آلفاآمیلاز و آمیلوگلوکوزیداز فاکتورهای موثر روی تولید قندهای ساده می‌باشند[۶،۷].

امروزه از ابزارهای مختلفی برای شبیه‌سازی فرایندها و واکنشهای پیچیده استفاده می‌شود. شبکه عصبی مصنوعی یکی از این ابزارهایی است که در شبیه‌سازی فرایندهای پیچیده بسیار موفق بوده است[۸-۱۰]. در این مقاله پس از انجام آزمایش‌های تجربی، از شبکه عصبی مصنوعی برای شبیه‌سازی فرایند هیدرولیز دانه‌های سورگوم جارویی استفاده شده است. شبکه عصبی دارای سه لایه (ورودی، پنهان و خروجی) می‌باشد. هر لایه حاوی نرون‌هایی می‌باشد. محاسبات اصلی شبکه عصبی در نرون ها انجام می‌شود. ورودی‌های هر نرون در وزن‌های مختص به آن ضرب و با بایاس آن جمع می‌شود. حاصل آن از یک تابع انتقال گذشته و خروجی آن از نرون خارج شده و وارد نرون‌های لایه‌های بعدی می‌شود. با تنظیم وزن ها و بایاس نرون ها، شبکه آنقدر آموزش می‌بیند تا خروجی نرون‌های لایه خروجی با نتایج تجربی بدست آمده برابر شود (شکل (۱)).



شکل ۱- شرح اجمالی معماری شبکه عصبی

Archive of SID
www.

۲- روش کار تجربی

ابتدا دانه‌های سورگوم جارویی، پس از خشک شدن، آسیاب، پودر و مش‌بندی گردید. برای بهینه‌سازی هیدرولیز آنزیمی اثر سه پارامتر بر روی هیدرولیز و شکستن پلی ساکارید نشاسته بررسی شد. یکی مقدار غلظت اولیهٔ دانهٔ سورگوم موجود در محلول، دیگری مقدار آنزیم آلفاآمیلاز و پارامتر سوم، مقدار آنزیم آمیلوگلوکوزیداز لحاظ گردید. آزمایش‌های اثر همزمان این سه پارامتر بر روی هیدرولیز آنزیمی به وسیلهٔ نرم‌افزار DESIGN EXPERT طراحی شد. در هر آزمایش مقدار موردنظر از سورگوم به وسیلهٔ سود پیش‌تیمار گردید. سپس در یک ارلن ۱ لیتری به وسیلهٔ بافر پتاسیم هیدروژن فتالات ۰/۱ مولار و محلول ۰/۱ مولار سود، pH محلول به ۶ و حجم محلول نیز به یک لیتر رسانده شد. سپس مقادیر مشخص آلفا آمیلاز در هر آزمایش اضافه می‌گردید. بعد از طی ۲ ساعت pH محلول به وسیلهٔ اسید فسفریک به ۴/۵ رسید و مقادیر مشخص آمیلوگلوکوزیداز اضافه می‌گشت و مدت۷۲ ساعت در شکر در دمای ۶۰°C و دوره ۱۵۰rpm باقی می‌ماند. پس از پایان هیدرولیز از محلول نمونه گرفته می‌شد. مقدار قندهای ساده به وسیلهٔ آزمون دی نیتروسالیسیلک اسید[1] [۱۱] محاسبه شدند. مقدار نشاستهٔ هر نمونه به وسیلهٔ آزمون ریزورسینول[2] [۱۲] بدست آمدند.پس از تعیین شرایط بهینه هیدرولیز، فرایند تولید اتانول و تخمیر نیز انجام پذیرفت.

۳- نتایج آزمایش‌های تجربی

آزمایش‌های طراحی شده برای بررسی تأثیر غلظت دانه‌های سورگوم و غلظت آنزیم‌های مورد استفاده بر هیدرولیز در جدول (۱) آورده شده است. برای هر آزمایش در شرایط ذکر شده در زیر، پیش تیمار با سود و سپس هیدرولیز انجام گردید و پس از پایان هیدرولیز نمونه گرفته شد و آزمون دی نیترو سالیسیلیک اسید برای سنجش میزان تولید قند ساده برای هر نمونه انجام شد.

نتیجه نهایی تولید قند ساده در هر آزمایش به عنوان نتیجهٔ هیدرولیز در نرم‌افزار قرار داده شد.(عدد مقدار قند ساده برای هر آزمایش در ستون آخر قرار داده شده است)

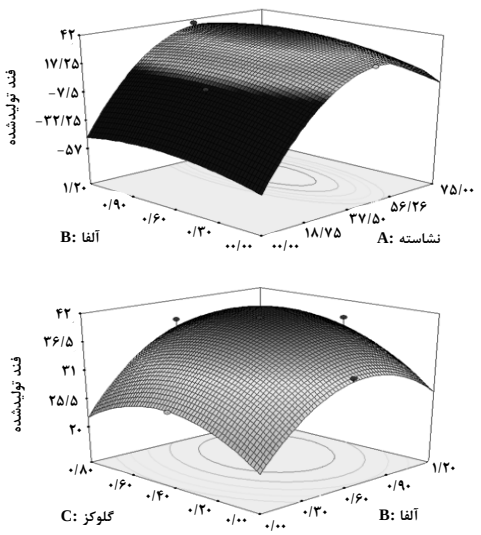
جدول ۱- داده‌های تجربی تولید قندهای ساده در آزمایش‌های هیدرولیز

شماره آزمایش	متغیر A غلظت نشاسته (g/L)	متغیر B غلظت آلفاآمیلاز (g/L)	متغیر C، غلظت آمیلوگلوکوزیداز (g/L)	غلظت قند ساده تولیدی (g/L)
۱	۶۰/۰۰	۰/۹۰	۰/۶۰	۵
۲	۴۵/۰۰	۰/۶۰	۰/۴۰	۲۴
۳	۶۰/۰۰	۰/۳۰	۰/۲۰	۲۱
۴	۴۵/۰۰	۰/۶۰	۰/۴۰	۲۱/۶۱
۵	۶۰/۰۰	۰/۹۰	۰/۲۰	۲۶
۶	۴۵/۰۰	۰/۶۰	۰/۸۰	۴۱/۲
۷	۴۵/۰۰	۰/۰۰	۰/۴۰	۴۱/۳
۸	۴۵/۰۰	۰/۶۰	۰/۴۰	۳۶/۱
۹	۴۵/۰۰	۰/۶۰	۰/۰۰	۲۷
۱۰	۶۰/۰۰	۰/۳۰	۰/۶۰	۴۱/۲
۱۱	۳۰/۰۰	۰/۹۰	۰/۲۰	۳۳/۲
۱۲	۳۰/۰۰	۰/۳۰	۰/۲۰	۴۱/۳
۱۳	۴۵/۰۰	۰/۶۰	۰/۴۰	۳۸/۵
۱۴	۴۵/۰۰	۱/۲۰	۰/۴۰	۴۱/۳
۱۵	۴۵/۰۰	۰/۶۰	۰/۴۰	۴۱/۳
۱۶	۳۰/۰۰	۰/۳۰	۰/۶۰	۳۵/۹
۱۷	۳۰/۰۰	۰/۹۰	۰/۶۰	۳۰
۱۸	۴۵/۰۰	۰/۶۰	۰/۴۰	۳۳/۲۵
۱۹	۷۵/۰۰	۰/۶۰	۰/۴۰	۳۲/۱۵
۲۰	۱۵/۰۰	۰/۶۰	۰/۴۰	۱۴/۱

1. DNS 2. Resorcinol

www.SID.ir

و نرم‌افزار با تکنیک پاسخ سطحی تأثیر پارامترها را بر روی تولید قندهای ساده بررسی کرد که به صورت ذیل می‌باشد:



شکل ۲- نتایج هیدرولیز آنزیمی و تأثیر همزمان پارامترها بر روی تولید قندهای ساده (محورهای افقی پارامترهای مختلف و محور عمودی مقدار قند تولید شده به ازای مقادیر مختلف پارامترها)

مدل پیش‌بینی شده برای هیدرولیز آنزیمی سورگوم جارویی به صورت ذیل است:

$$y = -61.19 + 3.41A + 36.02B + 28.36C + 0.00083AB + 0.1087AC + 4.8125AC - 0.0358A^2 - 25.2378B^2 - 38.627C^2$$

معادلهٔ (۱)

y = Reducing Sugar Concentration (g/l)
A= Sorghum Concentration (g/l)
B= α amylase Concentration (g/l)
C= Amyloglucosidase Concentration (g/l)

پارامترها و مشخصات مدل ارائه شده به شرح جدول (۲) است. مقدار بالای ضریب رگرسیون (R^2)، میزان بالای مقادیر (F–Value) و مقادیر پایین (P–Value) نشان‌دهنده قابلیت بالای مدل ارائه شده برای تولید اتانول از دانهٔ سورگوم است. همچنین ضریب واریانس پایین (CV =٪۶/۷۱) دقت بالای مدل فوق را تأیید می‌نماید.

با مشتق‌گیری از مدل فوق نسبت به سه پارامتر و حل سه معادله سه مجهولی حاصل شرایط بهینهٔ تولیدقند از دانهٔ سورگوم حاصل می‌گردد که عبارتست از:

جدول ۲- پارامترهای مدل شده برای هیدرولیزآنزیمی سورگوم توسط نرم‌افزاردیزاین اکسپرت

منبع متغیر	(F – Value)	درجه آزادی	مربع میانگین	احتمال (P)
مدل	۴۸/۹۵	۹	۲۱۶/۳۵	< ۰/۰۰۰۱
باقیمانده		۱۰	۴/۴۳	
Lack of fit		۵	۸/۸۶	< ۰/۰۰۰۱
خطای خالص		۵	۰	
جمع کل		۱۹		

R^2= 0.9778, دقیق R^2= 0.9578, حدس زده شده R^2= 0.8174, دقت کافی =26.34,
CV=6.71, انحراف معیار =2.10, PRESS= 364.37, خطای خالص =0.000

جدول ۳- شرایط بهینه بدست آمده برای هیدرولیزآنزیمی دانه سورگوم جارویی

پارامتر	غلظت بهینه نشاسته (g/L)	غلظت بهینه آلفا آمیلاز(g/L)	غلظت بهینه آمیلوگلوکوزیداز (g/L)
شرایط بهینه	۴۸/۸	۰/۷۸	۰/۴۸

بنابراین پس از تعیین شرایط بهینه هیدرولیز آنریمی مقدار یک لیتر محلول دانه جارو را طبق روش فوق‌الذکر و طی شرایط بهینه (که عبارتست از غلظت ۴۸/۸ گرم در لیتر نشاسته موجود در دانه‌های سورگوم جارویی و افزودن ۰/۷۸ گرم در لیتر آنزیم آلفاآمیلاز و ۰/۴۸گرم آمیلوگلوکوزیداز) ساخته، باسود پیش تیمار کرده و سپس هیدرولیز می‌نماییم. پس از پایان هیدرولیز و تولید قند ساده، محلول را صاف کرده و برای استریل شدن اتوکلاو می‌نماییم. حال این محلول را در داخل بیو راکتورریخته و ۵٪ حجمی به آن مایع تلقیح (مخمر ساکارومایسیس) اضافه می‌نماییم تا تخمیر آغاز گردد. سپس سیستم را بسته و هر ۲ ساعت هم از داخل بیوراکتور نمونه گرفته می‌شود. نمونه‌های گرفته شده پس از سانتریفوژ و صاف کردن به دستگاه جی‌سی[1] تزریق شده تا مقدار اتانول تولید شده در آن

1. Gas Chromatograph

Archive of SID

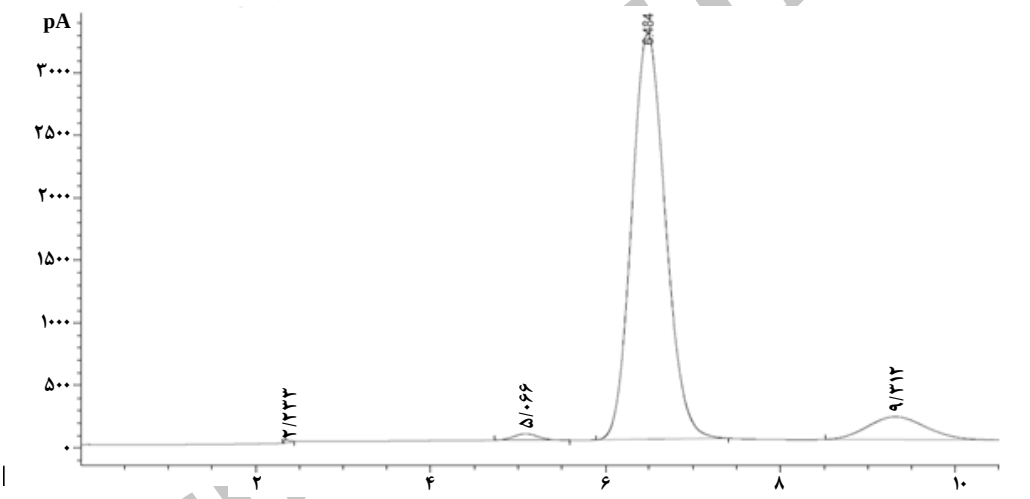
www.

محاسبه گردد. محاسبه اتانول با استفاده از گزارش جی‌سی و منحنی درجه‌بندی اتانول و مساحت داده شده زیر پیک اتانول در گزارش فوق محاسبه می‌گردد. نمونه‌ای از ریپورت‌های جی سی در ذیل آمده است که پیک خارج شده در دقیقه ششم پیک اتانول است.

که در این شرایط به تولید اتانولی معادل ۸/۵ گرم در لیتر می‌رسیم یعنی تقریباً یک پنجم وزن دانه‌های سورگوم جارویی در شرایط بهینه بدست آمده به اتانول تبدیل شده است. با توجه به حجم بالای دانه‌های سورگوم جارویی که در نقاط مختلف کشور سوزانده می‌شود و هیچ استفاده‌ای از آن نمی‌شود امید است این نتایج بتواند به رشد تولید اتانول سوختی در کشور کمک شایانی نماید.

۴- معماری و طراحی شبکه عصبی مصنوعی

شبکه عصبی پس انتشار پیشخور یکی از پرکاربردترین شبکه عصبی در شبیه‌سازی فرایندهای زیست فناوری می‌باشد. لذا از این نوع شبکه عصبی برای پیش‌بینی میزان قندهای ساده تولید شده در هیدرولیز آنزیمی سورگوم استفاده شد. به منظور بررسی فرایند هیدرولیز سورگوم میزان سوبسترا، آنزیم‌های آمیلاز و آمیلوگلوکوزیداز در پنج سطح در نظر گرفته شدند (جدول (۴)). فاکتورهای فوق به عنوان ورودی شبکه عصبی و میزان قند تولید شده به عنوان خروجی شبکه در نظر گرفته شدند.



شکل ۳- نمونه‌ای از ریپورت‌های جی سی برای سنجش میزان اتانول (محور افقی زمان برحسب دقیقه و محور عمودی مساحت پیک)

شکل ۴- تولید بیواتانول از دانه‌های سورگوم جارویی

www.SID.ir

جدول ۴- سطوح پارامترهای متغیرهای ورودی شبکه عصبی

(z-Level)	متغیرهای ورودی		
	A	B	C
۱	۱۵	۰	۰
۲	۳۰	۰/۳	۰/۲
۳	۴۵	۰/۶	۰/۴
۴	۶۰	۰/۹	۰/۶
۵	۷۵	۱/۲	۰/۸

A: سوبسترا (g)، B: آلفا آمیلاز (g) و C: آمیلوگلیکوزیداز (g)

میزان سوبسترا و آنزیم‌های آلفاآمیلاز و آمیلوگلوکوزیداز به عنوان ورودی شبکه عصبی و میزان قندهای ساده تولید شده به عنوان خروجی شبکه عصبی در نظر گرفته شد. شبکه عصبی با دو لایه پنهان و تعداد نرون لایه پنهان از ۱ تا ۲۵ بهینه شد. تعداد گذر در آموزش، تعداد لایه ها و تعداد نرون در هر لایه فاکتورهایی هستند که در این مطالعه بهینه شدند.

کلیه داده ها به دو دسته آموزش (۸۰ درصد داده‌ها) و آزمون (۲۰ درصد داده‌ها) تقسیم بندی شدند. ابتدا شبکه عصبی بدون اطلاع از داده‌های آزمون فقط با داده‌های آموزش، آموزش دید. پس از اتمام آموزش به منظور بررسی عملکرد شبکه عصبی به ازای ورودی‌های جدید، عملکرد شبکه برای داده‌های آزمون نیز مورد ارزیابی قرار گرفت. از جعبه ابزار شبکه عصبی نرم افزار مطلب نسخه ۷ برای انجام محاسبات شبیه‌سازی استفاده شد. برخی اوقات تعداد بالای نرون در لایه‌های پنهان موجب پیش برازش[1] می‌شود. برای جلوگیری از رخداد این پدیده، از تکنیک بیسین[2] استفاده شد. به طوری که بردارهای خروجی و ورودی شبکه با استفاده از این تکنیک، قبل از اینکه برای آموزش شبکه بکار گرفته شوند، بین ۱- تا ۱+ تنظیم شدند. در حالیکه میانگین خطا و استاندارد آن به ترتیب برابر ۰ و ۱ گردیدند. از الگوریتم (لونبرگ- مارکوارت) برای آموزش شبکه عصبی استفاده شد. پس از هر بار آموزش شبکه، عملکرد شبکه عصبی مورد بررسی قرار گرفت. برای توصیف راحت‌تر، خروجی شبکه عصبی از توابع عملکرد زیر استفاده شد.

1. Over Fitting
2. Bayesian

$$MSE = \frac{\sum_{i}^{n}(y_i - y_i^{\exp})^2}{n} \quad (۱)$$

$$RMSE = \sqrt{MSE} \quad (۲)$$

$$MAPE = 100\sum_{i=1}^{n}\left|\frac{y_i - y_i^{\exp}}{y_i}\right| \quad (۳)$$

$$R^2 = \frac{\sum_{i}^{n}(y_i^{\exp} - \bar{y})^2 - \sum_{i}^{n}(y_i^{\exp} - y_i)^2}{\sum_{i}^{n}(y_i^{\exp} - \bar{y})^2} \quad (۴)$$

که در آن MSE: میانگین مربعات خطا، RMSE: جذر میانگین مربعات خطا، MAPE: میانگین مطلق درصد خطا، R^2: ضریب رگرسیون، $y_i^{\exp}$: داده‌های تجربی، y_i: داده‌های پیش‌بینی شده توسط شبکه عصبی و $\bar{y}$: میانگین داده‌های تجربی و n: تعداد داده‌ها می‌باشد.

در لایه‌های پنهان از توابع انتقال سیگموئیدی و در لایه خروجی از تابع انتقال خطی استفاده شد. شبکه عصبی با دو لایه پنهان با تعداد نرون‌های ۱ تا ۲۵ و تعداد گذر تا ۱۲۰۰ بهینه شد. شبکه عصبی بهینه با آرایش نرون (۳-۲۳-۵-۱) به ترتیب از لایه ورودی تا لایه خروجی و تعداد گذر ۷ بدست آمد.

۵- بحث

مقادیر عملکرد شبکه عصبی بهینه شده برای داده‌های آزمون و آموزش در جدول (۵) گزارش شده است. با توجه به جدول (۵) می‌توان نتیجه گرفت، مقادیر میانگین درصد خطای داده‌های آموزش و آزمون پیش‌بینی شده به ترتیب تقریباً صفر و ۱/۰۹ درصد می‌باشد که مقادیر قابل قبولی می‌باشد.

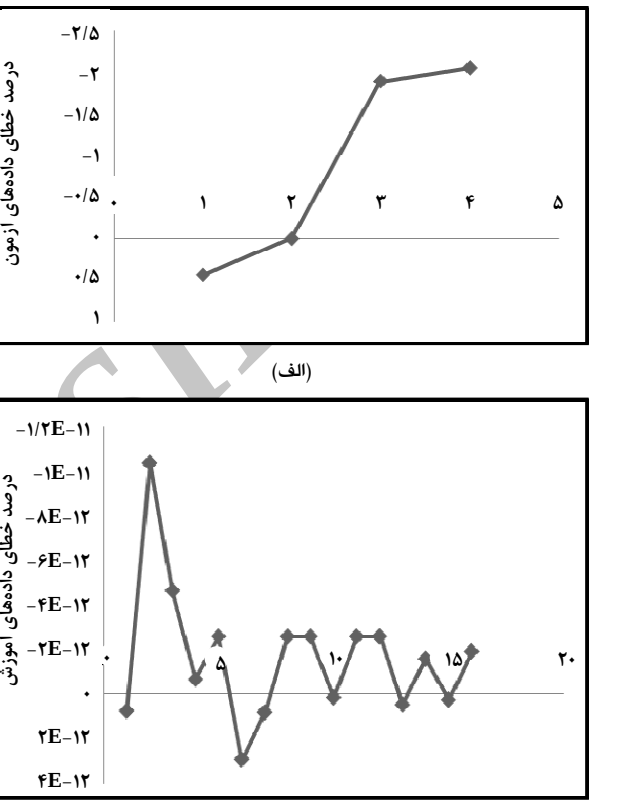
جدول ۵- مقادیر عملکرد شبکه عصبی بهینه شده برای داده‌های آزمون و آموزش

RMSE	آموزش	$۱۴۵۲/۹\times۱۰^{-۱۱}$
	آزمون	۰/۴۸۱۳
MAPE	آموزش	$۳۰۱۶/۲\times۱۰^{-۱۲}$
	آزمون	۱/۰۹
R^2	آموزش	۱
	آزمون	۰/۹۹۸۸

Archive of SID

www.

همچنین نمودار درصد خطای داده‌های آزمون و آموزش در شکل (۵) نشان داده شده است. با توجه به شکل ۵ نیز می‌توان نتیجه گرفت که میزان خطا برای داده‌های آزمون و آموزش پیش‌بینی شده توسط شبکه عصبی بسیار ناچیز است.



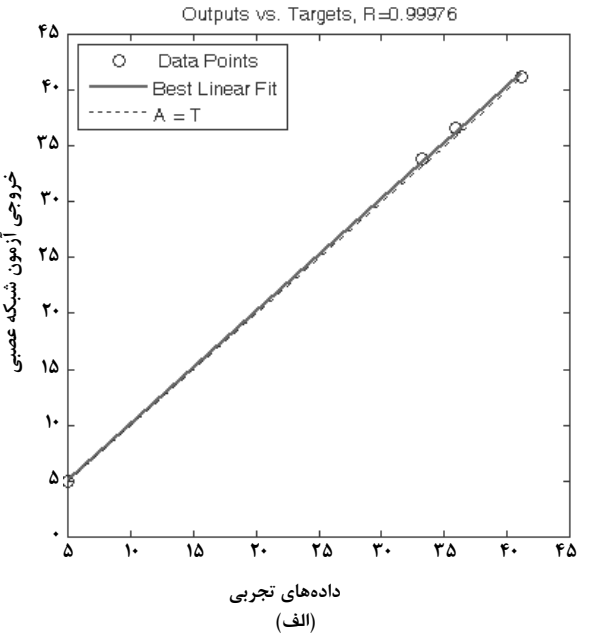
(الف)

(ب)

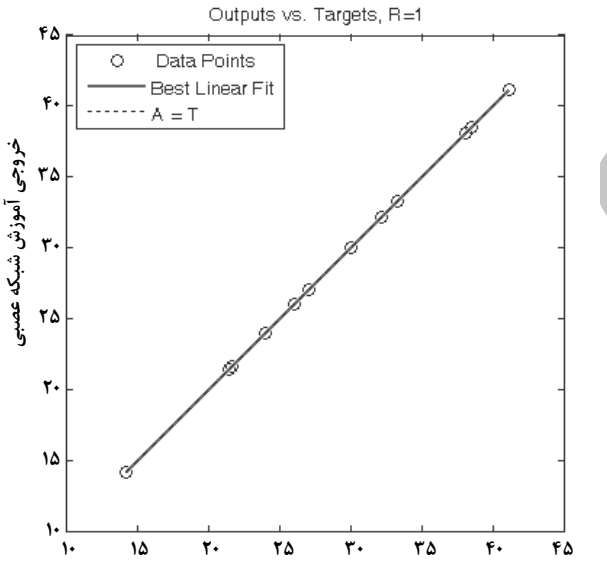
شکل ۵- نمودار درصد خطای داده‌های آزمون (الف) و آموزش (ب) پیش‌بینی شده توسط شبکه عصبی

جهت مشاهده میزان تطابق داده‌های تجربی و داده‌های پیش‌بینی شده توسط شبکه عصبی، نمودار مقادیر پیش‌بینی شده داده‌های آزمون و آموزش توسط شبکه عصبی بر حسب داده‌های تجربی در شکل (۶) نشان داده شده است. با توجه به شکل میزان تطابق داده‌های تجربی و پیش‌بینی شده بسیار بالا می‌باشد.

به منظور بررسی نحوه تغییرات عملکرد شبکه عصبی طی آموزش، نمودار عملکرد شبکه بر حسب تعداد گذر در شکل (۷) نشان داده شده است. با توجه به شکل (۷)، مقدار خطا به شدت کاهش یافت و لذا هدف شبکه عصبی در گذر هفتم تأمین و آموزش شبکه عصبی متوقف شد.



(الف)



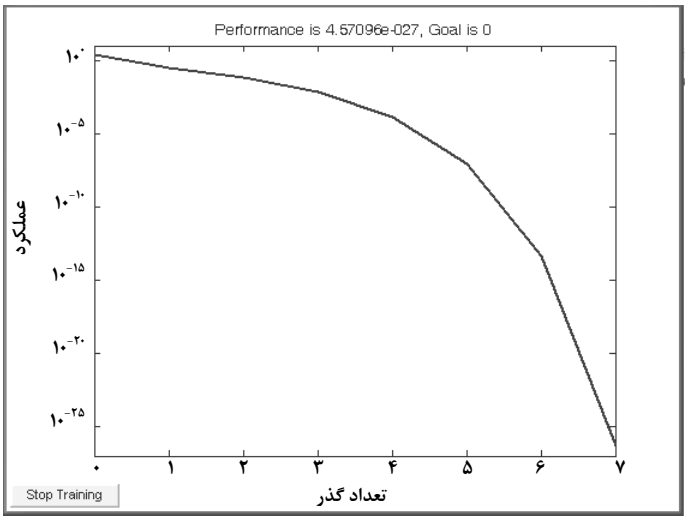
(ب)

شکل ۶- نمودار مقادیر پیش‌بینی شده آزمون و آموزش توسط شبکه عصبی بر حسب داده‌های تجربی

۶- نتیجه‌گیری

در این پژوهش، هیدرولیز آنزیمی دانه‌های سورگوم جارویی و تولید بیواتانول از آن مورد بررسی قرار گرفت. برای این منظور اثر سه پارامتر غلظت دانهٔ سورگوم، غلظت آنزیم آلفاآمیلاز و غلظت آنزیم آمیلوگلوکوزیداز بر روی هیدرولیز و تولید قند ساده بررسی شد و نهایتاً مدلی برای هیدرولیز آنزیمی و تولید قند ساده بر حسب سه

www.SID.ir



شکل ۷- نمودار عملکرد شبکه بر حسب تعداد گذر

پارامتر فوق ارائه گردید. همچنین شرایط بهینهٔ هیدرولیز بدست آورده شد که این شرایط عبارتست از غلظت ۴۸/۸ گرم در لیتر نشاسته موجود در دانه‌های سورگوم جارویی و افزودن ۰/۷۸ گرم در لیتر آنزیم آلفاآمیلاز و ۰/۴۸ گرم آنزیم آمیلوگلوکوزیداز، که در این شرایط حدود (g/L)۴۲ قند ساده بدست می‌آید که این مقدار قند منجر به تولید ۸/۵ گرم در لیتر بیواتانول می‌شود..

همچنین از شبکه عصبی پس انتشار پیش خور، جهت شبیه‌سازی فرایند هیدرولیز آنزیمی دانه‌های سورگوم جارویی،استفاده گردید. از الگوریتم لونبرگ مارکوارت و تابع یادگیری وزن و بایاس ممنتوم با شیب نزولی به ترتیب برای آموزش و یادگیری شبکه عصبی استفاده شد. شبکه عصبی بهینه با آرایش نرون (۳-۲۳-۵-۱) به ترتیب از لایه ورودی تا لایه خروجی و تعداد گذر ۷ بدست آمد. میانگین درصد خطا و ضریب رگرسیون برای داده‌های آزمون به ترتیب برابر ۱/۰۹ درصد و ۰/۹۹۸۸ و برای داده‌های آموزش به ترتیب برابر $۲/۳۰۱۶\times۱۰^{-۱۲}$ و ۱ برآورد شد. لکن تطابق بسیار مطلوبی بین داده‌های تجربی و داده‌های پیش‌بینی شده توسط شبکه عصبی مشاهده شد. بنابراین از شبکه عصبی می‌توان به عنوان یک روش توانمند در شبیه‌سازی فرایند تولید آنزیمی قند ساده از دانه‌های سورگوم جارویی استفاده کرد.

مراجع

[1] Ghoreyshi, A. A. Mohammadi, M., Esfahanian, M., "Enzymatic Production of Reducing Sugars from Broomcom Seed", World Applied Sciences Journal 18(4): 568-574,(2012).

[2] Almodares, A., Taheri, R., Adeli, S., "Evaluation of some sorghum [Sorghum bicolor (L.) Moench] cultivars and lines as sweet, dual purpose, and grain types", Journal of Tropical Agriculture 46(1-2): 62-63, (2008).

[3] Marangoni, A. G. "Enzyme kinetics: a modern approach", Wiley-Interscience, 2nd Edition, 100-150, (2002).

[4] Beilen, J. B. and Z. Li ,"Enzyme technology: an overview", Current Opinion in Biotechnology 13(4): 338-344, (2002).

[5] Baruque Filho, E. A. and Baruque, M. D. G. A., "Babassu coconut starch liquefaction: an industrial scale approach to improve conversion yield", Bioresource technology 75(1): 49-55, (2000).

[6] Davila-Gomez, F., Chuck-Hernandez, C., "Evaluation of bioethanol production from five different varieties of sweet and forage sorghums (Sorghum bicolor (L) Moench).", Industrial Crops and Products 33(3): 611-616,(2011).

[7] Drapcho, C. M., Nhuan, N. P., Walker, T. H., "Biofuels engineering process technology", McGraw-Hill,3th Edition, 45-70, (2008).

[8] Bryjak, J., Ciesielski, K., "Modelling of glucoamylase thermal inactivation in the presence of starch by artificial neural network", Journal of biotechnology 114(1): 177-185, (2004).

[9] Demuth, H. and Beale., M., "Neural network toolbox for use with MATLAB: User's guide", MathWorks Inc, First Edition, 1-50, (1998).

[10] Kumar, K. V., de Castro, M. M., "Neural network and principal component analysis for modeling of hydrogen adsorption isotherms on KOH activated pitch-based carbons containing different heteroatoms." Chemical Engineering Journal 159(1): 272-279,(2005).

[11] Najafpour, G. D. and Poi Shan, C., "Enzymatic hydrolysis of molasses.", Bioresource Technology 86(1): 91-94, (2003).

[12] Najafpour, G., "Biochemical engineering and biotechnology", Elsevier Science, First Edition, 81-140, (2006).

Archive of SID