شناسایی و تعیین مقدار تأثیر متغیرهای کنترلی کارخانه بر خواص فیزیکی و مکانیکی تخته فیبر با دانسیته متوسط با سیستم شبکه عصبی مصنوعی

سکینه شیرزائی [۱*]
علی بیات کشکولی [۲]
سعیدرضا فرخ پیام [۳]

[۱] دانشجوی دکتری کامپوزیت‌های لیگنوسلولزی، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه زابل، زابل، ایران

[۲] استاد گروه صنایع چوب و کاغذ، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه زابل،زابل، ایران

[۳] دانشیار گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه زابل، زابل، ایران

مسئول مکاتبات:
ssh377@uoz.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۲/۱۸
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۶/۰۵

چکیده

خواص فرآورده‌های مرکب چوبی حاصل از متغیرهای کنترلی یا به عبارت دیگر ماشین‌های فرآیندی کارخانه است. شناسایی این نقاط حساس از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است، چون‌که کنترل‌کننده‌های خط تولید کارخانه این امکان را می‌دهد که بتوانند خط تولید و کیفیت محصول را به شکل کاملاً مهندسی تنظیم نمایند یا مطالعه دقیق‌تری از رفتار مواد و فرآیند داشته باشند. متغیرهای ورودی این کارخانه از سه شیفت کاری به تعداد ۱۵۴ ردیف داده متناظر با همدیگر و با خصوصیات خروجی هستند. متغیرهای ورودی کارخانه شامل متغیرهای درصد رطوبت خرده چوب، دانسیته خرده چوب، دانسیته کیک، درجه حرارت مواد، مقدار مصرف چسب به درصد، مقدار مصرف چسب به کیلوگرم، رطوبت الیاف و سرعت پرس و داده‌های اندازه‌گیری شده شامل دانسیته، مدول خمشی، مدول الاستیسیته، چسبندگی داخلی، رطوبت تخته و واکشیدگی ضخامت می‌باشد. پس از نرمال‌سازی داده‌ها، مقدار تأثیر متغیرهای ورودی بر هرکدام از خواص تخته فیبر با روش شبکه عصبی مصنوعی و بر اساس معیارهایی مانند آزمون گاما و درصد خطا مشخص شد. نتایج نشان دادند که تمامی متغیرهای ورودی بر خصوصیات خروجی تخته فیبر اثرگذار می‌باشند و ترتیب اثرگذاری متغیرها به نوع خصوصیات بستگی دارد. اثر متغیرهایی مانند دانسیته کیک الیاف تقریباً بیشتر از بقیه متغیرها بود. برخی متغیرهای ورودی مانند مقدار چسب به کیلوگرم بر روی خواص تخته فیبر با دانسیته متوسط اثر کمتری دارند و این متغیر در خط تولید برخی کارخانه‌ها ثابت در نظر گرفته می‌شود. همبستگی بالای مقدار پیش‌بینی با مقدار واقعی خروجی‌ها و درصد خطای کم آن اعتبار بالای پیش‌بینی‌ها را نشان داد که به ترتیب بالای ۰/۹ و کمتر از ۹ درصد بود.

واژگان کلیدی: آزمون گاما، خواص مکانیکی، خواص فیزیکی، تخته فیبر با دانسیته متوسط.

مقدمه

در فرآیند تولید محصولات فشرده چوبی، کنترل کیفیت جهت یکنواختی شرایط تولید و ارائه محصولاتی با ویژگی‌های مطلوب و هزینه‌های قابل‌قبول و همچنین به‌منظور حفظ موقعیت تولیدات در بازار مصرف و امکان رقابت آن‌ها با فرآورده‌های مشابه، دارای ضرورتی اجتناب‌ناپذیر می‌باشد. با توجه به مقدار خروجی مختلف و قابل تنظیم هر ماشین در فرآیند تولید، تخته‌هایی با ویژگی‌های متفاوت تولید می‌شود. تغییرات حداقل در خصوصیات کیفی محصول تولیدی کارخانه و یا به عبارتی تولید

محصول با خصوصیات ثابت، یک هدف عمده در مدیریت کیفیت است. هدف تمام این کارخانه‌ها تولید محصول باکیفیت یکسان در شرایط مختلف و متفاوت است. اگر خط تولید در شرایط متفاوت کنترل و تنظیم نباشد، کیفیت تولید مطلوب و یکسان نخواهد بود و باعث افزایش ضایعات می‌شود. در هنگام تولید می‌توان مقدار هر یک از خواص را به‌صورت لحظه‌ای با ماشین‌های مؤثر تنظیم کرد تا باعث کار آیی تولید و کاهش زمان تخمین خاصیت موردنظر شد. شناسایی این متغیرها یا ماشین‌های مؤثر و ترتیب اثر آن‌ها در خواص نهایی با روش شبکه عصبی مصنوعی امکان‌پذیر است و برای این هدف به کار گرفته‌شده است و اساس اکثر این روش‌ها پیش‌بینی بر پایه نوعی شبیه‌سازی از وضعیت موجود است که اصطلاحاً به آن مدل‌سازی گفته می‌شود. کارخانه‌ها با آگاهی از کار آیی این روش‌ها اقدام به اندازه‌گیری آنلاین خروجی ماشین‌ها می‌کنند و اتوماسیون کارخانه بر اساس این داده‌های آنلاین می‌باشد و مقدار ورودی‌ها و همچنین خصوصیات نهایی محصولات به‌صورت لحظه‌ای تعیین و ثبت می‌شود. علاوه بر این تجزیه‌وتحلیل‌های بعدی متخصصین تولید در کارخانه بر پایه این داده‌های ورودی و خروجی امکان‌پذیر است که گزارش‌های زیادی از این نوع تحقیقات در مجلات چاپ‌شده است. روش شبکه عصبی مصنوعی در صنعت چوب به‌منظور تعیین متغیرها یا ماشین‌های مؤثر و تنظیم فرآیند استفاده می‌شود. شبکه عصبی مصنوعی در تخمین مدول الاستیسیته و مدول گسیختگی خیلی بهتر از مدل رگرسیونی می‌باشد و در پیش‌بینی خصوصیات چوب از قبیل دی‌الکتریک، درصد گلوکز، مانوز و غیره استفاده می‌شود [۱]. در تحقیقی خواص مکانیکی تخته خرده چوب بر اساس خواص فیزیکی آن (جذب آب، واکشیدگی ضخامت، ضخامت تخته و دانسیته) با دو روش مدل‌های رگرسیون خطی و شبکه عصبی مصنوعی پیش‌بینی شد. این روش‌ها مقاومت خمشی، مدول الاستیسیته و چسبندگی داخلی تخته خرده چوب با آزمون و خطا پیش‌بینی می‌کنند ولی مقایسه این دو روش نشان می‌دهد که استفاده از شبکه عصبی مصنوعی خطای پیش‌بینی را تا حد زیادی کاهش داده است [۲]. در مطالعه‌ای عوامل تعیین‌کننده مدول الاستیسیته و مدول گسیختگی تختهٔ خرده چوب بر اساس داده‌های اطلاعات‌پایه با به‌کارگیری شبکه عصبی مصنوعی پیش‌بینی‌شده است. مدل‌های الگوریتم ژنتیک و شبکهٔ عصبی مصنوعی نشان داد که عوامل تعیین‌کننده مذکور مخصوصاً جرم مخصوص خشک مواد اولیه با میانگین‌گیری وزنی برای مدول گسیختگی و درصد چسب برای مدول الاستیسیته قابلیت کنترل کیفی تختهٔ خرده چوب را دارند و برخی عوامل دیگر را می‌توان ثابت در نظر گرفت [۳]. مطابق تحقیقات انجام‌شده، خصوصیات تخته خرده چوب با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی و بر اساس متغیرهای تولیدی پیش‌بینی‌شده است. تأثیر متغیرهای درصد رطوبت کیک، دمای پرس و زمان بسته شدن پرس بر روی خواص درصد واکشیدگی ضخامت و جذب آب تخته خرده چوب بررسی شد. برای ساخت مدل شبکه عصبی مصنوعی از عملکرد شبکه عصبی پیشخور[1] استفاده شد. این فن قابلیت تطبیق‌پذیری روش شبکه عصبی مصنوعی را افزایش داد و خصوصیات ضخامت و جذب آب پیش‌بینی شدند [۴]. در پژوهشی دیگر، واکشیدگی ضخامت تخته خرده چوب بر اساس متغیرهای خط تولید با استفاده از سیستم فازی و شبکه عصبی مصنوعی پیش‌بینی شد. ساختار فازی با ۱۶ قاعده و ۱۱ تابع عضویت تشکیل شد و سه قاعده با تابع منحنی Z شکل دارای درصد خطا در حدود استاندارد بودند. نتایج این دو روش پیش‌بینی نشان داد که دقت مدل‌های ایجادشده شبکه عصبی مصنوعی بیشتر از سیستم فازی است [۵].

از سوی دیگر متغیرهای مؤثر بر مقاومت به ترکیدن کاغذ روزنامه و کاغذ چاپ و تحریر کارخانه کاغذسازی مازندران با استفاده از داده‌های خط تولید و شبکه عصبی مصنوعی بررسی‌شده است و با این روش می‌توان خط تولید را کنترل نمود. در این روش برخی متغیرهای فرایندی را می‌توان ثابت و برخی دیگر را با حساسیت بیشتر کنترل نمود [۶]. همچنین با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی چسبندگی داخلی، مقاومت کششی خواص فیزیکی تخته خرده چوب پیش‌بینی شد. نتایج این مطالعه نشان داد که در سطح اعتماد ۹۵ درصد تفاوت معنی‌داری بین داده‌های آزمایشگاهی و داده‌های

[1] Feedforward Neural Network

پیش‌بینی‌شده وجود ندارد [۷]. از تابع توزیع شعاعی در شبکه عصبی مصنوعی برای پیش‌بینی خواص مکانیکی پانل‌های چوبی از قبیل تخته خرده چوب، تخته لایه و غیره استفاده شد. نتایج نشان داد که این تابع توانایی پیش‌بینی خواص مکانیکی کامپوزیت‌های چوبی را دارد [۸]. در دیگر مطالعه‌ای، مدل‌سازی و بهینه‌سازی زبری سطح کاج اسکاتلندی مورد تحقیق قرار گرفت. مدل زبری سطح با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی پیش‌بینی شد. پس از برش نمونه‌ها در عمق برش‌های مختلف در دستگاه CNC و محاسبه زبری سطح، فرآیند بهینه‌سازی برای رسیدن به حداقل زبری سطح نمونه‌ها با روش الگوریتم ژنتیک صورت پذیرفت. درنتیجه، حداقل زبری سطح چوب کاج اسکاتلندی با استفاده از روش شبکه عصبی مصنوعی و الگوریتم ژنتیک با صرفه‌جویی در زمان و هزینه مدل‌سازی امکان‌پذیر می‌باشد [۹].

در دیگر پژوهشی، امکان پیش‌بینی مقادیر مدول خمشی و مدول الاستیسیته تخته خرده چوب با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی و رگرسیون خطی چند متغیره و بر پایه مهم‌ترین پارامترهای ساختاری تخته خرده چوب مانند دانسیته، درصد چسب و ضریب کشیدگی بررسی‌شده است. نتایج نشان داد که هر دو مدل رگرسیون خطی چندگانه و شبکه عصبی مصنوعی توانایی پیش‌بینی مقادیر مدول خمشی و مدول الاستیسته را با دقت بالایی دارند، اما شبکه عصبی مصنوعی نسبت به رگرسیون خطی چندگانه، مدول خمشی و مدول الاستیسیته تخته خرده چوب را با ضریب همبستگی بالاتر و میانگین درصد خطای مطلق کمتری پیش‌بینی کرده است [۱۰]. حال سؤال‌های اساسی این است که مؤثرترین متغیرها در فرایند کارخانه تخته فیبر با دانسیته متوسط چیست و مقدار اثر هرکدام از این متغیرها چگونه است؟ ازاین‌رو هدف تحقیق شناسایی و تعیین مقدار اثر متغیرهای فرایندی کارخانه در تولید تخته فیبر است. با توجه به این سؤالات و اهداف تحقیق از یکی از راهکارهای دقیق یعنی روش شبکه عصبی مصنوعی استفاده شد. این روش می‌تواند از داده-های در دسترس کارخانه اطلاعات مفیدی برای تنظیم ماشین‌های خط تولید استخراج کند تا کار آیی تولید محصول بهینه شود.

مواد و روش‌ها

روش شبکه عصبی مصنوعی ابزار اصلی در این مقاله برای شناسایی عوامل مؤثر بر خواص مکانیکی و فیزیکی تخته فیبر با دانسیته متوسط است. الگوریتم ژنتیک، شبکه عصبی آموزش‌دیده است و پاسخ مناسب و مطلوب را برای ترکیب عوامل مربوطه پیدا می‌کند. الگوریتم ژنتیک برای حل بسیاری از مسائل مانند مدل‌سازی، برازش منحنی، طبقه‌بندی و انتخاب متغیر برای تراز کردن شرایط خط تولید کار آیی مؤثری داشته است. هر متغیر در روش الگوریتم ژنتیک با یک کد کامپیوتری در یک بردار نشان داده می‌شود و یک سلول برای هر یک از متغیرها ایجاد می‌شود. برای هر سلول پاسخ با وضعیت ارزیابی آن داده می‌شود که معیاری برای هدایت الگوریتم ژنتیک به هدف مطلوب می‌باشد. اعتبار سنجی در روش الگوریتم ژنتیک بر اساس گروه‌های حذف‌شده است. تعداد ۸ متغیر مؤثر بر خصوصیات مکانیکی و فیزیکی بررسی‌شده است که شامل A: درصد رطوبت خرده چوب، B: دانسیته خرده چوب، C: دانسیته کیک،D: درجه حرارت مواد، E: مقدار مصرف چسب به درصد، F: مقدار مصرف چسب به کیلوگرم، G: رطوبت الیاف، H: سرعت پرس می‌باشد. داده‌های پایه این تحقیق از خط تولید آنلاین یکی از کارخانه‌ها در دسترس قرار گرفت و این داده‌ها بازبینی و نرمال شدند. متخصصین تولید در این کارخانه به‌صورت روزانه و در چند مرحله به کمک ابزارهای دستی و آنلاین اندازه‌گیری‌های لازم را ثبت می‌کنند. داده‌های ثبت‌شده در اختیار اداره استاندارد و همچنین برای کنترل فرآیند استفاده می‌شود. این داده-های ثبت‌شده در دسترس نویسندگان قرار گرفت. متناظر بودن داده‌ها بررسی و داده‌های ناقص در ردیف‌ها حذف گردیدند تا محدوده حداقل و حداکثری داده‌ها در دامنه تعریف‌شده و استاندارد کارخانه می‌باشند به‌عبارت‌دیگر داده‌های نامفهوم حذف گردیدند. اکثر داده‌های در دسترس در محدوده نرمال قرار داشتند. بنابراین تعداد این ۸ متغیر ورودی با هرکدام از خروجی‌ها شامل مدول الاستیسیته و گسیختگی، دانسیته تخته، چسبندگی داخلی، جذب رطوبت (درصد رطوبت) و واکشیدگی ضخامت بررسی و تجزیه‌وتحلیل شد. تعداد ردیف داده‌های موردبررسی برای هرکدام از خروجی‌ها ۱۵۴ردیف داده بود.

نرمال‌سازی داده‌ها

وارد کردن داده‌ها به‌صورت خام برای تجزیه‌وتحلیل سبب کاهش دقت می‌شود و داده‌های خام، دامنه مقادیر مختلفی دارند. راه‌های مختلفی برای نرمال کردن داده‌ها وجود دارد. معمول‌ترین آن‌ها عبارت‌اند از ۰ و ۱، ۱- و ۱+، بین کمترین و بیشترین مقدار داده‌ها، بین ۰/۱ و ۰/۹ می‌باشد که در این تحقیق با استفاده از معادله (۱) بین ۰ و ۱ نرمال شدند.

$$X_i = \frac{X_i - X_{min}}{X_{max} - X_{min}} \quad (۱)$$

X_i داده اندازه‌گیری شده یک متغیر، X_{min} حداقل و X_{max} حداکثر داده اندازه‌گیری شده همان متغیر است. داده‌های نرمال شده جهت انتخاب مؤثرترین متغیرها در دو مرحله ۱- مدل گام‌به‌گام رگرسیون چند متغیره خطی با نرم‌افزار آماری SPSS و ۲- مدل‌سازی غیرخطی با نرم‌افزار گاما استفاده‌شده است. داده‌های این متغیرها با نرم‌افزار متلب آماده‌سازی و سپس با نرم‌افزار گاما، عدد گاما و خطای استاندارد محاسبه و نمودارهای آزمون ام و جدول الگوریتم ژنتیک انجام پذیرفت.

آزمون گاما

آزمون گاما دارای مراحل زیر است. ابتدا تمام متغیرها مورد آزمون قرار می‌گیرند. سپس یکی از متغیرها را حذف و سایر متغیرها مورد آزمون واقع می‌شوند. این روند ادامه می‌یابد تا تک‌به‌تک متغیرها به یک‌مرتبه کنار گذاشته شوند. درصورتی‌که مقدار گاما برای هر یک از این متغیرها دارای بیشترین مقدار باشد این متغیر به‌عنوان یک متغیر مهم در نظر گرفته می‌شود. اگر مقدار گاما برای متغیری حداقل باشد، آن متغیر به‌عنوان یک متغیر کم‌اهمیت کنار گذاشته می‌شود. تجزیه‌وتحلیل خطای استاندارد و نسبت وی مشابه مقدار گاما است. مقدار خطای استاندارد صحت رگرسیون خطی در آماره گاما را بیان می‌کند. اگر این مقدار به صفر نزدیک باشد، اطمینان بیشتری به مقدار آماره گاما را می‌توان نشان داد. بنابراین متغیرهای مؤثر بر اساس نسبت وی، آزمون گاما و آزمون ام انتخاب می‌شود. مراحل آزمون ام نیز به‌صورت آزمون گاما می‌باشد. به‌منظور طراحی و آموزش یک شبکه عصبی مصنوعی می‌بایست داده‌ها را به دو مجموعه مختلف به نام نمونه آموزش و نمونه آزمون تقسیم نمود. مدلی باکار آیی مناسب BFGS شبکه عصبی مصنوعی بر اساس داده‌های تفکیک‌شده آزمایش، نزدیک‌ترین همسایه و بهترین مدل الگوریتم ژنتیک ایجاد می‌شود. ساختار شبکه عصبی مصنوعی با تعداد گره‌ها در لایه اول و دوم تشکیل و با حداقل خطای جمع میانگین مربعات آزمایش می‌شود. مقدار خطای مدل ایجادشده آزمون می‌شود. خروجی واقعی با خروجی پیش‌بینی‌شده بر اساس خطای محاسبه‌شده مقایسه می‌شود و دقیق‌ترین مدل ایجادشده را از بین مدل‌های متفاوت انتخاب می‌کنند. دقت مدل‌های ایجادشده با میانگین درصد خطای مطلق با معادله (۲) محاسبه می‌شود:

$$MAPE = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\frac{[F_i - D_i]}{D_i} \times 100 \quad (۲)$$

که در آن F_i مقدار داده‌های پیش‌بینی‌شده و D_i مقدار داده‌های واقعی همان متغیر است. برای ارزیابی نتایج حاصل از شبکه عصبی مصنوعی خطای پیش‌بینی و ضریب همبستگی بین مقدار پیش‌بینی و مقدار واقعی به دست آورده می‌شود. خطای پیش‌بینی تا ۲۰ درصد برای فرآیند قابل‌قبول و ۲۰ تا ۳۰ درصد را نیز می‌توان پذیرفت ولی خطای بیشتر از ۳۰ درصد به‌عنوان خطای غیرقابل‌قبول رد می‌شود [۱۱]. داشتن مقادیر کوچک‌تر خطا، به معنی نزدیک‌تر بودن نتایج محاسبه به داده‌های واقعی و نشان‌دهنده مناسب بودن مدل پیش‌بینی است. البته مقدار همبستگی بین داده‌های واقعی و پیش‌بینی بیشتر از ۶۰ درصد قابل‌قبول است و مقدار بیشتر از آن نشان‌دهنده دقت بیشتر است. درنهایت ردیف‌های متناظری از ورودی‌ها با خروجی که دارای دقت پیش‌بینی بسیار بالا و همچنین در دامنه تعریف‌شده استاندارد تخته فیبر با دانسیته متوسط تولیدشده به روش خشک [۱۲] بودند، انتخاب می‌شوند.

نتایج و بحث

نتایج حاصل از مدل آماری

خصوصیات موردمطالعه مدل آماری گام‌به‌گام رگرسیون چند متغیره خطی به شرح جدول ۱ می‌باشد. دانسیته کیک، درجه حرارت مواد و سرعت بسته شدن پرس مهم‌ترین متغیرهایی هستند که در

اکثر خصوصیات وارد مدل شده‌اند، اما بسته به نوع خصوصیات، متغیر ورودی مهم تغییر پیدا می‌کند.

نتایج حاصل از آزمون گاما

جدول ۲ مقادیر گاما، خطای استاندارد و نسبت وی مربوط به آزمون گاما را نشان می‌دهد. اگر هر یک از متغیرها حذف شود و آن متغیر اثر زیادی در تعیین خروجی داشته باشد، مقدار آماره‌های گامای آن بیشتر از سایر متغیرها خواهد بود و در غیر این صورت کمتر خواهد بود.

جدول ۱ - متغیرهای واردشده در مدل آماری رگرسیون چند متغیره (نام متغیرهای واردشده در مدل در مواد و روش‌ها ذکرشده است)

نام خروجی	معادله به‌دست‌آمده	نام خروجی	معادله به‌دست‌آمده
دانسیته	y= -0/544H-0/355C-0/227 D	مدول خمشی	y= -0/322D + 0/349H-0/451C+0/304-0/165B
مدول الاستیسیته	354F/y= -0/287 D+0/403C -0/462E +0/422H-0	چسبندگی داخلی	y=0/399 H+ -0/218C -0/179B
درصد رطوبت	y= 0/734 H+0/339 G +0/143 B +0/280 F -0/176 C	واکشیدگی ضخامت	y=-0/229 G -0/185 A

* همه مدل‌ها در سطح ۹۹ درصد معنی‌دار می‌باشد

جدول ۲- نتایج آزمون گاما شامل مقادیر آماره گاما، خطای استاندارد و نسبت وی آزمون‌های دانسیته، مدول الاستیسته و مدول خمشی

آماره گاما برای مدول خمشی			آماره گاما برای مدول الاستیسیته			آماره گاما برای دانسیته تخته			مدل	
v-ratio	SE	gamma	v-ratio	SE	gamma	v-ratio	SE	gamma	متغیرهای ورودی	ردیف
۰/۶۵۳۰	۰/۰۰۳	۰/۰۲۷۲	۰/۵۶۵۰	۰/۰۰۳	۰/۰۱۹۳	۰/۳۶۱۰	۰/۰۰۱۹	۰/۰۱۲۴۴	بدون حذف	۱
۰/۶۱۱۷	۰/۰۰۲۱	۰/۰۲۵۰	۰/۵۵۹۷	۰/۰۰۲	۰/۰۱۹۱	۰/۲۸۸۴	۰/۰۰۱۲	۰/۰۰۹۹	A	۲
۰/۶۴۵۶	۰/۰۰۱۹	۰/۰۲۶۳	۰/۵۶۵۹	۰/۰۰۲	۰/۰۱۹۳	۰/۴۸۷۷	۰/۰۰۱۴	۰/۰۱۶۷	B	۳
۰/۷۲۱۰	۰/۰۰۴۳	۰/۰۲۹۵	۰/۷۵۲۶	۰/۰۰۳	۰/۰۲۵۷	۰/۴۴۲۲	۰/۰۰۱۵	۰/۰۱۵۲	C	۴
۰/۶۲۴۲	۰/۰۰۴۱	۰/۰۲۵۵	۰/۶۳۷۴	۰/۰۰۳	۰/۰۲۱۸	۰/۳۴۳۷	۰/۰۰۲۱	۰/۰۱۱۸	D	۵
۰/۶۰۳۳	۰/۰۰۳۲	۰/۰۲۴۷	۰/۶۳۱۰	۰/۰۰۳	۰/۰۲۱۵	۰/۴۱۸۴	۰/۰۰۱۷	۰/۰۱۴۴	E	۶
۰/۶۲۷۷	۰/۰۰۲۵	۰/۰۲۵۶	۰/۵۷۱۶	۰/۰۰۲	۰/۰۱۹۵	۰/۳۲۰۳	۰/۰۰۲۸	۰/۰۱۱۰	F	۷
۰/۶۱۹۷	۰/۰۰۲۴	۰/۰۲۵۲	۰/۵۶۷۶	۰/۰۰۳	۰/۰۱۹۴	۰/۴۰۳۷	۰/۰۰۱۷	۰/۰۱۳۹	G	۸
۰/۵۴۱۳	۰/۰۰۲۳	۰/۰۲۲۱	۰/۵۶۴۹	۰/۰۰۲	۰/۰۱۹۳	۰/۳۳۳۸	۰/۰۰۱۶	۰/۰۱۱۵	H	۹

ادامه جدول۲- نتایج آزمون گاما شامل مقادیر آماره گاما، خطای استاندارد و نسبت وی آزمون‌های چسبندگی داخلی، رطوبت تخته و واکشیدگی ضخامت

آماره گاما برای واکشیدگی ضخامت			آماره گاما رطوبت تخته میانگین مربعات			آماره گاما برای چسبندگی داخلی			مدل	
v-ratio	SE	gamma	v-ratio	SE	gamma	v-ratio	SE	gamma	متغیرهای ورودی	ردیف
۰/۴۸۱۳	۰/۰۰۵۱	۰/۰۲۱۰	۰/۳۸۱۴	/۰۰۲۱	۰/۰۱۷۶	۰/۰۲۳۹	۰/۰۰۲۴	۰/۷۴۶۷	بدون حذف	۱
۰/۵۹۷۵	۰/۰۰۳۱	۰/۰۲۶۲	۰/۴۶۷۵	/۰۰۲۱	۰/۰۲۱۶	۰/۰۲۵۳	۰/۰۰۲۰	۰/۷۸۶۴	A	۲
۰/۶۰۷۱	۰/۰۰۲۹	۰/۰۲۶۶	۰/۴۰۷۳	/۰۰۲۸	۰/۱۸۸	۰/۰۲۳۲	۰/۰۰۲۶	۰/۷۲۳۵	B	۳
۰/۴۴۳۱	۰/۰۰۷۴	۰/۰۱۹۴	۰/۳۲۷۲	/۰۱۱۳	۰/۰۱۵۱	۰/۰۲۵۰	۰/۰۰۱۲	۰/۷۸۱۲	C	۴
۰/۵۳۶۳	۰/۰۰۳۴	۰/۰۲۳۵	۰/۳۸۲۹	/۰۰۲۳	۰/۰۱۷۷	۰/۰۲۴۳	۰/۰۰۲۸	۰/۷۵۹۰	D	۵
۰/۶۲۹۵	۰/۰۰۲۵	۰/۰۲۷۶	۰/۴۲۸۷	/۰۰۱۸	۰/۰۱۹۸	۰/۰۲۱۰	۰/۰۰۲۲	۰/۶۳۷۳	E	۶
۰/۵۶۰۲	۰/۰۰۴۴	۰/۰۲۴۵	۰/۳۳۷۱	/۰۰۲۰	۰/۰۱۵۶	۰/۰۲۲۹	۰/۰۰۲۵	۰/۷۱۵۶	F	۷
۰/۷۰۲۳	۰/۰۰۶۳	۰/۰۳۰۷	۰/۳۵۲۵	/۰۰۳۵	۰/۰۱۶۳	۰/۰۲۸۸	۰/۰۰۲۴	۰/۸۹۸۸	G	۸
۰/۵۱۹۲	۰/۰۰۴۴	۰/۰۲۲۷	۰/۴۶۶۷	/۴۶۶۷	۰/۰۲۱۵	۰/۰۲۳۰	۰/۰۰۳۶	۰/۷۱۶۷	H	۹

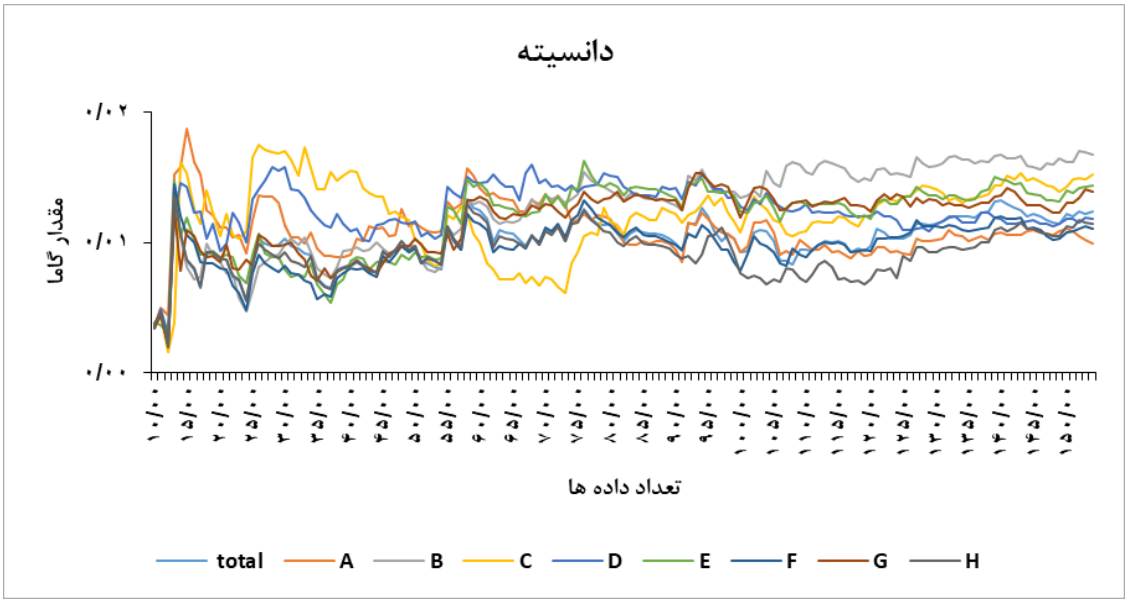
مقدار خطای همه مدل‌ها بسیار مناسب و قابل استناد می‌باشد. آماره‌های گاما نشان می‌دهند که متغیرهای ورودی مانند دانسیته خرده چوب، دانسیته کیک، مقدار مصرف چسب به درصد و رطوبت الیاف و حتی درجه حرارت مواد بر روی خصوصیات تخته فیبر تأثیرگذاری بیشتری داشته‌اند و مقدار مصرف چسب به کیلوگرم تقریباً کمترین اثر را نشان داده است و برای هرکدام از خصوصیات ترتیب تأثیرگذاری به شرح جدول ۳ متفاوت است. به‌طورکلی اثر تمامی متغیرهای ورودی به مقدار مشخص جدول ۳ است و انتخاب این متغیرها برای کنترل خصوصیات و تنظیم خروجی‌های موردنظر ضروری بوده است.

جدول ۳- تأثیر متغیرهای ورودی بر خصوصیات خروجی به ترتیب اثر بر اساس آزمون گاما (نام علائم اختصاری در متن مقاله ذکرشده است)

دانسیته تخته	مدول الاستیسیته	مدول خمشی	چسبندگی داخلی	رطوبت تخته	واکشیدگی ضخامت
B	C	C	G	A	G
C	D	بدون حذف	A	H	E
E	E	B	C	E	B
G	F	F	D	B	A
بدون حذف	G	D	بدون حذف	D	F
D	B	G	B	بدون حذف	D
H	H	A	H	G	H
F	بدون حذف	E	F	F	بدون حذف
A	A	H	E	C	C

نتایج حاصل از آزمون ام

نتایج آزمون M به‌صورت نموداری بر اساس مقدار گاما می‌باشد و متغیری که گامای بیشتری دارد در بالای نمودارها قرار می‌گیرد. این آزمون نیز متغیری که بیشترین و کمترین تأثیر بر روی خصوصیات دارد را مشخص می‌کند. یک نمونه از نتایج آزمون ام برای خصوصیات دانسیته در نمودارهای ۱ نشان داده‌شده است. بر اساس نتایج آزمون ام متغیرهایی را که بیشترین تأثیر را بر روی خروجی‌های تخته فیبر با دانسیته متوسط داشته است در بالاترین نقاط نمودار و متغیرهایی که اثر کمتری بر روی خروجی مربوطه داشته در نقاط پایین‌تر قرار می‌گیرند. نتایج آزمون گاما و ام تقریباً مشابه می‌باشند و همدیگر را تائید می‌کنند.



شکل ۱ - مؤثرترین تا کم اثرترین متغیر بر روی دانسیته بر اساس آزمون ام

ترتیب اثر متغیرهای ورودی برای هرکدام از خصوصیات به شرح جدول ۴ می‌باشد. ترتیب اثر متغیرهای ورودی دو خصوصیات رطوبت تخته و واکشیدگی ضخامت با ترتیب اثر متغیرهای دیگر خصوصیات متفاوت می‌باشد. درصد رطوبت خرده چوب برای این دو خروجی رطوبت تخته و واکشیدگی ضخامت مهم‌تر می‌باشد، درصورتی‌که دانسیته کیک برای بقیه خصوصیات مهم‌تر می‌باشد و برعکس یعنی درصد رطوبت خرده چوب کمترین اثر بر روی دانسیته، مدول الاستیسیته، خمشی و همچنین دانسیته کیک کمترین اثر بر روی خصوصیات رطوبت تخته و واکشیدگی ضخامت داشته است.

جدول ۴- تأثیر متغیرهای ورودی بر خصوصیات خروجی به ترتیب اثر بر اساس آزمون ام (نام علائم اختصاری در متن مقاله ذکرشده است)

دانسیته تخته	مدول الاستیسیته	مدول خمشی	چسبندگی داخلی	رطوبت تخته	واکشیدگی ضخامت
B	C	C	H	E	A
C	D	B	G	A	F
E	H	F	A	بدون حذف	G
G	E	D	F	F	B
بدون حذف	F	E	B	B	E
D	بدون حذف	بدون حذف	D	H	D
H	B	A	C	G	H
F	G	H	E	C	بدون حذف

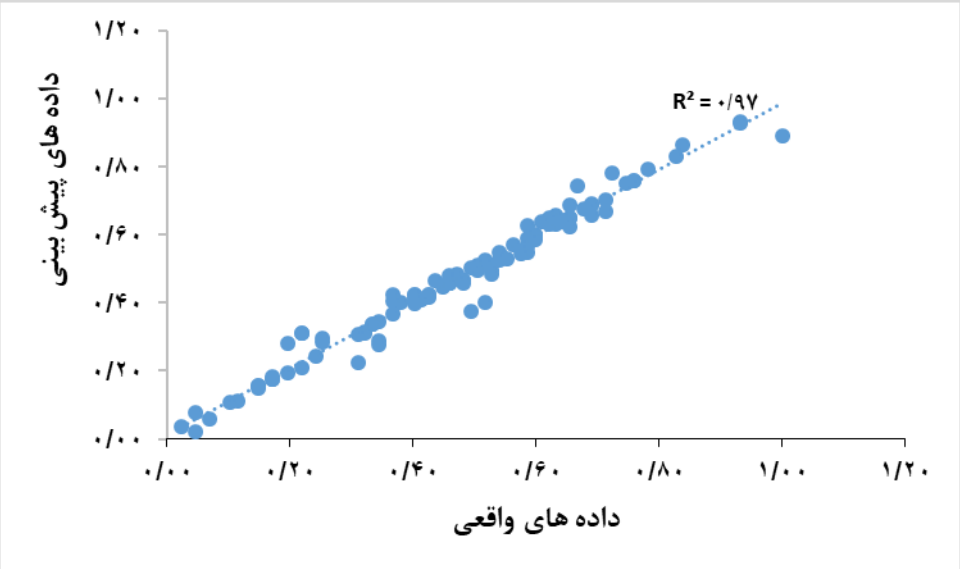
نتایج حاصل از الگوریتم ژنتیک

الگوریتم ژنتیک بهترین مدل‌ها را در ردیف یک مشخص می‌کند و از بهترین مدل تا بدترین مدل را نشان می‌دهد. سه ردیف اول از چندین مدل‌های پیشنهادی برای هرکدام از خصوصیات در جداول ۵ ذکرشده است و این مدل‌های مهم حاصل از الگوریتم ژنتیک بر اساس مقدار گاما، خطای استاندارد و نسبت وی مشاهده می‌شود. بهترین مدل در ردیف اول قرار می‌گیرد. این مدل به خاطر کمترین مقدار خطای استاندارد نسبت به بقیه مدل‌ها ارجح‌تر است.

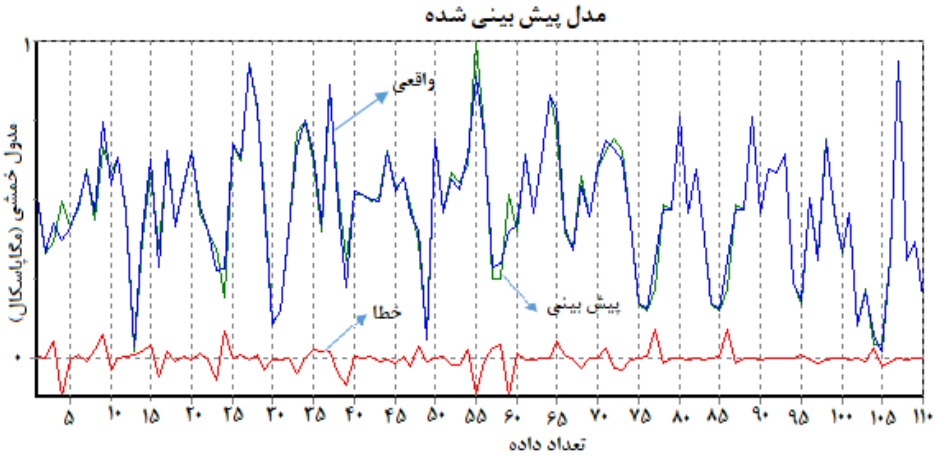
مؤثر بودن تمام متغیرها از نتایج مدل‌های الگوریتم ژنتیک است (جدول ۵) و تمامی متغیرهای به‌عنوان ورودی‌های مهم در نظر گرفته‌شده‌اند و در ردیف‌های بعدی و در برخی مدل‌ها متغیرهای دیگری حذف‌شده‌اند که باید در کارخانه آزمون و خطا شوند و درصد خطا و مدل‌های بهتر و دقیق‌تری به دست آورده شوند. بنابراین نتایج الگوریتم ژنتیک نیز نتایج آزمون‌های دیگر را تائید می‌کند. با توجه به اینکه ترتیب اثرگذاری متغیرها بر خروجی متفاوت است ولی به‌طورکلی مقدار اثر متغیرهای ورودی به ترتیب دانسیته کیک و خرده چوب، درجه حرارت مواد و مقدار مصرف چسب به درصد می‌باشد و کارخانه ریزش چسب به کیلوگرم را ثابت تنظیم کرده و معمولاً کمترین اثر بر خصوصیات را نشان می‌دهد. این نتایج نشان می‌دهد که کارخانه بر اساس شاخص‌های مهم موجود در درجه‌بندی موسسه استاندارد به شماره استاندارد ۵ - ۷۴۱۶ می‌تواند اندازه خروجی متغیرها یا ماشین‌های مؤثر بر خصوصیات تخته فیبر تولیدی خود را تنظیم و یا با دقت بیشتر کنترل نماید. نتایج پیش‌بینی‌ها بر اساس شبکه عصبی مصنوعی دقت و همبستگی بسیار بالایی را نشان می‌دهد. یک نمونه از همبستگی بالای بین داده‌های واقعی و پیش‌بینی در شکل ۲ و خطای کم پیش‌بینی در شکل ۳ مشخص است.

جدول ۵- نتایج حاصل از الگوریتم ژنتیک برای دانسیته تخته (صفر به معنی حذف متغیر و یک به معنی ورود متغیر در مدل است)

ردیف مدل	متغیرهای ورودی هر مدل										آماره		
	A	B	C	D	E	F	G	H	نسبت وی	گاما	خطای استاندارد
۱	دانسیته تخته												
۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۰/۲۴۵۱	۰/۰۰۹۰	۰/۰۰۱۵
۲	۱	۱	۰	۱	۱	۱	۱	۱	۰/۲۵۸۱	۰/۰۰۸۹	۰/۰۰۱۲
۳	۱	۱	۱	۱	۱	۰	۱	۱	۰/۲۷۶۸	۰/۰۰۹۶	۰/۰۰۱۶
	مدول خمشی												
۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۰/۴۹۶۴	۰/۰۲۰۳	۰/۰۰۲۵
۲	۱	۱	۱	۱	۱	۰	۱	۱	۰/۴۵۶۴	۰/۰۱۸۶	۰/۰۰۱۵
۳	۱	۱	۱	۱	۰	۱	۱	۱	۰/۵۱۵۴	۰/۰۲۱۰	۰/۰۰۲۳
	مدول الاستیسیته												
۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۰/۴۳۱۱	۰/۰۱۴۷	۰/۰۰۱۵
۲	۱	۱	۱	۱	۱	۰	۱	۱	۰/۳۹۳۹	۰/۰۱۳۴	۰/۰۰۱۳
۳	۱	۱	۱	۰	۱	۱	۱	۱	۰/۴۶۹۵	۰/۰۱۵۶	۰/۰۰۲۴
	چسبندگی داخلی												
۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۰/۹۵۲۱	۰/۰۳۰۴	۰/۰۰۲۷
۲	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۰/۷۴۶۷	۰/۰۲۳۹	۰/۰۰۲۴
۳	۱	۱	۱	۱	۰	۱	۱	۱	۰/۶۳۷۳	۰/۰۲۰۴	۰/۰۰۲۲
	رطوبت تخته												
۱	۱	۱	۰	۰	۱	۱	۱	۰	۰/۰۱۵۳	۰/۰۰۰۷	۰/۰۰۴۲
۲	۱	۱	۰	۰	۰	۱	۰	۱	۰/۱۱۴۴	۰/۰۰۵۳	۰/۰۰۶۷
۳	۱	۱	۰	۱	۱	۱	۱	۰	۰/۱۴۵۴	۰/۰۰۶۷	۰/۰۰۳۸
	واکشیدگی ضخامت												
۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۰/۱۷۷۵	۰/۰۰۷۷	۰/۰۰۳۱
۲	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۰	۰/۲۶۴۵	۰/۰۱۱۶	۰/۰۰۴۴
۳	۱	۱	۱	۱	۰	۱	۱	۱	۰/۲۶۹۶	۰/۰۱۱۸	۰/۰۰۴۰



شکل ۲-همبستگی بین داده‌های واقعی و مقادیر پیش‌بینی‌شده مدول خمشی توسط مدل شبکه عصبی مصنوعی (۵-۵) BFGS با درصد مطلق خطای ۶/۵۳۷



شکل ۳- نتایج پیش‌بینی مدل پیش‌بینی با شبکه عصبی (۵-۵) BFGS با درصد مطلق خطای ۶/۵۳۷ برای مدول خمشی

مقدار خطای پیش‌بینی هرکدام از خصوصیات و نوع مدل آن و مقدار همبستگی بین داده‌های واقعی و پیش‌بینی آن‌ها به شرح جدول ۶ است. همبستگی بالای ۰/۹ و درصد خطای کمتر از ۹ درصد اعتبار بالای مدل-های پیش‌بینی‌ها را نشان می‌دهد که قابل استناد است.

جدول ۶- نوع مدل و درصد خطای پیش‌بینی و مقدار همبستگی بین داده‌های واقعی و پیش‌بینی

نام متغیر	R^2	درصد خطای مطلق	نوع مدل
مدول خمشی	۰/۹۷۳۳	۶/۵۳۷۳	BFGS (۵-۵)
دانسیته	۰/۹۹۹۸	۵/۶۶۷۴	BFGS(۵-۵)
چسبندگی داخلی	۰/۹۷۱۵	۳/۳۰۲۶	BFGS (۵-۴)
رطوبت تخته	۰/۹۲۰۱	۹/۲۶۳۷	BFGS(۵-۵)
واکشیدگی ضخامت	۰/۹۱۸۹	۶/۶۱۱۲	BFGS (۴-۵)
مدول الاستیسیته	۰/۹۸۳۸	۲/۳۴۱۵	BFGS (۵-۴)

جدول ۷ مقدار متغیرهای ورودی برای خصوصیات خروجی را نشان می‌دهد. این مقادیر بر اساس پیش‌بینی-هایی با کمترین مقدار درصد خطا انتخاب‌شده‌اند. مقادیر خصوصیات خروجی بر اساس محدوده استاندارد ملی ایران (۵-۷۴۱۶) و بهینه‌ترین کیفیت فنی انتخاب‌شده‌اند. بر اساس این نتایج محدوده بالا و پایین داده‌های ورودی و خروجی با دقت پیش‌بینی بالا را می‌توان به شرح جدول ۷ در کارخانه آزمون و خطا نمود و مجدد بر اساس داده‌های جدید پیش‌بینی‌ها و نتایج دقیق‌تری را به دست آورد. البته این چرخه آزمون و خطا تا حصول اطمینان از تنظیمات دقیق در کارخانه ادامه پیدا می‌کند.

مقدار دانسیته تخته‌های تولیدی در محدوده استاندارد بین ۸۰۰-۶۵۰ کیلوگرم بر سانتی‌مترمکعب برای تخته فیبر با دانسیته متوسط در حد بالا می‌باشد که تخته‌های تولیدی این کارخانه در محدوده ۷۳۹-۶۸۳ کیلوگرم بر سانتی‌مترمکعب استاندارد است. مقدار مقاومت چسبندگی داخلی تخته‌های تولیدی کارخانه در محدوده ۱-۰/۶ نیوتن بر میلی‌متر مربع می‌باشد که در استاندارد بین ۰/۴۵ تعریف‌شده است. همچنین رطوبت تخته‌های تولیدی در محدوده مناسب ۸-۵ درصد می‌باشد. خصوصیت مدول الاستیسیته در استاندارد شماره ۵ - ۷۴۱۶ بین ۲۲۰۰ نیوتن بر میلی‌متر مربع ذکرشده است و تخته‌های تولیدی این کارخانه در محدوده ۲۲۹۰-۲۹۲۰ استاندارد می‌باشد. مقاومت خمشی در استاندارد بین ۲۲ نیوتن بر میلی‌متر مربع تعریف‌شده است و تخته‌های تولیدی این کارخانه در محدوده ۲۱/۵ تا ۳۰/۲ استاندارد است. مقدار واکشیدگی ضخامت در استاندارد بسته به نوع مصرف تخته باید کمتر از ۲۵ یا بیشتر از ۸ درصد باشد که تخته‌های تولیدی در محدوده ۱۴ تا ۲۰ می‌باشد.

جدول ۷- محدوده پیشنهادی تنظیم ورودی‌های کارخانه برای مقدار خروجی استاندارد بر اساس کمترین خطای پیش‌بینی

نام خروجی	رطوبت خرده چوب (٪)	دانسیته خرده چوب (kg/m^3)	دانسیته کیک(kg/m^3)	درجه حرارت مواد (C)	چسب (٪)	چسب (kg)	رطوبت الیاف (٪)	سرعت پرس(mm/s)	درصد خطای مطلق	داده واقعی	داده پیش‌بینی
دانسیته	۶۲/۱۲	۳۲۶	۶۷/۶	۳۲/۷	۱۰	۳۵	۸/۶۹	۱۵۰	۰/۰۰۴	۷۳۵	۷۱۳
(کیلوگرم بر	۶۱/۵۷	۳۱۹	۶۶/۸	۳۱/۸	۱۰/۱	۴۰/۵۲	۸/۷۲	۲۸۰	۵/۰۲۹	۷۳۰	۷۱۸
مترمکعب)	۶۱/۹۵	۳۲۹	۶۸/۳	۳۲/۳	۱۰/۶	۳۵/۱۱	۸/۷۱	۱۵۰	۰/۵۸۷	۷۳۱	۷۰۰
چسبندگی	۵۹/۰۶	۳۷۲	۶۹/۸	۳۱/۶	۹/۹	۳۵/۰۵	۹/۰۶	۲۴۰	۱/۴۶۱	۰/۹۳	۰/۹۱
داخلی (نیوتن بر	۶۰/۸۵	۳۳۹	۶۹/۶	۳۱/۷	۱۱/۵	۳۹/۰۹	۸/۸۷	۲۷۰	۰/۹۴۲	۰/۹	۰/۸۰
میلی‌متر مربع)	۶۲/۵۶	۳۲۸	۶۴/۳	۳۳/۷	۱۰/۲	۴۱/۲۸	۸/۶۲	۲۸۰	۰/۱۹۳	۰/۹۲	۰/۸۶
رطوبت تخته	۵۹/۳۴	۳۳۸	۶۹/۴	۳۰/۵	۱۰/۷	۴۰/۹۳	۸/۹۹	۲۸۰	۰/۸۸۹	۵/۱۶	۶/۱۶
(درصد)	۶۲/۷۸	۳۲۸	۶۸/۷	۳۳/۶	۱۰/۳	۳۷/۲۷	۸/۶	۲۶۰	۰/۰۱۳	۵/۲۲	۵/۷۱
	۶۲/۴۶	۳۳۱	۷۱	۳۳/۵	۱۰/۲	۴۰/۲۵	۸/۶۴	۲۸۰	۰/۰۳۵	۵/۴۹	۵/۷۲
مدول	۶۰/۸۵	۳۳۰	۶۲/۶	۳۱/۵	۱۰/۳	۳۵/۰۱	۸/۸۴	۱۵۰	۰/۰۱۲	۲۹۲۰	۲۷۳۹/۹۴۹
الاستیسیته	۶۰/۵۷	۳۲۴	۷۰/۵	۳۱/۲	۸/۳	۳۰/۷۱	۸/۹۱	۱۹۰	۰/۸۱۸	۲۸۷۰	۲۶۶۶/۸۹۳
(نیوتن بر میلی-	۶۱/۹۵	۳۲۹	۶۷/۶	۳۲/۱	۱۰/۶	۳۵/۴	۸/۷۱	۱۵۰	۰/۰۹۴	۲۷۳۰	۲۴۹۷/۰۸۷
متر مربع)											
مدول خمشی	۶۱/۵۷	۳۱۹	۶۶/۸	۳۱/۸	۱۰/۱	۴۰/۵۲	۸/۷۲	۲۸۰	۰/۳۴۲	۳۰/۲	۲۸/۷۳
(نیوتن بر میلی-	۶۰/۸۵	۳۳۰	۶۲/۶	۳۱/۲	۱۰/۳	۳۵/۰۱	۸/۸۴	۱۵۰	۱/۸۱۰	۲۹/۶	۲۶/۰۹
متر مربع)	۶۰/۲۹	۳۱۸	۶۲/۳	۳۲/۸	۱۰/۳	۴۰/۵۳	۸/۹۴	۲۸۰	۰/۵۳۳	۲۸/۸	۲۷/۱۷
واکشیدگی	۶۱/۴۵	۳۴۴	۶۸/۷	۳۳/۱	۱۰	۴۰/۶۱	۸/۷۷	۲۸۰	۱/۰۸۹	۱۴/۳۸	۱۸/۵۸۵
ضخامت	۶۰/۸۵	۳۳۵	۶۹/۶	۳۱/۷	۱۱/۵	۳۹/۰۹	۸/۸۷	۲۷۰	۰/۳۱۵	۱۶/۴۷	۱۷/۳۴۱
(درصد)	۶۲/۷۸	۳۲۸	۶۶/۷	۳۳/۴	۱۰/۵	۴۰/۵۲	۸/۶	۲۸۰	۰/۱۲۵	۱۶/۶۵	۱۸/۷۳۴

همه مقادیر متغیرها یا همان ماشین‌های خط تولید متناظر با خروجی‌های موردنظر، قابل تنظیم هستند و در این صورت خواص تخته فیبر با دانسیته متوسط را می‌توان ثابت نگه داشت و با این شرایط خروجی موردنظر به دست می‌آید که در جدول ۷ مشاهده می‌کنید. اما استفاده از این مدل‌ها و روش کنترل خط تولید این امکان را ایجاد می‌کند که خروجی موردنظر را با استفاده از محدوده قابل‌قبول ورودی به دست آورده شود. البته محدوده‌های ورودی بر اساس هزینه و سرعت یا بازده تولید انتخاب می‌شود. به‌عنوان مثال در این کارخانه مصرف چسب (۱۶ درصد) بالا می‌باشد که اقتصادی نیست. بنابراین استفاده از داده‌های متناظری که هزینه را کاهش مانند مقدار چسب کمتر و یا سرعت تولید مانند سرعت پرس یا بازده تولید مانند دانسیته کیک را افزایش می‌دهند برای آزمون و خطا در شرایط تولید انتخاب می‌شود. محصولات تولیدی باید در محدوده استاندارد تعریف‌شده موسسه استاندارد تولید شوند و همچنین سایر موارد مانند مسئله هزینه اقتصادی و سایر علاقه‌مندی‌های شرکت ازجمله مسئله کیفیت رقابت انحصاری در فرآیند تولید در نظر گرفته می‌شوند. سعی شده است این موضوعات در انتخاب ردیف‌های دارای کمترین میزان خطا در نظر گرفته شود (جدول ۷). شاید تسریع تصمیم‌گیری در کنترل لحظه‌ای فرایند با این نتایج به‌دست‌آمده امکان‌پذیر باشد که بی‌ارتباط با موضوع انجام آزمایش‌های فیزیکی یا دستی در کارخانه‌ها و استفاده بی‌حاصل از نتایج این آزمون‌ها بعد از خروج محصول از خط تولید نیست. مدت‌زمان آزمایش‌های فیزیکی در مقایسه با آزمایش‌های مکانیکی طولانی‌مدت هستند [۱۳]، اما با این روش و دستگاه‌های اندازه‌گیر می‌توان این عملیات را در طول فرآیند در لحظه انجام داد و محموله‌هایی از محصول با خصوصیات یکسان تولید کرد. همچنین هزینه‌های ناشی از آزمایش‌های و هزینه‌های مربوط به ضایعات کاهش می‌یابد.

روش‌های غیرخطی در صنایع چوب و کاغذ به‌صورت محدود استفاده‌شده است [۱۴] ولی روش مدل‌سازی

گام‌به‌گام چند متغیره خطی در مقالات داخلی نیز استفاده‌شده است [۱۶-۱۵]. این روش مقدمه روش غیرخطی مثل الگوریتم ژنتیک و شبکه عصبی است و دقت مدل‌های ایجادشده زیاد می‌باشد [۱۷]. روش‌های غیرخطی دقت بیشتری دارند [۲]. چون تأثیر برخی از متغیرها از متغیرهای دیگر بیشتر است و تأثیر خود را در معادله بهتر نشان می‌دهد. این روش‌ها برای بهینه‌سازی، افزایش سرعت تولید، کاهش هزینه‌ها و پیش‌بینی خصوصیات کیفی محصول تخته فیبر با دانسیته متوسط و دیگر چندسازه‌های چوبی زیاد استفاده می‌شود [۱۹-۱۸].

نتیجه‌گیری

روش‌های متفاوتی برای کنترل فرآیند استفاده می‌شود. دقت روش شبکه عصبی مصنوعی نسبت به روش‌های دیگر زیاد است. داده‌های جمع‌آوری‌شده به‌صورت خام دارای اطلاعات مفیدی می‌باشند و اگر تجزیه‌وتحلیل شوند به‌ویژه با روش‌هایی مانند شبکه عصبی مصنوعی در کنترل فرآیند ارزشمندتر خواهند شد. معیارها و آماره‌های روش‌های این تحقیق ازجمله مدل‌های آماری گام‌به‌گام رگرسیون چند متغیره خطی و مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی دارای دقت بالایی می‌باشند. مدل‌های آماری گام‌به‌گام رگرسیون چند متغیره خطی فقط متغیرهای مؤثر را نشان می‌دهند. درصورتی‌که آماره‌های آزمون گاما، ام و الگوریتم ژنتیک شبکه عصبی مصنوعی ترتیب اثر متغیرها بر خروجی را مشخص و علاوه بر این به‌طورکلی شبکه عصبی مصنوعی پیش‌بینی‌های دقیقی بر اساس مدل‌های متفاوت دارد. داده‌های متناظر ورودی با خروجی بر اساس نتایج پیش‌بینی مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی می‌توان با خطای بسیار کم و همبستگی بالا انتخاب و در فرآیند تولید آزمون و خطا کرد. انتخاب این ردیف‌های شامل متغیرهای متفاوت با خروجی، می‌تواند بر اساس اهداف تعریف‌شده مانند کم‌هزینه کردن تولید محصول، افزایش بازده، کنترل کیفیت رقابت انحصاری و منافع اقتصادی دیگر باشد و درنهایت مطلوب‌ترین مقدار کنترلی را برای تنظیم فرایند استفاده نمود. در این تحقیق مواردی مانند درصد پایین چسب و کیفیت تولید در محدوده استاندارد در نظر گرفته شد. ردیف داده‌های متناظر پیشنهادشده با درصد خطای کمتر از یک درصد (جدول ۷)، برای این کارخانه مشخص‌شده است و بر این اساس می‌تواند بدون وقفه و ضایعات با یک کیفیت ثابت تولید نماید و به اهداف خود در بازار رقابت انحصاری دست یابد.

منابع

[1] Iliadis, L.S., Spartalis, S. and Tachos, S., 2008. Application of fuzzy T-norms towards a new Artificial Neural Networks' evaluation framework: A case from wood industry. Information Sciences, 178: 3828–3839.

[2] 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. Investigacion Agraria: Sistemas y Recursos Forestales, 17(2): 178-187.

[3] Bayatkashkoli, A., 2014. Determinants of Modulus of Rupture and Modulus of Elasticity of Particleboards on the basis of Data base.Journal of forest and wood product 67(2):307-323(In Persian)

[4] 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).

[5] Bayatkashkoli, A., Nesi, F. and Moghadamneya, A., 2015. Comparison of predicted thickness swelling of particleboard with fuzzy systems and artificial neural networks. Iranian Journal of Wood and Paper Industries, 6(1):53-66 (In Persian).

[6] Bayatkashkoli, A., 2013. Evaluation of process variable's effect on the bursting strength of newsprint, printing and writing paper. Journal of the Indian Academy of Wood Science, 10(1):55–61 (In Persian)

[7] Palacios, P., Fernández, F. G., García-Iruela, A., González-Rodrigo, B. and Esteban, L. G., 2018. Study of the influence of the physical properties of particleboard type P2 on the internal bond of panels using artificial neural networks. Computers and electronics in agriculture, 155: 142-149.

[8] Kaya, A. İ., llkucar, M. and Çifci, A., 2019. Use of Radial Basis Function Neural Network in Estimating Wood Composite Materials According to Mechanical and Physical Properties. Erzincan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 12(1): 116-123.

[9] Gürgen, A., Çakmak, A., Yildiz, S. and Malkoçoğlu, A., 2022. Optimization of CNC operating parameters to minimize surface roughness of Pinus sylvestris using integrated artificial neural network and genetic algorithm. Maderas. Ciencia y tecnología, 24:1-12.

[10] Arabi, M., rostampour haftkhani, A. and Poorbaba, R., 2021. An artificial neural network model for predicting modulus of elasticity and modulus of rupture of particleboard comparison with a multiple linear regression model. Iranian Journal of Wood and Paper Industries, 12(2):283-297(In Persian).

[11] Esteban, L.G., Garcia Fernandez, F., de Palacios, P. and Conde, M., 2009. Artificial neural networks in variable process control :application in particleboard manufacture. Investigacion Agraria: Sistemas y Recursos Forestales, 18(1): 92-100.

[12] Standard test methods for wood—wood-based panels, dry-process fiberboard, Part 5: specifications. Iranian National Standardization Organization, INSO 7416-5, (2018)

[13] Ismail, F.Sh. and Abu Bakar, N., 2012. Predicting fiberboard physical properties using multilayer perceptron neural network. International Journal of Scientific & Engineering Research, 3(8): 1-4.

[14] Amere, M., Adebe, M.A. and Purmosa, S., 2009. Determine of factors affecting on the quality of printed paper packaging optimization using experimental design. Journal of Forest and Wood Products (Natural Resources of Iran), 62(1): 11-20.

[15] Moradian, M.H., Ebrahemi, G., Resalate, H. and Durado, A., 2008. Evaluation of statistical models for predicting the burst strength and tear paper in Mazandaran Wood and Paper factory. Journal of Iran Natural Resources, 61(1): 733-749.

[16] Hatam A., Pourtahmasi K., Resalati H. and Lohrasebi A.H., 2008. Modeling hydrogen peroxide bleaching to predict optical properties of bleached hardwood CMP. Wood Science and Technology, 42:353–367.

[17] Andre, N., Cho, H.W., Baek, S.H., Jeong, M.K. and Young, T.M., 2008. Prediction of internal bond strength in a medium-density fiberboard process using multivariate statistical methods and variable selection. Wood Science and Technology, 42(7):521-534.

[18] Yapici, F. and Ulucan, D., 2012. Prediction of modulus of rupture and modulus of elasticity of heat-treated Anatolian chestnut (Castanea Sativa) wood by Fuzzy Logic Classifier. Drvna Industrija, 63 (1) 37-43.

[19] Ozcifci, A., Yapici, F. and Altun, S., 2009. The prediction of the effect of grain angle over modulus of rupture and modulus of elasticity values on Scotch pine with Fuzzy logic classifier. 5th International Advanced Technologies Symposium (IATS'09), May 13-15, University of Karabuk, Turkey, pp.1-5.

Identification and determination of the effect of factory control variables on the physical and mechanical properties of medium-density fiberboard with an artificial neural network system

Abstract

The properties of wood composite products are due to the control variables of factory machines. Identifying these sensitive places is of particular importance because it allows the operator to be able to adjust the production line and product quality in a completely engineered way. Also, it allows operators to have a more detailed study of material and process behavior. Factory available data includes variables of moisture content of chips, chips density, mat density, material temperature, the amount of glue used in percent, the amount of glue used in kilograms, fiber moisture, and press speed; while measured data includes density, flexural modulus, modulus of elasticity, internal bonding, board moisture, and thickness swelling. The effect of input variables on each of the properties of the fiberboard was determined by the artificial neural network method. The results show that all of the input variables have affected the output properties of fiberboard and the order and the effect order of the variables depends on the type of properties. The effect of variables such as mat density is almost greater than other variables. Some input variables, such as the amount of glue used in kilograms have less effect on the properties of fiberboard with medium density, and this variable is considered constant in the production line of some factories. The high correlation between the prediction value and the actual value of the output (higher than 0.9) and its low mean absolute percent error (9%) indicates the high validity of the prediction.

Keywords: Gamma test, Mechanical properties, Physical properties, Medium density fiberboard.

S. Shirzaei[1*]
A. Bayatkashkoli[2]
S. R. Farrokhpayam[3]

[1] Graduate PhD. Student, Faculty of Natural Resources University of Zabol, Zabol, Iran

[2] Prof., Department of wood and paper science and technology, University of Zabol, Zabol, Iran

[3] Associate Prof., Department of wood and paper science and technology, University of Zabol, Zabol, Iran

Corresponding author:
ssh377@uoz.ac.ir

Received: 2022/05/08
Accepted: 2022/05/26