



دانشگاه گورزی و منابع طبیعی گنجان

نشریه پژوهش‌های علوم و فناوری چوب و جنگل
جلد بیستم و دوم، شماره دوم، ۱۳۹۴
<http://jwfst.gau.ac.ir>

پیش‌بینی ویژگی‌های کاغذ روزنامه از روی متغیرهای آماده‌سازی خمیر کاغذ در کارخانه چوب و کاغذ مازندران

*محمدهادی مرادیان^۱، حسین رسالتی^۲ و قنبر ابراهیمی^۳

^۱استادیار دانشگاه صنعتی خاتم‌الانبیاء بهبهان، آستاد گروه چوب و کاغذ، دانشکده منابع طبیعی،

دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران، آستاد بازنشسته دانشگاه تهران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۰۳/۱۹؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۰۱/۱۸

چکیده

سابقه و هدف: ویژگی‌های صنعت خمیر کاغذ فرصت‌های تحقیقاتی مهمی را برای کنترل سیستم‌ها با به‌کارگیری انواع مدل‌ها فراهم کرده است. از میان روش‌های مختلف، حداقل مربعات جزئی (PLS) روشی رایج برای مدل‌سازی نرم‌افزاری با تعداد متغیرهای زیاد و دارای هم‌خطی در کاربردهای صنعتی است. برودریک و همکاران (۱۹۹۵ و ۱۹۹۶)، گریچ (۲۰۰۴)، نردستروم و همکاران (۲۰۰۵) و اورتیزکوردوا و همکاران (۲۰۰۶) با استفاده از داده‌های آزمایشگاهی یا واقعی در صنعت خمیر و کاغذ با موفقیت از این روش استفاده کرده‌اند. کارخانه چوب و کاغذ مازندران به‌عنوان بزرگ‌ترین واحد صنعتی تولید خمیر کاغذ در ایران و بزرگ‌ترین تولیدکننده کاغذ بر پایه مواد چوبی در خاورمیانه دارای مشکلاتی در زمینه کنترل فرآیند تولید و رسیدن به کیفیت مطلوب کاغذ روزنامه به‌دلیل نوسانات متغیرها در خط تولید می‌باشد. این تحقیق با هدف بررسی روابط میان ۵۶ متغیر فرآیندی تهیه خمیر کاغذ آماده و ۱۷ ویژگی کیفی کاغذ روزنامه ساخته شده در کارخانه چوب و کاغذ مازندران و تهیه مدل‌های پیش‌بینی انجام گرفت.

*مسئول مکاتبه: moradian@bkatu.ac.ir

مواد و روش‌ها: پس از تهیه سری داده مناسب با در نظر گرفتن زمان لازم برای تبدیل خمیرکاغذ به کاغذ روزنامه، برای تعیین میزان و نوع ارتباط متغیرهای فرایندی تهیه خمیرکاغذ با ویژگی‌های کاغذ روزنامه از رگرسیون حداقل مربعات جزئی و نرم‌افزار SPSS و SAS استفاده شد. پس از برآزش مدل‌ها، معتبرسازی عرضی به روش جداسازی انجام گرفت تا بهترین تعداد مولفه‌ها تعیین شود. برای تعیین اهمیت متغیرهای مستقل در مدل PLS و خلاصه کردن مدل از آماره‌ی اهمیت متغیر برای پروژه (VIP) استفاده شد.

یافته‌ها: در نتیجه برآزش مدل حداقل مربعات جزئی، ۸ بردار مخفی محاسبه شده توانستند متغیرهای مرتبط را مشخص و گروه‌بندی کرده و بیش از ۶۰ درصد از تغییرات ویژگی‌های کاغذ روزنامه را تبیین کنند. بردار اول به‌عنوان مهم‌ترین فاکتور توانست تغییرات ۷ ویژگی کاغذ روزنامه شامل ضخامت، حجیمی، طول پارگی MD، افزایش طول MD، مقاومت به ترکیدن، ماتی، و مقاومت به عبور هوا را توسط متغیرهای فرایندی فشار تمیزکننده‌های گروه سوم، نسبت سرعت جت به توری، دبی خمیر سیوآل، خروجی فن پمپ دو، میزان باز بودن دهانه‌ی جعبه‌تغذیه و شیر مخزن آب سفید توضیح دهد. اکثر این متغیرها بر کیفیت اتصالات الیاف در کاغذ روزنامه تأثیر دارند.

نتیجه‌گیری: صنایع چوب و کاغذ مازندران از بزرگ‌ترین و پیچیده‌ترین واحدهای تولیدی مهم درکشور ایران است که با مشکلات زیادی در زمینه نوسانات تولیدی مواجه است. از طرفی حجم زیادی از اطلاعات فرآیندی به‌طور شبانه‌روزی در واحدهای مختلف این مجتمع اندازه‌گیری و ثبت می‌شود. این تحقیق در راستای کنترل دقیق و پیشرفته بر اساس مدل PLS با استفاده از داده‌های واقعی در بخشی از کارخانه انجام شد و توانست ارتباط متغیرهای تهیه خمیرکاغذ را با ویژگی‌های نهایی کاغذ روزنامه با ۸ بردار مخفی محاسبه شده پیدا کند. تبیین بخشی از تغییرات هر یک از ویژگی‌های کاغذ روزنامه، از روی متغیرهای مشخص شده تهیه خمیرکاغذ از میان انبوهی از متغیرها بسیار سودمند نی باشد و امکان کنترل بهتر و دقیق‌تر را در کارخانه فراهم می‌آورد.

واژه‌های کلیدی: کاغذ روزنامه، مدل آماری، رگرسیون حداقل مربعات جزئی، متغیرهای تهیه خمیرکاغذ آماده

مقدمه

در کارخانجات کاغذسازی، کنترل پارامترهای کیفی کاغذ به دو صورت کنترل مستقیم و یا کنترل بر اساس مدل انجام می‌گیرد. در کنترل مستقیم، از اندازه‌گیری‌های آزمایشگاهی بر روی نمونه‌های تهیه شده از خط تولید استفاده می‌شود. متخصصین خط تولید بر اساس تجربیات موجود، متغیرهایی که فکر می‌کنند بر کیفیت کاغذ اثر می‌گذارد را مورد بررسی و کنترل قرار می‌دهند. در این ارتباط به‌کارگیری انواع مدل‌های ریاضی، آماری، شبکه عصبی و سری‌های زمانی روش‌های جدید و مؤثرتری است. برای تهیه مدل‌های آماری دانش کاملی از روش‌های آماری و طراحی آزمایش‌های متعدد مورد نیاز است. این آزمایش‌ها می‌توانند بسیار گران و وقت‌گیر باشند و ممکن است محدوده وسیعی از فرآیند را در بر گیرد. به‌کارگیری داده‌های قدیمی برای دستیابی به درک مناسب از دینامیک فرآیند، قبل از انجام آزمایش‌ها روشی قابل قبول‌تر می‌باشد و ممکن است آزمایش‌ها اغلب غیرضروری باشند (شوینگر و راد، ۱۹۹۴). مفهوم کم کردن آماری داده‌ها^۱ یک اصطلاح کلی است که شامل کلیه روش‌ها و تکنیک‌های آماری به‌ویژه روش‌های آماری چند متغیره برای آنالیز داده‌ها می‌باشد و برای کنترل داده‌های زیاد با متغیرهای متعدد و اغلب همبسته توسعه داده می‌شوند. از تحلیل مؤلفه‌های اصلی (PCA)^۲، تحلیل عاملی (FA)^۳، رگرسیون چندگانه خطی^۴ و رگرسیون حداقل مربعات جزئی (PLS)^۵ می‌توان به‌عنوان برخی از روش‌های کم کردن داده‌های چند متغیره نام برد که بسیاری از محققین در صنایع خمیرکاغذ از این روش‌ها استفاده کرده‌اند (سوانارانگسی و همکاران، ۲۰۱۲؛ کالیون و همکاران، ۲۰۰۶؛ لهتینن و کویالو، ۲۰۰۸؛ بهاردواج و همکاران، ۲۰۰۷؛ مرکانگوز و دویلی، ۲۰۰۶).

حداقل مربعات جزئی روشی رایج برای مدل‌سازی نرم‌افزاری در کاربردهای صنعتی است. در تحقیقات علوم مهندسی اغلب با متغیرهای کنترل‌گر خروجی‌ها مواجه می‌شویم. هنگامی که تعداد متغیرها کم باشد احتمال وجود هم‌خطی بین آن‌ها ضعیف‌تر است و ارتباط قابل فهمی با پاسخ‌ها^۶ خواهند داشت. در این حالت رگرسیون چندگانه روشی مناسب برای تبدیل داده‌های خام به اطلاعات مفید و قابل درک خواهد بود. با این وجود اگر تعداد متغیرها زیاد باشد و هم‌خطی بین آن‌ها وجود

- 1- Statistical data mining
- 2- Principal component analysis
- 3- Factor analysis
- 4- Multiple linear regression
- 5- Partial least squares regression
- 6- Responses

داشته باشد، رگرسیون چندگانه مناسب و مؤثر نیست. در این حالت روش حداقل مربعات جزئی (PLS) برای برآزش مدل‌های پیش‌بینی بسیار مناسب است (عبدی، ۲۰۰۷). این فرآیند بسته به هدف محقق با تکنیک‌های رگرسیون مؤلفه‌های اصلی^۱ (PCR)، رگرسیون رتبه کاهش یافته^۲ (RRR) و یا رگرسیون حداقل مربعات جزئی (PLSR) انجام می‌شود (بجورکستروم، ۲۰۰۷؛ فریدن و تانو، ۲۰۰۵). برودریک و همکاران (۱۹۹۵ و ۱۹۹۶) در تحقیقات خود به تفصیل از این روش‌ها استفاده کرده‌اند. آن‌ها پس از استاندارد کردن کلیه متغیرها و تبدیلات لازم روی برخی از آن‌ها، ارتباط بین ۱۷ ویژگی الیاف و ۱۴ ویژگی کاغذهای دست‌ساز با استفاده از PLS را تعیین کرده‌اند. کلیه محاسبات در دو بخش صورت گرفت، ابتدا مدل یک بعدی (خطی) برای تشخیص تأثیر متغیرهای مستقل تخمین زده شد. این مدل با ۴ جزء PLS توانست نزدیک به ۷۰ درصد از تغییرات ویژگی‌های کاغذهای دست‌ساز را توضیح دهد. در مرحله بعد مدل دوباره بسط داده شد که در نتیجه آن مدل نهایی با داشتن ۵ جز، ۷۸ درصد از تغییرات ویژگی‌های کاغذهای دست‌ساز را تبیین کرد. روش‌های تحلیلی چند متغیره در این مطالعه نشان داد که کیفیت نهایی خمیرکاغذ شیمیایی - مکانیکی با استفاده از تنها ۵ بردار مخفی^۳ قابل تبیین است. به‌علاوه نویسنده این ۵ عامل را به دو گروه کلی‌تر تقسیم می‌کند که یکی مربوط به پیوستگی شبکه کاغذ و دیگری مقاومت ذاتی الیاف می‌شود. همچنین گریچ (۲۰۰۴) با استفاده از یک سری آنالیزهای آماری، مطالعه‌ای جامع برای داده‌های کارخانه کاغذسازی مونکسوند^۴ واقع در فنلاند را انجام داد. وی با استفاده از داده‌های متغیرهای فرآیندی و ویژگی‌های کاغذ لاینر تولید شده در آن کارخانه، به توسعه انواع مدل‌های آماری چند متغیره پرداخت. نویسنده برای مدل‌هایی که واریانس کمی را توضیح دادند، بررسی روابط غیرخطی و مدل‌های سری زمانی را پیشنهاد کرده است. در ادامه نردستروم و همکاران (۲۰۰۵) تحلیل‌های آماری دیگری را روی داده‌های کارخانه مشابه انجام دادند. تأکید اصلی این تحقیق بر مدل‌سازی و پیش‌بینی ویژگی‌های کاغذ دست‌ساز ساخته شده در آزمایشگاه کارخانه از روی داده‌های روی خط بود. ابزار پیش‌بینی در این تحقیق مدل PLS گزارش شده است که منتهی به تخمین بسیار مناسبی از ویژگی‌های کیفی کاغذ دست‌ساز نیز شده است.

1- Principal component regression

2- Reduced rank regression

3- Latent vector

4- Munksund

اورتیزکوردوا و همکاران (۲۰۰۶) برای تعیین متغیرهای فرایندی تأثیرگذار بر مقاومت کششی کاغذ روزنامه در جهت ماشین در کارخانه بواتر^۱ از روش PLS استفاده کرده‌اند. ۸۰ متغیر فرایندی مورد بررسی در این تحقیق از ابتدا تا انتهای کارخانه را شامل می‌شدند که آن‌ها را در ۴ بخش و مجموعه داده مورد بررسی قرار دادند. بر اساس نتایج حاصله مهم‌ترین فاکتور تأثیرگذار بر کشش کاغذ در جهت ماشین در صورت ثابت بودن درجه روانی، طول فیبر در خمیر گزارش شده است و همچنین نوع گونه مورد استفاده از این جهت تأثیر مهمی بر این ویژگی مقاومتی کاغذ دارد. به‌طور کلی تغییرات مقاومت کششی در جهت ماشین، در ۴ بخش مختلف مورد بررسی در این تحقیق، بین ۱۵ تا ۵۰ درصد توسط مدل PLS تبیین شد.

کارخانه چوب و کاغذ مازندران به‌عنوان بزرگ‌ترین واحد صنعتی تولید خمیرکاغذ بر پایه مواد چوبی در خاورمیانه دارای مشکلاتی در زمینه کنترل فرآیند تولید و رسیدن به کیفیت مطلوب کاغذ روزنامه به‌دلیل نوسانات متغیرها در خط تولید می‌باشد. در این کارخانه از زمانی که خرده‌چوب‌ها وارد مرحله خمیرسازی می‌شوند تا زمانی که به کاغذ روزنامه تبدیل شوند مراحل متعدد و متغیرهای فرایندی بسیار زیادی را می‌گذرانند. در این تحقیق تأثیر ۵۶ عدد از متغیرهای مرحله آماده‌سازی خمیر^۲ بر ویژگی‌های کاغذ روزنامه نهایی به‌طور مستقل بررسی شده است. تعیین روابط میان این متغیرهای مستقل و ویژگی‌های کاغذ نهایی و تهیه مدل‌های آماری برای کنترل سریع و دقیق‌تر خط تولید از میان انبوهی از داده‌ها بسیار دارای اهمیت خواهد بود. بنابراین اهداف این تحقیق شامل شناسایی مؤثرترین متغیرهای فرایندی آماده‌سازی خمیرکاغذ بر هر یک خواص مقاومتی، فیزیکی و نوری کاغذ روزنامه در کارخانه چوب و کاغذ مازندران و همچنین تعیین میزان و نوع اثر آن‌ها بر خواص کاغذ نهایی است.

مواد و روش‌ها

تهیه مجموعه داده‌ها: برای تعیین و اولویت‌بندی ۵۶ متغیر فرایندی تأثیرگذار بر ۱۷ ویژگی فیزیکی و مقاومتی کاغذ روزنامه و سپس مدل‌سازی و پیش‌بینی آن‌ها ابتدا اقدام به تهیه دو مجموعه از داده‌های مناسب شد. پس از تهیه حدود ۴۵۰۰ و ۷۰۰۰ مشاهده به‌ترتیب مربوط به متغیرهای تهیه خمیرکاغذ

1- Bowater

2- Stock preparation

آماده برای ساخت کاغذ و ویژگی‌های کاغذ روزنامه، کلیه داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار EXCEL و SPSS مرتب، دسته‌بندی و فیلتر شد. سپس برای تهیه سری داده‌های متناظر از متغیرهای مستقل و وابسته، زمان لازم برای تبدیل خمیرکاغذ به کاغذ نهایی در نظر گرفته شد. به این ترتیب از میان این اطلاعات با استفاده از نرم‌افزار Matlab مجموعه داده‌ای شامل ۵۱۵ مشاهده (مطابق با زمان‌سنجی تولید برای تبدیل خمیر به کاغذ روزنامه) تهیه گردید. برنامه تدوین شده برای تهیه مجموعه داده‌های دیگر در سایر کارخانه‌ها نیز قابل استفاده می‌باشد.

رگرسیون حداقل مربعات جزئی (PLS): برای تعیین میزان و نوع ارتباط متغیرهای فرایندی تهیه خمیرکاغذ با ویژگی‌های کاغذ روزنامه از رگرسیون حداقل مربعات جزئی و نرم‌افزار SPSS و SAS استفاده شد. پس از برآزش مدل‌ها معبرسازی عرضی به روش جداسازی^۱ انجام گرفت تا بهترین تعداد مؤلفه‌ها تعیین شود. با استفاده از این روش تعداد فاکتورهای انتخاب شده معمولاً آنی است که کم‌ترین مجموع مربعات باقی‌مانده‌های پیش‌بینی شده^۲ (PRESS) را دارد. با این وجود فاکتور انتخابی به روش فوق ممکن است از نظر آماری اختلافی معنی‌دار با تعداد فاکتورهای کم‌تر نداشته باشد (فرشادفر، ۲۰۰۷). بنابراین ون در وت (۱۹۹۴) آزمون آماری را برای مقایسه باقی‌مانده‌های پیش‌بینی شده برای مدل‌های مختلف پیشنهاد کرده است که در این تحقیق از آن استفاده شده است. با استفاده از این روش تعداد فاکتورهای انتخابی آنی است که هم کم‌ترین فاکتورها را دارد و هم مقدار باقی‌مانده‌های آن از نظر آماری به طور غیر معنی‌دار بزرگ‌تر از باقی‌مانده‌های مدلی باشد که کم‌ترین مقدار PRESS را دارد.

تشخیص نقاط پرت با محاسبه‌ی فاصله اقلیدسی^۳ X ها و Y ها از مدل صورت گرفت و سپس مشاهداتی که فاصله اقلیدسی آن‌ها نسبت به میانگین فاصله‌ها $1/5$ تا 2 برابر بیش‌تر بود، از محاسبات بعدی کنار گذاشته شد. فاصله اقلیدسی X ها برابر است با جذر مجموع مربعات باقی‌مانده‌ها برای X های استاندارد شده و فاصله اقلیدسی Y ها، برابر است با جذر مجموع مربعات باقی‌مانده‌ها برای Y های استاندارد شده. برای تعیین اهمیت متغیرهای مستقل در مدل PLS و خلاصه کردن مدل از آماره اهمیت متغیر برای پروژه (VIP)^۴ استفاده شد. ضریب رگرسیون تنها مشخص‌کننده اهمیت هر

- 1- Split-sample cross validation
- 2- Predicted residual sum of squares
- 3- Euclidean Distance
- 4- Variable Importance for Projection

متغیر مستقل بر هر یک از متغیرهای وابسته می‌باشد؛ در حالی که VIP نشان‌گر ارزش هر متغیر مستقل برای برآزش مدل PLS برای متغیرهای مستقل و وابسته هر دو است.

نتایج و بحث

لیست ویژگی‌های کاغذ روزنامه (۱۷ متغیر کیفی کاغذ روزنامه) و متغیرهای تهیه خمیر کاغذ آماده برای ساخت کاغذ (۵۶ متغیر فرآیندی) و آماره‌های توصیفی آن‌ها با استفاده از مجموعه داده‌ها در جداول ۱ و ۲ ارائه شده است.

جدول ۱- آماره‌های توصیفی ویژگی‌های کاغذ روزنامه

Table 1- Descriptive statistics of newsprint properties

ضریب تغییرات Coefficient of variation	انحراف معیار Standard deviation	میانگین Mean	واحد Unite	ویژگی‌های کاغذ روزنامه Newsprint properties
0.84	0.41	49.3	g/m ²	وزن پایه (Basis Weight)
3.8	0.33	8.6	%	رطوبت (Moisture)
4	3	75	μm	ضخامت (Caliper)
4	0.06	1.51	Cm ³ /g	حجمی (Bulk)
10.7	0.73	6.8	Km	طول پارگی (Breaking Length MD)
7.7	0.15	2	Km	طول پارگی (Breaking Length CD)
9.5	0.13	1.4	%	افزایش طول (Elongation MD)
10.5	0.32	3	%	افزایش طول (Elongation CD)
13.9	14.3	102	kPa	مقاومت به ترکیدن (Burst)
10.3	22.5	218	mN	مقاومت به پارگی (Tear MD)
9	27.4	304	mN	مقاومت به پارگی (Tear CD)
35	6.5	18	S	مقاومت به عبور هوا (Air resistance)
2.3	0.1	4.4	%	درصد زبری رو (Roughness Top)
2.9	0.14	4.9	%	درصد زبری زیر (Roughness Bot.)
2	1	50.8	%	روشنی (Brightness)
10.4	0.82	7.8	%	زردی (Yellowness)
1.1	1	91.3	%	ماتی (Opacity)

جدول ۲- آماره‌های توصیفی متغیرهای تهیه خمیر کاغذ

Table 2- Descriptive statistics of stock preparation variables.

ضریب تغییرات Coefficient of variation	انحراف معیار Standard deviation	میانگین Mean	واحد Unit	Process variables	متغیرهای فرایندی
3.42	0.14	4	%	Cons. CMP refiner	درصد خشکی خمیر در پالایشگر
11	2.77	24.9	%	Cir. val. CM refiner	درصد باز بودن شیر پالایشگر
13.66	5	38	°C	Temp. CMP refiner	دمای پالایشگر خمیر کاغذ CMP
21.25	85	401	kW.h	Load refiner	توان مصرفی پالایشگر
9.56	0.37	3.92	%	Cons. BKP refiner	خشکی خمیر الیاف بلند در پالایشگر
94.8	185	195	kW.h	load 1 BKP refiner	بار پالایشگر خمیر الیاف بلند
9.46	7.2	29	%	Cir. valve BKP ref.	باز بودن شیر پالایشگر خمیر الیاف بلند
5.86	2.41	41	%	Temp. BKP refiner	دمای خمیر الیاف بلند در پالایشگر
2	1.68	81	%	CMP ratio	درصد خمیر کاغذ CMP
9	1.68	19	%	BKP ratio	درصد خمیر کاغذ الیاف بلند
38.67	23	59.5	%	Broke ratio	درصد خمیر کاغذ برگشتی
27.67	5.95	21.5	%	Clay ratio	درصد خاک رس
21	0.88	4.2	%	Dye ratio	درصد رنگ
40	1.25	3.1	L.min	Retention aid	دبی کمک نگه دارنده
17.4	0.62	3.58	%	Blend consistency	درصد خشکی در مخلوط کننده
1.57	0.06	4	%	Machine chest cons.	درصد خشکی در مخزن ماشین
5.1	0.2	3.95	%	Broke consistency	درصد خشکی خمیر کاغذ برگشتی
4.51	1.3	29	%	Stock valve	درصد باز بودن شیر خمیر آماده
8.39	550	6564	L.min	Fan pump additives	دبی فن پمپ افزودنی‌ها
4	42	1084	r.min	RPM fan pump 1	دور بر دقیقه فن پمپ یک
4.37	3.8	87	%	Out. fan pump 1	خروجی فن پمپ یک
6.55	0.03	0.48	bar	G2-cleaners	فشار تمیزکننده‌های گروه دوم
31.95	0.16	0.5	bar	G3-cleaners	فشار تمیزکننده‌های گروه سوم
4.43	0.03	-0.76	bar	G4-cleaners	فشار تمیزکننده‌های گروه چهارم
4.62	1.9	41.76	°C	Temp. deculator	دمای حباب زداینده
6.1	46	758	mm	Level deculator	سطح خمیر در حباب زداینده
9.34	0.1	1.1	bar	Pressure deculator	اختلاف فشار در حباب زداینده
18.45	17.6	95.6	mbar	Vacuum deculator	مکش در حباب زداینده
8.1	68.6	848	r.min	RPM fan pump 2	دور بر دقیقه فن پمپ دو
8.8	6.62	75	%	Out. fan pump 2	خروجی فن پمپ دو

ادامه جدول ۲- آماره‌های توصیفی متغیرهای تهیه خمیر کاغذ

Table 2- Descriptive statistics of stock preparation variables.

ضریب تغییرات Coefficient of variation	انحراف معیار Standard deviation	میانگین Mean	واحد Unit	Process variables	متغیرهای فرایندی
6.49	0.48	7.36	-	pH screen	pH غربال
31.24	0.03	0.09	bar	No.1 Pres. screen	اختلاف فشار غربال یک
1.47	8.2	559	r.min	RPM saveall	دور بر دقیقه سیوال
4.7	0.77	16.48	%	Wh. Wa. cha. valve	بازبودن شیر مخزن آب سفید
2.95	1.2	41	%	Saveall drain rate	شدت آبگیری سیوال
4.99	104	2081	L.min	Stock saveall	دبی خمیر سیوال
9	2149	23807	L.min	W.W. saveall	دبی آب سفید سیوال
8.38	0.3	3.52	%	Reco. cons. saveall	خشکی خمیر بازیافتی سیوال
3.81	0.15	3.96	%	Pre-refiner cons.	خشکی خمیر قبل از پالایشگر
6.27	23	367	ml	Pre-refiner CSF	درجه روانی خمیر قبل پالایشگر
4	0.16	4	%	After-refiner cons.	خشکی خمیر بعد پالایشگر
6.71	21.4	319	ml	After-refiner CSF	درجه روانی خمیر بعد پالایشگر
2.57	0.1	3.93	%	Level box cons.	خشکی خمیر در لول باکس
7.72	17.6	228	ml	Level box CSF	درجه روانی خمیر در لول باکس
1.61	0.12	7.46	-	Head box pH	pH خمیر در جعبه تغذیه
6.1	0.06	0.98	%	Head box cons.	خشکی خمیر در جعبه تغذیه
13.91	11.16	80	ml	Head box CSF	درجه روانی خمیر در جعبه تغذیه
12.94	0.05	0.42	%	White Water cons.	درصد خشکی آب سفید
6.88	3.96	57.6	%	First pass retention	الیاف جدا شده در اولین گذر
6	0.22	3.68	%	Long fiber cons.	خشکی خمیر الیاف بلند
4.51	22.4	497	ml	Long fiber CSF	درجه روانی خمیر الیاف بلند
6.32	0.05	0.84	bar	Air pres. head box	فشار هوا در جعبه تغذیه
10.3	72	700	mm	Head box level	ارتفاع خمیر در جعبه تغذیه
8.47	0.96	11.3	mm	Slice open head box	میزان باز بودن دهانه جعبه تغذیه
5.2	38	726	m.min	Speed-wire	سرعت توری ماشین کاغذ
144	3.94	-2.73	m.min	Rush.Drug ratio	نسبت سرعت جت به توری

برآزش مدل رگرسیون حداقل مربعات جزئی: در این بخش ۵۶ متغیر مستقل و ۱۷ متغیر وابسته از روی مجموعه داده‌ها قابل بررسی بود اما قبل از برآزش مدل PLS به دلیل تعداد زیاد متغیرهای مستقل (۵۶ عدد) و ابعاد بیش از اندازه مدل، متغیرهایی که تأثیر بسیار کمی داشتند شناسایی و حذف شدند. به این منظور ضریب اهمیت (VIP) کلیه متغیرهای مستقل محاسبه گردید. با توجه به نتایج به دست آمده ۱۷ متغیر فرآیند ضریب اهمیت بسیار کمی داشتند (کمتر از ۰/۵) و از محاسبات کنار گذاشته شدند. ضریب تبیین مدل PLS با ۸ بردار مخفی برای میانگین ویژگی‌های کاغذ روزنامه برابر ۳۹/۰۶ و ۳۷/۴ به ترتیب با ۵۶ و ۳۹ متغیر فرآیندی به دست آمد. با توجه به اختلاف اندک این دو ضریب تبیین می‌توان نتیجه گرفت که تعداد ۱۷ متغیر مستقل کم اهمیت، کم‌تر از دو درصد از تغییرات ویژگی‌های کاغذ روزنامه را توضیح می‌دهند. بنابراین بهتر است با حذف آن‌ها ابعاد مدل را کم کرد. از این رو کلیه مراحل برآزش مدل PLS در این بخش با استفاده از ۳۹ متغیر فرآیندی مهم‌تر و ۱۷ ویژگی کاغذ روزنامه انجام شد.

برآزش مدل PLS بین ۳۹ متغیر تهیه خمیر کاغذ به عنوان متغیرهای مستقل و ۱۷ متغیر ویژگی کاغذ روزنامه به عنوان متغیرهای وابسته با استفاده از مجموعه داده‌ها انجام شد. برای شناسایی نقاط پرت فاصله‌ی اقلیدسی هر نقطه (مشاهده) از متغیرهای مستقل و وابسته استاندارد شده تا مدل PLS محاسبه گردید. سپس مشاهدات شماره ۱۶۶ و ۱۶۷ ویژگی‌های کاغذ روزنامه که فاصله اساسی با سایر مشاهدات داشتند به عنوان داده‌های پرت از محاسبات حذف شدند.

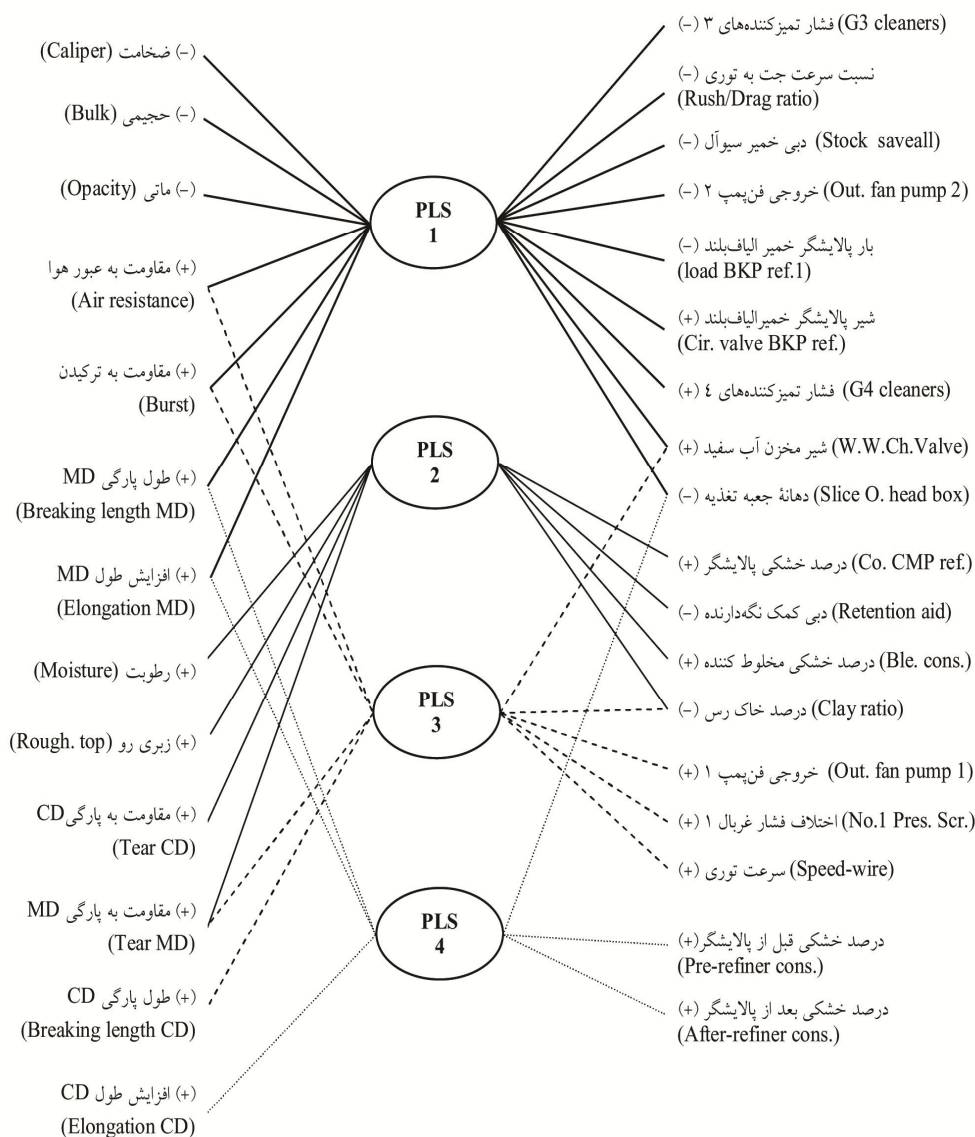
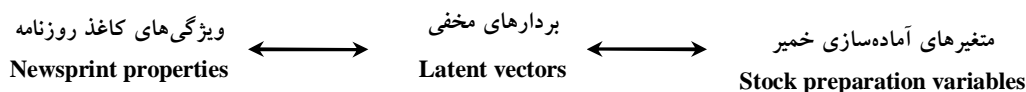
معتبرسازی عرضی به روش جداسازی برای ۲۵ فاکتور محاسبه شد. جذر میانگین مجموع مربعات باقی‌مانده‌های پیش‌بینی شده (PRESS) برای فاکتور بیست و چهارم کم‌ترین مقدار به دست آمد (۰/۸۳۳) بنابراین انتخاب ۲۴ بردار مخفی برای برآزش مدل PLS کم‌ترین میزان خطا را به همراه خواهد داشت و انتخاب فاکتورهای بعد از آن موجب برآزش بیش از اندازه^۱ می‌شود. با این وجود نتایج حاصل از آزمون t بین فاکتورهای ۱ تا ۲۳ با فاکتور ۲۴ نشان داد که اختلاف فاکتورهای ۱، ۲، ۳، ۴، ۵، ۶ و ۷ با فاکتور ۲۴ در سطح ۹۵ درصد معنی‌دار است، اما فاکتور ۸ با فاکتور ۲۴ از نظر آماری اختلاف معنی‌داری ندارد. بنابراین، برآزش مدل PLS با محاسبه ۸ بردار مخفی انجام شد. نتایج نشان داد که بیش از ۷۰ درصد از تغییرات ۳۹ متغیر فرآیندی توسط ۸ بردار مخفی یا متغیر جدید قابل

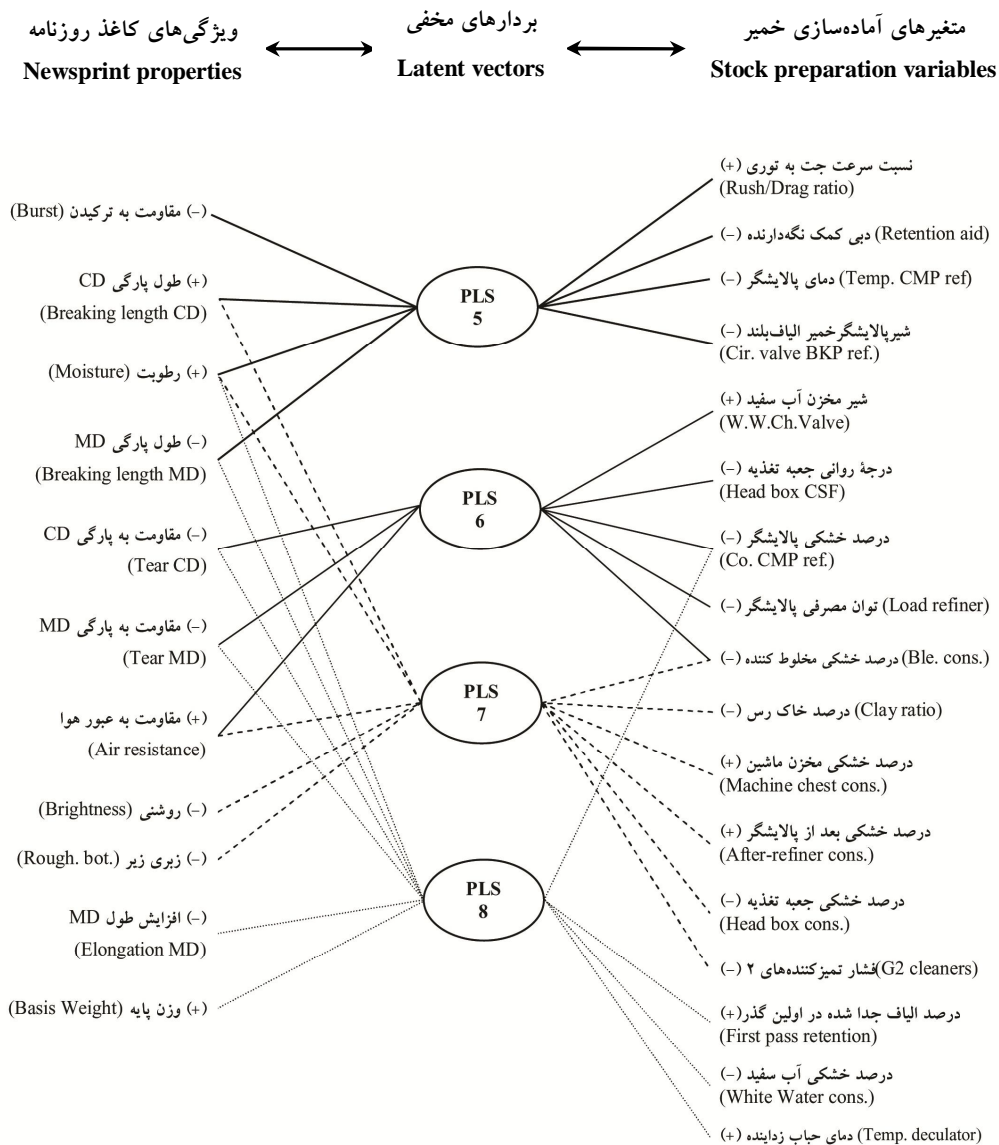
1- Over-fitting

توضیح است. همچنین تغییرات ویژگی‌های مختلف کاغذ روزنامه تا ۶۰ درصد توسط ۸ بردار مخفی توجیه می‌شوند. در نقطه مقابل متغیرهای زردی و وزن پایه کاغذ روزنامه به مقدار ناچیزی تحت تأثیر این متغیرهای فرایندی هستند. همچنین درصد افزایش طول و طول پارگی در جهت ماشین کاغذ خیلی بیش‌تر از جهت عمود بر ماشین کاغذ تبیین شده‌اند. نردستم (۲۰۰۵) نیز این نتیجه را برای کاغذ لاینر به‌دست آورده است.

شکل ۱ ارتباط مستقیم یا معکوس متغیرهای تأثیرگذار تهیه خمیرکاغذ بر ویژگی‌های کاغذ روزنامه از طریق شبکه مدل PLS را نشان می‌دهد. با توجه به نتایج ارائه شده در این شکل، بردار مخفی اول (PLS ۱) شامل مهمترین متغیرهای تهیه خمیرکاغذ تأثیرگذار بر ۷ ویژگی کاغذ روزنامه است. تغییرات این ۷ ویژگی کاغذ روزنامه تا حد زیادی به هم مربوط هستند و ۹ متغیر فرایندی که بیش‌ترین تأثیر را بر این ویژگی‌های کاغذ روزنامه دارند نیز، در شکل مشخص شده‌اند. از میان آن‌ها مهمترین متغیری که تأثیر زیادی بر ویژگی‌های کاغذ روزنامه گذاشته است فشار تمیزکننده‌های گروه سوم (G3) معرفی می‌گردد. فشار خمیر در تمیزکننده‌های گروه ۳ وابسته به میزان باز بودن شیر فن پمپ ۱ و میزان خمیرکاغذ پس زده شده از G1 و G2 می‌باشد. متغیر G3 در ارتباط با متغیرهای دیگری است که با محاسبه ضریب همبستگی با متغیرهای فرایندی دیگر آن‌را شناسایی کرد. این متغیرها به ترتیب عبارتند از: نسبت سرعت جت به توری، بار پالایشگرخمیر الیاف بلند، دور بر دقیقه سیوآل، خروجی فن پمپ دو، شدت آبیگری سیوآل و دبی خمیر سیوآل. اما خود G3 به‌عنوان مناسب‌ترین شاخص برای تأثیر غیرمستقیم بر ۷ ویژگی کاغذ روزنامه می‌باشد. سایر متغیرهای مهم در بردار یک به ترتیب عبارتند از: نسبت سرعت جت به توری، دبی خمیر سیوآل، خروجی فن پمپ دو، میزان باز بودن دهانه جعبه‌تغذیه و شیر مخزن آب سفید. اکثر این متغیرها بر کیفیت اتصالات الیاف در کاغذ روزنامه تأثیرگذار می‌باشد. خوشبختانه اکثر این متغیرها عملیاتی^۱ و قابل تنظیم هستند.

1- Operational





شکل ۱- شبکه مدل PLS برای ارتباط متغیرهای تأثیرگذار تهیه خمیر کاغذ بر ویژگی‌های کاغذ روزنامه.

Figure 1- PLS model network relating influential stock preparation variables to newsprint properties.

بردار مخفی دوم (PLS ۲) در بر گیرنده مقاومت به پارگی MD و CD و رطوبت کاغذ روزنامه است که متغیرهای تأثیرگذار بر آن‌ها به ترتیب درصد خشکی پالایشگر، دبی کمک نگه‌دارنده، درصد خشکی مخلوط کننده و درصد خاک رس می‌باشد. بردار مخفی ششم (PLS ۶) نیز در برگیرنده مقاومت به پارگی در جهت ماشین^۱ و عمود بر جهت ماشین^۲ است اما متغیرهای فرآیندی تأثیرگذار در این بردار به ترتیب میزان باز بودن شیر مخزن آب سفید و درجه روانی جعبه تغذیه می‌باشد. زیادتیر بودن متغیرهای دبی کمک‌نگه‌دارنده، درصد خاک رس و میزان باز بودن شیر مخزن آب سفید موجب افزایش ذرات ریز در کاغذ و کاهش سهم الیاف سالم و بلند می‌شود. بنابراین مقاومت به پارگی را کم می‌کند، زیرا مقاومت به پارگی کاغذ در ارتباط مستقیم با مقاومت ذاتی الیاف، طول الیاف و اتصالات بین آن‌هاست. همچنین درجه‌ی روانی جعبه‌تغذیه رابطه مستقیم با میزان الیاف سالم و بلند نسبت به نرمه‌ها دارد و در نتیجه تأثیر مستقیم بر مقاومت به پارگی می‌گذارد که در شکل مشخص است. در بردار مخفی سوم (PLS ۳) متغیرهای مقاومت به عبور هوا، طول پارگی CD، مقاومت به ترکیدن و مقاومت به پارگی MD سهم مهمتری دارند. کلیه این متغیرها در ارتباط مستقیم با کیفیت اتصالات الیاف هستند که متغیرهای فرآیندی شیر مخزن آب سفید، خروجی فن پمپ^۱، اختلاف فشار غربال^۱ و سرعت توری با آن‌ها رابطه مستقیم و درصد خاک رس با آن‌ها رابطه عکس دارد. در بردار مخفی چهارم (PLS ۴) طول پارگی MD، افزایش طول CD و MD با میزان باز بودن دهانه جعبه تغذیه رابطه‌ی معکوس و با درصد خشکی قبل و بعد از پالایشگر رابطه مستقیم نشان داده‌اند.

در بردار مخفی پنجم (PLS ۵) نسبت سرعت جت به توری رابطه مستقیم و زیادی با طول پارگی CD نشان داده است. هرچه نسبت سرعت جت به توری زیادتیر شود جهت‌گیری الیاف کم‌تر در جهت ماشین کاغذ قرار می‌گیرد بنابراین طول پارگی کاغذ را در جهت عرض ماشین بیش‌تر می‌کند. در بردار مخفی هفتم درصد خاک رس بیش‌ترین تأثیر مستقیم را بر روشنی و زبری زیر کاغذ گذاشته است در حالی‌که تأثیر آن بر مقاومت به عبور هوا، طول پارگی CD و رطوبت کاغذ روزنامه معکوس می‌باشد. در آخرین بردار مخفی (PLS ۸) درصد الیاف جدا شده در اولین گذر بیش‌ترین تأثیر منفی را بر درصد افزایش طول MD و طول پارگی MD کاغذ روزنامه گذاشته است. در حالی‌که تأثیر آن بر رطوبت و وزن پایه مستقیم می‌باشد.

1- Machine Direction (MD)

2- Cross Direction (CD)

از نظر علمی با زیاد شدن نسبت سرعت جت به توری و میزان باز بودن دهانه‌ی جعبه‌تغذیه، الیاف بیش‌تری در جهت عرض ماشین کاغذ قرار می‌گیرند. بنابراین طبیعی است که مقاومت به پارگی در جهت عرض ماشین کاغذ کاهش یابد زیرا هنگام انجام آزمون پارگی کاغذ، الیاف کم‌تری قطع می‌شوند اما طول پارگی در جهت ماشین کاغذ افزایش خواهد یافت.

به‌طور کلی می‌توان نتیجه گرفت که با زیاد شدن نسبت سرعت جت به توری و دهانه جعبه تغذیه مقاومت به پارگی در جهت MD افزایش و در جهت CD کاهش می‌یابد در حالی‌که طول پارگی در جهت MD کاهش و در جهت CD افزایش پیدا می‌کند. بنابراین با تنظیم مناسب نسبت سرعت جت به توری و میزان باز بودن دهانه جعبه‌تغذیه می‌توان به مقدار بهینه از این چهار ویژگی کاغذ دست یافت.

همان‌گونه که مشاهده می‌شود برخی از ویژگی‌های کاغذ روزنامه در دو یا چند بردار مخفی دارای وزن‌های زیاد هستند. برای تعیین و اولویت‌بندی متغیرهای فرایندی تأثیرگذار بر هر یک از ویژگی‌های کاغذ روزنامه از روی مجموع بردارهای مخفی مدل PLS، می‌توان به ضرایب رگرسیون استاندارد شده توجه کرد. تأثیر مستقیم یا معکوس این متغیرها بر ۷ ویژگی مهمتر کاغذ روزنامه نیز از روی ضرایب رگرسیون مدل پیش‌بینی PLS امکان‌پذیر است.

نتیجه‌گیری

صنایع چوب و کاغذ مازندران از بزرگ‌ترین و پیچیده‌ترین واحدهای تولیدی مهم در کشور ایران بوده که با مشکلات زیادی در زمینه نوسانات تولیدی مواجه است. از طرفی حجم زیادی از اطلاعات فرآیندی به‌طور شبانه‌روزی در واحدهای مختلف این مجتمع اندازه‌گیری و ثبت می‌شود. به‌این منظور این تحقیق در راستای کنترل دقیق و پیشرفته بر اساس مدل PLS با استفاده از داده‌های واقعی در بخشی از کارخانه صورت گرفته است. در نتیجه مدل برآزش داده شده ارتباط متغیرهای تهیه خمیرکاغذ را با ویژگی‌های نهایی کاغذ روزنامه با ۸ بردار مخفی محاسبه شده پیدا و پیش‌بینی کرد. بردار اول به عنوان مهم‌ترین فاکتور توانست تغییرات ۷ ویژگی کاغذ روزنامه شامل ضخامت، حجیمی، طول پارگی MD، افزایش طول MD، مقاومت به ترکیدن، ماتی و مقاومت به عبور هوا را توسط متغیرهای فرایندی فشار تمیزکننده‌های گروه سوم، نسبت سرعت جت به توری، دبی خمیر سیوآل، خروجی فن پمپ دو، میزان باز بودن دهانه جعبه‌تغذیه و شیر مخزن آب سفید توضیح دهد. تبیین

بخشی از تغییرات هر یک از ویژگی‌های کاغذ روزنامه، از روی متغیرهای مشخص شده تهیه خمیرکاغذ از میان انبوهی از متغیرها بسیار سودمند بوده و امکان کنترل بهتر و دقیق‌تر را فراهم می‌آورد. همچنین بقیه تغییرات توسط متغیرهای دیگری کنترل می‌شوند که شناسایی آن‌ها با تحقیقات تکمیلی امکان‌پذیر است.

منابع

1. Abdi, H. 2003. Partial least squares regression (PLS-regression). Encyclopedia for research methods for the social sciences, 792-795.
2. Bhardwaj, N.K., Hoang, V. and Nguyen, K.L. 2007. Effect of refining on pulp surface charge accessible to polydymac and FTIR characteristic bands of high yield kraft fibers. Bioresource Technology, 98(4): 962-966.
3. Bjorkstrom, A. 2007. Regression methods and their interconnections. Technical report, Stockholm University, Sweden, 146p.
4. Broderick, G., Paris, J., Valade, J.L. and Wood, J. 1995. Applying latent vector analysis to pulp characterization. Paperi ja Puu, 77(6/7): 410-418.
5. Broderick, G., Paris, J., Valade, J.L. and Wood J. 1996. Linking the fiber characteristics and handsheet properties of a high-yield pulp. Tappi Journal, 79(1): 161-169.
6. Farshadfar, E. 2007. Basis and Methods of Multivariate Statistics, 2nd Ed., Taghbostan Press, Razi university, 732p. (In Persian)
7. Fridén, H. and Tano, K. 2005. Using PLS models with both controlled and uncontrolled X variables for "What if." prediction. 9th Scandinavian Symposium on Chemometrics, Reykjavik, Iceland, 1-6.
8. Grage, H. 2004. A statistical analysis of data from the production line at the Munksund paper mill, Technical report, Lund Institute of Technology, Sweden, 113p.
9. Kallioinen, M., Huuhilo, T., Reinikainen, S.P., Nuortila-Jokinen, J. and Mänttari, M. 2006. Examination of membrane performance with multivariate methods: A case study within a pulp and paper mill filtration application. Chemometrics and intelligent laboratory systems, 84(1): 98-105.
10. Lahtinen K. and Kuuipalo, J. 2008. Statistical prediction model for water vapor barrier of extrusion-coated paper, Tappi Journal, 9: 8-15.
11. Mercangoz, M. and Doyle, F.J. 2006. Model-based control in the pulp and paper industry. Control Systems, IEEE, 26(4): 30-39.
12. Nordstrom, F., Lindstrom, T. and Holst, J. 2005. Statistical models for on-line monitoring quality properties. Technical report, Lund Institute of technology, Sweden, 62p.

13. Ortiz-Cordova, M., Hagedorn, A., Orcotoma, J.A., Baril, J., Begin, B. and Paris, J. 2006. Analysis of paper strength variability in an integrated newsprint mill. *Pulp and Paper Canada*, 107(10): 37-43.
14. Schweiger, C.A. and Rudd, J.B. 1994. Prediction and control of paper machine using adaptive technologies in process modeling, *Tappi Journal*, (77)11: 201-208.
15. Suwannarangsee, S., Bunternngsook, B., Arnthong, J., Paemane, A., Thamchaipenet, A., Eurwilaichitr, L. and Champreda, V. 2012. Optimisation of synergistic biomass-degrading enzyme systems for efficient rice straw hydrolysis using an experimental mixture design. *Bioresource Technology*, 119, 252-261.
16. Van der Voet, H. 1994. Comparing the Predictive Accuracy of Models Using a Simple Randomization Test. *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*, 25, 313-323.



Gorgan University of Agricultural
Sciences and Natural Resources

J. of Wood & Forest Science and Technology, Vol. 22 (2), 2015
<http://jwfst.gau.ac.ir>

Prediction of newsprint properties from stock preparation variables in Mazandaran Wood and Paper Industries

***M.H. Moradian¹, H. Resalati² and Gh. Ebrahimi³**

¹Assistant Prof., of Behbahan Khatam Alanbia University of Technology,
²Professor, Dept., of Wood and Paper, Sari Agricultural Sciences and Natural
Resources University, Sari, Iran, ³Professor of Tehran University

Received: 06/09/2013 ; Accepted: 04/07/2015

Abstract

Background and objectives: Pulp and paper industries have provided great research opportunities to control systems. Among different methods, partial least square (PLS) regression is a common software modeling used where the variables are numerous and collinear in industrial applications. Broderick et.al. (1995, 1996), Grage (2004), Nordstrom et.al. (2005), and Ortiz-Cordova et.al. (2006) have used this method successfully using experimental or real pulp and paper industry data. Mazandaran pulp and paper industry as the largest paper manufacturer in Iran and the largest wood-based paper manufacturer in the Middle East suffers from some process control problems to reach acceptable newsprint quality for it has the variable fluctuations in production line. The objective of this study was to investigate the relationships between 56 process variables of stock preparation, and 17 newsprint quality properties in Mazandaran Wood and Paper Industries (MWPI) and to develop predictive models.

Materials and methods: After preparation of suitable data series considering the time needed for pulp to paper, the relations between process variables and newsprint properties were determined using partial least square regression (PLS) and SAS and SPSS software. After model development, Split-sample cross validation was done to calculate the best number of vectors. Variables Importance for Projections (VIP) statistic was used to determine the importance of independent variables in PLS model and to summarize it.

Results: Developing PLS model, 8 calculated latent vectors could categorize and relate variables and determine more than 60 percent of newsprint properties changes. The first vector as the most important factor, determined changes of 7 newsprint properties including; Caliper, Bulk, Breaking Length MD, Elongation

*Corresponding author: moradian@bkatu.ac.ir

MD, Burst, Opacity and Air Resistance from some of stock preparation variables including; stock pressure in the third group cleaners, rush to drug speed, stock save-all flow, output of second fan pump, head-box slice opening degree, white water chamber valve. The majority of these process variables influence on fibers bonding quality in newsprint paper.

Conclusion: Mazandaran pulp and paper industry as one of the largest and most complex manufacturing units in Iran confronts some production alternations. Nevertheless, huge amount of process data is being measured and recorded all day and night in different parts of this complex. Therefore, using PLS model and real data of a part of factory, this research was done and could relate stock preparation variables to final newsprint properties among many variables by 8 calculated latent vectors. Determination of newsprint properties changes from defined stock preparation variables among many of them is quite beneficial and facilitates better and more precise control in the factory.

Keywords: Newsprint, Statistical model, PLS regression, Stock preparation variables