



دانشگاه گوارزی و منابع طبیعی

نشریه پژوهش‌های علوم و فناوری چوب و جنگل

جلد بیستم و یکم، شماره چهارم، ۱۳۹۳

<http://jwfst.gau.ac.ir>

پیش‌بینی مقاومت به پارگی کاغذ روزنامه در جهت کاغذ بر اساس متغیرهای مؤثر (مطالعه موردی: کارخانه چوب و کاغذ مازندران)

* علی بیات کشکولی^۱ و علی رفیقی^۲

^۱دانشیار گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشگاه زابل،

^۲استادیار گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۷/۸؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۹/۱۱

چکیده

متغیرهای متفاوتی در فرآیند پیچیده کاغذسازی برای بهبود روان‌سازی تولید مورد بررسی قرار می‌گیرند. این متغیرها بر خصوصیات کاغذ روزنامه تأثیرگذار می‌باشند. حال سوال اساسی این است که مؤثرترین متغیرهای اندازه‌گیری شده در خط تولید کارخانه چوب و کاغذ مازندران بر روی مقاومت به پارگی کاغذ روزنامه کدام می‌باشد؟ بنابراین از ۱۴۵ متغیرهای اندازه‌گیری شده ماشین‌ها در طی سال‌های ۱۳۸۸ تا ۱۳۹۰ و روش‌های مدل‌سازی خطی و مدل‌سازی غیرخطی آزمون گاما، M ، الگوریتم ژنتیک و شبکه عصبی مصنوعی برای آزمون سوال استفاده شد. تعداد ۷ متغیر انتخاب شده بر اساس مدل‌های گام به گام رگرسیون چند متغیره خطی، برای ایجاد مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی استفاده شدند. متغیرهای منتخب شامل: ۱- درصد مواد افزودنی به خمیر کاغذ، ۲- مقدار باز شدن شیار هدباکس، ۳- نسبت سرعت ریزش خمیرکاغذ بر روی توری به سرعت توری ماشین، ۴- مقدار مکش پمپ شماره ۸، ۵- مقدار مکش پمپ شماره ۱۰، ۶- مقدار کشش کاغذ در پرس شماره ۴ و ۷- مقدار خروجی بخش بازیافت گرما، می‌باشد. به‌طور کلی آزمون گاما، M و الگوریتم ژنتیک نشان می‌دهد که همه این متغیرها دارای بیشترین تأثیر بر روی مقاومت به پارگی بودند. بهترین مدل پیش‌بینی شبکه عصبی مصنوعی ایجاد شده دارای درصد خطای ۰/۰۱۱ درصد و ضریب همبستگی ۰/۹۷ می‌باشد.

کلمات کلیدی: فرآیند کاغذسازی، آزمون گاما، مقاومت به پارگی

*مسئول مکاتبه: ali.bayatkashkoli@gmail.com

مقدمه

متغیرهای تأثیرگذار در خصوصیات متنوع کاغذ متفاوت می‌باشد. شناسایی متغیرهایی که در تولید کاغذ با خصوصیات معین نقش اساسی دارند برای مدیران خط تولید بسیار ارزنده می‌باشد. کنترل این ماشین‌ها از اهمیت زیادی در خط تولید برخوردار می‌باشد و در صورت تنظیم و متعادل کردن آن‌ها فرآیند روان و پیوسته‌ای وجود خواهد داشت. کارخانه چوب و کاغذ مازندران یکی از مهم‌ترین تولیدکننده کاغذ کشور می‌باشد و فرآیند پیچیده تولید کاغذ روزنامه توسط ماشین‌های متنوعی انجام می‌شود. مقاومت به پارگی کاغذ در این کارخانه اندازه‌گیری می‌شود و این خصوصیت اهمیت زیادی در مصرف کاغذ دارد. مقاومت به پارگی کاغذ روزنامه براساس متغیرهای زیادی تعیین می‌شود. این متغیرها باید به گونه‌ای تنظیم شوند که مقاومت به پارگی کاغذ روزنامه تولیدی ثابت و استاندارد باشد و این مقاومت تغییرات زیادی در محصول نهایی نداشته باشد. متغیرهای اندازه‌گیری شده یا خروجی ماشین‌های متنوع و زیاد فرآیند تولید کاغذ روزنامه به صورت لحظه‌ای ثبت می‌شود. متصدیان کارخانه با تنظیم این متغیرها کیفیت کاغذ روزنامه تولیدی را ثابت یا تنظیم می‌کنند. کنترل و تنظیم ماشین‌ها برای روان‌سازی فرآیند^۱ و تولید یکنواخت و متعادل محصول می‌باشد. تنظیم این ماشین‌ها خصوصیات کاغذ تولیدی را تحت تأثیر قرار می‌دهد. برخی از متغیرهای اندازه‌گیری شده این ماشین‌ها تأثیر زیاد و برخی دیگر تأثیر کمتری در خصوصیات کاغذ دارند. بنابراین تحقیقات در زمینه متعادل‌سازی خط تولید کارخانه کاغذ لازم است و تاکنون تعداد گزارش‌های محدودی مانند مرادیان و همکاران (۲۰۰۸) و حاتم و همکاران (۲۰۰۸) برای تعیین مؤثرترین متغیرهای اندازه‌گیری شده در تولید کاغذ انتشار یافته که روش آن‌ها با روش به‌کار رفته در این تحقیق متفاوت است. برخی تحقیقات مهم در زمینه کنترل فرآیند کاغذسازی، به شرح زیر می‌باشد؛ نرم‌افزار طراحی یک واحد الگوی خمیر کاغذ تهیه شده است (اسدی‌خوانساری و جهان‌لتیباری، ۱۹۹۷). این نرم‌افزار فرآیند یک کارخانه خمیرکاغذ سودا و کرافت را در حالات مختلف و شرایط متفاوت تولیدی طراحی می‌کند. این برنامه براساس مواردی از قبیل میزان مصرف چوب، درصد ضایعات پوست، درصد خاکاره، درصد ذرات درشت، درصد رطوبت چوب و شاخص‌های دیگر طراحی شده است، تا در نهایت فهرست‌هایی از مشخصات کارخانه و محاسبات جریان مواد و ظرفیت‌های مختلف را بیان کند. مصرف مواد افزودنی در تولید

1- Runability

کاغذ روزنامه کارخانه چوب و کاغذ مازندران بهینه‌سازی و سطوح مصرف بهینه آن‌ها محاسبه شد (بالازاده‌کیوی و رسالتی، ۱۹۹۹). این مواد افزودنی مورد استفاده در خط تولید عبارتند از: آلوم، روزین، نشاسته، خاک چینی، عامل نگهدارنده و رنگ می‌باشد. ویژگی‌های مختلف کاغذ از قبیل: مقاومت به کشش، مقاومت به پاره شدن، مقاومت به ترکیدن، طول پاره شدن، درصد خاکستر، میزان جذب آب، مقاومت در برابر عبور هوا، حجیمی، شفافیت و ماتی کاغذ، براساس سطوح مختلف مواد افزودنی اندازه‌گیری شد. با توجه به مقادیر محاسبه شده برای هر یک از ویژگی‌های نام برده، سطوح بهینه مناسب مصرف هر یک از مواد افزودنی به لحاظ حفظ و بهبود خواص کاغذ مشخص کرده‌اند. پیش‌بینی خواص مکانیکی در زوایای مختلف کاغذهای روزنامه و فلوتینگ کارخانه کاغذ مازندران به‌وسیله معادلات تجربی هانکینسون و ژاکوبی بررسی شد و معادلات رگرسیونی بین خواص مکانیکی و زوایای اندازه‌گیری تعیین گردید (نجفی قبادی فر و همکاران، ۲۰۰۳). این تحقیق مقاومت‌ها همانند مقاومت به پارگی را در زوایای مختلف پیش‌بینی کرد. نتایج این تحقیق نشان داده است که حداکثر مقاومت مکانیکی کاغذها در جهت ماشین بوده و با افزایش زاویه نسبت به جهت ساخت کاغذ، مقدار مقاومت‌های مکانیکی کاهش یافته تا این‌که در جهت عمود بر ماشین به حداقل رسیده است. معادلات هانکینسون و ژاکوبی مقادیر هر یک از مقاومت‌ها را در زوایای مختلف به‌خوبی پیش‌بینی کرده‌اند و مقادیر پیش‌بینی شده انطباق خوبی با مقادیر اندازه‌گیری شده نشان داده است. همچنین معادله‌های درجه سوم با ضرایب همبستگی خیلی بالا می‌توانند مقادیر هر یک از مقاومت‌ها را در زوایای مختلف پیش‌بینی کنند.

عامل‌های بهینه مؤثر بر کیفیت چاپ در کاغذهای بسته‌بندی تعیین شد و آزمایش‌هایی در سطوح مختلف از زبری کاغذ و همچنین گرانبوی و گرایندومتر جوهر با ویژگی‌های متفاوت انجام شده است (امیری و همکاران، ۲۰۰۹). روش تحلیل واریانس استفاده شد و به‌منظور پیشینه نمودن تابع‌های چگالی چاپ و میزان کیفیت پوشش جوهر، مساله در قالب یک برنامه‌ریزی ریاضی چند هدفه فرموله و سپس با بهره‌گیری از روش فازی حل و سطوح بهینه تعیین شده است. نتایج نشان می‌دهد سه عامل زبری کاغذ، گرانبوی و گرایندومتر جوهر و اثرگذاری توام آن‌ها به‌جز اثر توام زبری کاغذ و گرایندومتر جوهر بر میزان پوشش جوهر تأثیرگذار بودند. اما تنها دو عامل گرانبوی و گرایندومتر جوهر بر چگالی چاپ تأثیر می‌گذارند.

داده‌های واقعی سال‌های ۱۳۸۴ و قسمتی از ۱۳۸۵ خط تولید کاغذ روزنامه کارخانه چوب و کاغذ مازندران و مشاهده‌های مربوط به ۷۲ متغیر فرآیندی از برج ذخیره خمیر CMP تا انتهای خط تهیه جهت بررسی مقاومت به ترکیدن و پاره شدن کاغذ روزنامه استفاده شد و از میان این متغیرهای فرآیندی، ۴ مجموعه داده متناظر با مقاومت به ترکیدن و پاره شدن کاغذ روزنامه استخراج شد (مرادیان و همکاران، ۲۰۰۸). برای تعیین مؤثرترین متغیرهای فرآیندی و میزان تأثیر آن‌ها بر مقاومت به ترکیدن و پارگی کاغذ روزنامه و سرانجام پیش‌بینی این دو ویژگی از روی متغیرهای مؤثر، از تجزیه همبستگی و رگرسیون چند متغیره بهره‌گیری شد. مدل‌های مناسب و بی‌شماری برای پیش‌بینی و کنترل مقاومت به ترکیدن کاغذ روزنامه تهیه شد. نتایج نشان داد که متغیرهای درصد لیف‌های باقی‌مانده بر روی الک با مش ۴۸، فشار خمیر کاغذ در تمیزکننده‌های گروه سوم، خروجی فن پمپ ۲، شدت آبگیری سیوال، نسبت سرعت جت به توری و میزان باز بودن دهانه خروجی جعبه تغذیه، تأثیر بیشتری بر مقاومت به ترکیدگی کاغذ روزنامه دارند. بین متغیرهای فرآیندی و مقاومت به پاره شدن کاغذ روزنامه همبستگی کم تری دیده شد و مدل‌های محدودی برازش داده شد. متغیرهای بازده کمک نگه دارنده، شدت آبگیری سیوال و درصد خاک رس بر روی مقاومت به پاره شدن کاغذ روزنامه بیشترین تأثیر را نشان دادند. خصوصیات روشنی و ماتی خمیر کاغذ رنگبری شده پهن برگان با استفاده از مدل‌سازی رگرسیون چند متغیره برای کنترل بهینه کارخانه چوب و کاغذ مازندران بررسی شده است (حاتم و همکاران، ۲۰۰۸). متغیرهای رنگبری با این دو خصوصیات ارتباط داشتند. روشنی و ماتی اولیه خمیر کاغذسازی اثر معکوس معنی‌داری بر روی روشنی خمیر شیمیایی- مکانیکی نهایی دارد. نتایج این مدل‌ها ابزار مناسبی برای کنترل بهینه فرآیند می‌باشد.

شبیه‌سازی و مدل‌سازی ریاضی برای پخت پایدار خمیر کرافت از اکالیپتوس با در نظر گرفتن ویژگی‌های خاص هندسی و عملیاتی دایجستر استفاده شد (فرناندز و کاسترو، ۲۰۰۰). نتایج مدل‌ها نشان می‌دهد که فشردگی کیک الیاف و افزایش سرعت تخلیه چیپس بر روی واکنش‌های شیمیایی و به همان اندازه تغذیه و جریان آزاد لیکور تأثیرگذار می‌باشد. این مدل شرایط یک دایجستر صنعتی را برای حالتی که از گونه پهن برگ اکالیپتوس استفاده می‌شود، پیش‌بینی می‌کند. همچنین کل مواد جامد شامل مواد آلی و غیر آلی را پیش‌بینی و مقدار اولیه چیپس غوطه‌ور شده، عدد کاپا، مقدار لیکور و بازده را محاسبه می‌کند. فرآیند خمیر و کاغذسازی با به‌کار بردن روش شبکه عصبی مصنوعی مدل‌سازی و بهینه شد (آگور و فیلو، ۱۹۹۸). نتایج این روش نشان داد که متغیرهای این فرآیند تأثیر

زیادی بر لیگنین زدایی دارد. همچنین درجه حرارت و غلظت تأثیر شدیدی بر سرعت واکنش‌های خمیرسازی هم برای لیگنین و هم برای کربوهیدرات‌ها دارد. از این رو کیفیت خمیر کاغذ تولیدی با به کار بردن این روش، به خاطر وجود مقدار کربوهیدرات بیشتر و باقی مانده لیگنین کمتر، بهتر می‌شود. این روش شبیه‌سازی ابزار مناسبی برای کنترل بهینه کارخانه است و بین متغیرهای این فرآیند پیچیده و خصوصیات محصول نهایی ارتباط ایجاد می‌کند. امکان استفاده از روش شبکه‌عصبی مصنوعی و الگوریتم ژنتیک برای پیش‌بینی و بهینه کردن روشنی کاغذ و مقوای پوشش‌دار بررسی شد (کومار و هند، ۲۰۰۰). با توجه به محدودیت سخت‌افزاری و نرم‌افزاری روش الگوریتم ژنتیک، از هر دو روش می‌توان در صنعت کاغذسازی استفاده ارجح نمود. در این تحقیق این دو روش با هم ترکیب و مقدار بهینه روشنی کاغذ با ۳ درصد خطا پیش‌بینی شده است.

مدل‌سازی و شبیه‌سازی در فرآیند خمیرسازی در صنعت خمیر و کاغذسازی زیاد استفاده می‌شود. این روش‌های کامپیوتری به کنترل، بهینه‌سازی فرآیند و طراحی محصولات جدید کمک زیادی می‌کند. این روش‌ها فرآیند کاغذسازی را از نظر مواردی مانند کاهش ضایعات، افزایش بهره‌وری و کارایی هزینه فرآیندها کمک می‌کند. کنترل فرآیند را از نظر کیفیت محصول، پایداری پایانه تر و روان‌سازی خط تولید بهبود می‌بخشد (رایتالا و همکاران، ۲۰۰۹).

بنابراین روش شبکه عصبی مصنوعی یکی از روش‌های کنترل بهینه فرآیند تولید و شناسایی متغیرهای مهم می‌باشد. حال سوال اساسی این است که مؤثرترین متغیرهای اندازه‌گیری شده ماشین‌های کارخانه چوب و کاغذ مازندران در خصوصیات مقاومت به پارگی کاغذ روزنامه کدام می‌باشد؟ و یا کدام یک از این متغیرهای اندازه‌گیری شده برای کنترل خط تولید و برای این خصوصیت نقش مهمی دارند؟ با عنایت به این سوال هدف تحقیق تعیین مؤثرترین متغیرهای اندازه‌گیری شده ماشین‌های کارخانه چوب و کاغذ مازندران بر روی خصوصیت مقاومت به پارگی کاغذ روزنامه می‌باشد.

مواد و روش‌ها

تعداد ۱۷۵ متغیر در ساعت‌های متوالی سال‌های ۱۳۸۸ تا ۱۳۹۰ در کارخانه چوب و کاغذ مازندران اندازه‌گیری می‌شده است که از این تعداد تقریباً ۱۴۵ متغیر قابل استفاده بود. چندین هزار داده در طی این سال‌ها اندازه‌گیری شده که باید داده‌های مربوط به کاغذ روزنامه انتخاب و سپس یک به

یک متغیرهای اندازه‌گیری شده در واحدهای مختلف کاغذسازی (به غیر از واحدهای آماده‌سازی چوب و خمیرسازی) متناظر همدیگر و همچنین متناسب با مقاومت به پارگی انتخاب شوند. در نهایت تعداد ۱۷۷ داده متناظر برای ۱۴۵ متغیر انتخاب شد (یعنی برای هر متغیر تعداد ۱۷۷ داده وجود داشت). وارد کردن داده‌ها به صورت خام برای تجزیه تحلیل باعث کاهش دقت می‌شود و داده‌های خام، واحدهای اندازه‌گیری و دامنه مقادیر مختلفی دارند و برخی از سری داده‌ها در محدوده منفی و مثبت بود. بنابراین تمام سری داده‌ها با استفاده از معادله زیر بین یک و منفی یک نرمال شدند.

حداکثر داده اندازه‌گیری شده همان متغیر می‌باشد.

$$x_i = 2 \times \left(\frac{x_i - x_{\min}}{x_{\max} - x_{\min}} \right) - 1$$

در اینجا x_i داده اندازه‌گیری شده یک متغیر، x_{\min} حداقل و x_{\max}

داده‌های نرمال شده جهت انتخاب مؤثرترین متغیرها در دو مرحله شامل ۱- مدل گام به گام رگرسیون چند متغیره خطی با نرم‌افزار آماری SPSS^۱ و ۲- مدل‌سازی غیرخطی با نرم‌افزار گاما^۲ استفاده شد. ابتدا متغیرهایی که وارد مدل آماری می‌شوند انتخاب شدند و داده‌های این متغیرها با نرم‌افزار مطلب^۳ آماده‌سازی شد و سپس با نرم‌افزار گاما، عدد گاما و خطای استاندارد آزمون گاما محاسبه و نمودارهای آزمون M^۴ و جدول الگوریتم ژنتیک^۵ انجام شد. تعداد متغیرها با نرم‌افزار آماری محدود شدند و فقط آنهایی که وارد مدل رگرسیون خطی می‌شدند برای تجزیه و تحلیل‌های دیگر استفاده شدند. در غیر این صورت زمان و توان محاسبات کامپیوتری محدود در اختیار بود و محاسبات امکان‌پذیر نبود. کومار و هند (۲۰۰۰) نیز به این مشکل توجه داشته‌اند. تعداد داده‌های آزمایش^۶ و آزمون^۷ مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی براساس بهترین مدل الگوریتم ژنتیک انتخاب می‌شود. مدل سریع و با کارایی مناسب BFGS^۸ شبکه عصبی مصنوعی براساس داده‌های تفکیک شده آزمایش، نزدیک‌ترین همسایه^۹ و بهترین مدل الگوریتم ژنتیک ایجاد می‌شود. ساختار شبکه عصبی مصنوعی با

1- SPSS: regression linear; Stepwise. (version 16)

2- Wingamma (version 1.98, 2002)

3- MATLAB (version 7.10.0.499)

4- M Test

5- Genetic algorithm

6- Train

7- Test

8- Broyden-Fletcher-Goldfrab-Shanno

9- Near neighbours

تعداد گره‌ها در لایه اول و دوم تشکیل و با حداقل خطای جمع میانگین مربعات آزمایش می‌شود. مقدار خطای مدل ایجاد شده را می‌توان آزمون نمود و در این حالت داده‌های واقعی و پیش‌بینی مشخص است. مجدداً با داده‌های آزمون، مقدار خروجی براساس مدل ایجاد شده داده‌های آزمایش پیش‌بینی می‌شود و می‌توان خروجی واقعی را با خروجی پیش‌بینی شده مقایسه نمود و دقیق‌ترین مدل ایجاد شده از بین مدل‌های متفاوت را انتخاب نمود. همچنین دقت مدل‌های ایجاد شده با روش شبکه عصبی مصنوعی یا درصد مطلق خطای پیش‌بینی^۱ را می‌توان به شرح زیر محاسبه کرد:

$$Mape = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{|Fi - Di|}{Di} \times 100$$

در این جا؛ n تعداد داده، Fi داده پیش‌بینی شده و Di داده واقعی می‌باشد.

آزمون گاما یک مدل‌سازی غیرخطی و ابزاری جهت آنالیز می‌باشد و اجازه می‌دهد تا رابطه بین خروجی‌ها و ورودی‌ها در یک مجموعه داده‌های عددی مورد امتحان قرار گیرد. این آزمون می‌تواند کمترین مقدار قابل محاسبه میانگین مربعات خطا را برای هر مدل ارائه دهد. آزمون گاما مقدار خطای برآورد شده (یا واریانس اشتباه) را از روی داده‌ها به صورت مستقیم نشان می‌دهد (کانکار، ۱۹۹۷ و استفانسون و همکاران، ۱۹۹۷).

از این رو برآورد خطایی که به آن آزمون گاما اطلاق می‌گردد، می‌تواند معادل مجموع مربعات اشتباهات غیرخطی در رگرسیون خطی در نظر گرفته شود. برای فرض آزمون گاما، که اگر دو نقطه x و x' با همدیگر در فضای ورودی متناظر با خروجی‌های y و y' به هم نزدیک شوند باید در فضای خروجی نیز به هم نزدیک شوند وگرنه این ناشی از اختلافی است که از نویزها (همانند بی‌دقتی در اندازه‌گیری، مؤثر نبودن ورودی بر روی خروجی و ساده نبودن روابط بین ورودی و خروجی) ایجاد می‌شوند. وقتی مقدار گاما صفر باشد، هیچ محدودیتی برای ساخت یک مدل خوب وجود ندارد، اما در واقع زمانی که مقدار گاما مثبت باشد نتیجه کار درست است، که در این حالت، از نقاطی که دارای مقادیر کمتر در مقایسه با دیگر متغیرها هستند مورد استفاده قرار می‌گیرند. آزمون گاما خطای موجود در داده‌ها را با توجه به بهترین مدل حاصله از داده‌ها، برآورد می‌کند و مدلی با دقت زیاد ارائه می‌دهد (اینیت و همکاران، ۲۰۰۱).

1- Mean absolute percent errors (Mape)

آزمون M یک روش اندازه‌گیری برای برآورد قابلیت اعتماد آماره گامای واریانس اشتباه است، که با توجه به داده‌های موجود با استفاده از برآورد آماره گاما حاصل می‌شود. روش کار به صورت متوالی و دارای مراحل مختلف است. این آزمون برای نشان دادن چگونگی به کارگیری مقادیر مختلف آماره گاما در بیشتر داده‌ها محاسبه می‌شود. در نهایت اگر داده‌ها برای آزمون گاما کافی باشد، باید خط جانبی با واریانس حقیقی^۱ خطای محاسبه شده در خروجی به دست آید. مراحل آزمون M به این شرح است که ابتدا کل ترکیبات، مورد آزمون قرار داده می‌شود و سپس به ترتیب یکی از متغیرها حذف می‌شود و این کار تا جایی صورت می‌گیرد که هر یک از متغیرها یک مرتبه کنار گذاشته شوند، هنگامی که در این ترکیبات مقدار گاما بیشترین مقدار را داشته باشد، متغیرها حذف شده به عنوان مهم‌ترین متغیر می‌باشد و وقتی این مقدار حداقل باشد، متغیر کنار گذاشته شده کم اهمیت‌ترین متغیر می‌باشد.

برای یک مجموعه داده، نرم‌افزار وین گاما، آزمون گاما را انجام داده و واریانس خطا را برای هر خروجی محاسبه می‌کند که برآوردی از خطای میانگین مربعات حداقل خواهد بود و می‌تواند در یک مدل قابل انعطاف به دست آید. برای تعیین بهترین ترکیب ورودی مدل از بین داده‌ها، نرم‌افزار گزینه‌هایی مانند جاسازی کامل^۲ و الگوریتم ژنتیک دارد. تمام ترکیبات مختلف در جاسازی کامل در نظر گرفته می‌شود و معمولاً زمان زیادی نیاز دارد. چنین عملی امکان انتخاب ورودی‌ها از کل ورودی‌ها را میسر می‌سازد. این عمل سعی می‌کند تا بسیاری از ورودی‌ها را برای به دست آوردن کوچک‌ترین مقادیر مطلق گاما با هم ترکیب کند که تعداد آن به تعداد نتایج تقاضا بستگی دارد. اما الگوریتم ژنتیک براساس اصول ژنتیک، ترکیباتی از داده‌ها را ساخته و روی آن‌ها عمل می‌کند تا بهترین ترکیب ورودی‌ها را حاصل نماید. الگوریتم ژنتیک اغلب گزینه خوبی برای روش‌های پیش‌بینی بر مبنای رگرسیون می‌باشد. این فضایی برای تمام ترکیبات مورد استفاده در الگوریتم ژنتیک فراهم می‌کند تا بهترین ترکیب حاصل شود. با توجه به مبانی این روش و جواب‌های به دست آمده، ترکیبی بهترین خواهد بود که کمترین مقدار گاما و در عین حال کمترین مقدار خطای استاندارد را داشته باشد.

1- Asymptote to the true noise variance

2- Full embedding

نتایج و بحث

تعداد ۱۴۵ متغیر قابل استفاده از ۱۷۵ متغیر اولیه برای ورودی آزمون گاما زیاد بودند و باید فقط متغیرهای مؤثر را انتخاب کرد. تجزیه تحلیل‌های آماری (مدل گام به گام رگرسیون چند متغیره خطی) برای این منظور استفاده شدند. ۹ مدل آماری توسط این روش مشخص شد و تمامی این مدل‌ها معنی‌دار می‌باشند. ۷ متغیر وارد این مدل‌ها شدند و مدل شماره ۹ آن به‌عنوان نمونه به شرح زیر می‌باشد؛

$$Y = 0.185B - 0.234C + 0.202F + 0.250E + 0.182A - 0.253G - 0.136D$$

تعداد ۷ متغیر این مدل شامل؛ ۱- A درصد افزودنی به خمیر کاغذ^۱، ۲- B مقدار باز شدن شیار هدباکس^۲، ۳- C نسبت سرعت ریزش خمیر کاغذ بر روی توری به سرعت توری ماشین^۳، ۴- D مقدار مکش پمپ شماره ۸^۴، ۵- E مقدار مکش پمپ شماره ۱۰^۵، ۶- F مقدار کشش کاغذ در پرس شماره ۴^۶ و ۷- G مقدار خروجی بخش بازیافت گرما^۷. بنابراین ۷ متغیر قبل برای تجزیه و تحلیل با نرم‌افزار وین گاما استفاده شد.

نتایج آزمون گاما شامل عدد گاما^۸، نسبت V^۹ و خطای استاندارد^{۱۰} و همچنین ترتیب اهمیت متغیرها براساس نتایج آزمون M به شرح جدول ۱ می‌باشد. آماره‌های آزمون گاما و نمودار آزمون M نشان می‌دهد که متغیرهای انتخاب شده و ورودی مقاومت به پارگی در جهت ماشین کاغذ روزنامه هیچ تفاوتی با همدیگر ندارند و تقریباً تأثیر یکسانی بر روی این مقاومت کاغذ روزنامه دارند. زیرا عدد گاما، نسبت V و خطای استاندارد آزمون گاما با حذف هر کدام از متغیرها تغییرات زیادی نداشته‌اند (جدول ۱) و نمودار هر کدام از متغیرها در مجانب متغیرهای دیگر می‌باشند که در جدول ۱ تفاوت و اولویت اهمیت بسیار جزئی آن‌ها نشان داده شده است. اهمیت متغیرها در آزمون گاما با حذف هر کدام از آن‌ها مشخص می‌شود. اگر با حذف آن‌ها آماره‌های آزمون گاما زیادتر شدند، این متغیر

- 1- Machine cons-additives and stock
- 2- Slice open headbox
- 3- Rush/drug-wire
- 4- No. 8-vacuum pumps
- 5- No. 10-vacuum pumps
- 6- Press 4-clothing tension
- 7- Fan output-heat recovery¹
- 8- Gamma value
- 9- V-Ratio
- 10- Standard error

تأثیرگذار می‌باشد. نتایج آزمون M به صورت نموداری براساس مقدار گاما، می‌باشد و متغیری که گامای بیشتری دارد در قسمت بالای نمودار است و معمولا باید نتایج آزمون گاما را تأیید کند. این آزمون نیز متغیری را که بیشترین و کمترین تأثیرگذاری بر روی مقاومت به پارگی را دارد، مشخص می‌کند. نمودارهای متغیرهای ورودی در آزمون M بسیار نزدیک همدیگر و قابل شناسایی نبودند، بنابراین ترتیب اهمیت جزئی آن‌ها به صورت جدول ۱ می‌باشد. آزمون گاما و M تقریبا نتایج همدیگر را تأیید می‌کنند. الگوریتم ژنتیک بهترین مدل را مشخص می‌کند و به ترتیب از بهترین تا بدترین مدل را نشان می‌دهد. جدول ۲ چندین مدل از بهترین مدل‌های بالای جدول الگوریتم ژنتیک را نشان می‌دهد و بهترین مدل نیز در ردیف اول مشخص است. این مدل به خاطر کمترین مقدار خطای استاندارد نسبت به بقیه مدل‌ها ارجح‌تر می‌باشد. دقت مدل‌های الگوریتم ژنتیک براساس نوسانات مقدار گاما و خطای استاندارد مشخص می‌شود و شکل ۱ نوسانات تقریبا یکسان این دو معیار را نشان می‌دهد که براساس ۸۷ داده آموزش ایجاد شده‌اند.

همان‌طوری که مشخص است نتایج الگوریتم ژنتیک، نتایج آزمون‌های قبلی را تأیید می‌کند. مدل‌های برتر الگوریتم ژنتیک نشان می‌دهد که تمام متغیرهای ورودی دارای اهمیت بالایی می‌باشند. بنابراین این روش نیز نتایج مشابهی با تمامی روش‌های دیگر دارد و بهترین گزینه کنترل مقاومت به پارگی در جهت ماشین با تمامی ۷ متغیر ورودی کاغذ روزنامه است (جدول ۲).

چندین مدل پیش‌بینی شبکه عصبی مصنوعی BFGS براساس بهترین مدل الگوریتم ژنتیک (۷) متغیر یعنی ردیف شماره یک جدول ۲) و با تعداد ۹۰ داده آزمون و پیش‌فرض نزدیک‌ترین همسایه (۱۰) ایجاد شده است. دقت یکی از این مدل‌ها در شکل ۲ و مقایسه چندین مدل شبکه عصبی مصنوعی در جدول ۳ مشخص شده است. غالبا میانگین مربعات خطای پیش‌بینی مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی به میانگین مربعات خطای هدف در طول دوره آموزش نزدیک‌تر می‌شوند و دقت بالای پیش‌بینی برای مدل BFGS (۴-۵) در شکل ۲ با نزدیکی و مجانب بودن این دو معیار مشخص است. معیارهای تعیین دقت مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی دقت بالای تمامی پیش‌بینی‌ها را نشان می‌دهد و مدل BFGS (۴-۵) دارای بیشترین دقت می‌باشد (جدول ۳). بنابراین با اکثر مدل‌های پیش‌بینی شبکه عصبی مصنوعی می‌توان مقاومت به پارگی در جهت ماشین کاغذ روزنامه را با دقت بالا پیش‌بینی نمود و کاغذ روزنامه دارای مقاومت به پارگی معین و ثابت با تنظیم این متغیرهای ورودی تولید نمود. یکی از پیش‌بینی‌های مقاومت به پارگی در جهت ماشین با استفاده از بهترین مدل

علی بیات کشکولی و علی رفیقی

شبکه عصبی مصنوعی ایجاد شده با داده‌های آزمون در شکل ۳ مشاهده می‌شود. همان‌طوری که مشخص است داده‌های واقعی و پیش‌بینی بسیار نزدیک همدیگر می‌باشند.

جدول ۱- مقادیر آماره‌های مربوط به آزمون گاما برای ترکیب متفاوت داده‌های ورودی مقاومت به پارگی در جهت ماشین و اولویت اهمیت متغیرهای ورودی کاغذ روزنامه براساس آزمون M (نام متغیرها در مواد و روش‌ها تعریف شده است).

ردیف	حذف متغیرهای ورودی	آماره گاما		ترتیب اهمیت متغیرها با آزمون M
		خطای استاندارد	نسبت V	
۱	بدون حذف	۰/۰۸۹۹	۰/۰۰۵۸۱	همه متغیرها
۲	A	۰/۰۸۴۳	۰/۰۰۹۵۵	E
۳	B	۰/۰۸۲۹	۰/۰۰۶۸۶	F
۴	C	۰/۰۸۶۹	۰/۰۰۶۹۷	G
۵	D	۰/۰۸۳۱	۰/۰۰۸۹۲	A
۶	E	۰/۰۸۷۴	۰/۰۰۶۴۱	C
۷	F	۰/۰۸۹۶	۰/۰۰۸۸۴	B
۸	G	۰/۰۸۵۲	۰/۰۰۸۶۶	D

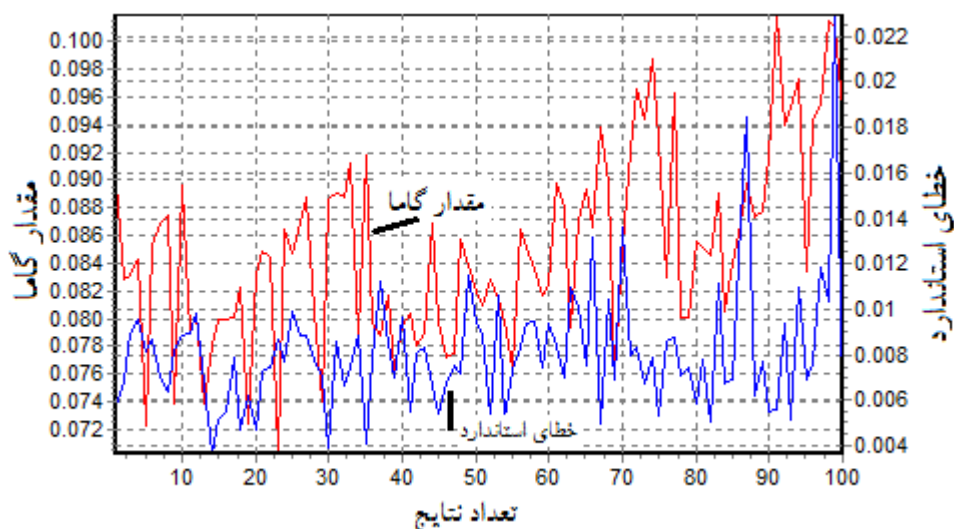
جدول ۲- چندین مدل الگوریتم ژنتیک به ترتیب اهمیت برای مقاومت به پارگی در جهت ماشین کاغذ روزنامه.

ردیف مدل	متغیرهای ورودی هر مدل (صفر به معنی حذف متغیر و یک به معنی ورود متغیر در مدل است)									
	A	B	C	D	E	F	G	گاما	خطای استاندارد	نسبت V
۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۰/۰۸۹۹	۰/۰۰۵۸	۰/۷۵۰۱۴
۲	۱	۰	۱	۱	۱	۱	۱	۰/۰۸۲۹	۰/۰۰۶۹	۰/۶۹۱۳۶
۳	۱	۱	۱	۰	۱	۱	۱	۰/۰۸۳۱	۰/۰۰۸۹	۰/۶۹۲۸۱
۴	۰	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۰/۰۸۴۳	۰/۰۰۹۶	۰/۷۰۲۹۱
۵	۰	۱	۱	۱	۰	۱	۱	۰/۰۷۲۳	۰/۰۰۸۱	۰/۶۰۲۸۳
۶	۱	۱	۱	۱	۱	۰	۱	۰/۰۸۵۲	۰/۰۰۸۶	۰/۷۱۰۹
۷	۱	۱	۰	۱	۱	۱	۱	۰/۰۸۶۹	۰/۰۰۷۰	۰/۷۲۴۹۵
۸	۱	۱	۱	۱	۰	۱	۱	۰/۰۸۷۴	۰/۰۰۶۴	۰/۷۲۹۰
۹	۱	۱	۱	۰	۱	۰	۱	۰/۰۷۳۸	۰/۰۰۸۳	۰/۶۱۵۵۵
۱۰	۱	۱	۱	۱	۱	۰	۱	۰/۰۸۹۶	۰/۰۰۸۸	۰/۷۴۷۴۹

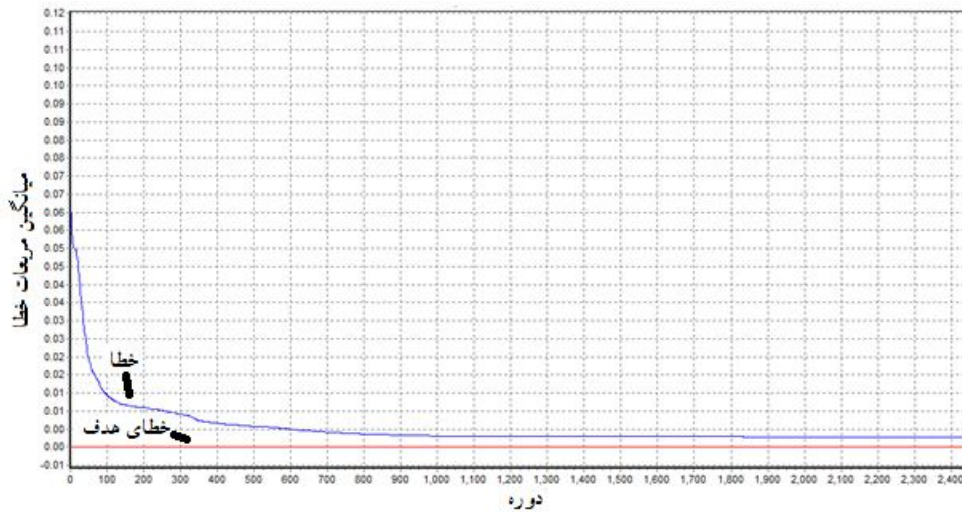
جدول ۳- معیارهای تعیین دقت برای چندین مدل پیش‌بینی شبکه عصبی مصنوعی BFGS.

نوع مدل	ارزیب ^۱	درصد خطای مطلق ^۲	R ²	میانگین مربعات خطا ^۳
۵-۵	-۰/۰۰۰۱	۰/۰۶۷	۰/۹۹	۰/۰۰۱۷
۵-۴	-۰/۰۰۰۰۲	۰/۰۱۱	۰/۹۷	۰/۰۰۲۹
۵-۳	۰/۰۰۰۲	۱/۴۵	۰/۸۸	۰/۰۱۳۳
۵-۲	۰/۰۰۰۱	۰/۰۶۹	۰/۸۹	۰/۰۱۲۴
۵-۱	-۰/۰۰۰۰۱	۰/۰۰۴	۰/۸۸	۰/۰۱۳۱
۴-۵	۰/۰۰۰۳	۰/۲۰۷	۰/۹۳	۰/۰۰۷۵
۳-۵	۰/۰۰۰۱	۰/۰۶	۰/۸۶	۰/۰۱۶۲
۲-۵	-۰/۰۰۰۳	۰/۲۰۹	۰/۷۳	۰/۰۳۰۴
۱-۵	۰/۰۰۰۰۵	۰/۰۳۵	۰/۵۲	۰/۰۵۳۸

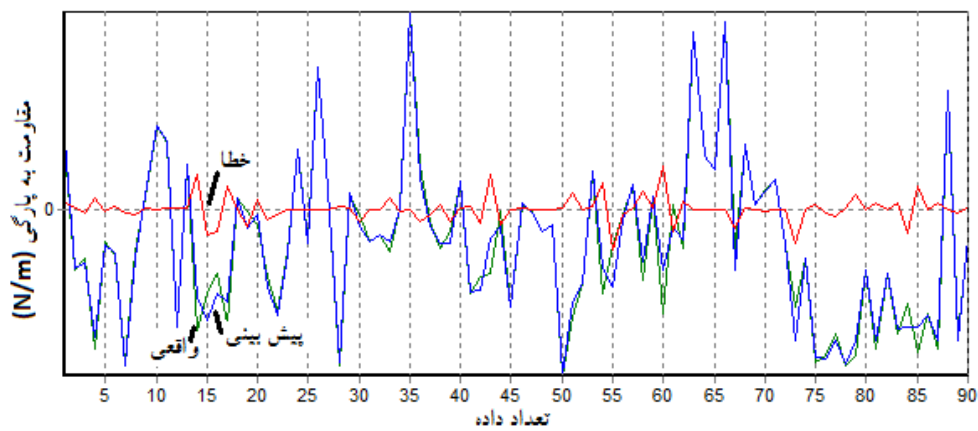
۱- Error series، ۲- Mape، ۳- (Mean squared error) MSE



شکل ۱- دقت مناسب حاصل از روش الگوریتم ژنتیک برای تعیین بهترین ورودی‌های مقاومت به پارگی در جهت ماشین که دارای نوسانات تقریباً یکسان مقدار گاما و خطای استاندارد می‌باشند.



شکل ۲- میانگین مربعات خطا برای مدل پیش‌بینی شبکه عصبی مصنوعی (5-4) BFGS که در طول دوره آموزش به میانگین مربعات خطای هدف نزدیک شده است.



شکل ۳- مدل پیش‌بینی با شبکه عصبی مصنوعی (5-4) BFGS با درصد مطلق خطای ۰/۰۱۱ و ضریب همبستگی ۰/۹۷ برای مقاومت به پارگی در جهت ماشین کاغذ روزنامه.

کارخانه کاغذ برای تولید محصول با خصوصیات معین سعی در متعادل کردن و روان‌سازی خط تولید دارند. روان‌سازی خط تولید برای تولید کاغذ با مقاومت به پارگی یکنواخت و مناسب، می‌تواند

براساس کنترل این ۷ متغیر باشد. کنترل این متغیرها باعث تولید کاغذی با مقاومت به پارگی ثابت می‌شود. تمامی این ۷ متغیر اهمیت خاصی در تحت کنترل قرار گرفتن خط تولید دارند. احتمالاً انتخاب نشدن اکثر ۱۴۵ متغیر توسط مدل گام به گام رگرسیون چند متغیره خطی و اهمیت کمتر این متغیرها به خاطر سعی در ثابت نگه داشتن اندازه خروجی آن‌ها در طی مدت تولید می‌باشد و اگر نوسان‌هایی را در طی مدت مطالعه سری زمانی نداشته باشند، اثر آن‌ها نیز کمتر مشخص خواهد شد. ولی خصوصیات مقاومت به پارگی، حساسیت بیشتری نسبت به نوسان‌های اندازه خروجی دیگر متغیرها دارد، مخصوصاً متغیرهایی که وارد مدل‌های بالای جدول الگوریتم ژنتیک شده‌اند. تنظیم خروجی این متغیرها در ثابت نگه داشتن مقاومت به پارگی مؤثر می‌باشد و اگر تحت کنترل نباشند، این خصوصیت نوسان خواهد داشت و کیفیت کاغذ تغییر خواهد کرد.

این متغیرهای مؤثر بر مقاومت به پارگی کاغذ روزنامه کارخانه چوب و کاغذ مازندران تقریباً مشابه با برخی متغیرهای مؤثر بر تعدادی از خصوصیات کاغذ روزنامه این کارخانه در تحقیقات مرادیان و همکاران (۲۰۰۸) می‌باشد مانند مقدار باز بودن شیار خروجی جعبه تغذیه. متغیرهای فرآیندی تحقیقات مرادیان و همکاران (۲۰۰۸) با مقاومت به پاره شدن کاغذ روزنامه همبستگی کمی داشته است. محدود کردن متغیرهای ورودی در اکثر تحقیقات مانند فرناندز و کاسترو (۲۰۰۰) و آگور و فیلو (۱۹۹۸) مشاهده می‌شود که متغیرهای بسیار محدودی در یک قسمت کارخانه مخصوصاً واحد خمیرسازی برای مدل‌سازی استفاده کردند. اما در این تحقیق با استفاده از مدل گام به گام رگرسیون چند متغیره خطی متغیرها بسیار محدود شدند. حاتم و همکاران (۲۰۰۸) و مرادیان و همکاران (۲۰۰۸) از روش‌های رگرسیونی برای مدل‌سازی متغیرها در کارخانه چوب و کاغذ استفاده کردند. تحقیقات بسیار زیادی کارآیی روش‌های به کار رفته در این تحقیق را نشان می‌دهد. کومار و هند (۲۰۰۰) و رایتالا و همکاران (۲۰۰۹) ارجحیت کاربرد روش‌های شبیه‌سازی و یا مدل‌سازی غیرخطی مانند الگوریتم ژنتیک و شبکه عصبی مصنوعی را نشان می‌دهند. این روش‌ها می‌توانند فرآیند تولید را به صورت لحظه‌ای کنترل نمایند (رایتالا و همکاران، ۲۰۰۹) و تغییرات خصوصیات محصول تولیدی را محدود نمایند. کارخانه‌های چوب و کاغذ ایران می‌توانند از قابلیت این روش‌ها برای تولید بهتر استفاده نمایند.

نتیجه‌گیری کلی: فرآیند خط تولید کارخانه چوب و کاغذ مازندران از بعد از دایجستر بررسی شدند و تمام متغیرهای واحد ماشین کاغذ با مدل گام به گام رگرسیون چند متغیره خطی به صورت هماهنگ با

همدیگر مقایسه شد و ۷ متغیر مؤثرتر بر مقاومت پارگی در جهت ماشین مشخص شد. آزمون گاما، آزمون M و الگوریتم ژنتیک نشان می‌دهد که تمامی متغیرهای باقی‌مانده اهمیت زیادی در کنترل این مقاومت کاغذ روزنامه دارند و با استفاده از این متغیرها و ثابت فرض کردن دیگر متغیرهای حذف شده، می‌توان کاغذ روزنامه با مقاومت به پارگی ثابتی تولید نمود. تغییرات مقدار خروجی این متغیرها توسط متصدیان ماشین‌های کارخانه چوب و کاغذ مازندران بر روی مقاومت به پارگی در جهت ماشین کاغذ روزنامه تأثیر داشته است. این متغیرهای تأثیرگذار شامل درصد افزودنی به خمیرکاغذ، مقدار باز شدن شیار هدباکس، نسبت سرعت ریزش خمیرکاغذ بر روی توری به سرعت توری ماشین، مقدار مکش پمپ شماره ۸، مقدار مکش پمپ شماره ۱۰، مقدار کشش کاغذ در پرس شماره ۴ و مقدار خروجی بخش بازیافت گرما می‌باشد. این متغیرها احتمالاً باعث خسارت به اتصال الیاف در طی مدت آماده‌سازی خمیر کاغذ روزنامه و یا با تأثیر بر اتصال داخلی الیاف و تغییر جزئی در وزن پایه کاغذ روزنامه باعث تغییر مقاومت به پارگی آن شده است. هماهنگی سرعت ریزش خمیر کاغذ بر روی توری با سرعت توری ماشین باعث آرایش مناسب الیاف کاغذ روزنامه در جهت طولی می‌شود و بر روی مقاومت به پارگی در جهت ماشین تأثیرگذار می‌باشد. همچنین این متغیرها در تشکیل حباب‌های هوا در زمان شکل‌گیری ورقه کاغذ عامل تأثیرگذار می‌باشند و باعث کمبود الیاف یا حتی سوراخ در ورقه کاغذ می‌شوند. مدل‌های ایجاد شده شبکه عصبی مصنوعی می‌تواند با دقت مناسب مقاومت به پارگی در جهت ماشین کاغذ روزنامه را با استفاده از این متغیرهای مهم و تأثیرگذار پیش‌بینی کند.

منابع

1. Aguiar, H.C.I.L., and Filho, R.M. 1998. Modeling and optimization of pulp and paper processes using neural networks. Computers chem. Engng, Vol. 22, Pp: 981-984.
2. Amere, M., Adebé, 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. (In Persian)
3. Asade Khansare, R., and Jahan Latebare, A. 1997. Design software provide an example of pulp. Master of science thesis. Wood and paper science and technology. University of Tarbeyatmodarres. (In Persian)

4. Balazadehkeve, S., and Resalate, H. 1999. Optimizing the use of additives in the production of newsprint for Mazandaran Wood and Paper Factory. Master of science thesis. Wood and paper science and technology. University of Gorgan. (In Persian)
5. Ennett, C., Frize, M., and Walker, C. 2001. Influence of missing values on artificial neural network performance. *Medinfo*. 10: 449-53.
6. Fernandes, N.C.P., and Castro, J.A.A.M. 2000. Steady-state simulation of a continuous moving bed reactor in the pulp and paper industry. *Chemical Engineering Science*, 55: 3729-3738.
7. Hatam, A., Pourtahmasi, K., Resalati, H., Lohrasebi, A.H. 2008. Modeling hydrogen peroxide bleaching to predict optical properties of bleached hardwood CMP. *Wood Sci Technol*, 42: 353-367.
8. Koncar, N. 1997. Optimisation methodologies for direct inverse neurocontrol. PhD thesis. Department of Computing. Imperial College of Science. Technology and Medicine. University of London. UK.
9. Kumar, A., and Hand, V.C. 2000. Feasibility of using neural networks and genetic algorithms to predict and optimize coated paper and board brightness. *Ind. Eng. Chem. Res.*, 39: 4956-4962.
10. Moradian, M.H., Ebrahime, 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. (In Persian)
11. Najafe Ghobadefar, P., Kazeme, S., and Mahdave, S. 2003. Evaluate and predict the axis properties of the Fluting paper. Master of science thesis. Wood and paper science and technology. University of Tarbeyatmodarres. (In Persian)
12. Ritala, R., Negro, C., Manninenc, J., Kappen, J., Dahlquist, E., Blanco, A. 2009. Use of modelling and simulation in the pulp and paper industry. *Mathematical and Computer Modelling of Dynamical Systems: Methods, Tools and Applications in Engineering and Related Sciences*, 15(5): 409-423.
13. Stefansson, A., Koncar, N., and Jones, A.J. 1997. A note on the Gamma test. *Neural Computing and Applications*. 5: 131-133.



Gorgan University of Agricultural
Sciences and Natural Resources

J. of Wood & Forest Science and Technology, Vol. 21 (4), 2015
<http://jwfst.gau.ac.ir>

Predicting the newsprint tear strength in MD on the effective variables (Case study: Mazandaran Wood and Paper Company)

***A. Bayatkashkoli¹ and A. Rafighi²**

¹Associate Prof., Dept. of Paper and Wood Technology and Sciences, University of Zabol,

²Assistante Prof., Dept. of Paper and Wood Technology and Sciences., University of
Natural Resources and Agriculture of Gorgan

Received: 09/29/2012 ; Accepted: 12/02/2014

Abstract

In paper making process, different variables are measured to improve the product runnability. These variables affect the paper properties. The main question is, which one of these variables is the most effective variable on the newsprint tear strength in MD? Therefore, 145 variables of online data from 2009 to 2011 periods were chosen by modeling methods of liner regression and modeling of Gamma Test (GT), M-Test (MT), Genetic Algorithm (GA) and Artificial Neural Network (ANN). 7 variables were selected on the base of liner regression of stepwise and then ANN models were created on the basis of these variables. Selected variables were as following; 1. Machine Cons. including additives and stock, 2. Slice open headbox, 3. Rush/Drug-wire, 4. No. 8-Vacuum pumps, 5. No. 10-Vacuum pumps, 6. Press 4-clothing tension, 7. Fan output-Heat recovery¹. Generally, results of GT, MT and GA were showed that all of 7 variables have been the most effective on the newsprint tear strength. The best model of BFGS neural network has shown that mean absolute percent error and the correlation coefficient are equal 0.011% and 0.97, respectively.

Keywords: Paper making process, Gamma test, Tear strength

*Corresponding author: ali.bayatkashkoli@gmail.com

