

## مقایسه پیش‌بینی واکشیدگی ضخامت تخته‌خرده‌چوب با سیستم فازی و شبکه عصبی مصنوعی

### چکیده

درصد واکشیدگی یکی از خواص فیزیکی مهم محصول نهایی است. این آزمون نیاز به زمان و هزینه دارد؛ بنابراین پیش‌بینی مقدار درصد واکشیدگی تخته در حین تولید می‌تواند باعث کنترل کردن فرایند تولید و کیفیت یکنواخت محصول گردد. در این تحقیق متغیرهایی مانند رطوبت خرده‌چوب قبل از خشک‌کن، رطوبت کیک خرده‌چوب در فرمینگ، میزان چسب مصرفی به ازای هر تخته، زمان پرس، دمای پرس، فشار پرس و خاصیت درصد واکشیدگی تخته‌خرده‌چوب خط تولید کارخانه دعبل خزاعی جمع‌آوری شد. داده‌های نرمال‌سازی شده با استفاده از روش‌های شبکه عصبی مصنوعی و سیستم فازی بررسی شد و این خاصیت با بهینه‌ترین مدل پیش‌بینی شد. بهترین مدل پیش‌بینی درصد واکشیدگی تخته بر اساس روش شبکه عصبی مصنوعی ۵-۵ و در سیستم فازی تابع Z شکل با درصد خطای مطلق پیش‌بینی به ترتیب ۰/۵ و ۲۲ درصد است. روش شبکه عصبی مصنوعی در مقایسه با روش سیستم فازی از کارایی بهتری برخوردار است.

**واژگان کلیدی:** درصد واکشیدگی ضخامت، سیستم فازی، شبکه عصبی مصنوعی، فرایند تولید تخته‌خرده‌چوب.

علی بیات کشکولی<sup>۱</sup>

فواد نیسی<sup>۲</sup>

علیرضا مقدم نیا<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup> دانشیار گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه زابل

<sup>۲</sup> دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه زابل

<sup>۳</sup> دانشیار گروه احیای مناطق خشک و کوهستانی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران

مسئول مکاتبات:

ali.bayatkashkoli@gmail.com

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۱۱/۱۱

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۰۲/۲۵

### مقدمه

کارخانه‌های تخته‌خرده‌چوب از منابع لیگنوسلولوزی چوبی و غیرچوبی متنوعی استفاده می‌کنند. مواد اولیه این کارخانه‌ها شامل؛ ضایعات کشاورزی (باگاس، شاخه و سرشاخه باغات کشاورزی)، گونه‌های سریع‌الرشد صنوبر و گونه‌های جنگلی است. این مواد اولیه تحت شرایط متغیری به تخته‌خرده‌چوب با کیفیت مشخص تبدیل می‌شود. تولید محصول با کیفیت ثابت و یکسان در تمام نوبت‌کاری ضروری است. ولی خصوصیات فیزیکی و مکانیکی محصول نهایی به خاطر نوسان کمی فاکتورها و تعامل جدید بین آن‌ها تغییر می‌کند و باید از این نوسان

جلوگیری نمود. از این‌رو، عوامل تعیین‌کننده این نوسان را می‌توان شناسایی و سپس بر اساس این عوامل، خصوصیات فیزیکی و مکانیکی موردنظر را ثابت نگه داشت و باعث کاهش ضایعات تولید شد. همچنین پیش‌بینی لحظه‌ای کیفیت محصول نهایی در خط تولید نقش تعیین‌کننده‌ای در افزایش راندمان تولید دارد. درصد واکشیدگی یکی از خواص فیزیکی مهم محصول نهایی است. این آزمون نیاز به زمان و هزینه دارد؛ بنابراین پیش‌بینی مقدار درصد واکشیدگی تخته در حین تولید می‌تواند باعث بهینه کردن فرایند و کیفیت یکنواخت تولید گردد.

شبکه عصبی مصنوعی<sup>۱</sup> و سیستم فازی<sup>۲</sup> برای این هدف بکار برده می‌شود و اساس اکثر روش‌های پیش‌بینی بر پایه نوعی شبیه‌سازی از وضعیت موجود سیستم است که اصطلاحاً به این موضوع مدل‌سازی<sup>۳</sup> گفته می‌شود. در این تحقیق نیز با توجه به اهمیت موضوع مدیریت و بهره‌برداری بهینه در کارخانه، با استفاده از متغیرهای مختلف در کل فرایند تولید به مدل‌سازی و شبیه‌سازی و در نهایت پیش‌بینی کیفیت نهایی (درصد واکشیدگی) تخته‌خرده‌چوب با استفاده از روش شبکه عصبی مصنوعی و سیستم فازی پرداخته شده است.

شبکه عصبی مصنوعی را می‌توان به‌عنوان یک مدل ریاضی که توانایی مدل‌سازی و ایجاد روابط ریاضی غیرخطی را برای درون‌یابی دارد، معرفی کرد. از زمانی که اولین مدل شبکه عصبی مصنوعی در سال ۱۹۴۳ ارائه شد، تاکنون مدل‌های زیادی با ساختارهای مختلف پیشنهاد گردیده که به‌طور وسیعی در حوزه‌های مختلف علوم مورد استفاده قرار می‌گیرند [۱]. روش شبکه عصبی مصنوعی در سال‌های اخیر در مسائل مختلف مهندسی مورد استفاده قرار گرفته است. بیشترین کاربرد آن در مورد مسائلی بوده است که یک ارتباط غیرخطی میان پارامترهای معلوم و مجهول آن مسائل وجود دارد، زیرا یکی از قابلیت‌های مهم شبکه‌های عصبی مصنوعی، درک رفتار غیرخطی یک سیستم است [۲].

Esteban و همکاران (۲۰۰۹)، کاربرد شبکه عصبی مصنوعی در کنترل متغیرهای فرایند تخته‌خرده‌چوب را مورد بررسی قرار دادند. شبکه عصبی مصنوعی ابزار مؤثری برای مدل‌سازی متغیرهای فرایند کارخانه تخته‌خرده‌چوب است و داده‌های واقعی را شبیه‌سازی می‌کند. مدل شبکه عصبی مصنوعی برای چسبندگی داخلی بر اساس محدوده‌ای از داده‌های مشخص ضخامت، دانسیته، مقدار رطوبت، واکشیدگی و جذب آب تخته‌خرده‌چوب تهیه شد. معیارهای محاسبه‌شده برای آزمون شبکه عصبی مصنوعی همانند معیارهای آماری کنترل فرایند قابل قبول بود [۳].

Chiu و Cook (۱۹۹۷)، چسبندگی داخلی تخته‌خرده‌چوب را با بکار بردن روش شبکه عصبی مصنوعی پیش‌بینی کردند. شناسایی پارامترهای مؤثر در کنترل فرایندهای کارخانه‌ها مشکل است. روش شبکه

شبکه عصبی مصنوعی را می‌توان به‌عنوان یک مدل ریاضی که توانایی مدل‌سازی و ایجاد روابط ریاضی غیرخطی را برای درون‌یابی دارد، معرفی کرد. از زمانی که اولین مدل شبکه عصبی مصنوعی در سال ۱۹۴۳ ارائه شد، تاکنون مدل‌های زیادی با ساختارهای مختلف پیشنهاد گردیده که به‌طور وسیعی در حوزه‌های مختلف علوم مورد استفاده قرار می‌گیرند [۱]. روش شبکه عصبی مصنوعی در سال‌های اخیر در مسائل مختلف مهندسی مورد استفاده قرار گرفته است. بیشترین کاربرد آن در مورد مسائلی بوده است که یک ارتباط غیرخطی میان پارامترهای معلوم و مجهول آن مسائل وجود دارد، زیرا یکی از قابلیت‌های مهم شبکه‌های عصبی مصنوعی، درک رفتار غیرخطی یک سیستم است [۲].

Esteban و همکاران (۲۰۰۹)، کاربرد شبکه عصبی مصنوعی در کنترل متغیرهای فرایند تخته‌خرده‌چوب را مورد بررسی قرار دادند. شبکه عصبی مصنوعی ابزار مؤثری برای مدل‌سازی متغیرهای فرایند کارخانه تخته‌خرده‌چوب است و داده‌های واقعی را شبیه‌سازی می‌کند. مدل شبکه عصبی مصنوعی برای چسبندگی داخلی بر اساس محدوده‌ای از داده‌های مشخص ضخامت، دانسیته، مقدار رطوبت، واکشیدگی و جذب آب تخته‌خرده‌چوب تهیه شد. معیارهای محاسبه‌شده برای آزمون شبکه عصبی مصنوعی همانند معیارهای آماری کنترل فرایند قابل قبول بود [۳].

<sup>1</sup> Artificial Neural Network (ANN)

<sup>2</sup> Fuzzy Sets

<sup>3</sup> Modeling

## مواد و روش‌ها

این تحقیق بر روی کارخانه تولید تخته‌خرده‌چوب دعبل خزاعی واقع در ۲۰ کیلومتری جاده اهواز-آبادان انجام شد. این کارخانه در اواسط سال ۱۳۸۵ تأسیس و تولید سالانه تخته‌خرده‌چوب آن در حدود ۱۳۴۴۹۸ مترمکعب از مواد اولیه باگاس است. منطقه‌ای که این کارخانه در آن تأسیس شده، دارای رطوبت نسبی بالا است و این موضوع باعث افزایش رطوبت مواد اولیه و محصول نهایی می‌شود. تخته‌خرده‌چوب‌های تولیدشده در این کارخانه دارای کیفیتی پایین است که برای دیواره‌های پنهن در کابینت و یا قفسه‌های مبلمانی استفاده می‌شود. تمام متغیرهایی که در طول فرآیند تولید اندازه‌گیری و ثبت می‌شوند، می‌توان به‌عنوان ورودی و تمام خواص فیزیکی یا مکانیکی که بعد از تولید تخته‌خرده‌چوب در آزمایشگاه اندازه‌گیری می‌شوند و با تغییر مقدار ورودی‌ها تغییر می‌کند، می‌توان به‌عنوان خروجی در نظر گرفت. خروجی این تحقیق درصد واکنشیدگی بعد از ۲۴ ساعت غوطه‌وری در آب با علامت اختصاری (Y5) است. متغیرهای ورودی عبارت‌اند از: نوبت کاری (B)، درصد رطوبت خرده‌چوب‌ها قبل از خشک‌کن (C)، درصد رطوبت خرده‌چوب‌ها پس از خشک‌کن (D)، رطوبت خرده‌چوب‌ها در سیلو (برای لایه‌های رویی تخته‌خرده‌چوب) (E)، رطوبت خرده‌چوب‌ها در سیلو (برای لایه مغزی تخته‌خرده‌چوب) (F)، رطوبت خرده‌چوب‌ها در چسب زن (برای لایه‌های رویی تخته‌خرده‌چوب) (G)، رطوبت خرده‌چوب‌ها در چسب زن (برای لایه مغزی تخته‌خرده‌چوب) (H)، درصد رطوبت کیک خرده‌چوب در فرمینگ (I)، درصد چسب مصرف‌شده به ازای هر تخته‌خرده‌چوب (J)، زمان پرس (K)، فشار پرس (L)، درجه حرارت پرس (M) و دانسیته (N). داده‌های موجود در اسناد ثبت‌شده کارخانه مربوط به سه نوبت کاری و به‌طور کلی ۹۸ ردیف داده که در هر ردیف آن، مقدار این متغیرها (تعداد ۱۳ متغیر) متناظر با خصوصیت درصد واکنشیدگی اندازه‌گیری شده بود، جمع‌آوری گردید.

نرمال‌سازی داده‌ها که به مفهوم پیش‌پردازش و پس‌پردازش داده‌ها است، موجب بهبود کارایی شبکه می‌گردد. اصولاً واردکردن داده‌ها به‌صورت خام باعث کاهش سرعت و دقت شبکه می‌شود. هدف اصلی از نرمالیزه کردن داده‌ها

به‌واسطه وجود واحدهای مختلف و دامنه‌ی مقادیر مختلف است. راه‌های مختلفی برای نرمالیزه کردن داده‌ها وجود دارد. در این تحقیق از معمول‌ترین روش نرمال‌سازی استفاده گردید. مقدار داده‌های ورودی و خروجی مثبت می‌باشند، بنابراین بین ۰ و ۱ نرمال شدند. نرمال‌سازی با استفاده از معادله زیر انجام گرفت:

$$x_i = \frac{x_i - x_{\min}}{x_{\max} - x_{\min}} \quad (1)$$

در اینجا  $x_i$  داده اندازه‌گیری شده یک متغیر،  $x_{\min}$  حداقل و  $x_{\max}$  حداکثر داده اندازه‌گیری شده همان متغیر است.

مراحل تحقیق به شرح زیر است: مدل گام‌به‌گام رگرسیون چند متغیره خطی با نرم‌افزار آماری<sup>۴</sup>، مدل‌سازی غیرخطی شبکه عصبی مصنوعی و سیستم فازی با نرم‌افزار گاما<sup>۵</sup> و متلب<sup>۶</sup>.

محدود کردن تعداد متغیرهای ورودی توسط روش مدل گام‌به‌گام رگرسیون چند متغیره خطی انجام شد تا توان و زمان محاسبات کامپیوتری امکان‌پذیر باشد. مدل رگرسیونی یکی از روش‌های مقدماتی انتخاب متغیرهای مؤثر است و با این روش تعداد متغیرهای کمتری وارد مدل می‌شود. معمولاً این روش همانند نرمال‌سازی باعث افزایش دقت مدل‌های پیش‌بینی می‌شود. اگر تعداد داده‌ها زیاد و تعداد متغیرها کم باشد، دقت مدل‌ها افزایش می‌یابد. ولی اگر تعداد متغیرها و داده‌ها زیاد باشد، بر اساس شرایط موجود زمان زیادی برای هرکدام از محاسبات نیاز است. به این دلیل فقط تعداد متغیرها با روش‌های مقدماتی کم شد، ولی تعداد ردیف داده‌ها کم نشدند. سپس، داده‌های ورودی و خروجی با استفاده از نرم‌افزار متلب آماده‌سازی شدند. متغیرهای مؤثر توسط آزمون‌های گاما<sup>۷</sup> و M<sup>۸</sup> مشخص می‌شود و روش الگوریتم ژنتیک<sup>۹</sup> مدل‌های متفاوتی بر اساس مؤثرترین متغیرها ایجاد می‌کند. معمولاً نتایج این آزمون‌ها همدیگر را تأیید می‌کنند و همچنین الگوریتم ژنتیک بهترین مدل‌ها را در اولین

<sup>۴</sup> SPSS: regression linear; Stepwise.

<sup>۵</sup> Wingamma

<sup>۶</sup> MATLAB

<sup>۷</sup> Gamma Test (GT)

<sup>۸</sup> M Test (MT)

<sup>۹</sup> Genetic Algorithm (GA)

الگوریتم ژنتیک شامل ترکیبی از متغیرهای مؤثر می‌باشد که به ترتیب دارای دقت‌های از زیاد به کم است. مدل شبکه عصبی مصنوعی، خروجی را برای ورودی‌هایی که شامل هر یک از راه‌حل‌های ایجادشده توسط ژنتیک الگوریتم است، پیش‌بینی می‌کند. در واقع روش الگوریتم ژنتیک مدل‌های متفاوتی بر اساس مؤثرترین متغیرها ایجاد می‌کند و بهترین مدل‌ها را در اولین ردیف‌ها مشخص می‌کند. نوع مدل‌سازی شبکه عصبی مصنوعی BFGS بر اساس روش یادگیری بردن-فلتشر-گلدفارب-شانو است. در این روش‌ها از توابعی استفاده شده است. در اینجا، شبکه عصبی مصنوعی همان روش بر اساس تابع گاوسی-نیوتن<sup>۱۷</sup> است. این مدل دارای چند لایه ورودی و چند لایه خروجی و همچنین لایه پنهان است. تعداد لایه‌های ورودی و خروجی در این مدل بررسی شد تا بهترین مدل مشخص شود. مبنای انتخاب متغیرها در این دو روش بر اساس مقادیر گاما است که بر اساس یک تابع ساده<sup>۱۸</sup> و یک متغیر تصادفی که نشان‌دهنده مقادیر نویز است، است. اساسی‌ترین تشخیص آزمون گاما مربوط به تعیین واریانس نویز<sup>۱۹</sup> در یک مجموعه داده است. این آزمون می‌تواند کمترین مقدار قابل محاسبه میانگین مربعات خطا را برای هر مدل ارائه دهد [۹].

آزمون ام نشان می‌دهد که چگونه آماره گامای تخمین زده شده، متفاوت است. این آزمون یک روش اندازه‌گیری برای برآورد قابلیت اعتماد آماره گاما است. روش کار به صورت متوالی و دارای مراحل مختلف است. آزمون گاما و آزمون ام دارای مراحل زیر است. اول، تمام متغیرهای مورد آزمون قرار می‌گیرند. سپس، یکی از متغیرها را حذف و سایر متغیرها مورد آزمون قرار می‌گیرند. این روند ادامه می‌یابد تا تک‌تک متغیرها به یک مرتبه کنار گذاشته شوند. در صورتی که مقدار گاما برای هر یک از این متغیرها دارای بیشترین مقدار باشد این متغیر به عنوان یک متغیر مهم در نظر گرفته می‌شود. اگر مقدار گاما برای متغیری حداقل باشد، آن متغیر به عنوان یک متغیر کم‌اهمیت کنار گذاشته می‌شود. تجزیه و تحلیل خطای استاندارد و نسبت وی مشابه مقدار گاما است. معمولاً مقدار خطای استاندارد صحت رگرسیون خطی در آماره‌ی گاما را بیان می‌کند. اگر

ردیف‌ها مشخص می‌کند. مقدار خطای استاندارد<sup>۱۰</sup>، گاما<sup>۱۱</sup> و نسبت وی<sup>۱۲</sup> برای این مدل‌ها محاسبه می‌شود. ورودی-های این مدل‌ها تعیین‌کننده متغیرهای تأثیرگذار است و پس از آن تعداد داده‌های آموزش<sup>۱۳</sup> و آزمایشی یا آزمون<sup>۱۴</sup> شبکه عصبی مصنوعی بر اساس بهترین مدل الگوریتم ژنتیک انتخاب می‌شود و محدوده این دو داده بر اساس نمودار گامای حاصله از نقطه‌ای که تغییرات گاما کم و خطی است، مشخص می‌شود. داده‌های آزمایشی از یک تا این نقطه و بقیه آن‌ها، داده‌های آزمون است. مجموعه آموزش که مشابه داده‌های دست‌گرمی در سایر مدل‌های پیش‌بینی عمل می‌نماید، مجموعه‌ای از ورودی‌ها و خروجی‌های شبکه است که برای آموزش یک کار خاص به شبکه استفاده می‌شود. پس از آموزش شبکه و توقف فرآیند یادگیری، از مجموعه آزمایشی که مشابه نمونه پیش‌بینی در روش‌های معمول است، برای بررسی کارایی شبکه استفاده می‌گردد.

مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی<sup>۱۵</sup> با استفاده از متغیرهای مؤثر و بر اساس داده‌های تفکیک‌شده آزمایشی، ایجاد می‌شود. ساختار شبکه عصبی مصنوعی با تعداد گره‌ها در لایه اول و دوم تشکیل و با حداقل خطای جمع میانگین مربعات<sup>۱۶</sup> آزمایش می‌شود. سپس، داده‌های آزمون توسط متلب و بدون داشتن داده‌های خروجی آماده می‌شود. خروجی داده‌های آزمون توسط مدل‌های شبکه-های عصبی مصنوعی پیش‌بینی می‌شود. سریع‌ترین و کارآمدترین آموزش الگوریتم شبکه عصبی مصنوعی، آموزش الگوریتم BFGS است.

ژنتیک الگوریتم یک ابزار بسیار کارآمد برای انتخاب متغیرها است. ژنتیک الگوریتم توسط مفهوم بیولوژیکی از انتخاب طبیعی و تکامل تدریجی الهام گرفته است. ژنتیک الگوریتم در سال ۱۹۷۰ توسط جان هلند و دانشجویان در دانشگاه میشیگان توسعه داده شد [۸]. شبکه‌های عصبی مصنوعی و ژنتیک الگوریتم دو روش برای بهینه‌سازی و آموزش می‌باشند. ژنتیک الگوریتم به عنوان یک روش برای آموزش شبکه عصبی مصنوعی استفاده می‌شود. مدل‌های

<sup>10</sup> Standard error

<sup>11</sup> Gamma values

<sup>12</sup> v-ratio

<sup>13</sup> Train

<sup>14</sup> Train

<sup>15</sup> BFGS Broyden-Fletcher-Goldfrab-Shanno

<sup>16</sup> MSE = Mmean Squared Error

<sup>17</sup> Quasi-Newton

<sup>18</sup> Smooth Function

<sup>19</sup> Noise variance

متغیرهای ورودی و این خروجی در اسناد علمی معتبر انتخاب شدند. سپس محدوده حداقل، متوسط و حداکثر<sup>۲۳</sup> داده‌های متغیرهای ورودی و خروجی براساس محدوده پیش‌فرض و پیشنهادی تعیین شد.

داده‌ها با یازده تابع عضویت<sup>۲۴</sup> مورد تجزیه تحلیل قرار گرفت که عبارت‌اند از: مثلثی، دوزنقه‌ای، منحنی زنگوله‌ای، منحنی گوسی، منحنی گوسی دوطرفه، منحنی زیگموئیدی، زیگموئیدی ترکیبی، زیگموئیدی دوگانه، منحنی پی شکل، منحنی اس شکل و منحنی زد شکل<sup>۲۵</sup>.

قواعد فازی یا عبارات شرطی فازی بیان‌کننده فرم اگر A آنگاه B است که در اینجا A و B نمای از مجموعه‌های فازی هستند که توسط توابع عضویت مناسب مشخص شده‌اند [۱۴].

تعدادی قواعد فازی<sup>۲۶</sup> در پایگاه قواعد فازی ذخیره شد. با توجه به چهار متغیر ورودی تعداد ۱۶ قاعده به شرح ۱ تا ۱۶ ایجاد شد.

جهت طراحی یک سیستم کنترل منطق فازی باید مراحل زیر انجام پذیرد [۱۵]: مشخص نمودن ورودی‌ها و خروجی‌ها با استفاده از متغیر، نسبت داده توابع عضویت به متغیرها، ایجاد بانک قواعد و اجرای عملیات غیرفازی سازی<sup>۲۷</sup>. قسمت غیر فازی سازی همان تبدیل‌کننده نتایج فازی استنتاج به یک خروجی غیرفازی است.

برای ارزیابی نتایج حاصل از شبکه عصبی مصنوعی و سیستم فازی، خطای پیش‌بینی<sup>۲۸</sup> و علاوه بر آن ضریب همبستگی ( $R^2$ ) بین مقدار پیش‌بینی و مقدار واقعی به دست آورده شد. یک خطای پیش‌بینی ۲۰ درصد برای یک فرآیند تولید قابل قبول است و ۲۰ تا ۳۰ درصد را نیز می‌توان پذیرفت ولی خطای بیشتر از ۳۰ درصد به‌عنوان خطاهای غیرقابل قبول در نظر گرفته و رد می‌شود [۴].

این مقدار به صفر نزدیک شود، اطمینان بیشتری از مقدار آماره‌ی گاما را نشان می‌دهد. این نسبت به شاخص صفر نزدیک می‌شود تا بتواند پیش‌گویی یک خروجی را انجام دهد. هرگاه این متغیر به یک نزدیک شود نمایانگر یک خطای تصادفی بسیار بزرگ است و مدل موردنظر نامناسب است [۱۰]. از این‌رو، متغیرهای تأثیرگذار بر اساس نسبت وی، آزمون گاما و آزمون ام انتخاب می‌شوند. مدل‌ها بر اساس متغیرهای تأثیرگذار ایجاد و احتمالاً متغیرهای بی‌اثر به مدل وارد نمی‌شوند.

منطق فازی برای اولین بار در سال ۱۹۶۵ توسط لطفی زاده استاد ایرانی‌الاصل دانشگاه برکلی کالیفرنیا بنا نهاده شد. منطق فازی نگرشی چند ارزشی به وقایع و رویدادها دارد که این برخلاف منطق صریح یا دو ارزشی است که در آن همه‌چیز یا درست است یا درست نیست [۱۱]. مهم‌ترین مسئله در منطق فازی تعریف تعداد، نوع و پارامترهای توابع عضویت است. تابع عضویت تابعی است که توسط آن داده‌های ورودی فازی می‌شوند؛ یعنی هر ورودی به سیستم فازی به عددی در فاصله صفر تا یک تبدیل می‌شود. توابع عضویت هم برای داده‌های خروجی و هم داده‌های ورودی تعریف می‌شوند. انواع مختلفی برای توابع عضویت وجود دارد که عبارت‌اند از تابع عضویت سیگموئید، گوسی، پی، دابل گوسی، زنگوله‌ای، S شکل، Z شکل، مثلثی و دوزنقه‌ای. در شکل ۱ برخی از این توابع عضویت نشان داده شده‌اند [۱۲]. دو روش برای مدل‌سازی فازی وجود دارد: روش ممدانی<sup>۲۰</sup> و روش تاگاگی - سوگنو - کانگ<sup>۲۱</sup> می‌باشند. چند نمونه از توابع روش ممدانی به شرح شکل ۱ است [۱۳].

در این تحقیق برای سیستم فازی از روش ممدانی و از تعداد ۴ ورودی که عبارت‌اند از: درصد رطوبت کیک خرده چوب، میزان چسب مصرفی به ازای هر تخته، زمان پرس و دمای پرس و یک خروجی به نام درصد واکشیدگی ضخامت تخته‌خرده‌چوب بعد از ۲۴ ساعت<sup>۲۲</sup> استفاده شد. این چهار متغیر ورودی براساس نتایج مرحله قبل (روش شبکه عصبی مصنوعی) و همچنین روابط علمی بین

<sup>۲۰</sup> Mamdani

<sup>۲۱</sup> Sugeno

<sup>۲۲</sup> علامت اختصاری خروجی‌ها و ورودی در قواعد فازی:

Moistuerforming, uf, time, temperature and swelling

<sup>۲۳</sup> Low, Medium and High

<sup>۲۴</sup> Membership Function

<sup>۲۵</sup> TRIMF = Triangular membership function, TRAPMF = Trapezoidal membership function, GBELLMF = Generalized bell curve membership function, GAUSSMF = Gaussian curve membership function, GAUSS2MF = Two-sided Gaussian membership function, SIGMF = Sigmoid curve membership function, DSIGMF = Membership function composed of the difference between two sigmoidal membership functions, PSIGMF = Product of two sigmoid membership functions, PIMF = Pi-shaped curve membership function, SMF = S-shaped curve membership function, and ZMF = Z-shaped curve membership function.

<sup>۲۶</sup> Rule Base

<sup>۲۷</sup> Defuzzifier

<sup>۲۸</sup> Mean absolute percent errors (Mape)

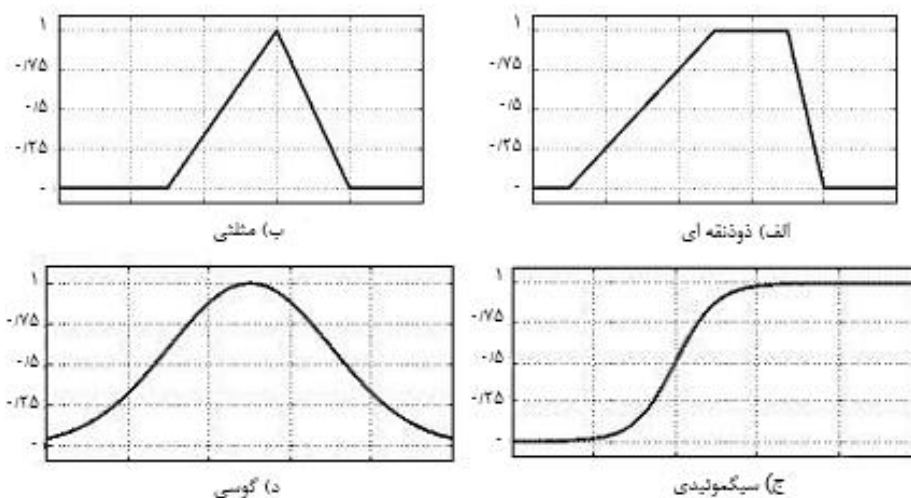
میانگین درصد خطای مطلق با معادله زیر محاسبه می‌شود:

$$Mape = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{|F_i - D_i|}{D_i} \times 100 \quad (2)$$

در اینجا، MAPE مقدار درصد خطای مطلق، n تعداد داده،  $F_i$  داده‌های پیش‌بینی‌شده و  $D_i$  داده‌های واقعی است.

۱۶ قاعده فازی به شرح زیر است:

- 1.if (moistuerforming is high) and(uf is high) and(time is high) and(temperature is high) then(swelling is low)
- 2.if (moistuerforming is low) and(uf is low) and(time is low) and(temperature is low) then(swelling is high)
- 3.if (moistuerforming is low) and(uf is high) and(time is high) and(temperature is high) then(swelling is low)
- 4.if (moistuerforming is high) and(uf is low) and(time is high) and(temperature is high) then(swelling is low)
- 5.if (moistuerforming is high) and(uf is high) and(time is low) and(temperature is high) then(swelling is low)
- 6.if (moistuerforming is high) and(uf is high) and(time is high) and(temperature is low) then(swelling is low)
- 7.if (moistuerforming is high) and(uf is high) and(time is low) and(temperature is low) then(swelling is medium)
- 8.if (moistuerforming is low) and(uf is low) and(time is high) and(temperature is high) then(swelling is medium)
- 9.if (moistuerforming is high) and(uf is low) and(time is low) and(temperature is high) then(swelling is medium)
- 10.if (moistuerforming is low) and(uf is high) and(time is high) and(temperature is low) then(swelling is medium)
- 11.if (moistuerforming is low) and(uf is low) and(time is low) and(temperature is high) then(swelling is high)
- 12.if (moistuerforming is low) and(uf is low) and(time is high) and(temperature is low) then(swelling is high)
- 13.if (moistuerforming is low) and(uf is high) and(time is low) and(temperature is low) then(swelling is high)
- 14.if (moistuerforming is high) and(uf is low) and(time is low) and(temperature is low) then(swelling is high)
- 15.if (moistuerforming is high) and(uf is low) and(time is high) and(temperature is low) then(swelling is medium)
- 16.if (moistuerforming is low) and(uf is high) and(time is low) and(temperature is high) then(swelling is medium)



شکل ۱- برخی از انواع توابع عضویت: الف- ذوزنقه‌ای، ب- مثلثی، ج- سیگموئیدی، د- گوسی [۱۲]

به شرح زیر است؛ علائم اختصاری نام متغیرها، قبلاً ذکر شده‌اند.

$$Y = -0.719E - 0.484J - 0.207B + 0.574L + 0.530F + 0.152M + 0.104C$$

## نتایج و بحث

نتایج مدل گام‌به‌گام رگرسیون چند متغیره خطی با درصد اطمینان ۹۵ درصد و مقدار ضریب همبستگی بالا

۱۶. برای ارزیابی R، معیارهای که در استاندارد UNE-EN 326-2 standard (AENOR, 2001) مشخص شده‌اند مورد استفاده قرار گرفت که در آن ۷۰ درصد مقدار قابل قبول برای ارتباط بین مقادیر به دست آمده با روش آزمون استاندارد و آن‌هایی که با روش‌های جایگزین به دست آمده‌اند، است [۵]. داشتن مقادیر کوچک‌تر خطا، به معنی نزدیک‌تر بودن نتایج محاسبه به داده‌های واقعی و نشان‌دهنده مناسب بودن مدل پیش‌بینی است. امکان مقایسه داده‌های پیش‌بینی شده و داده‌های واقعی وجود دارد تا دقیق‌ترین یا بهترین مدل از مدل‌های تشکیل شده انتخاب شود.

ژنتیک (ردیف اول جدول ۲) با گره‌های لایه اول و دوم متفاوت و داده‌های آزمون ایجاد شد و سپس دقت مدل‌ها محاسبه شد که در جدول ۳ مشاهده می‌شود. جدول ۳ خطای جمع میانگین مربعات، میانگین درصد خطای مطلق و ضریب همبستگی بین داده‌های واقعی و پیش‌بینی شده مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی را نشان می‌دهد.

نتایج پیش‌بینی درصد واکنشیدگی ۲۴ ساعت تخته‌خرده‌چوب با بهترین مدل (BFGS5-5) شبکه عصبی مصنوعی در شکل ۲ مشاهده می‌شود. دقت پیش‌بینی این مدل بسیار بالا (ردیف ۱ جدول ۳) و به صورتی است که منحنی خطای آن در خط مجانب صفر و منحنی پیش‌بینی و واقعی آن انطباق کامل با همدیگر دارند و تفکیک این خطوط سخت است (شکل ۲).

شکل ۳ ارتباط بین داده‌های واقعی و مقادیر پیش‌بینی شده درصد واکنشیدگی ضخامت تخته‌خرده‌چوب توسط شبکه‌های عصبی مصنوعی برای مدل (5-5) BFGS را نشان می‌دهد که دارای ضریب همبستگی بالایی است. دقت پیش‌بینی استاندارد برای مقدار ضریب همبستگی برابر  $0.70 [5]$  و برای درصد خطاهای پیش‌بینی تا محدوده ۳۰ درصد قابل قبول است [۴] و در اینجا مدل‌های ایجادشده شبکه عصبی مصنوعی دارای اعتبار لازم است و این حد خطا در مطالعات دیگر نیز مشاهده می‌شود [۵]. اگر محدوده یا تعداد داده‌های آزمون و آموزش شبکه عصبی مصنوعی به صورت تصادفی انتخاب و تقسیم می‌شدند، درصد خطای پیش‌بینی افزایش می‌یافت. تعداد داده‌های آزمون و آموزش در این تحقیق با روش ژنتیک الگوریتم انتخاب شدند تا دقت پیش‌بینی افزایش یابد. این روش با استفاده از نوع الگوریتم یادگیری نظارت‌شده انجام شد.

به‌طور کلی مؤثرترین متغیرها تعیین و با استفاده از آن‌ها می‌توان فرآیند تولید این کارخانه را کنترل کرد. مقدار درصد واکنشیدگی تخته‌خرده‌چوب را می‌توان با متغیرهای مؤثر فرآیند تولید تنظیم کرد. مقدار عددی سایر فاکتورها را نباید تغییر داد، چون این‌گونه فاکتورها تأثیر کمی بر کیفیت تخته‌خرده‌چوب دارند. متغیرهایی مانند دمای پرس و دانسیته تخته‌خرده‌چوب، اثر زیادی بر کیفیت ساخت تخته‌خرده‌چوب دارند. مقدار متغیرهای

جدول ۱ مقادیر گاما، خطای استاندارد و نسبت وی مربوط به آزمون گاما و همچنین اولویت اهمیت متغیرهای ورودی درصد واکنشیدگی ضخامت تخته‌خرده‌چوب مربوط به آزمون ام را نشان می‌دهد. اگر هر یک از متغیرها حذف شود و این متغیر حذف‌شده اثر زیادی در تعیین درصد واکنشیدگی ضخامت تخته‌خرده‌چوب داشته باشد، مقدار گامای آن بیشتر از دیگر متغیرها خواهد بود. همچنین اگر این متغیر اثر کمی بر این خواص تخته‌خرده‌چوب داشته باشد، مقدار گاما تغییر نمی‌کند یا تغییر کم خواهد کرد. تفسیر خطای استاندارد و نسبت وی همانند مقدار گاما است.

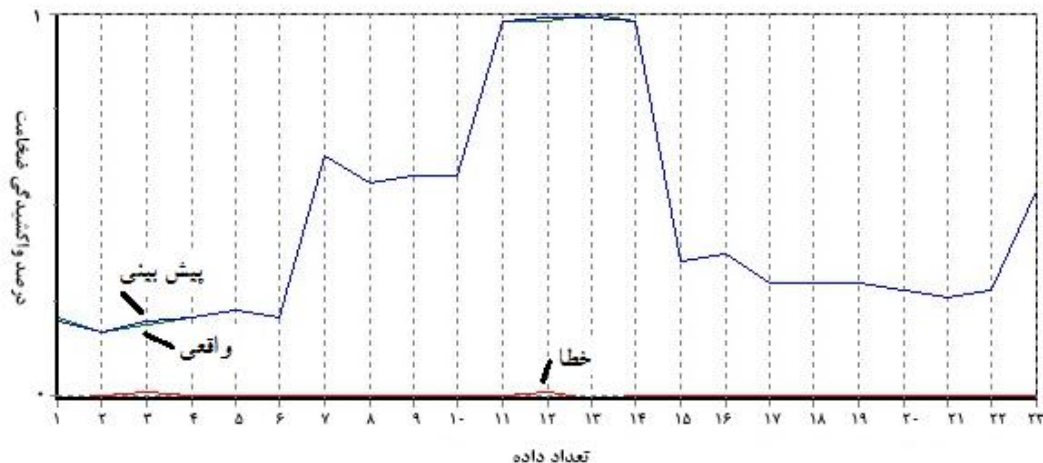
نتایج آزمون گاما نشان می‌دهد که متغیر دمای پرس بر روی درصد واکنشیدگی ضخامت تأثیرگذارتر از بقیه متغیرها است و درصد رطوبت خرده‌چوب‌های نرمه در سیلو (برای لایه‌های سطحی تخته) تأثیر کمی بر آن می‌گذارد. بر اساس نتایج آزمون ام متغیرهایی که بیشترین تأثیر را بر روی درصد واکنشیدگی تخته‌خرده‌چوب داشته‌اند در ردیف‌های بالای جدول قرار گرفته‌اند و متغیرهای در ردیف‌های پایین‌تر اثر کمتری بر روی این خاصیت می‌گذارند. متغیر M نسبت به سایر متغیرها مؤثرتر بوده‌اند و متغیرهای F و E اثر کمی بر روی این خاصیت دارند. مهم‌ترین ورودی‌ها و همچنین متغیرهایی که تأثیر کمی بر روی درصد واکنشیدگی تخته‌خرده‌چوب دارند در نتایج آزمون گاما و ام مشابه می‌باشد.

ژنتیک الگوریتم بهترین مدل‌ها را نشان می‌دهد. جدول ۲ مدل‌های مهم حاصل از الگوریتم ژنتیک بر اساس مقدار گاما، خطای استاندارد و نسبت وی را نشان می‌دهد. بهترین مدل در ردیف ۱ جدول مشاهده می‌شود. نتایج حاصل از الگوریتم ژنتیک، نتایج قبلی (آزمون گاما و ام) را تأیید می‌کند. تعدادی از متغیرها مانند متغیر مهم درجه حرارت پرس (M) در مدل قرار گرفتند و این متغیرها برای کنترل فرآیند و ایجاد ثبات در این خواص تخته‌خرده‌چوب استفاده می‌شوند. سایر متغیرها مانند متغیرهای کم‌اهمیت درصد رطوبت خرده‌چوب در سیلو برای لایه بیرونی (E) و لایه میانی (F) تخته‌خرده‌چوب از مدل حذف‌شده‌اند و برای کنترل میزان درصد واکنشیدگی ضخامت تخته‌خرده‌چوب می‌توان ثابت نگه داشت.

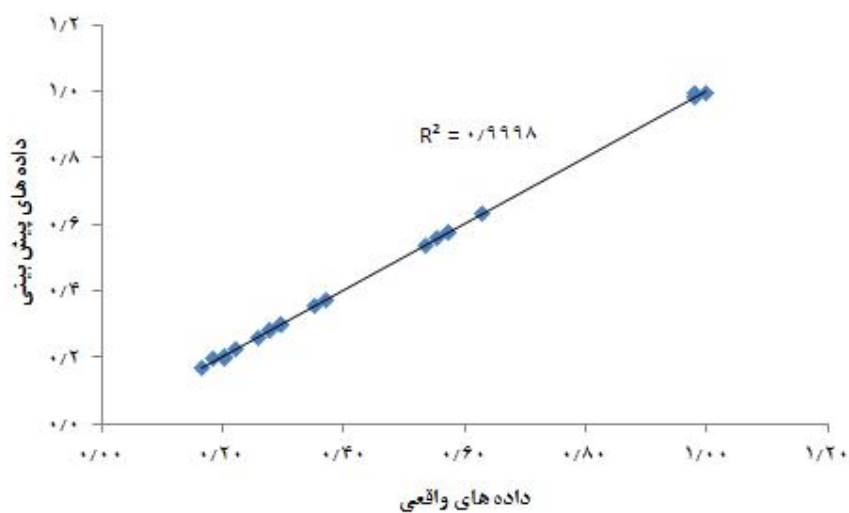
شبکه عصبی مصنوعی بر اساس بهترین مدل الگوریتم

زیاد با دقت بسیار زیاد (۰/۵ درصد خطا) پیشنهاد شده است (جدول ۴). یک رابطه بسیار قوی بین درصد واکشیدگی ۲۴ ساعت و متغیرهای ورودی وجود دارد.

مؤثر وارد شده به مدل پیش‌بینی را می‌توان تغییر داد تا به مقدار ثابت موردنظر درصد واکشیدگی دست‌یافت. مقدار درصد واکشیدگی موردنظر در سه محدوده کم، متوسط و



شکل ۲: نتایج حاصل از BFGS (5-5) شبکه عصبی مصنوعی برای درصد واکشیدگی ضخامت ۲۴ ساعت تخته‌خرده‌چوب



شکل ۳- همبستگی بین داده‌های واقعی و مقادیر پیش‌بینی شده درصد واکشیدگی ضخامت تخته‌خرده‌چوب توسط مدل شبکه عصبی مصنوعی BFGS (5-5)



جدول ۱- نتایج آزمون گاما شامل مقادیر آماره‌های گاما، خطای استاندارد و نسبت وی و همچنین اولویت اهمیت متغیرهای ورودی برای درصد واکسیدگی ضخامت تخته خرده چوب بعد از ۲۴ ساعت براساس آزمون ام (نام متغیرها در مواد و روش‌ها تعریف شده است)

ردیف	حذف متغیرهای ورودی	آماره گاما		ترتیب اهمیت متغیرها با آزمون ام
		خطای استاندارد	نسبت وی	
۱	بدون حذف	۰/۰۰۴۳	۰/۰۰۳۸	M
۲	B	۰/۰۰۳۹	۰/۰۰۳۷	همه متغیرها
۳	C	۰/۰۰۳۵	۰/۰۰۲۴	N
۴	D	۰/۰۰۳۸	۰/۰۰۳۳	G
۵	E	۰/۰۰۱۲	۰/۰۰۳۹	H
۶	F	۰/۰۰۳۰	۰/۰۰۲۴	B
۷	G	۰/۰۰۴۰	۰/۰۰۳۷	L
۸	H	۰/۰۰۳۹	۰/۰۰۲۹	D
۹	I	۰/۰۰۳۷	۰/۰۰۳۴	I
۱۰	J	۰/۰۰۳۵	۰/۰۰۳۶	J
۱۱	K	۰/۰۰۳۳	۰/۰۰۲۷	C
۱۲	L	۰/۰۰۳۸	۰/۰۰۳۵	K
۱۳	M	۰/۰۰۵۴	۰/۰۰۴۷	F
۱۴	N	۰/۰۰۱۹	۰/۰۰۷۱	E

جدول ۲- نتایج حاصل از الگوریتم ژنتیک برای درصد واکسیدگی ضخامت تخته خرده چوب بعد از ۲۴ ساعت (نزدیکترین همسایه: ۱۰)

ردیف	متغیرهای وارد شده به مدل	آماره	
		خطای استاندارد	نسبت وی
۱	G,H,I,J,K,L,M,N	۰/۰۰۰۰۳۳۷۶۸۸	۰/۰۰۱۷۱۷۹۳
۲	D,E,I,J,K,L,M,N	۰/۰۰۰۰۴۳۵۵۸۴	۰/۰۰۱۴۸۵۶۳
۳	B,D,G,J,K,M,N	۰/۰۰۰۰۰۸۲۱۸۱۳	۰/۰۰۰۶۰۶۱۲۱
۴	B,G,J,K,L,M,N	۰/۰۰۰۰۰۵۱۲۸۷۴	۰/۰۰۱۷۴۹۲۴
۵	B,H,I,J,K,N	۰/۰۰۰۰۰۱۰۸۸۴۲	۰/۰۰۰۳۷۱۲۲۵
۶	D,H,J,K,L,N	۰/۰۰۰۰۰۵۹۲۵۳۸	۰/۰۰۲۰۲۰۹۵
۷	B,D,H,I,J,K,L,M,N	۰/۰۰۰۰۰۷۴۵۸۰۹	۰/۰۰۲۵۴۳۷۱
۸	B,C,G,H,I,J,L,M,N	۰/۰۰۰۰۰۸۲۳۱۲۵	۰/۰۰۲۸۰۷۴۱
۹	C,H,I,J,L,M,N	۰/۰۰۰۰۰۶۹۲۷۹۲	۰/۰۰۲۳۶۲۸۸
۱۰	D,H,I,J,K,M,N	۰/۰۰۰۰۰۷۸۱۸۹۳	۰/۰۰۲۶۶۶۷۸

جدول ۳- معیارهای دقت مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی BFGS برای درصد واکشیدگی ۲۴ ساعت با مدل شماره ۱ الگوریتم ژنتیک

نوع مدل	میانگین درصد خطای مطلق	ضریب همبستگی	خطای جمع میانگین مربعات
۵-۵	۰/۵	۰/۹۹۹	۰/۰۰۰۴۱۲۶۵۷
۵-۴	۱/۲۸۲۳۲۶۷۹	۰/۹۹۷	۰/۰۰۰۴۵۹۴۶۵
۵-۳	۱/۲۸۲۴۳۲۷۹	۰/۹۹۷	۰/۰۰۰۴۵۹۴۶۵
۵-۲	۱/۵۴۷۸۷۹۵۶۱	۰/۹۹۷	۰/۰۰۰۴۷۵۵۰۸
۵-۱	۲/۶۰۳۱۰۱۵۴۴	۰/۹۹۵	۰/۰۰۰۵۴۷۴۵۳
۴-۵	۱/۲۸۹۷۶۱۰۶۲	۰/۹۹۷	۰/۰۰۰۴۵۹۶۳۳
۳-۵	۲/۵۸۹۸۲۶۹۵۸	۰/۹۹۵	۰/۰۰۰۵۳۵۷۴۳
۲-۵	۳/۷۱۲۶۸۹۱۸۴	۰/۹۹۵	۰/۰۰۰۵۹۱۳۰۱
۱-۵	۱۲/۳۳۲۷۶۳۵۹	۰/۹۷۱	۰/۰۰۱۷۲۲۰۳

جدول ۴- مقدار پیشنهادی متغیرهای موثر برای تنظیم درصد واکشیدگی ضخامت تخته‌خرده‌چوب در سه محدوده کم، متوسط و زیاد براساس مدل شبکه عصبی مصنوعی ایجاد شده (BFGS 5-5)

درصد واکشیدگی	درصد رطوبت خرده‌چوب لایه سطحی	درصد رطوبت خرده‌چوب لایه میانی	درصد خطای مطلق	داده واقعی	داده پیش‌بینی	دما	فشار	زمان	میزان چسب	درصد	میزان چسب	زمان	فشار	دما	دانسیته
کم	۱۱/۱	۹/۷	۰/۰۰۱۷۶۸۰۵۱	۱۴	۱۴/۰۰۰۵	۱۷۰	۱۸۰	۶۶۰	۱۹/۳	۹/۷	۱۹/۳	۶۶۰	۱۸۰	۱۷۰	۰/۶۸
	۱۱/۱	۹/۷	۰/۰۰۲۶۱۸۶۰۹	۱۶	۱۵/۹۹۹۵	۱۷۰	۱۸۰	۶۶۰	۱۹/۳	۹/۷	۱۹/۳	۶۶۰	۱۸۰	۱۷۰	۰/۵۲
	۱۱/۹	۸/۵	۰/۰۰۲۵۸۰۹۲۵	۱۷	۱۶/۹۹۹۶	۱۷۳	۱۷۵	۴۲۰	۱۹/۳	۸/۵	۱۹/۳	۴۲۰	۱۷۵	۱۷۳	۰/۵۷
متوسط	۱۰/۶	۸/۵	۰/۰۰۰۵۲۶۲۳	۲۵	۲۴/۹۹۹۹	۱۷۵	۱۶۰	۳۶۰	۱۴/۱۵	۸/۵	۱۴/۱۵	۳۶۰	۱۶۰	۱۷۵	۰/۵۲
	۸/۶	۹/۴	۰/۰۰۰۸۴۴۶۲	۳۴	۳۴/۰۰۰۲	۱۷۵	۱۶۰	۴۲۰	۱۴	۹/۴	۱۴	۴۲۰	۱۶۰	۱۷۵	۰/۵۹
	۱۰/۴	۸/۵	۰/۰۰۰۳۵۶۶۳۴	۳۶	۳۵/۹۹۹۹	۱۷۰	۱۹۰	۲۸۰	۱۵	۸/۵	۱۵	۲۸۰	۱۹۰	۱۷۰	۰/۷۷
زیاد	۱۰/۸	۸/۷	۰/۰۰۳۳۹۴۹۵۲	۵۸	۵۷/۹۹۸۱	۱۸۰	۱۸۰	۳۰۰	۱۴/۷۵	۸/۷	۱۴/۷۵	۳۰۰	۱۸۰	۱۸۰	۰/۶۷
	۱۰/۸	۸/۷	۰/۹۲۵۶۸۰۷۲۳	۵۹	۵۸/۵۰۰۱	۱۸۰	۱۸۰	۳۰۰	۱۴/۷۵	۸/۷	۱۴/۷۵	۳۰۰	۱۸۰	۱۸۰	۰/۶۴

بهبود بخشیدن به کنترل فرآیند در یک کارخانه تولید تخته‌خرده‌چوب استفاده شده است [۴].

هدف استفاده از ANN کاهش زمان آزمون است. روش‌های آزمون خواص تخته‌خرده‌چوب نیاز به زمان زیاد و مشخص دارند که یکی از این خواص در این تحقیق استفاده شد. در حال حاضر، وقتی که تخته از فرآیند تولید خارج می‌شود، پس از آزمایش زمان‌بر، مقدار این خواص مشخص می‌شود. در این حالت اطلاعات به‌دست‌آمده مفید

روش الگوریتم ژنتیک را می‌توان به‌عنوان ابزاری کارآمد و مفید برای انتخاب متغیرهای مؤثر به کار گرفت. همچنین می‌توان ترکیبی از دو روش (ANN و GA) را به‌صورت موفقیت‌آمیزی برای کنترل مقدار خروجی استفاده کرد. این روش توسط پژوهشگران دیگر نیز به کار گرفته شده است [۱۷، ۱۸، ۱۹]. عملکرد ANN و تجزیه تحلیل GA نسبت به مدل گام‌به‌گام رگرسیون چند متغیره بهتر است [۵]. قبلاً نیز از پیش‌بینی مدل ANN به‌منظور

مورد انتظار به دست می‌آید (جدول ۴). مدت‌زمان صرف شده برای آزمایش‌های فیزیکی در مقایسه با آزمایش‌های مکانیکی طولانی‌مدت هستند؛ اما با استفاده از این روش، این عملیات در طول فرآیند تولید انجام می‌گیرد و همچنین، هزینه‌های ناشی از آزمایش‌های و هزینه‌های مربوط به ضایعات کاهش می‌یابد.

متغیرهای ورودی در سیستم فازی محدود می‌باشند. از این رو، بر اساس نتایج شبکه عصبی مصنوعی و منابع علمی چهار متغیر (رطوبت کیک خرده چوب، میزان چسب مصرفی برای هر تخته، زمان پرس و دمای پرس) انتخاب شدند که تأثیر مشخصی بر درصد واکنشیدگی ضخامت تخته‌خرده‌چوب داشتند. آزمون گاما و ام، مدل‌های الگوریتم ژنتیک و شبکه عصبی مصنوعی نشان می‌دهد که این متغیرها مهم هستند (جدول ۱ و ۲ و شکل ۲ و ۳) و در دیگر تحقیقات علمی نیز [۲۲، ۲۳، ۲۴، ۲۵] وجود رابطه بین آن‌ها و درصد واکنشیدگی مشخص شده است؛ بنابراین رابطه بین این چهار متغیر با واکنشیدگی ضخامت، تعداد ۱۶ قاعده فازی است که در مواد و روش‌ها ذکر شده است. تجزیه و تحلیل سیستم فازی بر اساس روش ممدانی برای این چهار ورودی و درصد واکنشیدگی ضخامت به‌عنوان خروجی انجام شد و ساختار فازی در سه محدوده کم، متوسط و زیاد (پیشنهادی و پیش‌فرض) متغیرهای ورودی این خاصیت، همچنین ۱۱ تابع عضویت و ۱۶ قاعده فازی تشکیل شد. در نهایت، فقط ۳ معادله زیر با تابع عضویت منحنی زد شکل و محدوده پیش‌فرض، کمترین درصد خطای مطلق (۲۲ درصد) را داشتند و سایر توابع عضویت و قواعد فازی مربوط به درصد واکنشیدگی ضخامت تخته‌خرده‌چوب، درصد خطای مطلق در محدوده استاندارد قابل قبول را نداشتند. علت این روابط در منابع علمی [۲۲، ۲۳، ۲۴، ۲۵] بهتر از سایر روابط مشخص است و منطقی‌تر از سایر قواعد به نظر می‌رسد.

نیست و نمی‌توان آن را برای کنترل لحظه‌ای فرآیند تولید استفاده نمود و مقدار درصد واکنشیدگی محصول نهایی را ثابت یا پیش‌بینی نمود. برای حل این مشکل، از شبکه عصبی مصنوعی به‌عنوان یک روش پیش‌بینی و تعیین این مقادیر خواص تخته‌خرده‌چوب استفاده شد. نتایج شبکه عصبی مصنوعی ساخته‌شده دارای اعتبار لازم است و به‌طور قابل توجهی باعث بهبود کنترل فرآیند تولید می‌شود و این امکان را فراهم می‌سازد که قبل از پایان تولید محصول نهایی، مشکلات را تشخیص داد تا از ضایعات جلوگیری و بهره‌وری افزایش یابد. این روش به‌منظور بهبود کنترل فرآیند توسط محققان دیگر نیز به کار گرفته شده است [۳، ۲۰، ۲۱].

در نهایت، متصدیان کارخانه بر اساس محدوده موردنیازشان (درصد واکنشیدگی پیشنهادی جدول ۴) مقدار متغیرهای ورودی را کنترل می‌کنند. دقت مدل‌ها در فرآیند تولید با داده‌های اعتباری مورد آزمایش قرار می‌گیرد و نتایج نهایی توسط آزمون و خطا به دست می‌آید؛ یعنی اینکه این مدل‌های ایجادشده در شرایط عملی فرایند تولید باید تأثیرگذار و کارآمد باشند و این محدوده پیشنهادی مقدمه کنترل فرایند تولید است.

این متغیرهای تأثیرگذار در نتایج دیگر [۵] نیز مشاهده می‌شود که متغیرهایی مانند درصد رطوبت خرده چوب‌ها، دانسیته، درصد واکنشیدگی و درصد جذب آب، بر روی چسبندگی داخلی، مدول الاستیسیته و گسیختگی تأثیرگذار هستند. در حالت کنترل دستی کارخانه (شرایط موجود در اکثر کارخانه‌های تخته‌خرده‌چوب ایران)، متصدیان دستگاه پرس می‌توانند نقش کلیدی در کنترل فرآیند تولید با مقادیر متغیرهای موجود در جدول شماره ۴ داشته باشند. همه مقادیر متغیرها در کل فرآیند تولید تخته‌خرده‌چوب متناظر با خروجی‌های موردنظر، قابل تنظیم هستند و در این صورت خواص تخته‌خرده‌چوب را می‌توان ثابت نگه داشت و همچنین با این شرایط خروجی

1. if (moistuerforming is high) and(uf is high) and(time is high) and(temperature is high) then(swelling is low)
2. if (moistuerforming is low) and(uf is low) and(time is low) and (temperature is low) then(swelling is high)
9. if (moistuerforming is high) and(uf is low) and(time is low) and(temperature is high) then(swelling is medium)

نسبی بالا است تأسیس شده و مواد اولیه (باگاس) آن دارای رطوبت بالا است. محیط و شرایط تولید این کارخانه

## نتیجه‌گیری

این کارخانه در منطقه خوزستان که دارای رطوبت

خطای سایرین قابل قبول نبود. مقایسه نتایج این دو روش پیش‌بینی نشان می‌دهد که دقت مدل‌های ایجادشده شبکه عصبی مصنوعی بسیار بهتر از سیستم فازی است. مؤثرترین متغیرها تعیین شده‌اند و درصد واکشیدگی ضخامت تخته‌خرده‌چوب بعد از ۲۴ ساعت در فرایند تولید کارخانه را می‌توان توسط آن‌ها کنترل نمود؛ بنابراین ترکیبی از دو روش (شبکه عصبی مصنوعی و الگوریتم ژنتیک) را می‌توان با موفقیت به‌عنوان ابزار مفید برای اهداف کنترل خواص مختلف مانند درصد واکشیدگی در کارخانه استفاده نمود. درنهایت، مقدار هرکدام از متغیرهای ورودی متناظر با سه حالت کم، متوسط و زیاد خروجی درصد واکشیدگی ۲۴ ساعت تخته‌خرده‌چوب پیشنهاد شده است تا متصدیان دستگاه پرس یا سایر قسمت‌ها به‌صورت لحظه‌ای فرایند تولید را کنترل نمایند. البته این جدول پیشنهادی، مقدمه کنترل فرایند برای تولید تخته‌خرده‌چوب با مقدار واکشیدگی ضخامت ثابت موردنظر است و باید در شرایط تولید بر پایه این محدوده پیشنهادی آزمون و خطا شود.

بر روی خواص تخته تولیدی تأثیرگذار است و باعث انتخاب این نوع ورودی‌ها و خروجی شد. هدف این تحقیق، بهبود کنترل میزان درصد واکشیدگی ضخامت تخته‌خرده‌چوب کارخانه دعبل خزاعی است که زمان تخمین این خاصیت کاهش یابد و در زمان تولید از نوسان زیاد این خصوصیت محصول نهایی جلوگیری شود. متغیرهای استفاده شده در این تحقیق به‌صورت متناظر با درصد واکشیدگی بعد از ۲۴ ساعت ضخامت تخته‌خرده‌چوب از این فرایند تولید جمع‌آوری شد. نتایج آزمون‌های طولانی‌مدت درصد واکشیدگی تخته‌خرده‌چوب بعد از ۲۴ ساعت با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی پیش‌بینی شد. متغیرهای مؤثر مانند دمای پرس و غیر-مؤثر مانند رطوبت خرده‌چوب در سیلو شناسایی شد. دقت مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی ایجادشده بر اساس مدل الگوریتم ژنتیک با متغیرهای ورودی (G, H, J, K, L, M, N) زیاد است و مدل (BFGS 5-5) کمترین درصد خطا را دارد. از طرف دیگر ساختار فازی با ۱۶ قاعده و ۱۱ تابع عضویت تشکیل شد و فقط سه قاعده با تابع منحنی زد شکل دارای درصد خطا در حدود استاندارد بود و درصد

## مراجع

- [1] Alborzi, M., 2001. Introduction to Artificial Neural Networks. Sharif University press, 137 p. (In Persian).
- [2] Menhaj, M., 1998. Introduction to Artificial Neural Networks. Hesabi press, 716 p. (In Persian).
- [3] Esteban, L.G., Fernández, F.G., de Palacios, P. and Conde, M., 2009. Artificial neural networks in variable process control: application in particleboard manufacture. *Investigación Agraria: Sistemas y Recursos Forestales*, 18(1):92-100.
- [4] Cook, D. and Chiu, C.C., 1997. Predicting the internal bond strength of particleboard, utilizing a radial basis function neural network. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, (10)2: 171-177.
- [5] Fernandez, F.G., Esteban, L.G., de Palacios, P., Navarro, N. and Conde, M., 2008. Prediction of standard particleboard mechanical properties utilizing an artificial neural network and subsequent comparison with a multivariate regression model. *Investigación Agraria: Sistemas y Recursos Forestales*, 17(2):178-187
- [6] Bayatkashkoli, A., 2013. Evaluation of process variables effect on the bursting strength of newsprint, printing and writing paper. *Journal Indian Academy Wood Science*, 10(1):55-61.
- [7] Jahanilomer, Z., FarrokhPayam, S.R. and Shamsian, M., 2014. An intelligent neural networks system for prediction of particleboard properties. *Iranian Journal of Wood and Paper Science Research*, 29(2): 242-253. (In Persian).
- [8] Oduguwa, V., Tiwari, A. and Roy, R., 2005. Evolutionary computing in manufacturing industry: an overview of recent applications. *Applied Soft Computing Journal*, 5: 281-299.

- [9] Stefansson, A., Koncar, N. and Jones, A.J., 1997. A note on the Gamma test. *Neural Computing and Applications*, 5: 131-133.
- [10] Monte, R.A., 1999. A random walk for dummies. *Mit Undergraduate Journal of Mathematics*, 1: 143-148.
- [11] Yagar, R.R. and Zadeh, L.A., 1992. *An introduction to fuzzy logic applications in intelligent systems*. Boston, Kluwer Academic Publishers, 356 p.
- [12] Jang, J.S.R. and Gulley, N., 1995. *Fuzzy logic Toolbox for use with MATLAB*. Natick Mall, Boston, the math works, Inc. 208 p.
- [13] Mamdani, E.H. and Assilian. S., 1975. An experimental in linguistic synthesis with a fuzzy logic control. *International Journal Man-Machine Studies*, 7: 1-13.
- [14] Zadeh, L. A., 1965. Fuzzy set. *Information and Control*. 8:338-353.
- [15] Dubois, D. and Prade, H., 1980. *Fuzzy set and systems: Theory and Application*. Academic press. New York, 411 p.
- [16] Malinov, S., Sha, W. and Mckeown, J.J., 2001. Modelling the correlation between processing parameters and properties in titanium alloys using artificial neural network. *Computational Materials Science Journal*, 21: 375-394.
- [17] Cheng, C.S., 1995. A multi-layer neural network model for detecting changes in the process mean. *Computers and Industrial Engineering*, 28: 51-61.
- [18] Cook, D.F., Massey, J.G. and Shannon, R.E., 1991. A neural network to predict particleboard manufacturing process parameters. *Forest Science*, 5: 1463-1478.
- [19] Cook, D.F., Zobel, C.W. and Nottingham, Q.J., 2001. Utilization of neural networks for the recognition of variance shifts in correlated manufacturing process parameters. *International Journal Products Resource*, 39(17): 3881-3887.
- [20] Cook, D.F., Ragsdale, C.T. and Major, R.L., 2000. Combining a neural network with a genetic algorithm for process parameter optimization. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 13(4):391-396.
- [21] Esteban, L.G., Garcia Fernandez, F., de Palacios, P. and Gonzalez Rodrigo, B., 2010. Use of Artificial Neural Networks as a predictive method to determine moisture resistance of particle and fiber boards under cyclic testing conditions (UNE-EN 321). *Wood and Fiber Science*, 42(3): 1-11.
- [22] Dousthosyni, K. 2001. *Production technology and use of wood based panel*. Tehran University press, 420 p. (In Persian).
- [23] Moslemi, A.A., 1974. *Particleboard, Volumes 1 and 2*. Southern illinois University Press, Carbondale, illinois. 256 p.
- [24] Nemli, G., Zekovic, E. and Aydin, I., 2007. Some of the parameters influencing surface roughness of particleboard. *Building and Environment Journal*, 40(10): 1337-1340.
- [25] Nemli, G., Aydin, I. and Zekovic, E., 2007. Evaluation of some of the properties of particleboard as function of manufacturing parameters. *Materials and Design*, 28: 1169-1176.

## Comparison of predicted thickness swelling of particleboard with fuzzy systems and artificial neural networks

### Abstract

Swelling percent is a very important physical property of the final product. Determination of Swelling is a time consuming and high cost process. Therefore, prediction of swelling during the production process can ensure a consistent quality of production. In this research, variables such as moisture content of particle, the amount of adhesive, press time, press temperature, press pressure and swelling properties of particleboard were collected from Debalkhazae mill. The normalized data was analyzed by artificial neural network and fuzzy systems. Also, swelling percent was predicted by optimal model. The best model of swelling prediction is 5-5 basis of artificial neural networks, and the best function of fuzzy systems is Z-shaped curve membership function. Means absolute percent errors of the predictions are equal 5 and 22 percent, respectively. ANN method has better performance compared with fuzzy systems.

**Keywords:** percentage of thickness swelling, fuzzy systems, artificial neural networks, production process of particleboard.

**A. Bayatkashkoli**<sup>1\*</sup>  
**F. Nesi**<sup>2</sup>  
**A. Moghaddam Nia**<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Associate professor, <sup>2</sup> M.Sc.,  
Department of Wood and Paper Science  
and Technology, Faculty of Natural  
Resources, University of Zabol, Zabol,  
Iran

<sup>3</sup> Associate Professor, Department of  
Arid and Mountainous Regions  
Reclamation, Faculty of Natural  
Resources, University of Tehran,  
Tehran, Iran

Corresponding author:  
[ali.bayatkashkoli@gmail.com](mailto:ali.bayatkashkoli@gmail.com)

Received: 2015.01.31  
Accepted: 2015.06.15