

بررسی تأثیر متغیرهای فرایند کاغذسازی بر دانسیته ظاهری کاغذ بازیافتی از کارتن کهنه

امید رضانی^۱، احمد جهان لیبیاری^۲، مهدی فائزی پور^۳، علی اکبر عنایتی^۳ و سید مهدی منظورالاجداد^۴

۱- دانشجوی دکترا علوم و صنایع چوب و کاغذ دانشگاه تهران، دانشکده منابع طبیعی، گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ

۲- عضو هیئت علمی دانشگاه آزاد اسلامی، دانشکده کشاورزی کرج

۳- عضو هیئت علمی دانشگاه تهران، دانشکده منابع طبیعی، گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ

۴- مدیر واحد تحقیق و توسعه، کارخانه چوب و کاغذ ایران (چوکا)

چکیده

دانسیته ظاهری، مهمترین ویژگی فیزیکی کاغذ است که بطور مستقیم یا غیرمستقیم بسیاری از ویژگیهای مهم کاغذ مانند مقاومت در برابر کشش، مدول الاستیسیته، ضریب پخش نور و سطح نسبی پیوند بین الیاف را تحت تأثیر قرار می دهد. از آنجائی که متغیرهای فرایند تولید کاغذ بر تغییرات دانسیته ظاهری اثر می گذارند در این بررسی تأثیر درجه روانی خمیر کاغذ OCC^۱ و شرایط خشک کردن مورد مطالعه قرار گرفته است. در این تحقیق تأثیر سه درجه روانی ۳۵۰، ۴۵۰ و ۵۵۰ میلی لیتر استاندارد کانادایی، شرایط متفاوت خشک کردن (آزاد و مهار شده)، دما (۲۰۰، ۱۵۰، ۱۰۰ درجه سانتیگراد) و فشار (۱۰ و ۷۰ کیلوگرم بر سانتیمتر مربع) بررسی شدند. نتایج حاصل از اندازه گیری دانسیته ظاهری بوسیله نرم افزار Minitab 15 تجزیه و تحلیل شده و مدل رگرسیون ترکیب شرایط متغیرهای مستقل محاسبه شده است. بررسی نتایج بدست آمده از نمودار اثرات اصلی نشان داد که هر دو عامل درجه روانی و دما به میزان قابل توجهی موجب افزایش دانسیته ظاهری بوسیله نرم افزار Minitab 15 تجزیه و تحلیل شده و مدل رگرسیون ترکیب شرایط متغیرهای مستقل محاسبه شده است. اعمال فشار پرس بیشتر موجب بیشتر شدن دانسیته ظاهری شد. اثر متقابل متغیرها نیز مورد مطالعه قرار گرفت. نمودار اثر متقابل درجه روانی و دما، تأثیر نرم شدن حرارتی لیگنین و بروز پدیده تخریب لایه ای را نشان داد. هر چند، افزایش فشار خشک کردن در خمیرهای پالایش نشده یا کم پالایش شده (درجه روانی های بالاتر یا مساوی ۵۵۰) تأثیر معنی داری بر دانسیته ظاهری کاغذ باقی نمی گذارد. همچنین در شرایط خشک کردن آزاد تأثیر درجه روانی بر دانسیته ظاهری بیشتر از خشک کردن تحت مهار مکانیکی است. با توجه به نتایج بدست آمده و تأثیر دانسیته ظاهری بر خصوصیات مقاومتی کاغذ می توان کاغدهایی با کیفیت مطلوب تر تولید نمود.

واژه های کلیدی: دانسیته ظاهری، درجه روانی، دمای خشک کردن، فشار خشک کردن، مقاومت در برابر کشش، خشک کردن تحت مهار مکانیکی.

مقدمه

براستحکام ورقه باقی می گذارد. در این مرحله، تمامی مراحل قبلی متراکم سازی و تقویت ورقه کاغذ تکمیل و تثبیت شده و شکل جدیدی از مستحکم سازی بوجود می آید، به طوری که بوسیله ایجاد پیوندهای قوی هیدروژنی بین اجزاء ساختار ورقه، شبکه کاغذ از یک توده ضعیف و گسستنی الیاف به ورقه کاغذی محکم و قابل استفاده تبدیل می شود. به علاوه این مرحله شکل جدیدی از فشرده سازی را ایجاد می کند که اگرچه در

فرایند تولید کاغذ شامل اجزا و متغیرهای مختلفی است و هر یک به نحوی بر تغییر خصوصیات فیزیکی کاغذ تأثیر می گذارند. در بین آنها قسمت خشک کن از اهمیت ویژه ای برخوردار است [۱]. با وجودی که میزان رطوبت حذف شده در این قسمت در مقایسه با سایر قسمت های ماشین کاغذ اندک است، اما حذف این جزء پایانی در مقایسه با مراحل پیشین تأثیر قابل توجه تری

[۸-۹] تغییرات مدول الاستیسیته را با دانسیته به ترتیب در دو شرایط تغییر پالایش و تغییر پرس تر همراه با متغیرهای گونه چوبی و نوع خمیرکاغذ مورد بررسی قرار دادند. طبق نتایج تاجیما [۶] بر اثر تغییر درجه پالایش، آستانه دانسیته از ۲۰۰ تا ۴۰۰ کیلوگرم بر مترمکعب تغییر می‌یابد که به نوع خمیرکاغذ و سطح ثابت پرس تر بستگی دارد. نامبرده نشان داد که شیب مدول الاستیسیته مستقل از نوع خمیرکاغذ، گونه چوبی و همچنین اختلاف بین چوب آغاز و چوب پایان می‌باشد. لونر [۸] نیز دریافت که تنها در خمیرکاغذهایی که به میزان اندکی پالایش شده‌اند دانسیته با تغییر پرس تر تغییر می‌کند. در حالت حداقل دانسیته (۲۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب) رابطه مستقل از نوع خمیرکاغذ می‌باشد. سس [۱۰] و کیمورا [۱۱] در پژوهشی تکمیلی به ترتیب تغییرات مدول الاستیسیته را با دانسیته در دو شرایط پرس تر و پالایش در طول الیاف متفاوت مورد بررسی قرار دادند و همبستگی کامل روابط بین آنها را مشاهده نمودند. آنها دریافتند که اعمال پرس تر بر روی خمیرکاغذهای دارای الیاف بلند (در حدود ۲/۷۰ میلیمتر) تأثیر کمتری بر دانسیته می‌گذارد. نوردمن [۱۲] در آزمایشهای خود مشاهده نمود که دانسیته و زمختی کاغذ با بالا رفتن دما افزایش می‌یابد. لوری [۱۳] افزایش قابل توجه مقادیر متوسط دانسیته را در خشک کردن لحظه‌ای گزارش نمود. در گزارش نامبرده متوسط دانسیته کاغذ روزنامه فقط در یک لبه فشار ۵۰ درصد افزایش یافت. تالجا [۱۴، ۱۵] در دو پژوهش مجزا در نتایج خود تأکید کرد که افزایش دما در مرحله پرس منجر به بالا رفتن دانسیته کاغذ و افت درجه روشنی آن می‌شود. سونبرگ [۱۶] تأثیر افزودن خمیرکاغذ رنگبری شده DIP^۱ بر روی تغییر دانسیته کاغذهای اتوزنی شده را بررسی نمود و دریافت که افزایش میزان DIP در خمیرکاغذ اولیه موجب بالا رفتن دانسیته می‌شود. گورس

مقایسه با تمام فشرده سازیهایی که در مراحل قبلی رخ داده کوچک و ناچیز است، ولی تأثیر قابل توجهی بر خصوصیات فراورده نهایی دارد. یکی از مهمترین ویژگیهای فیزیکی کاغذ، دانسیته ظاهری می‌باشد که به طور مستقیم یا غیرمستقیم بر بسیاری از ویژگیهای فیزیکی و نوری کاغذ مؤثر است [۲]. دانسیته ظاهری جرم به ازای واحد حجم کاغذ یا مقوا می‌باشد که به صورت نسبت بین وزن پایه به ضخامت ماده بر حسب کیلوگرم بر مترمکعب محاسبه می‌شود. این ویژگی از آن جهت حائز اهمیت است که در برآورد بسیاری از خصوصیات کاغذ مانند مقاومت در برابر کشش، مدول الاستیسیته و ضریب پخش نور مورد استفاده قرار می‌گیرد. علاوه بر آن، دانسیته ظاهری بستگی به شرایط فرایند کاغذسازی مانند نوع الیاف و رنگدانه‌ها، پالایش، پرس تر و اتوزنی داشته که هر یک منجر به رسیدن به مقدار مشخصی از دانسیته می‌شوند [۱]. بنابراین، اطلاع از چگونگی تأثیر عوامل مختلف تولید بر نوسان این ویژگی، تولید کننده را در تهیه فراورده‌های نهایی مرغوب تر رهنمون خواهد ساخت. از سوی دیگر، تولید رو به گسترش کاغذهای بسته‌بندی از خمیرکاغذهای بازیافتی مشکل افت کیفیت فراورده‌ها را بر اثر اعمال شرایط گوناگون در فرایند تولید نسبت به گذشته افزایش داده است. بنابراین دست‌یابی به دانشی برای ترکیب بهینه عوامل تولید به ویژه شرایط خشک کردن می‌تواند به تولید کاغذهایی با خصوصیات برتر از منابع مشترک کاغذ بازیافتی بیانجامد. بدین منظور، علم آمار با ارائه مدل‌های رگرسیونی بررسی تأثیرات متغیرهای مستقل بر روی عوامل وابسته بهترین امکان را برای دست‌یابی به اهداف یادشده فراهم می‌سازد.

در منابع متعدد، تأثیر دانسیته ظاهری بر روی خصوصیات مختلف کاغذ بررسی شده است. جونز [۲]، ندروین [۳]، کرکس [۴] و کارتووارا [۵] هر یک جداگانه تأثیر مستقیم دانسیته بر رسانایی حرارتی و انتقال گرما را یادآور شدند. تاجیما و آپریچارد [۶-۷] و لونر و الکساندر

1- Deinked pulp

نرم افزار MATLAB مورد ارزیابی قرار گرفتند. نتایج نشان دادند که خط بارگذاری در لبه فشار اثر غالبی بر مجموع دانسیته کاغذهای اتوزنی شده داشته است درحالیکه دمای غلطک تأثیر قابل توجهی بر دانسیته در نزدیکی سطح کاغذ داشت.

بنابراین، در این تحقیق از یک مدل رگرسیون درجه ۲ جهت تعیین تأثیر متغیرهای فرایند کاغذسازی (پالایش، خشک کردن در شرایط مختلف آزاد و مهار شده همراه با تغییرات دما و فشار) بر روی دانسیته ظاهری و با هدف تعیین شرایط بهینه فرایند بهره گرفته شده است.

مواد و روشها

خمیرکاغذ بازیافتی (OCC) واحد آماده سازی مورد استفاده در ساخت کاغذهای بسته بندی از کارخانه کاغذ سازی چوب و کاغذ ایران (چوکا) تهیه شده است. خمیرکاغذها بطور مجزا تا رسیدن به درجه روانی ۵۵۰ و ۴۵۰ و ۳۵۰ میلی لیتر براساس استاندارد کانادایی (CSF)^۲ توسط پالایشگر صفحه ای پالایش شده و سپس مطابق با استاندارد TAPPI 205 sp-02 ورقه های دست ساز با گراماژ ۱۴۰ گرم بر مترمربع تهیه شدند. این ورقه ها به منظور ثابت ماندن درصد خشکی بلافاصله در کیسه های پلاستیکی مجزا قرار داده شده و در یخچال آزمایشگاهی نگهداری شدند. تعدادی از ورقه ها در دمای ثابت ۹۵ درجه سانتیگراد در کوره خشک شدند. تعداد دیگری از ورقه ها نیز توسط دستگاه پرس هیدرولیکی مجهز به گرم کن الکتریکی و ترموکوپل ساخت شرکت آلمانی *Burkle* با حداکثر دما ۳۰۰ درجه سانتیگراد و فشار ۲۵۰ کیلوگرم بر سانتیمتر مربع تحت شرایط متغیر دما و مهار مکانیکی قرار گرفتند. متغیرهای آزمایش به تفکیک عبارتند از:

۱) درجه روانی (استاندارد کانادایی): ۳۵۰، ۴۵۰ و ۵۵۰ میلی لیتر

و لونر [۱۷] مدلی را برای دانسیته ظاهری کاغذ ارائه نمود که از مقادیر میانگین زمختی، پهنا، ضخامت، انعطاف پذیری و طول الیاف همچنین میزان نرمه الیاف خمیرکاغذها جهت برآورد دانسیته ظاهری بهره می گیرد. مقادیر پیش بینی شده مدل برای ۱۰ خمیرکاغذ با مقادیر اندازه گیری شده دانسیته مقایسه شدند. خطاهای پیش بینی بین ۱ تا ۲۷ درصد متغیر بود که دلیل عمده آن دقت کم و تأثیر متقابل بین اندازه گیری ویژگی های الیاف یاد شد. نیومن [۱۸] ویژگی های فیزیکی و شیمیایی خمیرکاغذهای بازیافتی را پس از یک سری فرآوری جهت بهبود خصوصیات آنها اندازه گیری کرد. آنچه مورد توجه وی قرار گرفت کاهش دانسیته ظاهری، مقاومت در برابر کشش و مقاومت به ترکیدن در اثر بازیافت دوباره الیاف بود که این تغییرات بیشتر به نقش همی سلولزها در بازیافت نسبت داده شد. امیری [۱۹] در پژوهشی تکمیلی مدل پیشنهادی گورس و لونر [۱۷] را با تابع جهت یابی کالمس و کورت [۲۰] تلفیق کرد. این مدل جدید نشان داد که دانسیته ظاهری کاغذ با افزایش جهت یابی الیاف بیشتر می شود. آزمایشات نیز نتایج این مدل را تأیید نمودند. هر چند مقادیر پیش بینی شده برای دانسیته خمیرهای کاغذ مکانیکی کمتر از مقادیر بدست آمده در آزمایشها بودند، که دلیل آن نقش مهم نرمه الیاف مکانیکی عنوان شد که می بایست در مطالعات بعدی مفروضات جدیدی در مدل برای خمیرکاغذهای مکانیکی اتخاذ شود. هولمارک [۲۱] نتیجه پیشنهادی مدل امیری [۱۹] را در ماشین کاغذ FEX آزمایش نمود. وی به منظور دست یابی به مقادیر مختلف جهت گیری الیاف، سرعت ریزش سوسپانسیون خمیر را نسبت به سرعت توری تغییر می داد. نتایج حاصل نیز افزایش دانسیته را با افزایش جهت یابی الیاف تأیید نمودند. راتو [۲۲] تأثیر اتوزنی در دو دمای (۴۰ و ۲۰۰ درجه سانتیگراد) و اتوی با لبه فشار نرم را بر روی دانسیته کاغذ آزمایش کرد. پس از اتوزنی عکسهایی از مقطع عرضی ورقه کاغذ تهیه شدند و با کد ویژه ای از

2- Canadian Standard Freeness

۱+ و با استفاده از معادله زیر به منظور امکان مقایسه مستقیم ضرایب و تجسم اثرات تغییرات متغیرها به طور انفرادی و متقابل روی متغیرهای وابسته نرمال سازی گردیدند:

$$X_n = 2 \frac{X - X_{mean}}{X_{max} - X_{min}} \quad (2)$$

پس از نرمال سازی کردن مقادیر متغیرهای مستقل، می توان اقدام به بررسی آماری و محاسباتی نمود. در این مرحله اولین گام بررسی معنی دار بودن اثرات و نوع آنها (مستقل، متقابل و نمایی) می باشد که باید ابتدا مقادیر متغیرهای مستقل به تمام حالاتی که ممکن است تأثیر داشته باشند نوشته شود و سپس معنی دار بودن اثرات آنها روی هر متغیر وابسته بررسی گردد. به منظور برآورد اثرات عوامل مستقل روی عوامل وابسته از یک معادله درجه دو و یا درجه سه استفاده می شود [۲۳]:

$$Z = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_{12}x_1x_2 + b_{13}x_1x_3 + b_{23}x_2x_3 + b_{11}x_1^2 + b_{22}x_2^2 + b_{33}x_3^2 \quad (3)$$

که در این تحقیق Z مشخص کننده نوع متغیر وابسته کاغذ یعنی دانسیته ظاهری و سایر علائم نیز مقادیر نرمال سازی شده مربوط به درجه روانی، شرایط خشک کردن (مهاری شده و آزاد)، دما و فشار در حین فرایند خشک کردن بوده و b_0 تا b_{23} مقادیر ثابت معادله فرضی اولیه می باشند. مقادیر پرت (دورریز) داده ها قبل از رگرسیون گیری می بایست از مجموعه - در محدوده مشخص انحراف از معیار- حذف شوند و یا علت آن مورد بررسی قرار گیرد، در این صورت، باید داده ها طوری تنظیم و تبدیل گردند که حالت نرمال داشته باشند. زیرا این نقاط می توانند تأثیر زیادی در کاهش توانایی مدل در برآورد داده ها داشته باشد و میزان خطای برآورد را افزایش دهند.

۲) دما: ۲۰۰، ۱۵۰، ۱۰۰ درجه سانتیگراد

۳) نیروی مهار هم کشیدگی: ۱۰ و ۷۰ کیلوگرم بر سانتیمترمربع

زمان ماندگاری در زیر صفحه پرس گرم تا خشک شدن کامل ورقه بوده است. به منظور تعیین دانسیته ظاهری، ضخامت ظاهری ورقه ها مطابق با استاندارد TAPPI 411 om-97 توسط یک دستگاه میکرومتر آزمایشگاهی ساخت شرکت *Chuan Brand* و وزن پایه ورقه ها مطابق با استاندارد TAPPI 410 om-98 اندازه گیری شدند. رابطه زیر برای محاسبه دانسیته ظاهری مورد استفاده قرار گرفت:

$$\rho_a = \frac{w}{T_a} \quad (1)$$

- w، معادل وزن پایه کاغذ (گرم/مترمربع) و T_a ، ضخامت ظاهری (میکرون) کاغذ می باشد. دانسیته ظاهری بر حسب کیلوگرم بر متر مکعب بیان می شود.

تجزیه و تحلیل آماری

در این تحقیق از طرح فاکتوریل به منظور تحلیل نتایج آزمایشها استفاده شد. پس از آن اقدام به آزمایش و بدست آوردن نتایج مربوط به متغیرهای وابسته، برای بررسی آماری و استفاده از مدل های رگرسیونی جهت بررسی تأثیر متغیرهای مستقل، نیازمند یکسان سازی مقادیر و واحدها می باشد. زیرا با توجه به همجنس نبودن متغیرهای مستقل در صورت استفاده از اعداد خام بدلیل یکسان نبودن واحد های متغیرهای مستقل، مدل رگرسیونی بدست آمده به هیچ وجه قابل استناد و تفسیر نخواهد بود. بنابراین، مقادیر متغیرهای مستقل باید قبل از استفاده برای بررسی مدل رگرسیونی نرمال سازی گردند. عمل نرمال سازی کردن منتج به برآورد دقیقتر ضرایب رگرسیون شده و انحراف روابط بین عبارات خطی و درجه دو، معادلات را کاهش می دهد. بنابراین مقادیر متغیرهای مستقل از ۱- تا

بحث

تغییرات دانسیته تحت تأثیر متغیرهای مستقل را می‌توان به روشنی توسط نمودار اثرات اصلی (شکل ۱) تشخیص داد. همان طور که مشاهده می‌شود کاهش درجه‌روانی از ۵۵۰ به ۳۵۰ موجب بالا رفتن دانسیته ظاهری ورقه‌ها می‌شود که نتایج تحقیقات تاجیما و لونر [۶، ۸] را به روشنی تأیید می‌کند. دلیل عمده این اثر را می‌توان به تأثیر اصلی عمل پالایش (کوتاه کردن، فیبریله شدن داخلی و فیبریله شدن خارجی الیاف) نسبت داد به طوری که کوتاه شدن موجب افزایش میزان نرمه در خمیرکاغذ شده و این نرمه‌ها بدلیل سطح ویژه بسیار بالا در مقایسه با الیاف [۲۵] به ویژه در خمیرکاغذهای بازیافتی در نهایت منجر به افزایش پیوند بین الیاف ورقه و افزایش دانسیته ظاهری می‌شود. نتیجه دو اثر دیگر را نیز می‌توان بهبود سطح نسبی پیوند یافته الیاف (RBA)^۳ و اثر مستقیم آن بردانسیته ظاهری عنوان کرد.

منحنی ۱- (ب) تأثیر دمای بالا را (۲۰۰) در کاهش شدید دانسیته ظاهری نشان می‌دهد. اورلوف [۲۵، ۲۶] و لوسیزانو [۲۷]، دلیل اصلی این پدیده را تشکیل لحظه‌ای یک جبهه بخار داغ درون کاغذ یاد کردند که در هنگام آزاد شدن کاغذ از زیر دهانه فشار موجب بروز اختلاف گرادیان فشار در جهت ضخامت کاغذ بین درون کاغذ و فضای بیرون می‌شود که به دلیل مقاومت کم کاغذ در جهت ضخامت تخریب لایه‌ای یا کاهش شدید دانسیته ظاهری را موجب می‌شود.

در این تحقیق از روش رگرسیون گام به گام استاندارد ورود و خروج متغیرها (Stepwise) استفاده شده است. اصولاً در این روش تسلسلی از مدل‌های رگرسیون توسعه می‌یابد و در هر مرحله یک متغیر X حذف و یا اضافه می‌شود. معیار اضافه شدن و یا حذف متغیر X ممکن است بر حسب مقادیر آماره های آلفا و یا (F value or F Alpha value) بکار رود که در این تحقیق براساس مقادیر آلفا انجام شده است. در این تحقیق با استفاده از معیار آلفا ($\alpha = 0.15$) برای ورود و خروج شاخصها در مدل استفاده گردید که با توجه به شاخص‌هایی که در رابطه با مناسب بودن مدل معرفی می‌شوند، می‌توان در مورد صحت و کارایی آن مدل نظر داد.

نتایج

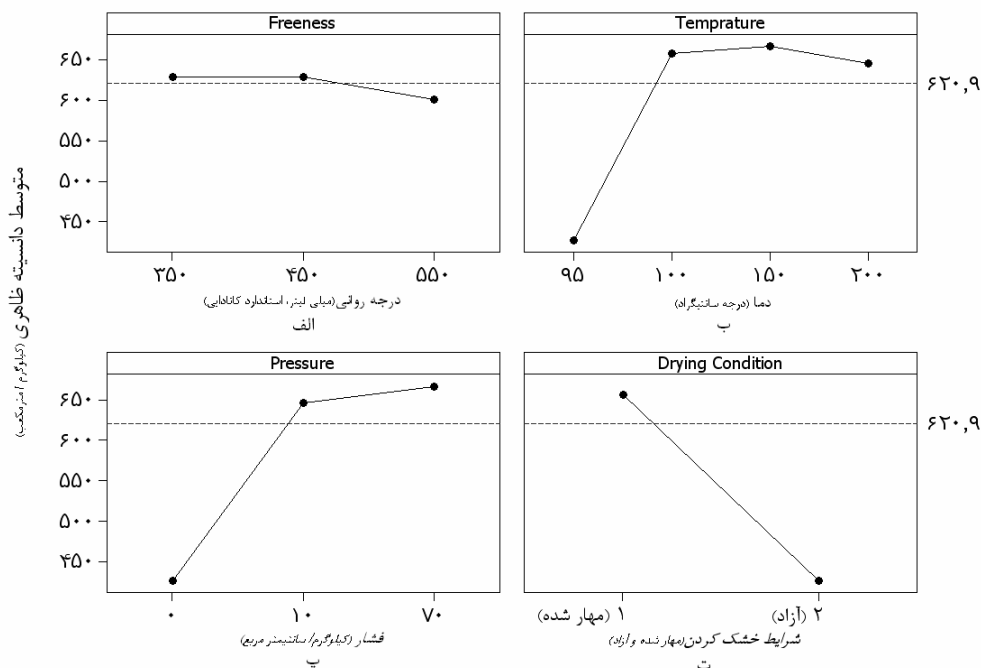
در جدول ۱ خلاصه‌ای از مقادیر بدست آمده برای دانسیته ظاهری آورده شده است، همان طور که مشاهده می‌شود خشک کردن کاغذ تحت شرایط مهار شده تأثیر قابل توجهی بر افزایش دانسیته ظاهری می‌گذارد به طوری که کمترین مقادیر حاصله مربوط به خشک کردن در شرایط آزاد است. از سوی دیگر بر خلاف تصور افزایش دما رابطه مستقیم خطی با افزایش دانسیته ظاهری ندارد، به عبارتی همان طور که نتایج نشان می‌دهند دمای ۱۵۰ درجه سانتیگراد بیشترین تأثیر را در افزایش دانسیته ظاهری داشته است. با توجه به اینکه تأثیرات عوامل مستقل اثرگذار بطور مستقل و مجزا بر دانسیته ظاهری از روابط مستقیم خطی پیروی نمی‌کند، روش رگرسیون گیری گام به گام در تدوین یک مدل درجه ۲ مورد استفاده قرار گرفت (جدول رگرسیون گام به گام و کلیه ضرایب معادله در دو پیوست (الف) و (ب) آورده شده است).

جدول ۱- متوسط مقادیر دانسیته ظاهری در پاسخ به متغیرهای مستقل اثرگذار فرایند

| شرایط خشک کردن | دما (درجه سانتیگراد) | فشار (کیلوگرم بر سانتیمتر مکعب) | درجه روانی (CSF) | متوسط دانسیته ظاهری (کیلوگرم بر سانتیمتر مکعب) |
|----------------|-------------------------|------------------------------------|---------------------|---|
| | | | ۳۵۰ | ۴۹۰/۴ |
| آزاد | ۹۵ | ۰ | ۴۵۰ | ۴۲۶/۴ |
| | | | ۵۵۰ | ۳۵۶/۲ |
| | | | ۳۵۰ | ۶۲۶/۹ |
| | | ۱۰ | ۴۵۰ | ۶۵۴/۳ |
| | | | ۵۵۰ | ۶۷۱/۹ |
| | ۱۰۰ | | ۳۵۰ | ۶۶۵/۱ |
| | | ۷۰ | ۴۵۰ | ۶۷۱/۵ |
| | | | ۵۵۰ | ۶۶۱/۸ |
| | | | ۳۵۰ | ۶۴۹/۱ |
| | | ۱۰ | ۴۵۰ | ۶۵۳/۴ |
| | | | ۵۵۰ | ۶۷۱/۵ |
| مهارشده | ۱۵۰ | | ۳۵۰ | ۶۷۳/۷ |
| | | ۷۰ | ۴۵۰ | ۶۸۶/۳ |
| | | | ۵۵۰ | ۶۵۸/۴ |
| | | | ۳۵۰ | ۶۴۰/۹ |
| | | ۱۰ | ۴۵۰ | ۶۴۱/۳ |
| | | | ۵۵۰ | ۶۱۵/۶ |
| | ۲۰۰ | | ۳۵۰ | ۶۶۳/۷ |
| | | ۷۰ | ۴۵۰ | ۶۶۸/۳ |
| | | | ۵۵۰ | ۶۳۹/۶ |

پرس تر ماشین کاغذ یاد نمود. در مطالعات گذشته ثابت شده است که اعمال فشار بیشتر در فرایند پرس تر بویژه هنگامی که با دما همراه باشد موجب افزایش قابل توجه دانسیته ظاهری خواهد شد [۲۸].

همان طور که ملاحظه می شود، افزایش میزان فشار از ۱۰ به ۷۰ کیلوگرم بر سانتیمتر مربع، بالا رفتن قابل توجه دانسیته ظاهری را در پی داشته است که می توان بروز این پدیده را بدلیل درصد خشکی نسبتاً پایین ورقه ها (در حدود ۵۰ درصد) و وقوع سازوکاری مشابه در فرایند



شکل ۱- نمودار اثرات اصلی: تأثیر متغیرهای درجه روانی (الف)، دما (ب)، فشار (پ) و شرایط خشک کردن (ت) بر مقدار متوسط دانسیته ظاهری

درجه ۲ (معادله ۴) را امکان پذیر ساخته که می تواند در برآورد تغییرات دانسیته در اثر متغیرهای مستقل بسیار مفید باشد. بنابراین، با بهره گیری از مدل بدست آمده به بررسی تأثیر این عوامل مستقل اثرگذار در سطوح تیمارهای به کار گرفته شده به صورت همزمان و جداگانه روی دانسیته ظاهری می پردازیم.

بررسی رگرسیونی پاسخ دانسیته ظاهری به متغیرهای فرایند کاغذسازی (پالایش، خشک کردن در شرایط مختلف آزاد و مهارد شده همراه با تغییرات دما و فشار)، وسیله ای مفید برای بهینه ساختن شرایط کاغذسازی را فراهم می سازد. روش یاد شده می تواند بینش مناسبی را در خصوص تحمل ماده اولیه به تغییرات اعمال شده در طول فرایند تولید کاغذ ارائه دهد. این روش تهیه مدل

$$\rho = 560.5 - 42.6 FR - 5.5 TP + 11.1 PR - 109.9 DC - 8.6 FR^2 - 15.1 TP^2 - 11.4 FR \times TP - 8.1 FR \times PR - 44.2 FR \times DC + 2.10 TP \times PR$$

(۴)

(اثرات متقابل) فوق می باشد. جدول زیر نشان دهنده اعتبار مدل در برآورد اثرات مستقل و متقابل متغیرهای مستقل است.

در مدل فوق ρ دانسیته ظاهری، FR (درجه روانی)، TP (دما)، PR (فشار)، DC (شرایط خشک کردن) و سایر علائم مربوط به مجذور و یا حاصل ضرب متغیرهای

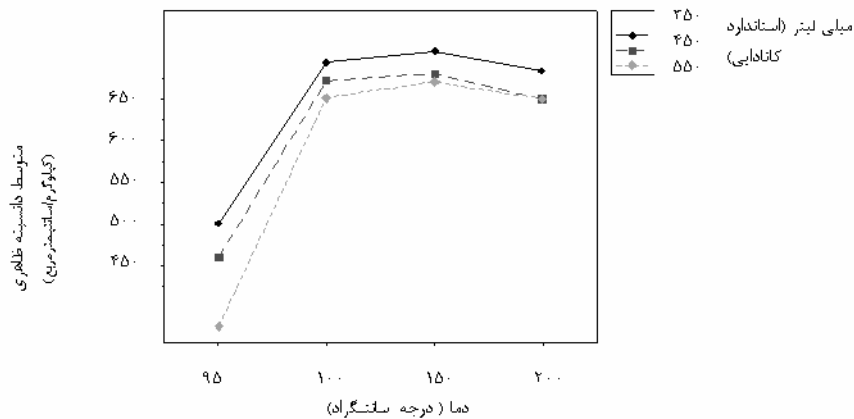
جدول ۲- شاخصهای رگرسیونی جهت برآورد مناسب بودن مدل در پیش بینی اثرات متغیرهای مستقل بر دانسیته ظاهری

| | | |
|----------------------|-------|---|
| S | ۳۱/۹ | میزان انحراف خطای برآورد را در مدل نشان می دهد. در مجموع مقادیر کوچکتر S نشان دهنده هماهنگی بیشتر مدل برای برآورد نتایج است. |
| R ^۲ | ۸۸/۸۰ | ضریب همبستگی چندگانه می باشد که هر چه R بزرگتر باشد نشان دهنده هماهنگی بیشتر مدل برای برآورد نتایج است. |
| R ^۲ [adj] | ۸۸/۲۹ | همان R ^۲ تعدیل شده با توجه به تعداد عوامل مستقل موجود در مدل می باشد. |
| Mallows Cp | ۹/۳ | آماره دیگری است که برای تشخیص مناسب بودن مدل به کار می رود. C-p می بایست به تعداد عوامل پیش بینی کننده موجود به علاوه مقدار ثابت در مدل نزدیک باشد. |

کاهش در مقدار دانسیته ظاهری بر حسب کیلوگرم بر مترمربع می شود. دومین عامل موثر اثر متقابل شرایط خشک کردن و درجه روانی است (۴۴/۲-) و سایر عوامل به ترتیب درجه روانی (۴۲/۶-)، مجذور دما (۱۵/۱-) مجذور نمایانگر یک تابع سهمی شکل و وجود یک نقطه حداکثر یا حداقل می باشد که پس از آن افت یا افزایش شدید پاسخ را خواهیم داشت، نمودار اثرات اصلی ۱- (ب) تأثیر غیر خطی دما را به روشنی نمایش داد، اثر متقابل درجه روانی و دما (۱۱/۴-)، فشار (۱۱/۱+)، مجذور درجه روانی (۸/۶-)، اثر متقابل درجه روانی و فشار (۸/۱-)، دما (۵/۵-) و در نهایت اثر متقابل دما و فشار (۲/۱+) می باشد.

شکل ۲، اثر متقابل دما و درجه روانی را نشان می دهد که بر تأثیر دما در شرایط خشک کردن در کوره (۹۵ درجه سانتیگراد) تأکید می کند. همان طور که ملاحظه می شود مقدار دانسیته ظاهری در دو دمای ۱۰۰ و ۱۵۰ درجه سانتیگراد تقریباً یکسان می باشد، در حالی که در دمای ۲۰۰ درجه سانتیگراد افت نسبی آن را مشاهده می کنیم.

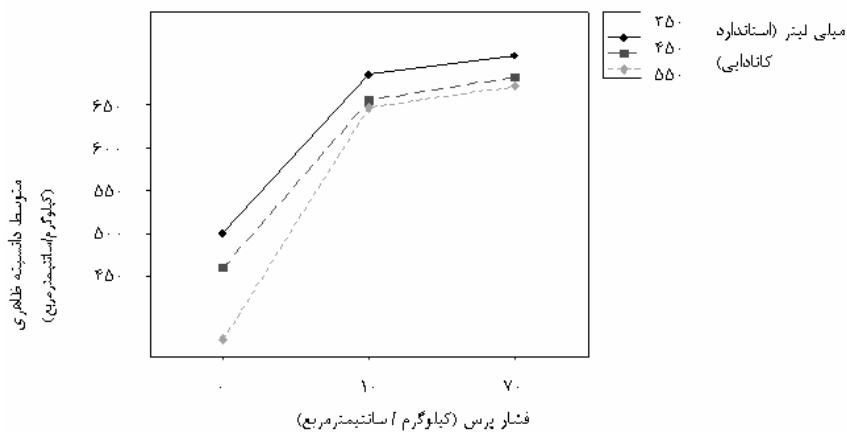
ضرایب مدل نشان دهنده جهت و اندازه ارتباط بین یک متغیر مستقل و متغیر وابسته یا پاسخ آن می باشد و مقادیر آماره p و آماره t معنی دار بودن مقدار را از لحاظ آماری نشان می دهند. مقدار آماره t فرض صفر بودن ضرایب رگرسیون را آزمون می کند که با توجه به مقدار آماره p بررسی می گردد. وقتی مقادیر آماره p مربوط به آزمون t کمتر از سطح آلفا (۰/۱۵) باشد مؤید معنی دار بودن ضرایب رگرسیون مدل در این تحقیق می باشد. طبق این تعریف تمامی ضرایب آورده شده در مدل فوق از لحاظ آماری معنی دار می باشند (ضمیمه ملاحظه شود). علامت هر ضریب نشان دهنده جهت ارتباط و مقدار ضرایب میانگین تغییر در پاسخ به ازای یک واحد تغییر در متغیر مستقل در حالت ثابت بودن سایر متغیرهای مستقل درون مدل را نشان می دهد [۲۴]. با توجه به مطالب گفته شده می توان پیش بینی مدل را بدین صورت اظهار داشت: دانسیته ظاهری بیش از هر عامل دیگر تحت تأثیر شرایط خشک کردن قرار می گیرد (۱۰۹/۹-) به طوری که اگر تمامی متغیرهای مستقل ثابت باشند، تغییر در شرایط خشک شدن از حالت مهار شده به آزاد، موجب ۱۰۹/۹



شکل ۳- اثر متقابل دما و درجه روانی

است. از سوی دیگر، پیش‌بینی می‌شود که در درجه روانی‌های بالاتر یا مساوی ۵۵۰ تغییرات فشار از ۱۰ به ۷۰ هیچ گونه تأثیری بر دانسیته ظاهری کاغذ باقی نگذارد.

شکل ۴، اثر متقابل فشار و درجه روانی در فشار صفر را بوضوح نشان می‌دهد، در حالی که این اثر متقابل در دو فشار ۱۰ و ۷۰ کیلوگرم بر سانتیمتر مربع بسیار اندک

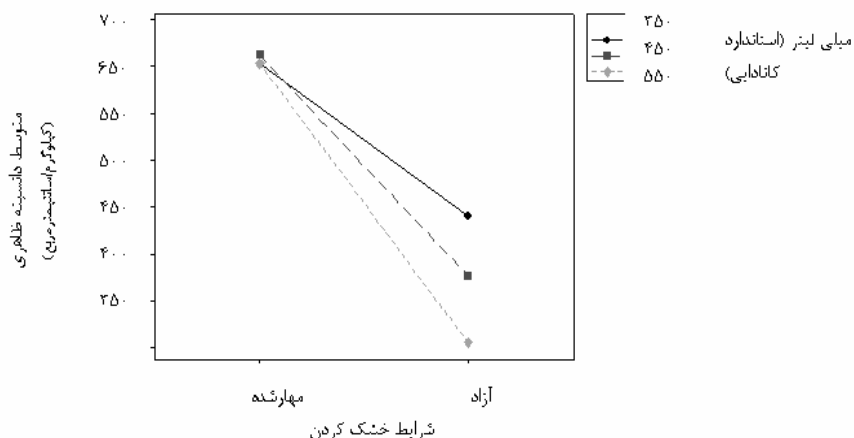


شکل ۴- اثر متقابل فشار و درجه روانی

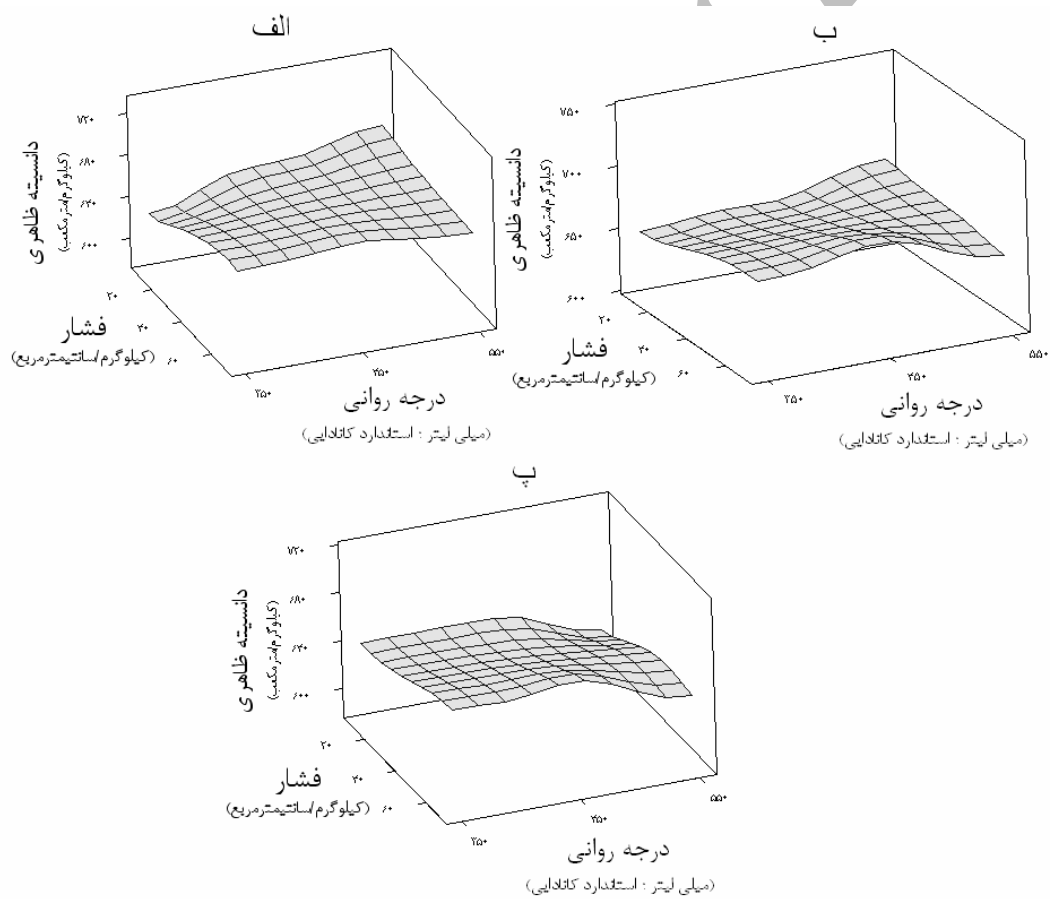
درجه روانی یک مقدار ثابت دانسیته ظاهری را نشان می‌دهد در حالی که در شرایط خشک کردن آزاد تأثیر درجه روانی بر دانسیته ظاهری به روشنی مشخص می‌شود.

اعمال مهار مکانیکی در حین خشک کردن از تأثیر درجه روانی بر دانسیته ظاهری می‌کاهد. همان‌طور که در شکل ۵ ملاحظه می‌شود در حالت خشک کردن تحت مهار مکانیکی مقادیر

بررسی تأثیر متغیرهای فرایند کاغذسازی بر دانسیته ظاهری کاغذ بازیافتی از کارتن کهنه



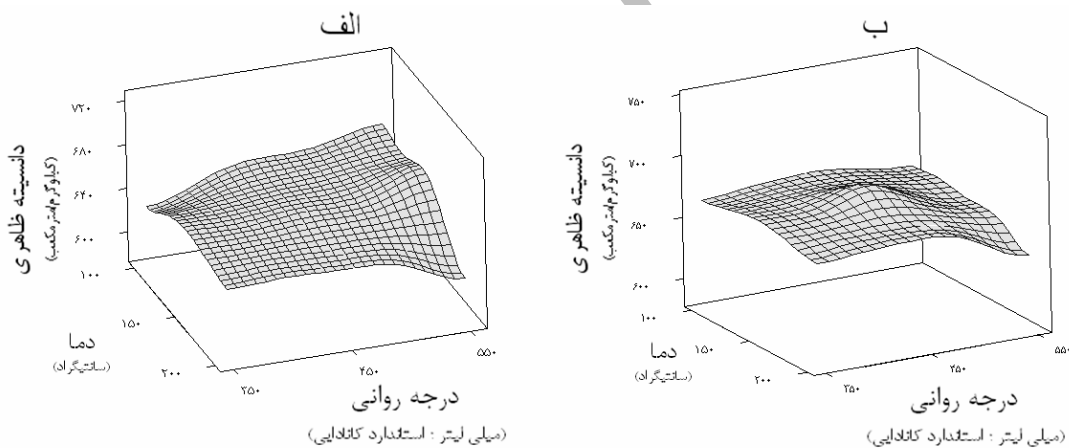
شکل ۵- اثر متقابل شرایط خشک کردن و درجه روانی



شکل ۶- تغییرات دانسیته ظاهری با درجه روانی و فشار در سه دمای ثابت (الف) ۱۰۰، (ب) ۱۵۰ و (پ) ۲۰۰ درجه سانتیگراد

دوگلاس [۳۲] نیز تأثیر نرم شدن را تماس بین الیاف بیشتر، پیوند بین الیاف قوی‌تر و در نهایت کاغذی مستحکم‌تر را عنوان کردند. در تحقیق حاضر نرم شدن حرارتی موجب ارتقای نسبی دانسیته ظاهری در تغییر از دمای ۱۰۰ به ۱۵۰ درجه شد اما تأثیر دمای بالاتر (۲۰۰ درجه سانتیگراد) بسیار متفاوت بود. این اختلاف نشانگر قوی‌تر بودن گرادیان فشار بخار ایجاد شده نسبت به پیوند بین الیاف است که تا حدی موجب بروز پدیده تخریب لایه‌ای گردیده است. تخریب لایه ای در مطالعات اولیه خشک کردن لحظه‌ای گزارش شده است [۳۳]. همچنین شکل ۶ نشان می‌دهد که اعمال فشار در شرایط دمای ثابت ۲۰۰ درجه سانتیگراد می‌تواند عامل مؤثرتری در تغییر دانسیته ظاهری نسبت به دو شرایط دیگر باشد.

پاسخ دانسیته ظاهری به دو عامل اثرگذار فشار و درجه روانی در سه دمای ثابت ۱۰۰، ۱۵۰ و ۲۰۰ درجه سانتیگراد در شکل ۶ نمایش داده شده است. همان طور که ملاحظه می‌شود در دمای ۲۰۰ درجه سانتیگراد مکانیسم تغییرات دانسیته ظاهری در اثر اعمال فشار با دو حالت دما ۱۰۰ و ۱۵۰ درجه سانتیگراد متفاوت می‌باشد. مطالعات گذشته دمای ۱۲۰ درجه سانتیگراد را برای تحلیل ویژگیهای ساختار ورقه بسیار حائز اهمیت عنوان کردند زیرا ثابت شده است که نقطه ژله‌ای شدن یا نرم شدن لیگنین در حضور آب در حدود ۱۲۰ درجه سانتیگراد می‌باشد. در این شرایط الیاف حاوی لیگنین نرم و انعطاف پذیر شده و به آسانی مسطح شده و بر روی هم قرار می‌گیرند. بسیاری از تحقیقات مربوط به خشک کردن بررسی این اثر را نشان داده‌اند [۲۹، ۳۰، ۳۱]. مک‌کال و

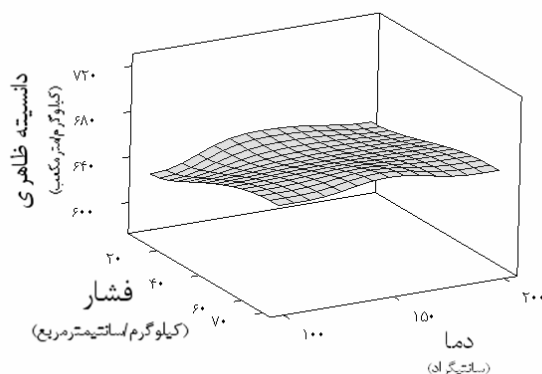


شکل ۷- تغییرات دانسیته ظاهری با درجه روانی و فشار در دو فشار ثابت الف) ۱۰ و ب) ۷۰ کیلوگرم بر سانتیمتر مربع

مربع

طوری که حداقل دانسیته ظاهری را می‌توان در درجه روانی ۵۵۰ و دمای ۱۰۰ درجه ملاحظه کرد. شکل ۸ تغییرات دانسیته ظاهری با دما و فشار در درجه روانی ثابت را نشان می‌دهد. همان طور که ملاحظه می‌شود اثر متقابل این عامل مطابق آنچه در مدل نیز پیش بینی شده چندان قابل ملاحظه نمی‌باشد.

پاسخ دانسیته ظاهری به دو عامل اثرگذار دما و درجه روانی در دو فشار ثابت ۱۰ و ۷۰ کیلوگرم بر سانتیمتر مربع در شکل ۷ نمایش داده شده است. همان طور که ملاحظه می‌شود در مقدار دمای ۱۵۰ و درجه روانی ۴۵۰ و فشار ثابت ۷۰ به مقدار اپتیمم دانسیته ظاهری دست یافته‌ایم. با تغییر فشار از ۷۰ به ۱۰ رفتار دانسیته ظاهری در مقابل تغییرات فشار و درجه روانی بوضوح تغییر می‌کند. به



شکل ۸- تغییرات دانسیته ظاهری با دما و فشار در درجه روانی ثابت

حین فرایند خشک کردن با درجه روانی خمیر کاغذ بر بهبود دانسیته ظاهری تأثیر گذاشت و به کاغذی با ویژگیهای مقاومتی مطلوبتر دست یافت. به عنوان مثال، در این پژوهش در فشار ثابت ۷۰ کیلوگرم بر سانتیمتر مربع و دمای ۱۵۰ درجه سانتیگراد و درجه روانی ۴۵۰ CSF به مقدار بهینه‌ای از دانسیته ظاهری دست یافتیم.

از سوی دیگر، با توجه به تأثیر منفی دماهای بالاتر از ۱۵۰ درجه سانتیگراد بر دانسیته ظاهری، باید در کنترل بهینه دما در حین فرایند خشک کردن کاغذ دقت لازم صورت گیرد که این موضوع به صرفه‌جویی در مصرف بخار آب و در نتیجه صرفه‌جویی در مصرف انرژی کمک بسزایی می‌کند. همچنین تأثیر غیرخطی دما به ویژه دماهای بیش از ۱۵۰ درجه سانتیگراد نشانه دخالت سایر عوامل متغیر در حین فرایند می‌باشد. همانطور که اشاره شد نرم شدن و ژله‌ای شدن ترکیبات شیمیایی خمیر کاغذ در حضور آب می‌تواند تأثیر قابل توجهی داشته باشد که آگاهی از این موضوع می‌تواند کمک شایانی در اتخاذ راهبرد مناسب خشک کردن نماید.

سپاسگزاری

بدینوسیله لازم می‌دانم از زحمات آقای مهندس پژمان رضایتی کرامی در جهت انجام آنالیز آماری این پروژه تشکر و قدردانی نمایم.

نتیجه گیری

افزایش روزافزون تعداد تولیدکنندگان کاغذهای بسته‌بندی از خمیر کاغذ OCC، فضایی رقابتی را در بازار این فراورده‌ها ایجاد کرده است. بی‌شک، کیفیت و به ویژه ویژگیهای مقاومتی در کاغذهای بسته‌بندی یکی از عوامل اصلی موفقیت تولیدکننده در بازار رقابتی عرضه این محصولات است. از آنجا که دانسیته ظاهری مهمترین ویژگی تأثیرگذار بر مقاومتی کاغذ به ویژه مقاومت در برابر کشش و مدول الاستیسیته می‌باشد، اطلاع از چگونگی تأثیر متغیرهای فرایند بر نوسان این ویژگی، تولیدکننده را در تهیه فراورده نهایی مرغوبتر و موفقیت در بازار عرضه این محصول رهنمون خواهد ساخت.

طبق نتایج بدست آمده در این پژوهش اعمال فشار و مهار کردن مکانیکی کاغذ در حین خشک کردن در افزایش دانسیته ظاهری تأثیر قابل توجهی دارد. بدین منظور کنترل دقیق میزان کشش نمد خشک‌کن به عنوان یکی از عوامل مهار کردن شبکه کاغذ از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. عمل پالایش با تغییر در ساختار الیاف موجب بهبود سطح نسبی پیوند یافته الیاف (RBA) و افزایش دانسیته ظاهری و در نتیجه ارتقاء ویژگیهای مقاومتی می‌شود. با توجه به اثرات متقابل درجه روانی با سایر متغیرهای فرایند، به ویژه مهار مکانیکی و میزان اعمال فشار، می‌توان با ترکیب مناسب فشار اعمال شده در

- 20) Corte, H. and Kallmes, O. J., in *The Formation and Structure of Paper* (F. Bolam, Ed.), B.P.B.M.A., London, 1962, pp. 13-46, Kallmes, O. J. and Corte, H., *Tappi* 43(9):737(1960), *Tappi* 44(6):448(1961).
- 21) Hollmark, H. (STFI), Apparent density of paper, *Journal of Pulp and Paper Science*, v 20, n 6, Jun, 1994, p J180-J181
- 22) Ratto, P. (Karlstad University, Division for Chemistry, Department of Chemical Engineering); Hornatowska, J.; Rigdahl, M., "Effect of high-temperature and soft-nip calendaring on the density of paper", *Nordic Pulp and Paper Research Journal*, v 16, n 3, 2001, p 172-177. Croarkin, C. and Tobias, P., *NIST/SEMATECH e-Handbook of Statistical Methods*, <http://www.itl.nist.gov/div898/handbook/>, date. (1/26/2005 6:22:50 PM)
- 24) The Mathworks. Inc., <http://www.mathworks.com/access/helpdesk/help/toolbox/stats/stats.html> , Minitab User's Guide, 2000
- 25) ORLOFF, D. I., PATTERSON, T. F. AND KRAUSE, A. M. 1998a Opening the operating window of impulse drying - I: The effect of ambient pressure at the nip opening. *Tappi Journal* 81 (7), 113-116.
- 26) ORLOFF, D. I., PATTERSON, T. F. AND PARVIAINEN, P. M. 1998b Opening the operating window of impulse drying - II: Pressure differential as a source of delamination. *Tappi Journal* 81 (8), 195-203.
- 27) Lucisano, M.F.C., "On Heat and Paper: From Hot Pressing to Impulse Technology", Doctoral Dissertation, Royal Institute of Technology, Department of Fiber and Polymer Technology, Division of Paper Technology, Stockholm, Sweden, 2002
- 28) Szikla, Z., "On the basic mechanisms of wet pressing", Doctoral thesis, PSC Communication 31, KCL Paper Science Centre, Espoo, Finland, 1992, 93 pp
- 29) Back, E.L., *Tappi* 68(3):92 (1985).
- 30) Retulainen E., "Condebelt press drying and sustainable paper cycle." *Proceedings of the 2nd Ecopapertech Conference*, Helsinki, 1998, p. 315.
- 31) Howard, R.C., *JPPS* 16(5):J143 (1990).
- 32) McCall, J. and Douglas, W. J. M., *Tappi J.* 77 (2):153 (1994).
- 33) Burton, S. W. "An investigation of dynamic z-direction density profile development during impulse drying," Ph.D. Thesis, The Institute of Paper Chemistry, Appleton, WI, 1987

منابع مورد استفاده :

- 1) Markku Karlsson, *Metso Oyj, Book 9, Papermaking Part 2, Drying, STFI Book Series*
- 2) Jones, G., "The hot surface drying of fibre mats", PhD. thesis, University of Manchester, Manchester, England, 1969.
- 3) Nederveen, C. J. and Finken, J. G. M., *Drying Technology* 10(1):189(1992).
- 4) Kerekes, R. J., *Tappi* 63(9):137(1980).
- 5) Kartovaara, I., Rajala, R., Luukkala. M., Nederveen, C. J., *Eighth Fundamental Research Symposium, Mechanical Engineering Publications Ltd, London, 1985.*
- 6) Tajima, T. and Hirabayashi, Y., *J Japan Wood Res. Soc.* 22(12):689(1968)
- 7) Uprichard, J. M. and Gray, J. T., *Appita* 26(1):39(1972).
- 8) Luner, P., Kärnä, A. E. U., and Donofrio, C. P., *Tappi* 44(6):409(1961).
- 9) Alexander, S. D. and Marton, R., *Tappi* 51(6):283(1968).
- 10) Seth, R. S., in *Material Interactions Relevant to the Pulp, Paper and Wood Industries* (D. F. Caulfield, J. D. Passaretti, and S. F. Sobczynski, Eds.). *Symp. Proc.*, vol. 197, *Materials Research Soc.*, Pittsburgh, 1990, pp. 125-162.
- 11) Kimura, M. and Uchimura, H., *Sen-I Gakkaishi* 51(11):550(1995)
- 12) Nordman, L., Levlin, J.-E., and Visti, J., *Kuivatuksen vaikutus paperirainan ominaisuuksiin. Paperin valmistus, osa 1. Ed. Arjas, A. SPIY/TTA, Turku 1983 (in Finnish)*
- 13) Lavery, H. P., *Journal of Pulp and Paper Science* 13(6):J178 (1987).
- 14) Talja, R., *Paper Tech.* 33(6):18 (1992).
- 15) Talja, R., "Experience of pressing at elevated temperature," *1991 Helsinki Symposium Notes on Alternate Methods of Pulp and Paper Drying, PI/KCL/PIRA, Helsinki, p.129.*
- 16) Sunnerberg, G., *Svensk Papperstid.* "Bättre egenskaper med minskad glättning" 4:22 (1992).
- 17) Gorres, J., Luner, P. " Apparent density model of paper", *Journal of Pulp and Paper Science*, v 18, n 4, Jul, 1992, p J127-J130
- 18) Wistara, Nyoman (Department of Forestry, University of Wisconsin); Young, Raymond A. "Properties and treatments of pulps from recycled paper. Part I. Physical and chemical properties of pulps", *Cellulose*, v 6, n 4, 1999, p 291-324
- 19) Amiri, R. (Paprican); Wood, J.R.; Karnls, A.; Gorres, J., "Apparent density of paper", *Journal of Pulp and Paper Science*, 20(5):142 (1994)

پیوست الف:

Regression Analysis: Appaent Density versus FR, TP, ...

The regression equation is

$$\text{Appaent Density} = 559 - 42.7 \text{ FR} - 5.77 \text{ TP} + 10.9 \text{ PR} - 111 \text{ DC} - 8.59 \text{ FR}^2 - 15.0 \text{ TP}^2 - 11.4 \text{ FR.TP} - 8.21 \text{ FR.PR} - 44.2 \text{ FR.DC} + 2.10 \text{ TP.PR}$$

| Predictor | Coef | SE Coef | T | P |
|-----------------|----------|---------|--------|-------|
| Constant | 559.206 | 6.950 | 80.46 | 0.000 |
| FR | -42.651 | 4.538 | -9.40 | 0.000 |
| TP | -5.775 | 3.300 | -1.75 | 0.082 |
| PR | 10.899 | 2.878 | 3.79 | 0.000 |
| DC | -111.122 | 4.717 | -23.56 | 0.000 |
| FR ² | -8.585 | 4.644 | -1.85 | 0.066 |
| TP ² | -15.041 | 5.627 | -2.67 | 0.008 |
| FR.TP | -11.444 | 4.026 | -2.84 | 0.005 |
| FR.PR | -8.208 | 3.622 | -2.27 | 0.025 |
| FR.DC | -44.212 | 4.875 | -9.07 | 0.000 |
| TP.PR | 2.098 | 3.715 | 0.56 | 0.573 |

S = 31.9562 R-Sq = 88.8% R-Sq[adj] = 88.2%

Analysis of Variance

| Source | DF | SS | MS | F | P |
|----------------|-----|---------|--------|--------|-------|
| Regression | 10 | 1574015 | 157401 | 154.13 | 0.000 |
| Residual Error | 194 | 198113 | 1021 | | |
| Total | 204 | 1772128 | | | |

Source DF Seq SS

| | | |
|-----------------|---|--------|
| FR | 1 | 21628 |
| TP | 1 | 278703 |
| PR | 1 | 333565 |
| DC | 1 | 835539 |
| FR ² | 1 | 4974 |
| TP ² | 1 | 7911 |
| FR.TP | 1 | 3448 |
| FR.PR | 1 | 3894 |
| FR.DC | 1 | 84028 |
| TP.PR | 1 | 326 |

Archive of SID

پیوست ب:

Stepwise Regression: Apparent Density versus FR, TP, ...
 Alpha-to-Enter: 0.15 Alpha-to-Remove: 0.15
 Response is Apparent Density on 10 predictors, with N = 205

| Step | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Constant | 541.7 | 546.6 | 546.8 | 545.6 | 558.9 | 559.1 |
| DC | -115.2 | -108.5 | -109.3 | -109.6 | -106.4 | -106.2 |
| T-Value | -29.31 | -24.98 | -25.70 | -29.81 | -28.29 | -28.63 |
| P-Value | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| PR | 11.7 | 11.3 | 11.7 | 11.2 | 11.6 | |
| T-Value | | 3.29 | 3.28 | 3.90 | 3.80 | 4.00 |
| P-Value | | 0.001 | 0.001 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| FR.DC | | -11.1 | -33.6 | -33.5 | -39.0 | |
| T-Value | | -3.22 | -8.34 | -8.48 | -8.76 | |
| P-Value | | 0.002 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | |
| FR | | -33.5 | -33.6 | -38.5 | | |
| T-Value | | -8.32 | -8.50 | -8.87 | | |
| P-Value | | 0.000 | 0.000 | 0.000 | | |
| TP2 | | | -16.9 | -16.9 | | |
| T-Value | | | -2.97 | -3.00 | | |
| P-Value | | | 0.003 | 0.003 | | |
| FR.TP | | | | -10.4 | | |
| T-Value | | | | -2.56 | | |
| P-Value | | | | 0.011 | | |
| S | 40.9 | 39.9 | 39.0 | 33.7 | 33.1 | 32.6 |
| R-Sq | 80.88 | 81.86 | 82.74 | 87.18 | 87.72 | 88.12 |
| R-Sq[adj] | 80.79 | 81.68 | 82.49 | 86.92 | 87.41 | 87.76 |
| Mallows Cp | 130.8 | 115.9 | 102.5 | 27.5 | 20.1 | 15.2 |
| Step | 7 | 8 | 9 | | | |
| Constant | 559.1 | 564.3 | 560.5 | | | |
| DC | -106.7 | -106.5 | -109.9 | | | |
| T-Value | -29.05 | -29.16 | -26.54 | | | |
| P-Value | 0.000 | 0.000 | 0.000 | | | |
| PR | 10.9 | 11.0 | 11.1 | | | |
| T-Value | 3.78 | 3.84 | 3.87 | | | |
| P-Value | 0.000 | 0.000 | 0.000 | | | |
| FR.DC | -44.2 | -43.9 | -44.2 | | | |
| T-Value | -9.00 | -8.99 | -9.09 | | | |
| P-Value | 0.000 | 0.000 | 0.000 | | | |
| FR | -42.3 | -42.4 | -42.6 | | | |
| T-Value | -9.24 | -9.33 | -9.40 | | | |
| P-Value | 0.000 | 0.000 | 0.000 | | | |
| TP2 | -17.1 | -17.0 | -15.1 | | | |
| T-Value | -3.08 | -3.07 | -2.68 | | | |
| P-Value | 0.002 | 0.002 | 0.008 | | | |
| FR.TP | -10.7 | -10.6 | -11.4 | | | |
| T-Value | -2.66 | -2.64 | -2.84 | | | |
| P-Value | 0.008 | 0.009 | 0.005 | | | |

| | | | |
|------------|-------|-------|-------|
| FR.PR | -8.7 | -8.5 | -8.1 |
| T-Value | -2.39 | -2.35 | -2.25 |
| P-Value | 0.018 | 0.020 | 0.025 |
| FR2 | -8.3 | -8.6 | |
| T-Value | -1.79 | -1.87 | |
| P-Value | 0.075 | 0.064 | |
| TP | -5.5 | | |
| T-Value | | -1.70 | |
| P-Value | | 0.091 | |
| S | 32.2 | 32.1 | 31.9 |
| R-Sq | 88.45 | 88.64 | 88.80 |
| R-Sq [adj] | 88.04 | 88.17 | 88.29 |
| Mallows Cp | 11.4 | 10.2 | 9.3 |

Archive of SID

Investigation on the Influence of Paper Making Variables on Apparent Density of Paper Produced From Old Corrugated Container

Ramazani, O¹. Jahan-Latibari, A². Faezipour, M³. Enayeti, A.A⁴. and Manzouralajdad, M⁵.

1-Ph.D. student at Wood and Paper Science and Technology, University of Tehran

2-Asst. Prof. Islamic Azad University, Karadj Branch(latibari_24@yahoo.com)

3-Prof., Wood and Paper Science and Technology, Tehran University

4-Associate Prof. Wood and Paper Science and Technology, University of Tehran Manager, Research and Development Dept. Iran Wood and Paper Industries

Abstract

Apparent Density of paper is the most effective physical property which directly and indirectly affects most of the strength and optical properties of paper such as tensile strength, modulus of elasticity, light scattering coefficient as well as the bonded area between fibers. Since paper making variables influences the apparent density of paper, in this study, the influence of OCC pulp freeness, and drying conditions are investigated. The influence of three freeness levels of 350, 450, and 550 CSF, drying under strain and unstrained, drying temperatures of 100, 150, 200 °C and drying pressure of 7 and 10 kg/cm² are studied. The relationship between paper making variables and apparent density is developed. All measurements of apparent density were analyzed using Minitab 15 and regression model between independent variables was calculated. The results showed that both pulp freeness and drying temperature had the highest impact on apparent density and both factors increased the apparent density. The response of apparent density of the hand sheets dried at 200 °C varied considerably and was analyzed thoroughly. Higher pressure increased apparent density of the sheets. The combined effect of variables is also considered. The combined effect of pulp freeness and drying temperature caused lignin softening and delamination. However, the influence of increasing the drying pressure for unrefined and less refined pulp is not significant. Furthermore, for unstrained drying, the influence of freeness on apparent density was more than strained drying. Manufacturing of more desirable quality papers would be possible considering the obtained results and the effect of Apparent Density on paper strength properties.

Keywords: Apparent density, freeness, drying temperature, drying pressure, tensile strength, restrained drying, Free drying