ارزیابی مدل‌هاي آماري براي پيش‌بيني مقاومت به تركيدن و پاره‌شدن كاغذ روزنامه در صنايع چوب و كاغذ مازندران

محمدهادي مراديان*[۱]، قنبر ابراهيمی[۲]، حسين رسالتي[۳] و آنتونيو دورادو[۴]
[۱] دانشجوی دكتری علوم و صنايع چوب و كاغذ، دانشكده منابع طبيعی، دانشگاه تهران، ايران
[۲] استاد گروه علوم و صنايع چوب و كاغذ، دانشكده منابع طبيعی، دانشگاه تهران، ايران
[۳] دانشيار دانشكده جنگلداري و فناوري چوب، دانشگاه علوم كشاورزي و منابع طبيعي گرگان، ايران
[۴] استاد دانشكده كامپيوتر، دانشگاه كوامبرا، پرتغال

(تاريخ دريافت: ۸۶/۹/۲۵، تاريخ تصويب: ۸۷/۴/۴)

چكيده

خط توليد كارخانه‌های كاغذسازي چرخه و گردش كار و متغيرهاي بيشماري دارد. هدف نهايي كارخانـه‌هـای خميروكاغـذ رسـيدن بـه كيفيت بهينه كاغذ با كمترين هزينه‌هاست. امروزه براي كنترل دقيق، مجموعهع و كم هزينه خطوط توليد از انواع مدل‌ها بهره‌گيری می‌شود. با بهره‌گيری از داده‌هاي واقعي سال‌هاي ۱۳۸۴ و قسمتي از ۱۳۸۵ خط توليد كاغذ روزنامه كارخانه چوب و كاغذ مازندران، مـشاهده‌هـای مربوط به ۷۲ متغير فرايندي از برج ذخيره خمير CMP تا انتهاي خط تهيه و از ميان آنها ۴ مجموعه داده متناظر با مقاومت بـه تركيـدن و پاره شدن كاغذ روزنامه استخراج شد. براي تعيين مؤثرترين متغيرهاي فرايندي و ميزان تاثير آن‌ها بر مقاومت بـه تركيـدن و پـارگي كاغـذ روزنامه و سرانجام پيش‌بيني اين دو ويژگي از روي متغيرهاي مؤثر، از تجزيه همبستگي و رگرسيون چند متغيره بهره‌گيری شد. مدل‌هـاي مناسب و بيشماري براي پيش‌بيني و كنترل مقاومت به تركيدن كاغذ روزنامه تهيه شد. نتايج نشان داد كه متغيرهاي درصد ليف‌هـای بـاقي مانده بر روي الك با مش۴۸، فشار خميركاغذ در تميزكننده‌هاي گروه سوم، خروجي فن پمپ۲، شدت آبگيـري سـيوآل، نـسبت سـرعت جت به توري و ميزان باز بودن دهانه خروجي جعبه تغذيه، تاثير بيشتري بر مقاومت به تركيـدگي كاغـذ روزنامـه دارنـد. بـين متغيرهـاي فرايندي و مقاومت به پاره‌شدن كاغذ روزنامه همبستگي كم‌تري ديده شد و مدل‌هاي محدودي بـرازش داده‌شـد. متغيرهـاي بـازده كمـك نگه‌دارنده، شدت آبگيري سيوآل و درصد خاك رس بر روي مقاومت به پاره شدن كاغذ روزنامه بيشترين تاثير را نشان دادند.

واژه‌هاي كليدي: خمير كاغذ، مدل‌هاي آماري، مقاومت به تركيدن، مقاومت به پاره‌شدن، كاغذ روزنامه، همبستگي و رگرسيون

* نويسنده مسئول: تلفن: ۲۲۴۳۶۹۹-۰۹۱۲ فاكس: ۲۲۴۹۳۱۱-۰۲۶۱ E-mail: moradian_h@yahoo.com

مقدمه

افزايش مصرف كاغذ در ايران و واردات روزافزون آن به دليل كمبود شديد داخلي، بهره گيری بهينه از واحدهاي توليدي و افزايش كارايي آن‌ها را ضروري كرده است. يكي از مسائل مهم در جهت بهبود و گسترش ويژگی‌های كيفي فراورده‌هاي كاغذي در صنعت خمير و كاغذ، شناسايي متغيرهاي موثر بر فرايند توليد و تعيين رابطه های ميان متغيرها و ويژگی‌های كاغذ توليدي در كمترين زمان ممكن و با صرف كم‌ترين انرژي و هزينه است. اين امر امروزه با بهره گيری از انواع مدل‌ها در واحدهاي توليدي و مراكز بررسی‌اتي در حال گسترش مي‌باشد (۸).

در كارخانه های كاغذسازي، كنترل مشخصه هاي كيفي كاغذ به دو صورت كنترل مستقيم و يا كنترل بر پايه مدل انجام مي‌گيرد. در كنترل مستقيم، از اندازه‌گيري‌هاي آزمايشگاهي بر روي نمونه‌هاي تهيه شده از خط توليد بهره گيری مي‌شود. كارشناسان خط توليد بر پايه تجربه های موجود، متغيرهايي كه فكر مي‌كنند بر كيفيت كاغذ اثر مي‌گذارد را مورد بررسي و كنترل قرار مي‌دهند. اين مساله به‌طور معمول با بهره گيری از تجربه ها و پيش بينی آن‌ها صورت مي‌گيرد. در اين ارتباط به‌كارگيري انواع مدل‌هاي رياضي، آماري، شبكه عصبي، و دوره هاي زماني روش‌هاي جديد و مؤثرتري است. براي تهيه مدل‌هاي آماري دانش كاملي از روش‌هاي آماري و طراحي آزمايش‌هاي بطشمار مورد نياز است. اين آزمايش‌ها مي‌تواند بسيار گران و وقت‌گير باشند و ممكن است محدوده وسيعي از فرايند را در بر بگيرند. به‌كارگيري داده‌هاي قديمي براي دستيابي به درک مناسب از حركت فرايند، پيش از انجام آزمايش‌ها روشي قابل قبول‌تر مي‌باشد و ممكن است آزمايش‌ها اغلب غير ضروري باشند (۱۱).

امروزه‌بسياري ازكارخانه های كاغذسازي داراي سامانه‌هاي كنترل ديجيتالي پيشرفته و اندازه‌گيري بر روي خط[1] هستند كه همواره ميزان زيادي داده توليد كرده و ذخيره مي‌كنند. اين داده ها به‌شرط آن‌كه به‌صورت نظام يافته به‌كار گرفته شوند، به‌عنوان منبع‌ها ارزشمند و با توان زياد براي كنترل پيشرفته فرايند مطرح هستند. مفهوم كم كردن آماري داده‌ها[2] يک اصطلاح كلي است كه شامل كليه روش‌ها و مدل‌هاي آماري بويژه روش‌هاي آماري چند متغيره براي تجزيه داده‌ها مي‌باشد و براي كنترل داده‌هاي زياد با متغيرهای بيشمار و اغلب همبسته، گسترش داده مي‌شوند. از تجزيه مؤلفه‌هاي اصلي (۵)، تحليل عاملي (۷)، تحليل عاملي موازی، رگرسيون كمينه مربعات جزيي (۳) و رگرسيون خطي چندمتغيره مي‌توان به‌عنوان برخي از روش‌هاي كم كردن داده‌هاي چند متغيره نام برد كه بسياری از پژوهشگران در صنايع خميروكاغذ نيز از اين روش‌ها بهره‌گيری كرده‌اند (۱۴).

جونز (۱۹۹۳)[3] براي افزايش مقاومت‌هاي مقواي كنگره‌اي مدلي را براي ماشين كاغذ طراحي كرد. در اين مدل با بهره گيری از متغيرهاي فرايندي مانند درصد مقواي كهنة مصرفي، بار[4] پالاينده، بار پرس، سرعت ماشين، بار اطو و غيره، مقاومت‌هاي فشاري و كششي مقواي توليدي پيش‌بيني شده است. همچنين با بهره گيری از مقايسه‌هاي آماري داده‌هاي ماشين كاغذ و كاغذهاي دست‌ساز، اعتبار مدل تائيد شد (۶). شويگر (۱۹۹۴)[5] و همكاران با بهره گيری از فناوري سازگار در مدل‌سازي فرايندي به پيش‌بيني و كنترل مشخصه هاي ماشين كاغذ پرداختند. ۱۶ متغير مستقل از جمله فشار جعبه تغذيه، سرعت توري، فشار پالايشگرهاي ۲، ۳ و ۴، سطح خميركاغذ در همزن، نسبت سرعت جت به توري، غلظت مواد، ميزان باز بودن دهانه خروجي جعبه تغذيه و غيره براي پيش‌بيني متغيرهاي وابسته CMT[6] و تخلخل كاغذ بهره گيری شد. در اين بررسی بدون بهره‌گيری از مدل‌سازي به روش اصول اوليه[7] ، مدل غير خطي و حركتي شبكه عصبي تهيه شد.

۱- online

۲-Statistical Data Mining

۳- Jones

۴- Load

۵- Schweiger

۶- Concora Medium Test

۷-First-principals Modeling

اين مدل به طورمستقيم از روي داده‌هاي كارخانه، پيش‌بيني و كنترل خط توليد را انجام مي‌داد (۱۱).

گينشوار (۲۰۰۰)[۱] و همكاران براي پيش‌بيني ميزان آهار مورد نياز، مقاومت‌ها و ماتي كاغذ ساخته‌شده در ماشين كاغذ نيمه صنعتي دانشگاه ميامي، مدل‌هاي رياضي و رگرسيوني را تدوين كردند. مدل‌ها، قابليت پيش‌بيني ميزان تنظيم ها ماشين‌ها و مواد را براي رسيدن به ويژگي‌هاي كاغذ مورد نظر داشتند و همچنين از روي تنظيم‌ها ماشين ها و مواد، ويژگي‌هاي كاغذ بدست آمده قابل پيش‌بيني بود (۴).

ويرا كلابين (۲۰۰۳)[۲] و همكاران براي كاهش هزينه‌هاي توليد و افزايش كيفيت فرآورده های كارخانة TBKSA واقع در برزيل سامانه تجزيه كننده‌هاي مجازي را براي اندازه‌گيري برخي از ويژگي‌هاي مقوا نصب كردند. اين سامانه با بهره‌گیری از مدل‌هاي رياضي و داده‌هاي عملياتي فرايندي در ماشين كاغذ برخي از ويژگي‌هاي فرآورده‌ها را به‌خوبي پيش‌بيني كرد (۱۳).

ژنگ (۲۰۰۴)[۳] و همكاران مدل‌هاي آماري را براي ارزيابي پراكنش آهار روزين[۴] طراحي كردند. اين بررسی با بهره گیری از چهار نوع پراكنده‌ساز كاتيوني و متغيرهاي pH ، دما و سختي آب صورت گرفت. مدل‌هاي نهايي، تفاوت‌هاي پراكنده‌سازها را براي آهار كاغذ مشخص كردند و با بهره گیری از روش مدل‌سازي الگوريتمي، بهترين سطح های متغيرها معرفي شد (۱۵).

گريج (۲۰۰۴)[۵] تجزيه هاي آماري را براي داده‌هاي كارخانه كاغذسازي مونكسوند[۶] واقع در فنلاند انجام داد. وی با بهره‌گیری از داده‌هاي متغيرهاي فرایندی ماشين كاغذ، پايانة مرطوب، ديگ پخت و پالاينده و ۱۷ ويژگي كاغذ لاينر توليد شده در آن كارخانه به گسترش مدل‌هاي آماري چند متغيره پرداخت. وي درآغاز نمودار پراكنش نقطه‌ها و همبستگي بين ۱۷ ويژگي كيفي كاغذ را بررسي كرد آنگاه به تحليل متغيرهاي فرايندي ماشين كاغذ و ديگ پخت و پالايشگر و تركيب كل متغيرها به‌صورت جداگانه پرداخت و مدل‌هاي رگرسيوني به روش مربعات جزيي را براي پيش‌بيني ۱۷ ويژگي كيفي كاغذ برازش داد. بيشترين همبستگي بين مقاومت‌هاي كاغذ و سرعت ماشين‌كاغذ، سرعت تنبور[۷] و ميزان كشش[۸] كاغذ، هدايت‌پذيری، شدت جريان پايه[۹]، ميزان ليف ها برگشتی محاسبه شد. براي مدل‌هايي كه واريانس كمي داشتند بررسي روابط غيرخطي و مدل‌هاي دوره زماني پيشنهاد شده است (۳).

نرداسترم (۲۰۰۵)[۱۰] مدل‌هاي آماري را براي كنترل روي خط (on line) ويژگي‌هاي كيفي مقوا در كارخانه SCA سوئد به‌دست آورد. در اين بررسی، داده‌های فرایندی و ويژگي‌های كاغذ مورد بررسي قرار گرفت اما تأكيد بر ويژگي‌های كيفی كاغذ و داده های جمع‌آوری شده در آزمايشگاه (به صورت خارج از خط[۱۱]) و ارتباط آن با داده‌های روي خط و مدلسازی آن‌ها بود. وی موفق شد مدل‌های پيش‌بينی خوبی را طراحی كند تا نيازكم‌تري به اندازه‌گيري‌های خارج از خط باشد (۹).

وينچل (۲۰۰۶)[۱۲] با بهره گيری از تجزيه داده‌های چندمتغيره به عيب‌يابی فرايند ساخت كاغذ پرداخت. اين تجزيه براي فهم شيمی پايانه تر و سامانه آب سفيد كارخانه كرافتون[۱۳] كانادا بسيار مفيد واقع شد. هدف از اين تجزيه تعيين متغيرهايي بود كه بر روي مصرف بيشتر كمك نگه دارنده[۱۴] و نبود پايداری پايانه تر[۱۵] تأثيرگذار بودند. در اين

۱- Gyaneshwar
۲- VieiraKlabin
۳- Zhang
۴- rosin
۵- Grage
۶- Munksund
۷- Tambour
۸- Draw
۹- Base Line Flow
۱۰- Nordstrom
۱۱- Off line
۱۲- Winchell
۱۳- Crofton
۱۴- Retention Aids
۱۵- Wet end instability

بررسی با بهره گیری از ۸۸ متغیر فرایندی و ۳۰۰۰ مشاهده، مدل‌های آماری مناسبی برازش داده شد (۱۴).

حاتم (۱۳۸۳) واحد رنگبري صنايع چوب و كاغذ مازندران را مورد بررسي قرار داد و به تهية مدل‌هاي رگرسيوني فرايند رنگبري براي پيش‌بيني و كنترل ويژگي‌هاي نوري و مقاومتي خمير و كاغذ خروجي از برج رنگبري پرداخت. مدل‌هاي تهيه شده براي ويژگي‌هاي مقاومتي به دليل داشتن ميزان كم ضريب تبيين از قابليت لازم براي پيش‌بيني و كنترل برخوردار نبودند اما مدل‌هاي تهيه شده براي پيش‌بيني ويژگي‌هاي نوري شامل شفافيت و ماتي با بهره گیری از ۱۴ متغير مستقل با داشتن ضريب تبيين مناسب (به ترتيب ۰/۵۳۳ و ۰/۹۶۴ براي كدری و شفافيت) براي پيش‌بيني اين دو ويژگي مناسب بودند. همچنین مؤثرترين متغيرهاي مستقل بر روي ويژگي‌هاي نوري، ميزان پراكسيد هيدروژن اوليه و شفافيت اولية خميركاغذ معرفي شده است (۱).

كارخانه چوب و كاغذ مازندران به عنوان بزرگترين واحد صنعتي توليد خميروكاغذ بر پايه مواد چوبي در خاورميانه با ظرفيت اسمي ۱۷۵۰۰۰ تن انواع كاغذ و از جمله ۵۲۰۰۰ تن كاغذ روزنامه در سال داراي مشكلات زيادي در زمينه كنترل فرايند توليد و رسيدن به كيفيت بهينه كاغذ روزنامه به دليل نوسان هایی در خط توليد مي‌باشد. با شناسايي متغيرهاي اصلي توليد كه شاخصي از ديگرمتغيرهاي فرايندي هم هستند مي‌توان رابطه های رياضي بين اين متغيرها و ويژگی های كاغذ تولیدی، پيدا كرد. مدل‌هاي بدست‌آمده براي پيش‌بيني ويژگی‌های نهايي كاغذ روزنامه از روي متغيرهاي توليد و تعيين ميزان و نوع تاثير هر متغير روي ويژگی های كاغذ مورد بهره گیری خواهد بود. همچنين براي رسيدن به ويژگی های بهينه كاغذ، غلظت‌هاي مواد شيميايي، سرعت جريان مواد و تنظيم های ماشين‌ها نيز قابل پيش‌بيني مي‌باشد. در اين كارخانه از برج ذخيره خميركاغذ CMP[1] تا انتهاي خط توليد شمار زيادي متغير فرايندي به صورت روي خط و خارج از خط، در چند نوبت در هر نوبت كاري ثبت مي‌شود. بنابراين تعيين روابط ميان متغيرهاي مستقل و وابسته و تهيه مدل‌هاي آماري براي كنترل مجموعهع و دقيق‌تر خط توليد از ميان انبوهي از داده‌ها بسيار حائز اهميت خواهد بود.

هدف‌های اين بررسی شامل تعيين رابطه‌های رياضي ميان متغيرهاي فرايندي و مقاومت به پاره شدن و تركيدن كاغذ روزنامه در كارخانه چوب و كاغذ مازندران و شناسايي متغيرهاي فرايندي موثر بر اين دو ويژگي و در نهايت پيش‌بيني آن‌ها با بهره گیری از مدل‌هاي آماري است. با شناسايي مؤثرترين متغيرهاي فرايندي و تعيين نوع اثر آن‌ها بر مقاومت به تركيدن و پاره شدن كاغذ روزنامه، مي‌توان با بهره گیری از مدل‌هاي پيش‌بيني طراحي شده نوسان‌های فرايندي را تحت كنترل درآورد تا به ميزان قابل قبول از اين دو ويژگي كاغذ روزنامه دست يافت.

مواد و روش‌ها

تهيه مجموعه داده‌ها

در اين بررسی، ويژگـي‌هـاي خميركاغـذ در بـرج ذخيـره CMP، كاغذهاي دست‌ساز ساخته شده از اين خميركاغـذ، متغيرهاي تهيه خميركاغذ[2] و ماشين كاغـذ كـه بـه‌صـورت منظم اندازه‌گيري و ثبت مي‌شود، در نظر گرفته‌شده‌اند. اين متغيرهاي فرايندي كه ۷۲ عدد مـي‌باشـند، تعيـين كننـده كيفيت كاغذ روزنامه هستند. براي تعيـين و اولويـت‌بنـدي متغيرهاي تاثيرگذار بر مقاومت به تركيـدگي و پـاره شـدن كاغذ روزنامه و سپس مدل‌سازي و پيش‌بيني آن‌هـا درآغـاز اقـدام بـه تهيـه چنـد مجموعـه از داده‌هـاي مناسـب شـد. داده‌هاي مربوط بـه سـال‌هـاي ۱۳۸۴ و قـسمتي از ۱۳۸۵ براي ۷۲ متغير فرايندي ياد شـده و مقاومـت بـه پـارگي و تركيدن كاغذ روزنامه تا ۷۰۰۰ مشاهده براي هر كدام تهيه شد. كليه داده‌های جمع‌آوري شده با بهره‌گيری از نرم‌افـزار EXCEL و SPSS مرتب، دسـته‌بنـدي و گـزينش شـد. سپس از ميان ايـن داده‌هـا، چهـار مجموعـه داده برابـر بـا

۱- Chemi Mechanical Pulping

۲- Stock Preparation

زمان‌سنجي توليد براي تبديل خميركاغذ در هر مرحلـه بـه كاغذ روزنامه، با بهره‌گيری از نرم‌افزار مطلـب (Matlab) و برنامه تدوين شده مناسب آن تهيه شد. برنامه تدوين شـده براي تهيه مجموعه داده‌هاي ديگر در ديگر كارخانـه‌هـا نيـز قابل بهره‌گيری مي‌باشد. مجموعه‌هاي داده‌هاي تهيـه شـده به قرار زيرند:

۱- ويژگي‌هاي خميركاغذ CMP و كاغذ دست‌ساز تهيـه شده از بـرج ذخيـره CMP و ويژگـي‌هـاي كاغـذ روزنامـه متناظر با آن شامل ۳۰۰ مشاهده.

۲- متغيرهاي تهيه خميركاغذ و ويژگي‌هاي كاغذ روزنامه متناظر با آن شامل ۸۵۰ مشاهده.

۳- متغيرهاي پايانه تر و ويژگي‌هاي كاغذ روزنامه متناظر با آن شامل ۷۵۰ مشاهده.

۴- كليه ۷۲ متغير فرايندي و ويژگي‌هاي كاغـذ روزنامـه متنـاظر بـا آن شـامل ۸۵ مـشاهده. ايـن مجموعـه داده از تركيب مجموعه داده‌هاي ۱، ۲ و ۳ تهيه شده و تنهـا بـراي برازش مدل رگرسيوني خطي از كلية متغيرهاي فرايندي در كنار هـم مـورد بهـره‌گيـری قـرار گرفتـه اسـت. مجموعـه داده‌هاي ۱، ۲ و ۳ با داشتن شمار مشاهده‌هـای زيـاد، هـم براي تهية مدل رگرسيوني خطي و هم تعيـين رابطـه‌هـای خطي (همبستگي) و غير خطي بهره گيری شده‌اند.

تعيين روابط بين متغيرها و تجزيه رگرسيون چند متغيره

با بهره‌گيری از مجموعه داده‌هاي ۱، ۲ و ۳ ميزان رابطة خطي بين متغيرهاي فرايندي با مقاومت به تركيدن و پاره شدن كاغذ روزنامه با محاسبة ضريب همبستگي تعيين شد سپس نمودار پراكنش نقطه های ۷۲ متغير فرايندي و دو ويژگي مقاومتي كاغذ روزنامه رسم و رابطه ها غير خطي از جمله توان دو، توان سه، معكوس و لگاريتمي بين آن‌ها محاسبه شد. پس از آن تجزيه رگرسيون چندگانه براي ويژگي‌هاي كاغذ روزنامه با بهره‌گيری از ۴ مجموعه داده به روش گام به گام انجام شد. پس از بررسي سطح معني‌داري مدل و متغيرهاي وارد شده در آن به تعيين و تصحيح عيوب مدل پرداخته شد. بدين منظور عادی بودن و نبود الگوي پراكنش مشخص مانده‌ها مورد بررسي قرار گرفت. پس از حذف يعني نقطه های بيرون از محدوده نقطه های پرت باقي‌مانده‌هاي استانداردشده بين ۳ و ۳- (مانده‌هايي كه بيش از سه برابر از انحراف معيار ميانگين فاصله داشتند)، به برازش دوباره معادله رگرسيون پرداخته شد و سپس مشخصه‌هاي مدل محاسبه شد. هر معادله رگرسيون داراي متغيرهاي مستقلي است كه هر كدام ضريب تبيين را تا حدي زياد مي‌كند. پس از بررسي تغييرهای ضريب تبيين و حذف متغيرهايي كه اين ضريب را كمتر از يك درصد افزايش دادند، بهترين معادله های با مؤثرترين متغيرها براي پيش‌بيني انتخاب شد. علاوه بر اين، معادله های رگرسيوني استاندارد شده نيز برازش داده شد تا با بهره‌گيری از ضريب آن‌ها ميزان تاثير متغيرهاي وارد شده در مدل بر روي متغير وابسته مشخص شود. در اين حالت كليه متغيرهاي وارد شده در مدل لحاظ شدند. البته پيش از برازش معادله های استاندارد، همخطي[۱] متغيرهاي مستقل بررسي و برطرف شد. بدين منظور متغيري كه عامل تورم واريانس (VIF)[۲] را بيش از ۵ واحد بالا برد، حذف شد (۲، ۱۰).

نتايج

آماره‌هاي توصيفي كليه متغيرها از برج ذخيره خميركاغذ CMP تا انتهاي خط از روي مجموعه‌هاي داده‌هاي ۱، ۲ و ۳ در جدول۱ نشان داده شده است.

۱- Collinearity

۲- Variance Inflation Factor

جدول ۱- آماره‌هاي توصيفي متغيرهاي فرايندي و مقاومت به تركيدن و پاره شدن كاغذ روزنامه مربوط به سال‌هاي ۱۳۸۴ و قسمتي از ۱۳۸۵

متغيرها	علامت اختصاري	واحد	كمينه	ميانگين	بيشينه	انحراف از معيار	ضريب تغييرها
pH خميركاغذ در برج ذخيرة CMP	pH (pulp in CMP tower)	-	۳/۷	۴/۶	۶/۸	۰/۲۹	۶
درصد خشكي خميركاغذ در برج ذخيرة CMP	Cons.	%	۶/۲	۱۰/۷	۱۵	۱/۱۳	۱۱
درجة رواني خميركاغذ در برج ذخيرة CMP	C.S.F.	ml	۳۱۰	۴۰۸	۵۰۴	۲۳/۹	۶
سديم كل در برج ذخيرة CMP	Total Na^+	gr/l	۰/۱۵	۰/۳۶	۰/۸۵	۰/۰۸	۲۲
درصد شايو خميركاغذ در برج ذخيرة CMP	Shive	%	۰/۰۱	۰/۰۷۶	۰/۶۲	۰/۰۹	۱۱۵
بازده خميركاغذ در برج ذخيرة CMP	Yield	%	۸۰/۶	۸۴/۷	۸۸/۹	۱/۱	۱
درصد ليف هاى باقي‌مانده بر روي مش ۲۸ دربرج ذخيرة CMP	Mesh28	%	۲/۱	۹/۵	۲۲/۱	۳/۳۵	۳۵
درصد ليف هاى باقي‌مانده بر روي مش ۴۸ دربرج ذخيرة CMP	Mesh48	%	۲۱/۵	۴۰	۵۰/۶	۴/۴۸	۱۱
درصد ليف هاى باقي‌مانده بر روي مش۱۰۰ دربرج ذخيرة CMP	Mesh100	%	۵/۳	۱۸/۸	۴۸/۹	۳/۹۲	۲۱
درصد نرمه‌هاي عبور يافته از مش۲۰۰ در برج ذخيرة CMP	Fine	%	۱۲/۵	۳۱/۸	۴۷/۳	۴/۲۶	۱۳
طول پاركي كاغذ دست ساز	Break.L. H. (hand sheet test)	km	۱/۴	۲/۴	۴/۵	۰/۳۴	۱۴
مقاومت به پارگي كاغذ دست ساز	Tear H.	mN	۱۳۱	۲۱۲	۳۲۰	۳۰/۳	۱۴
مقاومت به تركيدن كاغذ دست ساز	Burst H.	kPa	۳۵	۶۱	۲۰۰	۱۲/۱	۲۰
روشني كاغذ دست ساز	Bright. H.	%	۴۲/۵	۵۳/۱	۶۰/۲	۱/۳۵	۳
زردي كاغذ دست ساز	Yellow. H.	%	۲۳/۵	۲۸/۲	۳۷/۳	۱/۲۳	۴
ماتي كاغذ دست ساز	Opacity H.	%	۸۲	۹۰/۱	۹۴/۲	۱/۱۶	۱
درصد خشكي خميركاغذ در پالايشگر	Cons. CMP ref.	%	۳/۲	۴/۱	۴/۹	۰/۱۳	۳
درصد باز بودن شير پالايشگر CMP	Val. CMP ref.	%	۱۵	۲۵	۴۰	۲/۷۵	۱۱
دماي خميركاغذ CMP در پالايشگر	T. CMP ref.	ºC	۲۲	۳۸	۴۸	۵/۱۴	۱۴
بار پالايشگر براي خميركاغذ CMP	Load CMP ref.	kW/h	۱۸۰	۳۹۰	۶۲۵	۸۳/۸	۲۱
درصد خشكي خميركاغذ ليف‌هاى‌بلند درپالايشگر	Cons. BKP ref.	%	۳	۳/۹۹	۵/۱	۰/۳۷	۹

ادامه جدول ۱- آماره‌هاي توصيفي متغيرهاي فرايندي و مقاومت به تركيدن و پاره شدن كاغذ روزنامه مربوط به سال‌هاي ۱۳۸۴ و قسمتي از ۱۳۸۵

متغيرها	علامت اختصاري	واحد	كمينه	ميانگين	بيشينه	انحراف از معيار	ضريب تغييرها
بار پالايشگر براي خميركاغذ ليف بلند	load BKP ref.	kW/h	۰	۲۲۰	۴۴۰	۱۸۴	۸۴
درصد باز بودن شير پالايشگر خميركاغذ ليف بلند	Val. BKP ref.	%	۲۲	۲۸	۴۵	۲/۶۶	۱۰
دماي خميركاغذ ليف بلند درپالايشگر	T. BKP ref.	%	۲۴	۴۱	۴۹	۲/۳۳	۶
نسبت درصد خميركاغذ CMP	CMP ratio	%	۷۵	۸۱	۹۲	۱/۷۷	۲
نسبت درصد خميركاغذ ليف بلند	BKP ratio	%	۸	۱۹	۲۸	۱/۸۸	۱۰
نسبت درصد خميركاغذ برگشتي	Broke ratio	%	۰	۶۱	۱۱۴	۲۳	۳۸
نسبت درصد خاك رس	Clay ratio	%	۳	۲۱	۴۴	۵/۷	۲۷
نسبت درصد رنگ	Dye ratio	%	۰	۱/۴	۸/۷	۰/۸۳	۲۰
بازده كمك نگه‌دارنده	Ret. Aid	L/min	۰	۳	۷/۷	۱/۲۷	۴۲
درصد خشكي در مخزن مخلوط سازي	Blend cons.	%	۱/۲۵	۳/۵۵	۵/۳۴	۰/۶۴	۱۸
درصد خشكي در مخزن ماشين	Machine cons.	%	۳/۱۴	۴/۰۵	۷/۰۱	۰/۰۷	۲
درصد خشكي خميركاغذ برگشتي	Broke cons.	%	۳/۰۲	۳/۹۷	۴/۸	۰/۲۷	۷
درصد باز بودن شير خميركاغذ	Stock Valve	%	۲۰	۲۹	۳۳	۱/۲۹	۴
بازده فن‌پمپ	Fan p. ADD	L/min	۲۸۹۲	۶۶۰۰	۹۸۰۳	۵۷۷	۹
دور بر دقيقه فن‌پمپ يك	RPM f. p.1	r/min	۸۳۸	۱۰۸۱	۱۲۲۰	۴۳	۴
خروجي فن‌پمپ يك	Out. f. p.1	%	۵۶	۸۷	۹۸	۴	۵
فشار تميزكننده‌هاي گروه دوم	G2	bar	۰/۳۳	۰/۴۸	۰/۷۹	۰/۰۳	۶
فشار تميزكننده‌هاي گروه سوم	G3	bar	۰/۲	۰/۵۲	۰/۹۱	۰/۱۶	۳۱
فشار تميزكننده‌هاي گروه چهارم	G4	bar	-۰/۹	-۰/۷۴	۰/۹۷	۰/۱۶	-۲۲
دماي حباب زداينده	T. deculator	ºC	۳۰	۴۲	۴۶	۱/۹۳	۵
سطح خميركاغذ در حباب زداينده	L. deculator	mm	۴۲۵	۷۵۰	۹۱۲	۴۸	۶
اختلاف فشار در حباب زداينده	PD deculator	bar	۰/۴۸	۱/۰۶	۱/۸	۰/۱۰	۹

ادامه جدول ۱- آماره‌هاي توصيفي متغيرهاي فرايندي و مقاومت به تركيدن و پاره شدن كاغذ روزنامه مربوط به سال‌هاي ۱۳۸۴ و قسمتي از ۱۳۸۵

متغيرها	علامت اختصاري	واحد	كمينه	ميانگين	بيشينه	انحراف از معيار	ضريب تغييرات
مكش در حباب زداينده	Vac. deculator	mbar	۴۴	۹۷	۳۳۵	۲۱	۲۲
دور بر دقيقه فن‌پمپ دو	RPM f. p. 2	r/min	۳۹۷	۸۴۶	۱۰۴۳	۷۲	۹
خروجي فن‌پمپ دو	Out. f. p. 2	%	۴۳	۷۵	۹۷	۶/۷۲	۹
pH غربال	pH screen	-	۳/۸	۷/۳	۱۰	۰/۴۶	۶
اختلاف فشار غربال يك	No.1 PD screen	bar	۰	۰/۰۹	۰/۲	۰/۰۳	۳۳
دور بر دقيقه سيوآل	RPM sa.	r/min	۵۰۱	۵۵۷	۵۹۹	۸/۸۵	۲
درصد بازبودن شير مخزن آب سفيد	W.W. ch. Valve	%	۱۲	۱۶/۴	۱۹	۰/۷۴	۵
شدت آبگيري سيوآل	Saveall d.r.	%	۳۳	۴۱	۱۱۰	۴/۷	۱۱
بازده خميركاغذ سيوآل	Stock sa.	L/min	۱۶۰۲	۲۰۹۴	۲۷۷۲	۱۱۰	۵
بازده آب سفيد سيوآل	W.W. sa.	L/min	۲۴۵۵	۲۴۰۱۴	۲۹۹۸۰	۵۷/۲۴	۱۰
درصد خشكي خميركاغذ بازيافتي سيوآل	Recovery co. sa.	%	۱/۸	۳/۴۸	۵/۶۵	۰/۳۲	۹
درصد خشكي خميركاغذ پيش از پالايشگر	Pre. Ref. Cons.	%	۲/۸	۴	۴/۵	۰/۱۵	۴
درجه رواني خميركاغذ پيش از پالايشگر	Pre Ref. CSF	ml	۲۷۰	۳۶۸	۵۲۰	۲۵	۷
درصد خشكي خميركاغذ پس از پالايشگر	After Ref. Cons.	%	۲/۸	۴	۴/۷	۰/۱۶	۴
درجه رواني خميركاغذ پس از پالايشگر	After Ref. CSF	ml	۲۳۰	۳۱۹	۴۴۰	۲۳	۷
درصد خشكي خميركاغذ در لول باكس	Level B. Cons.	%	۳/۲	۳/۹	۴/۳	۰/۱۱	۳
درجه رواني خميركاغذ در لول باكس	Level B. CSF	ml	۱۷۰	۲۲۷	۳۷۰	۱۷/۶	۸
pH خميركاغذ در جعبه تغذيه	Head. pH	-	۷	۷/۵	۸/۸	۰/۱۲	۲
درصد خشكي خميركاغذ در جعبه تغذيه	Head . Cons.	%	۰/۶۹	۰/۹۹	۱/۶	۰/۰۷	۷
درجه رواني خميركاغذ در جعبه تغذيه	Head. CSF	ml	۵۰	۷۹	۱۹۰	۱۱/۶	۱۵
درصد خشكي آب سفيد	W.W Cons.	%	۰/۲	۰/۴۲	۰/۶۵	۰/۰۵	۱۲
درصد ليف‌هاى نگهداري شده در اولين گذر	First pass ret.	%	۳۵	۵۷	۷۲	۳/۹	۷

ادامه جدول ۱- آماره‌هاي توصيفي متغيرهاي فرايندي و مقاومت به تركيدن و پاره شدن كاغذ روزنامه مربوط به سال‌هاي ۱۳۸۴ و قسمتي از ۱۳۸۵

متغيرها	علامت اختصاري	واحد	كمينه	ميانگين	بيشينه	انحراف از معيار	ضريب تغييرها
درصد خشكي خميركاغذ ليف بلند	Long Fi. Cons.	%	۱/۸	۳/۷	۴/۵	۰/۲۶	۷
درجه رواني خميركاغذ ليف بلند	Long Fi. CSF	ml	۲۶۰	۴۹۸	۶۳۰	۲۱/۴	۴
فشار هوا در جعبه تغذيه	Air P. H.	bar	۰/۵۸	۰/۸۴	۰/۹۸	۰/۰۵	۶
ارتفاع خميركاغذ در جعبه تغذيه	Head. level	mm	۳۴۸	۶۹۶	۸۳۷	۷۱	۱۰
ميزان باز بودن دهانة جعبه تغذيه	Slice Open H.	mm	۹/۹۹	۱۱/۴۳	۱۳/۷۷	۱	۹
سرعت توري ماشين كاغذ	Speed Wire	m/min	۵۵۰	۷۲۴	۷۹۵	۳۷/۵	۵
نسبت سرعت جت به توري	Rush/Drug	m/min	-۸	-۲/۴۹	۳/۱	۳/۸۷	۱۵۵
مقاومت به تركيدن كاغذ روزنامه	Burst	kPa	۶۵	۱۰۲	۱۶۵	۱۴/۱	۱۴
مقاومت به پارگي در جهت ماشين كاغذ	Tear MD	mN	۱۶۸	۲۱۹	۳۷۹	۲۰/۳	۹
مقاومت به پارگي در جهت عمود بر ماشين كاغذ	Tear CD	mN	۱۹۷	۳۰۴	۴۸۲	۲۴/۳	۸

مقاومت به تركيدگي كاغذ روزنامه

همبسته ترين متغيرهاي فرايندي با مقاومت به تركيدگي كاغذ روزنامه با بهره‌گيری از مجموعه داده‌هاي ۱، ۲ و ۳ تعيين شد كه نتايج آن در جدول ۲ و ماتريس پراكنش نقطه های آن‌ها در شكل ۱ ديده مي‌شود. همچنين شمار معدودي از متغيرها روابط غير خطي ضعيف نشان دادند و تنها متغير G3 رابطة غير خطي مناسب با مقاومت به تركيدن كاغذ روزنامه داشت.

جدول۲- همبسته‌ترين متغيرهاي فرايندي مؤثر بر مقاومت به تركيدگي كاغذ روزنامه

متغيرها	ضريب همبستگي	متغيرها	ضريب همبستگي
درصد ليف‌های باقي‌مانده بر روي الك با مش ۴۸	۰/۵۵	بازده خميركاغذ سيوآل	-۰/۴۳
مقاومت به پارگي كاغذ دست ساز	۰/۵۱	بازده كمك نگه‌دارنده	-۰/۳۸
مقاومت به تركيدن كاغذ دست ساز	۰./۴۸	دور بر دقيقه فن‌پمپ دو	-۰/۳۸
طول پاركي كاغذ دست ساز	۰/۴۲	درصد خشكي خميركاغذ پيش از پالايشگر	-۰/۳۵
ماتي كاغذ دست ساز	-۰/۴۱	درصد خشكي خميركاغذ پس از پالايشگر	-۰/۳۴
درصد خشكي خميركاغذ در برج ذخيرة CMP	۰/۴۰	نسبت سرعت جت به توري	-۰/۵۹
درصد نرمه‌هاي ليف‌های عبور يافته از مش۲۰۰	-۰/۴۰	ميزان باز بودن دهانة جعبه تغذيه	-۰/۴۶
فشار تميزكننده‌هاي گروه سوم	-۰/۶۱	ارتفاع خميركاغذ در جعبه تغذيه	-۰/۳۲
خروجي فن‌پمپ دو	-۰/۵۱	فشار هوا در جعبه تغذيه	-۰/۳۱
شدت آبگيري سيوآل	-۰/۴۵		

مدل ۱ معادله رگرسيوني براي پيش‌بيني مقاومت به تركيدگي از روي متغيرهاي برج ذخيره CMP و مدل ۲ معادله رگرسيوني استاندارد شده از روي متغيرهاي برج ذخيره CMP براي بررسي ضريب ها و مقايسه تاثير متغيرها بر مقاومت به تركيدگي مي‌باشد. با توجه به جدول ۲ ليف‌های باقي‌مانده بر روي الك با مش ۴۸ تاثير زيادي بر مقاومت به تركيدگي كاغذ روزنامه دارد. با توجه به شكل ۱ اين متغير با مقاومت به پارگي و تركيدگي كاغذ دست‌ساز تهيه شده از خميركاغذ CMP نيز همبستگي مثبتي را نشان مي‌دهد. درصد ليف‌های باقي‌مانده بر روي الك با مش ۴۸ وابسته به نوع گونه استفاده شده و عمليات خميرسازي است. براي كنترل اين عامل و در نتيجه ويژگي‌هاي كاغذ دست‌ساز تهيه شده از خميركاغذ CMP كه در معادله‌های ۱و۲ هم آمده‌اند، متغيرهاي از برج ذخيره خميركاغذ CMP بايستي بررسي شوند.

مدل (۱)

$$Burst = 173.810 + 0.961\ Mesh48 + 0.320\ Burst\ H. + 2.152\ Cons. - 1.688\ Opacity\ H.$$

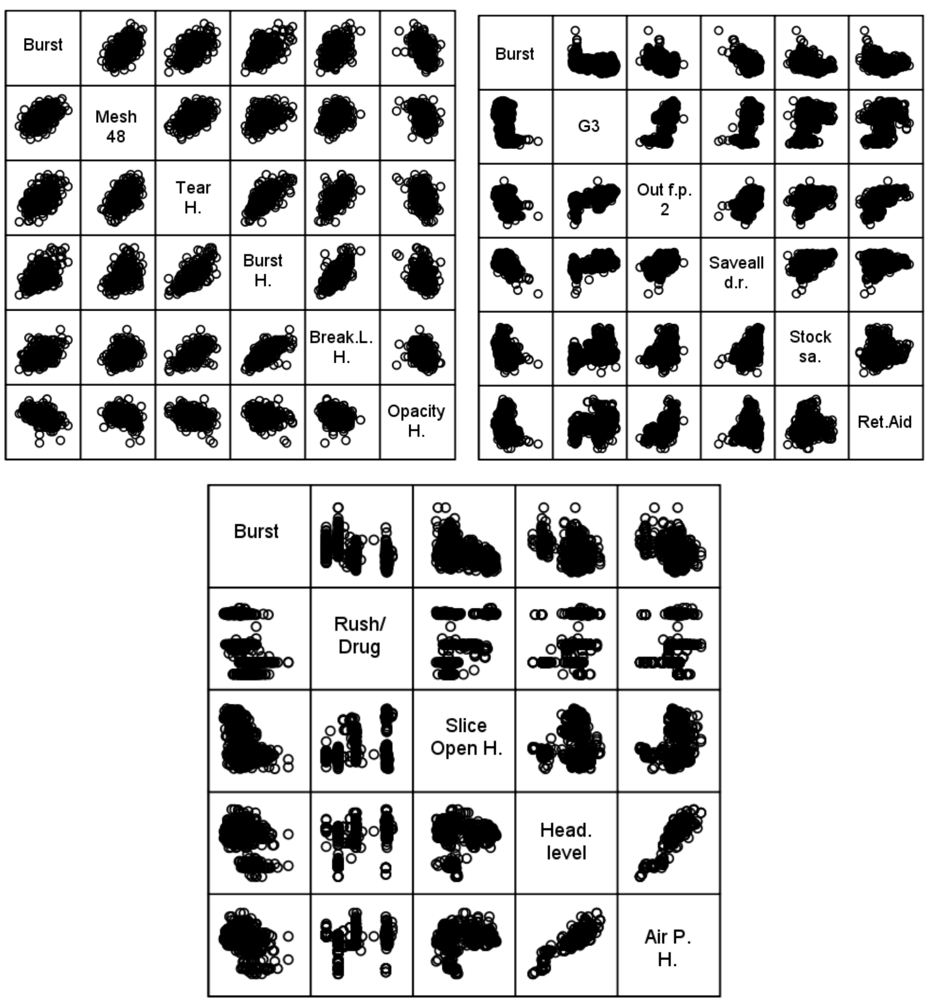
$R^2 = 0.475$ Adjusted $R^2 = 0.47$

مدل (۲)

$$Burst = .241\ Mesh48 + .212\ Burst\ H. + .187\ Cons. - .180\ Opacity\ H. + .126\ Mesh100 - .100\ pH - .089\ Yield + .137\ Tear\ H. - .083\ TotalNA^+$$

$R^2 = 0.52$ Adjusted $R^2 = 0.50$

مدل ۳ معادله رگرسيوني براي پيش‌بيني مقاومت به تركيدگي از روي متغيرهاي تهيه خميركاغذ و مدل ۴ معادله رگرسيوني استاندارد شده آن است. همان‌گونه كه در شكل ۱ ديده مي‌شود فشار تميزكننده‌هاي گروه سوم (G3) رابطة غير خطي با مقاومت به تركيدن كاغذ روزنامه نشان مي‌دهد و معادلة رگرسيوني درجه ۲ آن با ضريب تبيين ۰/۴۲ برازش داده شده است (مدل ۵) در حالي كه ضريب تبيين بهترين خط برازش داده شده بر آن ۰/۳۸ و ضريب همبستگي خطي ۰/۶۱- محاسبه شده است. فشار خمير در تميزكننده‌هاي گروه ۳ وابسته به ميزان باز بودن شير فن‌پمپ۱ و ميزان خميركاغذ پس زده شده از G1 و G2 مي‌باشد. متغير G3 خود تحت تاثير متغيرهاي ديگري است كه در معادله استاندارد ۶ با ضريب تبيين مناسب (۰/۸۶) بيان شده‌اند اما خود به‌عنوان مناسب‌ترين شاخص براي تاثير غير مستقيم بر روي مقاومت به تركيدگي مي‌باشد. همچنين به‌دليل پيچيدگي كنترل G3 معادله ۷ بدون لحاظ كردن اين متغير براي پيش‌بيني مقاومت به تركيدن كاغذ روزنامه برازش داده شده است. ديگر متغيرهاي مؤثر بر مقاومت به تركيدن با توجه به معادله ۴ و جدول ۲ با تاثير معكوس به ترتيب خروجي پمپ باد۲، شدت آبگيري سيوآل و درصد خاك رس مي‌باشد و pH غربال‌هاي عمودي پيش از جعبه تغذيه تاثير مثبت بر مقاومت به تركيدن دارد.



شكل ۱- ماتريس پراكنش نقاط همبسته‌ترين متغيرهاي فرايندي با مقاومت به تركيدن كاغذروزنامه

مدل (۳)

Burst= 135.515 -188.566 G3 -0.393 Clay + 147.622 $G3^2$ + 3.954 Cons.BKP ref. + 41.466 pHScreen -1.167 Out.f.p.2 + 1.987 StokValve

R^2= 0.60   Adjusted R^2 = 0.59

مدل (۴)

Burst= -0.553 G3 -0.241 Clay -0.156 Stok sa. + 0.082 Cons.BKP ref.+ 0.379 pH Screen -.491 Out.f.p.2 -.102 T.BKP ref. -.171 RPM sa. + 0.086 load CMP ref.

R^2= 0.60   Adjusted R^2 = 0.59

مدل (۵)

Burst = 168.9 – 221 G3 + 163 $G3^2$

R^2= 0.42   Adjusted R^2 = 0.419

مدل (۶)

G3= 0.191 LoadBKPref. + 0.425 Outf.p.2 -0.160 WWch.Valve -0.247 T.deculator -0.234 RPM sa. -0.119 Val. BKP ref. -0.164 StokValve 0.108 Saveall d.r.

R^2= 0.865   Adjusted R^2 = 0.864

مدل (۷)

Burst = 12.700 + 0.206 Out.f.p.2 + 5.623 pH Screen + 0.380 StokValve + 0.054 Saveall d.r. + 0.079 Stock sa. + 0.064 Clay + 0.020 RPM f.p.2 + 0.480 WWch.Valve + 0.399 Ret.Aid + 0.863 pH Screen + 0.015 Brok ratio

R^2= 0.60   Adjusted R^2 = 0.59

مدل ۸ معادله رگرسيوني براي پيش‌بيني مقاومت به تركيدگي از روي متغيرهاي پايانه تر و مدل ۹ معادله استاندارد شده آن مي‌باشد. با توجه به معادلة ۹ نسبت سرعت جت به توري، ميزان باز بودن دهانة جعبه تغذيه و فشار جعبه تغذيه به‌ترتيب بيشترين تأثير معكوس را بر مقاومت به تركيدن كاغذ روزنامه گذاشته‌اند.

مدل (۸ و ۹)

Burst = 181.8 -1.69 Rush/Drug -3.49 SliceOpenH. -51.683 AirP.H.

Burst = -0.475 Rush/Drug - 0.259 SliceOpenH. - 0.206 AirP.H.

R^2= 0.461 Adjusted R^2 = 0.459

معادله‌هاى ۱۰ و ۱۱ از روي مجموعه داده‌هاي شماره ۴ كه در بر گيرنده كليه ۷۲ متغير فرايندي است، تهيه شده است و به ترتيب مدل رگرسيوني براي پيش‌بيني مقاومت به تركيدن و مدل استاندارد شده آن براي بررسي ضريب‌ها مي‌باشد. معادله رگرسيوني ۱۱ تبيين كننده بيشترين واريانس مقاومت به تركيدن است كه ميزان ضريب ها متغيرهاي مستقل آن بيانگر اهميت آن متغيرها در كنترل اين ويژگي كاغذ روزنامه مي‌باشد. اختلاف ۴ درصدي بين ضريب تبيين معمولي و تعديل شده به دليل شمار كم مشاهده‌ها در مجموعه داده‌هاي ۴ است.

مدل (۱۰)

Burst= 400.396 -0.724 Fine -3.686 pH Screen -0.048 loadCMPref. -0.585 Rush/Drug -0.064 Long.Fi.CSF -0.075 AfterRef.CSF -17.206 LevelB.Cons. -0.373 Saveall d.r. -3.256 SliceOpen.H. -36.191 Head.Cons.

R^2= 0.75   Adjusted R^2 = 0.71

مدل (۱۱)

Burst= -0.254 Fine -0.200 pH Screen -0.324 loadCMPref. -0.195 Rush/Drug -0.151 Long.Fi.CSF-0.157 AfterRef.CSF -0.173 LevelB.Cons. -0.200 Saveall d.r. -0.287 SliceOpen.H. -0.190 Head.Cons.

R^2= 0.75   Adjusted R^2 = 0.71

مقاومت به پارگي كاغذ روزنامه

رابطه خطي بين متغيرهاي فرايندي و مقاومت به پارگي در جهت ماشين كاغذ و عمود بر آن با بهره گيری از مجموعه داده‌هاي ۱، ۲ و ۳ و محاسبة ضريب همبستگي تعيين شد كه نتايج آن در جدول های ۳ و ۴ آورده شده است. هيچ‌يك از متغيرهاي فرايندي رابطة غير خطي مناسب با مقاومت به پارگي كاغذ روزنامه نشان ندادند.

جدول۳- همبستگي ميان متغيرهاي فرايندي مؤثر بر مقاومت به پارگي كاغذ روزنامه در جهت ماشين‌كاغذ

متغيرها	ضريب همبستگي	متغيرها	ضريب همبستگي
بازده كمك نگه‌دارنده	-۰/۳۶	درصد خشكي درمخزن مخلوط‌سازي	۰/۳۰
شدت آبگيري سيوآل	-۰/۳۳	pH خميركاغذ در برج ذخيرة CMP	۰/۲۵
نسبت درصد خاك رس	-۰/۳۱		

جدول۴- همبستگي ميان متغيرهاي فرايندي مؤثر بر مقاومت به پارگي كاغذ روزنامه در جهت عمود بر ماشين‌كاغذ

متغيرها	ضريب همبستگي	متغيرها	ضريب همبستگي
شدت آبگيري سيوآل	-۰/۴۲	دماي خميركاغذ CMP در پالايشگر	۰/۲۵
بازده كمك نگه‌دارنده	-۰/۳۶	درصد خشكي خميركاغذ بازيافتي سيوآل	-۰/۲۵
درصد خشكي درمخزن مخلوط‌سازي	۰/۲۷	نسبت درصد خاك رس	-۰/۲۴
خروجي فن‌پمپ دو	-۰/۲۶		

مدل‌هاي ۱۲ و ۱۳ معادله های رگرسيوني استاندارد شده براي پيش‌بيني و بررسي ضريب‌های متغيرهاي تاثيرگذار بر مقاومت به پارگي كاغذ روزنامه در جهت ماشين كاغذ از روي مجموعه داده‌هاي ۲ و ۴ به ترتيب مي‌باشد. مدل‌هاي ۱۴ و ۱۵ نيز مربوط به معادله های همانند براي مقاومت به پارگي در جهت عمود بر ماشين كاغذ است. به‌طور كلي متغيرهاي فرايندي همبستگي كمي را با مقاومت به پارگي نشان داده‌اند و با توجه به جدول ۳ و ۴ و معادله های ۱۲ تا

۱۵ ، بازده كمك نگه‌دارنده، شدت آبگيري سيوآل، بازده خميركاغذ سيوآل، درصد خاك رس، فشار جعبه تغذيه و مقاومت به تركيدن كاغذ دست‌ساز تاثير معكوس زيادتري بر مقاومت به پاره‌شدن كاغذ روزنامه داشتند. كنترل در مقاومت به پاره‌شدن كاغذ روزنامه در كارخانه چوب و كاغذ مازندران مي‌تواند با اين متغيرها و معادله های ارائه شده صورت بگيرد.

مدل (۱۲)

Tear MD = -0.126 Ret.Aid -0.519 Saveall d.r. + 0.326 Cons.CMPref. -0.310 Clay -0.213 RecoveryCon.Sa. -0.129 Broke

$R^2 = 0.46$ Adjusted $R^2 = 0.45$

مدل (۱۳)

Tear MD= -0.363 AirPre.H. -0.365 burst + 0.291 StokValve + 0.306 totalNA$^+$ -0.743 Ret.Aid -0.228 W.W. sa. + 0.383 SliceOpenH. -0.247 Fine + 0.152 Head. pH

$R^2 = 0.63$ Adjusted $R^2 = 0.59$

مدل (۱۴)

Tear CD= -0.491 Saveall d.r. -0.343 Recovery co. sa. -0.389 Clay + 0.158 BlendCons. -0.104 Stok sa. -0.081 Broke ratio

$R^2 = 0.45$ Adjusted $R^2 = 0.44$

مدل (۱۵)

Tear CD= -.478 Saveall d.r. -.342 Recovery co. sa. -.346 Clay + .159 BlendCons. -.096 Stok sa. -.126 Broke ratio + .151 pH Screen -.128 Dye ratio + .138 T.deculator

$R^2 = .472$ Adjusted $R^2 = .467$

بحث

آزمون تركيدن به عنوان شاخص كلي و ساده از ميزان مقاومت و استحكام كاغذ كاربرد دارد. برخي از عامل های مشخص افزايش دهنده اين ويژگي عبارت اند از ميزان پالايش، ميزان فشار در پرس تر، درصد ليف های بلند و جرم پايه كه بيشتر موجب بهبود اتصال های ليف های در كاغذ مي‌شود (۱۲). متغيرهاي بيشمار فرايندي بيشتر به‌صورت مستقيم يا غير مستقيم بر روي اين ويژگي تاثير مي‌گذارد. اما برخي از آن‌ها در كارخانه چوب و كاغذ مازندران به خوبي كنترل شده و با ديدن واريانس و دامنه كم آن‌ها در جدول شماره۱ متوجه مي‌شويم كه چرا همبستگي زيادي با مقاومت به تركيدگي ندارند يا اين‌كه در مدل‌ها وارد نشده‌اند. به‌طور كلي تاثيرگذارترين متغيرها بر روي مقاومت به تركيدگي در كارخانه چوب و كاغذ مازندران در دامنه اعداد درج شده در جدول ۱ در بخش برج ذخيرة خميركاغذ CMP عبارت‌اند از: درصد ليف‌هاي باقي مانده بر روي الك با مش۴۸، مقاومت به پارگي، تركيدگي و درصد افزايش طول كاغذهاي دست‌ساز و ميزان نرمه كه همگي بجز نرمه تأثير مثبت داشتند. كنترل اين متغيرها بايد از روي متغيرهاي پيش از برج ذخيرة خميركاغذ CMP صورت بگيرد. متغيرهاي تهية خميركاغذ و پايانة تر مؤثر بر مقاومت به تركيدن كاغذ روزنامه عبارت اند از: فشار خميركاغذ در تميزكننده‌هاي گروه سوم (G3)، نسبت سرعت جت به توري، خروجي پمپ باد۲، ميزان باز

بودن دهانه خروجي جعبه تغذيه و شدت آبگيري سيوآل كه همگي تأثير منفي داشتند و بجز متغير G3 ديگر متغيرها اجرايي بوده و به سادگي قابل كنترل هستند. فشار خمير در تميزكننده‌هاي گروه ۳ وابسته به ميزان باز بودن شير فن‌پمپ۱ و ميزان خميركاغذ پس زده شده از G1 و G2 مي‌باشد. متغير G3 تنها متغيري بود كه رابطة غير خطي با مقاومت به تركيدن كاغذ روزنامه نشان داد. مؤثرترين متغيرهاي تأثيرگذار بر G3 برابر مدل ۶ عبارت‌اند از: خروجي پمپ باد۲ و بار پالايشگر خميركاغذ ليف بلند با تأثير مثبت و دماي حباب زداينده و دور بر دقيقة سيوآل با تأثير معكوس. به‌طور كلي متغيرهايي كه بر كيفيت پيوند ليف ها تأثير مثبت دارند، مقاومت به تركيدن كاغذ را افزايش مي‌دهند با اين وجود رابطه های متقابل و پيچيدة بين متغيرها و وجود رفتار بي‌ثبات برخي از آن‌ها و همچنين حرکتی بودن فرايند، كار شناسايي و تحليل را مشكل مي‌سازد (۳).

مقاومت به پارگي كاغذ تحت تاثير مقاومت ذاتي ليف ها، طول ليف‌ها و اتصال های بين آن‌هاست. در صورت مناسب بودن اتصال های بين ليف‌ها مقاومت به پارگي بيشتر تحت تاثير مقاومت تك تك ليف‌ها و در صورت وجود اتصال های ضعيف مقاومت به پارگي تحت تاثير طول ليف‌ها خواهد بود (۱۲). به احتمال با توجه به مناسب بودن اتصال ليف های كاغذ روزنامه و همچنين تغييرهای زياد تركيب گونه مورد بهره گيری در توليد كاغذ در كارخانه و تاثير ويژگي‌هاي ذاتي ليف ها بر مقاومت به پارگي، همبستگي زيادي بين متغيرهاي فرايندي پس از برج ذخيره CMP و اين ويژگي پيدا نشده است. از اين رو يكي ديگر از عامل های محتمل در پايين بودن ضريب تبيين معادله ها براي پيش‌بيني مقاومت به پارگي كاغذ روزنامه متغيرهاي فرايندي بيشماری است كه پيش از برج ذخيرة خميركاغذ CMP وجود دارد و در اين بررسی بررسي نشده است. متغيرهاي به نسبت همبسته و وارد شده در مدل با مقاومت به پارگي عبارت‌اند از: بازده كمك نگه‌دارنده، شدت آبگيري سيوآل و درصد خاك رس. اين متغيرها تأثير منفي بر مقاومت به پارگي دارند كه دليل آن مي‌تواند زياد شدن ذرات ريز پركننده‌ها و نرمه‌ها و كم شدن سهم ليف‌های سالم و بلند باشد. همچنين براي كنترل بهتر اين ويژگي مقاومتي كاغذ، بررسي متغيرهاي پيش از برج ذخيرة خميركاغذ CMP مفيد خواهد بود.

منابع

۱- حاتم، ابوذر، ۱۳۸۳. تهية مدل‌هاي آماري فرايند رنگبري با پراكسيدهيدروژن براي پيش‌بيني ويژگي‌هاي نوري و مقـاومتي خمير CMP رنگبري شده، پايان نامه كارشناسي ارشد، گروه علوم و صنايع چوب و كاغذ، دانشگاه تهران.

۲- رضائي، عبدلمجيد، افشين سلطاني، ۱۳۷۷. مقدمه اي بر تحليل رگرسيون كاربردي، انتشارات مركز نشر دانـشگاه صـنعتي اصفهان.

3- Grage, H., 2004. A statistical analysis of data from the production line at the Munksund paper mill, Technical report, Lund Institute of technology.

4- Gyaneshwar, M., D. Hart & W. E. Scott, 2000. The development of mathematical models for predicting sizing, strength, and opacity on the Miami University Pilot Paper Machine, Tappi Papermakers Conference and Trade Fair, 413-442.

5- liffe, I. T., 2002. Principal Component Analysis, Springer, New York, 2nd edition.

6- Jones, G. L., 1993. Modeling a corrugating-medium paper machine for improved edgewise compressive strength, Tappi Journal Vol. 76, No. 7, 122-128.

7- Lawley, D. N. & A. E. Maxwell, 1971. Factor analysis as a statistical method, Butterworths, London.

8- Mercangoz M. & F. J. Doyle, 2006. Model-Based Control in the Pulp and Paper Industry, IEEE CONTROL SYSTEM MAGAZINE, August, 30-39.

9- Nordstrom, F., T. Lindstrom & J. Holst, 2005. Statistical models for on-line monitoring quality properties, Technical report, Lund Institute of technology.

10- Paulson, D.S., 2007. Handbook of Regression and Modeling, Chapman & Hall/CRC, Taylor & Francis Group, neNew York.

11- Schweiger, C. A. & J. B. Rudd, 1994. Prediction and control of paper machine using adaptive technologies in process modeling, Tappi Journal Vol. 77, No. 11, 201-208.

12- Scott, W. E., J. C. Abbott & S. Trosset, 1995. Properties of Paper: An Introduction, 2nd Ed., TAPPI Press.

13- VieiraKlabin, O., EL. Lima & M. Gerhard., 2003. Prediction of paperboard properties with virtual on-line, Solutions, Tappi on-line paper, Universidade Estadual de Maringa, Brazil.

14- Winchell, P., 2006. Using multivariate data analysis for process trouble shooting, Pan Pacific Conference, 191-195.

15- Zhang, H., A.F. Nitzman & T. Royappa, 2004. Statistical modeling and sizing determination guides for dispersed rosin sizes, Solutions, Tappi Journal, Sep., Vol. 3(9).

Development of statistical models for predicting burst and tear strengths of newsprint in MWPI

M. H. Moradian[*1], Gh. Ebrahimi[2], H. Resalati[3] and A. Dourado[4]
[1] Ph.D. student, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, I. R. Iran
[2] Professor, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, I. R. Iran
[3] Associate Prof, Gorgan University of Agriculture and Natural Resources, I. R. Iran
[4] Professor, Coimbra University, Portugal
(Received: 16 December 2007, Accepted: 24 June 2008)

Abstract
Paper production lines have got many process variables and wide variety of operations. The overall objective in pulp and paper mills is to meet the specified quality and production targets while minimizing operation costs. Today in order to accurate, cheap and fast control of production lines, different kinds of models are being developed. Using real data of CMP tower, stock preparation, and paper machine wet-end variables of MWPI (Mazandaran Wood and Paper Industries) recorded during 2005 and part of 2006, four data set containing 72 process variables corresponding to the newsprint burst and tear strengths were prepared. The most influential variables and statistical predictive models for newsprint burst and tear strengths were generated using correlation and multiple regression. Several suitable models were developed to predict and control newsprint burst strength. The most influential variables to the burst strength were the amount of fibers remained on the 48mesh screens, stock pressure in the third group cleaners, output of second fan pump, save-all drainage rate, rush and drug ratio and head box slice opening degree. Process variables showed low correlation to the tear strength and few models were developed. Flow of retention aids, save-all drainage rate and clay ratio were the most effective variables to the newsprint tear strength.

Keywords: Pulp, Statistical models, Tear strength, Burst strength, Newsprint, Correlation, Multiple regression

* Corresponding author: Tel: +98 912 2243699 , Fax: +98 261 2249311 E-mail: moradian_h@yahoo.com