

بهبود مقاومت کششی تر کاغذهای بهداشتی با بهینه‌سازی متغیرهای فرایند رنگ‌بری خمیر کاغذ جوهرزدایی‌شده

حامد شریفی طاسکوه^۱، یحیی همزه^{۲*} و شادمان پورموسی^۳

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج

۲- استاد، گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، پست الکترونیک: hamzeh@ut.ac.ir

۳- استادیار، گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرج

تاریخ پذیرش: مهر ۱۳۹۴

تاریخ دریافت: اسفند ۱۳۹۳

چکیده

این پژوهش با هدف بررسی اثر شرایط رنگ‌بری خمیرکاغذهای باطله بر خواص کاغذ انجام شد و از خمیرکاغذ بازیافتی جوهرزدایی شده و پراکنده‌سازی شده شرکت محصولات کاغذی لطیف که مخلوطی از پوشال چاپخانه‌ها و کاغذهای باطله اداری و درصدی از الیاف مکانیکی است، استفاده شد. برای بهینه‌سازی شاخص مقاومت‌کششی‌تر، بهینه‌سازی شش متغیر اصلی فرایند رنگ‌بری (میزان پراکسید هیدروژن، میزان هیدروکسید سدیم، میزان سیلیکات سدیم، مدت زمان رنگ‌بری، دمای رنگ‌بری و pH نهایی) و هر یک در پنج سطح مورد بررسی قرار گرفت که برای این کار از نرم‌افزار Design Expert 8.0.6.1 استفاده شد. نتایج در قالب طرح مرکب مرکزی (CCD) بررسی و با روش سطح پاسخ (RSM) مدل‌سازی و تجزیه و تحلیل شد. نقطه بهینه شاخص مقاومت‌کششی‌تر در مقادیر پراکسید هیدروژن، هیدروکسید سدیم و سیلیکات سدیم ۱/۵۵ درصد، مدت زمان رنگ‌بری ۹۰ دقیقه، دمای رنگ‌بری ۸۳ درجه سانتی‌گراد و pH نهایی ۸/۵ برابر با ۱/۳۹ (Nm/g) بدست آمد. نتایج این تحقیق نشان داد که متغیرهای فرایند رنگ‌بری علاوه بر اثرگذاری روی ویژگی‌های نوری مانند درجه روشنی می‌توانند بر روی مقاومت‌های مکانیکی کاغذ از جمله شاخص مقاومت‌کششی‌تر و خشک کاغذ نیز اثرگذار باشند و با بهینه‌سازی آنها می‌توان خواص مقاومتی کاغذ را نیز بهبود داد.

واژه‌های کلیدی: شاخص مقاومت‌کششی‌تر، رنگ‌بری کاغذهای بازیافتی جوهرزدایی شده، کاغذهای بهداشتی، روش سطح پاسخ.

مقدمه

(Ghasemian & Khalili, 2012). از طرفی، استفاده از الیاف بازیافتی با کاهش کیفیت محصول همراه است که مستلزم مطالعه بیشتر برای افزایش کیفیت و کمیت محصول است. خصوصیات بارز محصولاتی که از کاغذهای سبک (کاغذهای بهداشتی)

افزایش روزافزون جمعیت و توسعه فرهنگی از یک طرف و کمبود منابع چوبی و فشارهای زیست‌محیطی از طرف دیگر، صنعت بازیافت کاغذ را مهم و ضروری کرده است

مواد و روش‌ها

در این پژوهش کلیه مواد از شرکت محصولات کاغذی لطیف تهیه شد که شامل مواد شیمیایی رنگ‌بر (پراکسید هیدروژن با درجه خلوص ۵۰٪، هیدروکسید سدیم با درجه خلوص ۴۲٪ و سیلیکات سدیم با درجه خلوص ۱۰۰٪)، آب فرایندی (برای تنظیم میزان درصد خشکی خمیر کاغذ هنگام رنگ‌بری نمونه‌ها) و خمیر کاغذ بازیافتی جوهرزدایی و پراکنده‌سازی شده از شرکت محصولات کاغذی لطیف با درصد خشکی ۳۰٪ بود. برای بهینه‌سازی رنگ‌بری، شش متغیر اصلی رنگ‌بری در پنج سطح مورد بررسی قرار گرفت (جدول ۱). به طوری که درصد مواد بر اساس وزن خشک خمیر کاغذ بود. برای تعیین تیمارهای بهینه و مقادیر مناسب پارامترهای عملیاتی رنگ‌بری از نرم‌افزار 8.0.6.1 Design Expert، و روش سطح پاسخ (RSM^۲) استفاده شد. در روش سطح پاسخ با بکارگیری طرح مرکب مرکزی (CCD^۳) تعداد آزمایش‌ها در حالت فاکتوریل کامل به ۸۶ آزمایش کاهش می‌یابد.

پس از تهیه خمیر کاغذ، مواد شیمیایی و آب فرایندی شرکت برای تنظیم درصد خشکی ۳۰٪ به خمیر کاغذ اضافه شد و مواد داخل کیسه پلی‌اتیلنی ریخته شد و بعد از تنظیم pH، هم زدن خمیر کاغذ برای پخش یکسان مواد رنگ‌بر انجام شد. سپس کیسه پلی‌اتیلنی حاوی مواد داخل حمام آب گرم قرار داده شد و شرایط رنگ‌بری از نظر دما و زمان بر آن اعمال شد. از نمونه‌های رنگ‌بری شده طبق استاندارد TAPPI آیین‌نامه شماره 88 - 205 om کاغذ دست‌ساز با گراماژ ۳۰ g/m² تهیه شد و اندازه‌گیری شاخص مقاومت به کشش تر و شاخص مقاومت به کشش خشک به ترتیب طبق استاندارد شماره T 494 om-10 و T 456 om-10 آیین‌نامه TAPPI انجام شد.

ساخته می‌شوند، شامل مقاومت کششی خوب همراه با قابلیت انعطاف پذیری مناسب، نرمی سطح، دانسیته ظاهری^۱ نسبتاً کم و توانایی جذب زیاد مایعات است (McKinney, 1995). یکی از مهمترین خواص کاغذهای بهداشتی، مقاومت به کشش در حالت تر آنهاست. مقاومت کششی مطلوب کاغذ سبب افزایش بازدهی تولید کاغذ در کارخانه می‌شود و از پارگی و توقف تولید جلوگیری می‌کند. محققان نشان داده‌اند که با افزایش میزان هیدروکسید سدیم در فرایند رنگ‌بری کاغذهای بازیافتی مقاومت‌های مکانیکی کاغذ از جمله شاخص مقاومت به کشش افزایش پیدا می‌کند و همچنین، تنظیم فرایند خمیرسازی و رنگ‌بری در شرایط pH قلیایی مناسب نیز سبب بهبود مقاومت‌های مکانیکی می‌شود (Yun Hietanen *et al.*, 2013; McKinney, 1995; Ashrafian, 2003; & He, 2013; البته مقدار مصرف پراکسید هیدروژن تأثیر معنی‌داری بر ویژگی‌های مکانیکی کاغذ (شاخص مقاومت به کشش، شاخص مقاومت به ترکیدن، شاخص مقاومت به پاره شدن) نداشته است، اما افزایش زمان رنگ‌بری منجر به معنی‌دار شدن و افزایش این ویژگی‌ها می‌شود (Mehri Iraie *et al.*, 2013). این نتایج نشان می‌دهند که شرایط رنگ‌بری خمیر کاغذ جوهرزدایی شده می‌تواند اثرات زیادی بر خواص مکانیکی خمیر کاغذ رنگ‌بری شده حاصل از کاغذ بازیافتی جوهرزدایی شده داشته باشد. بنابراین، در این تحقیق خمیر کاغذ جوهرزدایی شده در دامنه گسترده‌ای از متغیرهای مؤثر بر رنگ‌بری اکسایشی مورد تیمار رنگ‌بری قرار گرفت و شرایط بهینه رنگ‌بری برای دستیابی به مطلوب‌ترین شاخص مقاومت کششی تر و خشک کاغذ دست‌ساز با در نظر گرفتن سایر فاکتورهای مهم رنگ‌بری از جمله درجه روشنی زیادتر، درجه زردی کمتر و میزان ماندگاری آب الیاف (WRV) زیادتر با استفاده از نرم‌افزار 8.0.6.1 Design Expert تعیین و تجزیه و تحلیل و مدل‌سازی شد.

2- Response Surface Methodology
3- Central Composite Design

1-Bulk density

جدول ۱- متغیرهای فرایند رنگ‌بری خمیرکاغذ بازیافتی جوهرزدایی شده و سطوح آنها

سطح					متغیرهای مستقل
-۱	-۰/۵	۰	۰/۵	۱	
۹۵	۹۰	۸۵	۸۰	۷۵	زمان (دقیقه)
۱۰۰	۹۰	۸۰	۷۰	۶۰	دما (°C)
۹/۵	۸/۵	۷/۵	۶/۵	۵/۵	pH نهایی
۱/۹	۱/۵۵	۱/۲	۰/۸۵	۰/۵	هیدروکسید سدیم (%)
۱/۹	۱/۵۵	۱/۲	۰/۸۵	۰/۵	پراکسید هیدروژن (%)
۱/۹	۱/۵۵	۱/۲	۰/۸۵	۰/۵	سیلیکات سدیم (%)

Myers, and Montgomery , 1995)

طرح آزمایش، تحلیل آماری و مدل‌سازی

مدل‌سازی

پس از استخراج ضرایب مدل رگرسیون و نتایج آنالیز واریانس برای هر یک از متغیرهای تابع باید مطابقت مدل با داده‌های آزمایش مورد بررسی قرار گیرد. برای این کار روش‌های متعددی نظیر تحلیل باقیمانده، انحراف معیارهای پیش‌بینی شده و آزمون عدم تطابق وجود دارد. قابلیت پیش‌بینی کلی مدل توسط ضریب تبیین^۱ (R^2) بیان شد و اهمیت آماری آن به وسیله آزمون آماری فیشر^۲ (F -Value) مشخص گردید. اهمیت هر یک از ضرایب رگرسیون (مدل) نیز بر اساس آزمون t به دست آمد. البته باید عنوان شود که R^2 به تنهایی نمی‌تواند دقت مدل را توضیح دهد، زیرا این شاخص بیان‌کننده تغییرات حول میانگین پاسخ است. از این‌رو از ضریب دیگری به نام ضریب تبیین تنظیم شده (R_{adj}^2) استفاده می‌کنند. در محاسبه این ضریب، برخلاف R^2 ، به جای مجموع مربعات از میانگین مجموع مربعات استفاده می‌شود. در واقع این ضریب تبیین عبارت است از نسبت مجموع مربعات کل که مقدار عددی آن بین صفر و یک تغییر می‌کند. R^2 مساوی یک

روش سطح پاسخ مجموعه‌ای از روش‌های ریاضی و آماری است و در بهینه‌سازی فرایندهایی که پاسخ موردنظر تحت تأثیر تعدادی زیادی از متغیرهاست کاربرد دارد. کاهش تعداد آزمایش‌ها و قابل برآورد بودن ضرایب رگرسیون درجه دو و چگونگی روابط بین یک یا چند پاسخ با استفاده از تأثیر متغیرهای مستقل با این روش قابل اندازه‌گیری است. در روش سطح پاسخ از طرح مرکب مرکزی در قالب مرکز وجهی استفاده شد. نتایج پژوهش با استفاده از نرم‌افزار آماری Design Expert 8.0.6.1 به روش سطح پاسخ تحلیل شد و هر یک از متغیرهای پاسخ در قالب مدل رگرسیون چند جمله‌ای به صورت تابعی از متغیرهای مستقل ارائه شدند.

$$Y = \beta_0 + \sum_{j=1}^k \beta_j x_j + \sum_{j=1}^k \sum_{i=1}^k \beta_{ij} x_i^2 + \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^k \beta_{ij} x_i x_j$$

در اینجا β_0 ، β_j ، β_{zz} و β_{ij} به ترتیب ضرایب ثابت، خطی، درجه دوم و اثر متقابل رگرسیون هستند. X_i و X_j متغیرهای مستقل کد شده و k تعداد متغیرهاست. با استفاده از جدول آنالیز واریانس (ANOVA) معنی دار بودن اثرات خطی، درجه دوم و متقابل ضرایب مدل رگرسیون برای هر پاسخ در سطوح پنج و یک درصد بررسی شد (Montgomery, 2008).

1- Coefficient of determination

2- Fisher test

۳- نرمال مانده‌ها

در قسمت "ج" هر مدل نشان داده شده است. نمودار احتمال نرمال نشان می‌دهد که مانده‌ها چگونه از یک توزیع نرمال پیروی می‌کنند. حتی با وجود داده‌های طبیعی انتظار برخی پراکنش‌های متوسط وجود دارد. الگوهای منحنی شکل و مشخصی مانند "S-شکل" که تنها با یک نگاه قابل تشخیص می‌باشند، نشان می‌دهد که با انجام یک تابع انتقال بر روی متغیر وابسته یا پاسخ مدل، تجزیه و تحلیل بهتری به دست خواهد آمد. آزمون شاپیرو وابسته به فرض استقلال است و نمی‌توان از آن در نمودار آزمون برای تشخیص نرمال بودن داده‌ها استفاده کرد. خودهمبستگی بین مانده‌ها نیز اعتبار آزمون شاپیرو را از بین می‌برد.

۴- منحنی باکس کاکس^۲

در قسمت "د" هر مدل نشان داده شده است. این نمودار ابزاری برای کمک به تشخیص مناسب‌ترین تابع انتقال توانی به منظور اعمال بر پاسخ است. پایین‌ترین نقطه در نمودار باکس کاکس بهترین مقدار لاندا را که در آن حداقل مجموع مربعات مانده در مدل تبدیل شده ایجاد می‌شود را نشان می‌دهد. هنگامی که نسبت حداکثر به حداقل مقدار پاسخ، بیشتر از ۳ باشد، توانایی بیشتری در بهبود مدل با استفاده از تابع توانی وجود خواهد داشت. همچنین در این نمودار محدوده اطمینان ۹۵٪ نیز نشان داده شده است.

۵- مقدار مانده‌ها در برابر مقادیر پیش‌بینی شده

در قسمت "ه" هر مدل نشان داده شده است. این نمودار مقدار مانده‌ها را در برابر مقادیر پیش‌بینی شده مدل آورده است. این نمودار مقدار مانده‌ها را در مقابل مقادیر پیش‌بینی پاسخ نشان داده و فرض واریانس ثابت را آزمون می‌کند.

یعنی مدل همه داده‌های آزمایشی را برآورد می‌کند و R^2 مساوی صفر یعنی که برآورد مدل کاملاً اشتباه است. بنابراین برای آن که یک مدل توانایی خوبی برای برازش اطلاعات داشته باشد لازم است که R^2 بیشتر از ۰/۸ باشد (Montgomery, 2008; Myers, and Montgomery, 1995).

نمودارهای آماری تشریح مدل

بعد از بررسی داده‌ها و استخراج مدل هر یک از متغیرهای وابسته برای بررسی میزان عملکرد و صحت هر یک از این مدل‌ها، شش نمودار با عنوانهای زیر آورده خواهد شد:

۱- پرتشدگی^۱ مدل

در قسمت "الف" هر مدل نشان داده شده است. نمودار پرتشدگی مقایسه اثر همه پارامترها در یک نقطه خاص از فضای طراحی را امکان‌پذیر می‌کند. نقطه مرجع در نقطه میانی تمام عوامل که با کد صفر مشخص شده است (جدول ۱)، قرار داده شده است. شیب یا انحنای تند یک پارامتر نشان می‌دهد که پاسخ به این پارامتر حساس است. خط نسبتاً صاف، غیرحساس بودن پاسخ را به تغییر آن عامل خاص نشان می‌دهد. البته باید دانست که در این نمودار اثر برهم‌کنش‌ها قابل مشاهده نیست.

۲- مقادیر واقعی در مقابل مقادیر پیش‌بینی شده

در قسمت "ب" هر مدل نشان داده شده است. نمودار مقادیر پاسخ پیش‌بینی شده در مقابل مقادیر واقعی را برای کمک به این تشخیص مقادیر یا گروهی از مقادیر که توسط مدل پیش‌بینی نشده است را نشان می‌دهد.

2- Box-Cox plot

1- Perturbation

Design Expert متغیر شاخص مقاومت کششی تر کاغذ دست ساز به عنوان توابع هدف به نرم افزار معرفی شد. هدف از بهینه سازی، یافتن نقاطی با مقاومت کششی تر بالا بود.

نتایج

استخراج مدل شاخص مقاومت کششی تر کاغذ دست ساز با مقایسه مقادیر مشاهده شده و مقادیر پیش بینی شده و از میان مدل های مختلف، مدل خطی با پیشنهاد نرم افزار (دارای شاخص های آماری مطلوب و مختلف مد نظر نرم افزار، از جمله داشتن ریشه میانگین مربعات خطای کمتر، ضرایب تبیین تنظیم شده و پیش بینی بیشتر و همچنین مجموع مربعات مانده پیش بینی مدل کمتر نسبت به سایر مدل ها) برای پیش بینی شاخص مقاومت کششی تر کاغذ دست ساز انتخاب شد. سپس با استفاده از روش گام به گام و اعمال آن بر مدل انتخابی، تمام متغیرها در مدل باقی ماندند. ضریب تبیین این معادله ۰/۹۲ به دست آمد (جدول ۲).

نمودار باید دارای پراکندگی تصادفی، که نشان دهنده طیف ثابت مانده در سراسر نمودار است، باشد. الگوهای به شکل "<" نیاز به استفاده از یک تابع انتقال توانی را نشان می دهد.

۶- مانده استیودنتیته بیرونی

در قسمت "و" هر مدل نشان داده شده است که مبین مقدار انحراف، انحراف معیار مقدار واقعی از مقدار پیش بینی شده، پس از حذف یک نقطه است. از آنجاکه در این اندازه گیری ها از یک نقطه برای محاسبه برآورد واریانس استفاده نمی شود، به این عمل، مانده استیودنتیته خارجی یا بیرونی گفته می شود. در این نمودار برای شناسایی آسان تر نقاط غیر طبیعی حدود کنترل نیز به شکل دو خط آورده شده است.

بهینه سازی شاخص مقاومت کششی تر کاغذ دست ساز بعد از یافتن مدل های رگرسیونی متغیر خروجی، برای یافتن نقطه بهینه در بخش بهینه سازی نرم افزار 8.0.6.1

جدول ۲- شاخص های آماری مدل انتخابی شاخص مقاومت کششی تر کاغذ دست ساز با استفاده از روش خطی گام به گام

مدل انتخابی	انحراف معیار	ضریب تبیین	ضریب تبیین اصلاح شده	درجه آزادی مدل	مجموع مربعات مانده پیش بینی مدل	میانگین	درصد ضریب تغییرات
خطی گام به گام	۰/۰۲۸	۰/۹۲۴۵	۰/۹۱۸۸	۶	۰/۰۷۱	۱/۰۸	۲/۶۲

شده است. همچنین با توجه به نمودار باکس کاکس (شکل ۱- د) و برای ساده بودن مدل، مقدار لاندا برابر یک انتخاب گردید. نمودارهای مربوط به کفایت مدل نیز عملکرد خوب مدل را نشان می دهند (شکل ۱- ج، ه، و).

مدل نهایی پیش بینی شاخص مقاومت کششی تر کاغذ دست ساز توسط رابطه ۱ نشان داده شده است که در آن ضرایب به صورت واقعی است.

با بهره گیری از نتایج طرح مرکب مرکزی و تجزیه رگرسیون این داده ها، ضرایب مدل استخراج شده برای شاخص مقاومت کششی تر کاغذ دست ساز با توجه به متغیرهای مدت زمان رنگ بری (A)، دمای رنگ بری (B)، pH نهایی (C)، میزان هیدروکسید سدیم (D)، میزان پراکسید هیدروژن (E) و میزان سیلیکات سدیم (F) بر حسب مقادیر کد شده و مقدار شاخص مقاومت کششی تر کاغذ دست ساز در جدول ۳ بیان

رابطه ۱

$$\text{شاخص مقاومت کششی تر} = -0.95011 + 3.917 \times 10^{-3} \text{ Time} + 4.119 \times 10^{-3} \text{ Temperature} + 0.106 \text{ pH} + 0.423 \text{ NaOH} - 0.0318 \text{ H}_2\text{O}_2 + 0.0868 \text{ Na}_2\text{SiO}_4$$

جدول ۳- ضرایب مدل استخراج شده برای شاخص مقاومت کشش تر کاغذ دست ساز

پارامتر	ضریب	درجه آزادی	خطای استاندارد	حد اطمینان پایین	حد اطمینان بالا	مقدار پی	عامل تورم واریانس
عدد ثابت	۱/۰۸	۱	$3/053 \times 10^{-3}$	۱/۰۸	۱/۰۹	<۰/۰۰۰۱	
A	۰/۰۲۰	۱	$3/336 \times 10^{-3}$	۰/۰۱۳	۰/۰۲۶	<۰/۰۰۰۱	۱/۰۰
B	۰/۰۴۱	۱	$3/377 \times 10^{-3}$	۰/۰۳۴	۰/۰۴۸	<۰/۰۰۰۱	۱/۰۰
C	۰/۱۱	۱	$3/336 \times 10^{-3}$	۰/۱۰۰	۰/۱۱	<۰/۰۰۰۱	۱/۰۰
D	۰/۱۵	۱	$3/336 \times 10^{-3}$	۰/۱۴	۰/۱۵	<۰/۰۰۰۱	۱/۰۰
E	-۰/۰۱۱	۱	$3/336 \times 10^{-3}$	-۰/۰۱۸	$-4/499 \times 10^{-3}$	۰/۰۰۱۳	۱/۰۰
F	۰/۰۳۰	۱	$3/336 \times 10^{-3}$	۰/۰۲۴	۰/۰۳۷	<۰/۰۰۰۱	۱/۰۰

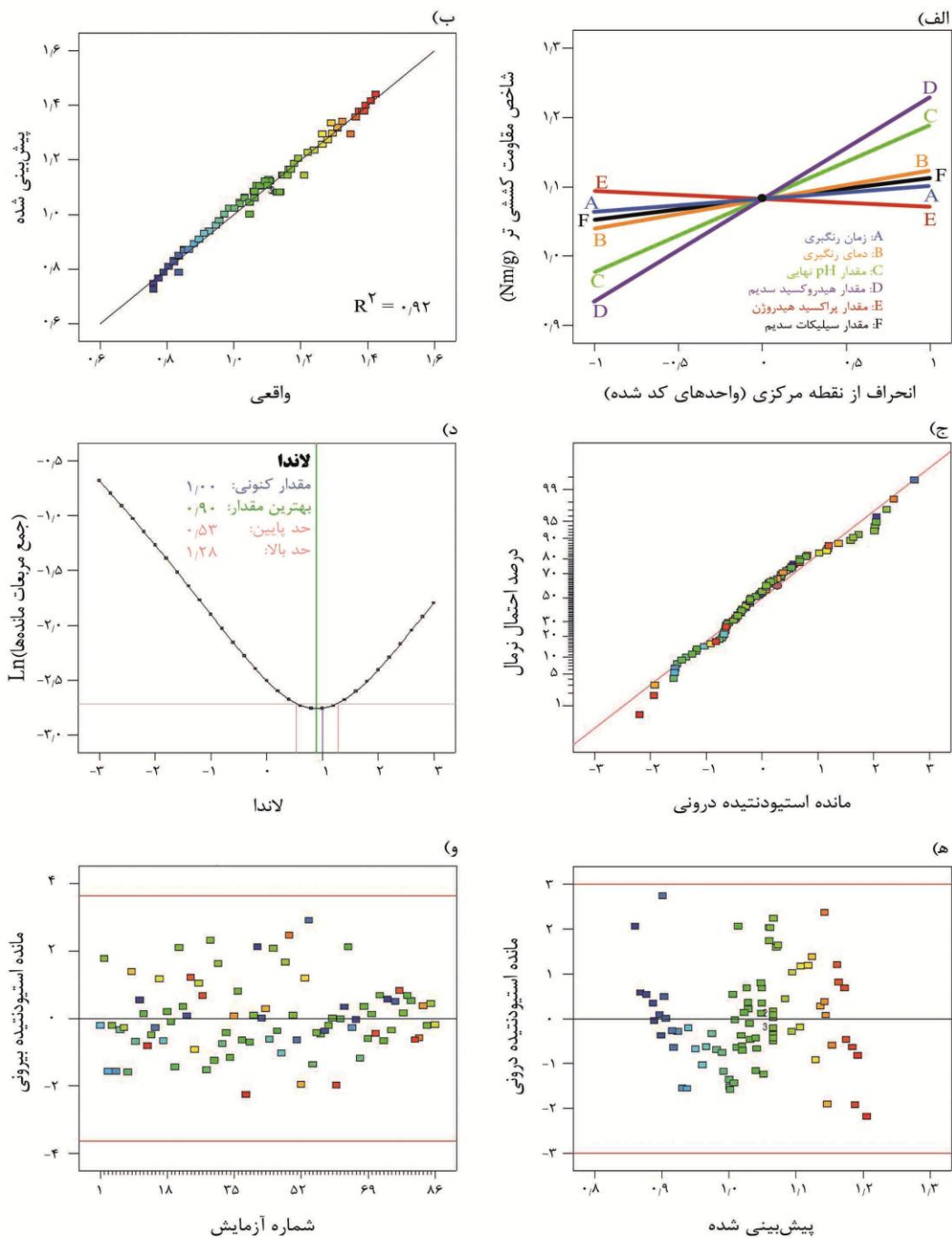
مقاومت کششی خشک مشابه شاخص مقاومت کششی تر است. البته با توجه به نوع محصول که در این تحقیق کاغذ بهداشتی (تیشو) می باشد، اهمیت شاخص مقاومت کششی تر بیشتر است.

نقطه بهینه شاخص مقاومت کششی تر کاغذ دست ساز

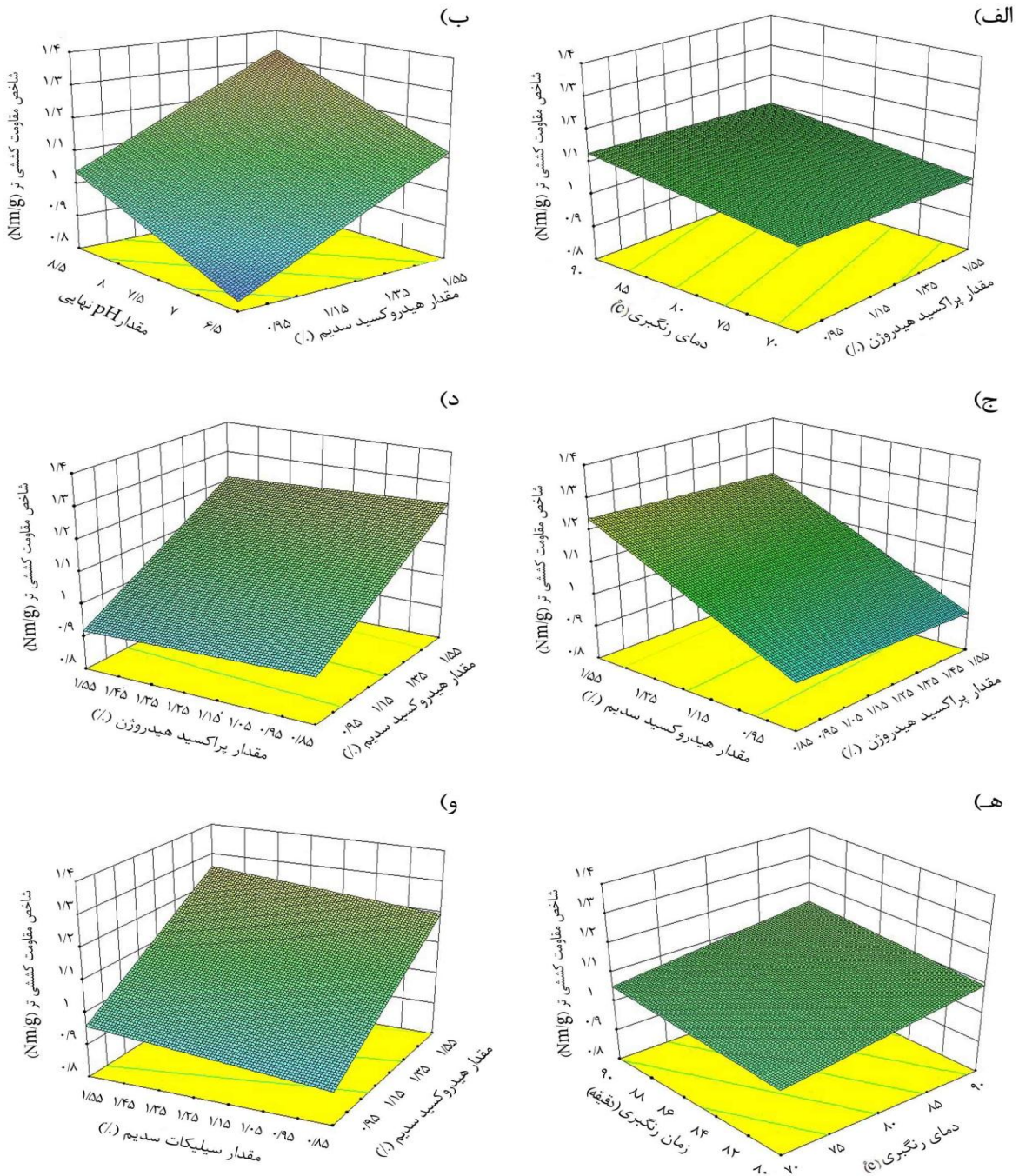
نقطه بهینه شاخص مقاومت کششی تر و شاخص مقاومت کششی خشک کاغذ دست ساز با استفاده از نرم افزار Design Expert 8.0.6.1 به دست آمد که در جدول ۴ گزارش شده است. هدف از بهینه سازی، یافتن تقاطعی با شاخص مقاومت کشش تر کاغذ دست ساز بیشتر بود. البته باید توجه داشت که در این بهینه سازی فاکتورهای مهم رنگ بری مانند درجه روشنی زیادتر، درجه زردی کمتر و میزان ماندگاری آب لیاف (WRV) زیادتر نیز لحاظ شده است.

در این مدل تمامی اثرات خطی هستند و در سطح یک درصد معنی دار شده اند. با توجه به شکل (۱-الف) و شکل ۲، با افزایش میزان هیدروکسید سدیم، pH نهایی، دمای رنگ بری، میزان سیلیکات سدیم و مدت زمان رنگ بری شاخص مقاومت کششی تر افزایش پیدا می کند. با توجه به شیب خطوط هیدروکسید سدیم و pH نهایی، افزایش این دو متغیر تأثیر زیادی در افزایش شاخص مقاومت کششی تر دارند، که علت این امر را می توان به خاصیت این دو متغیر در افزایش تورم لیاف بیان کرد. همچنین با افزایش پراکسید هیدروژن شاخص مقاومت کششی تر کاهش پیدا می کند.

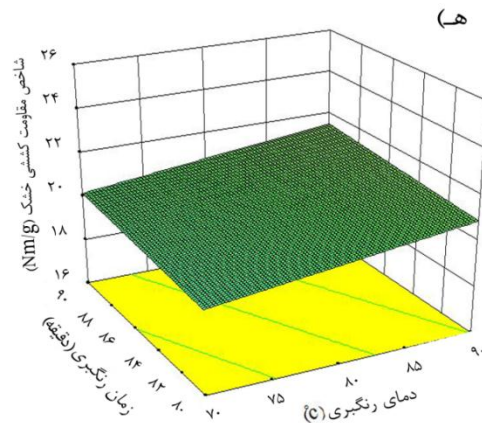
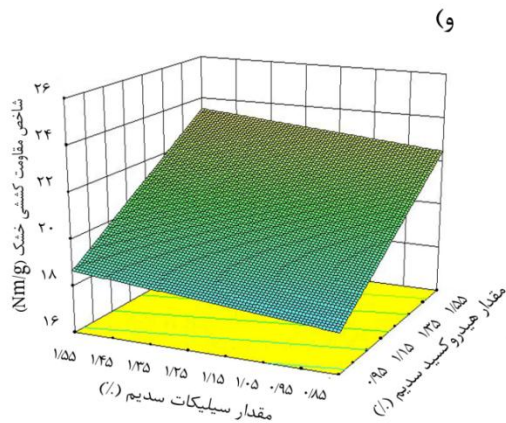
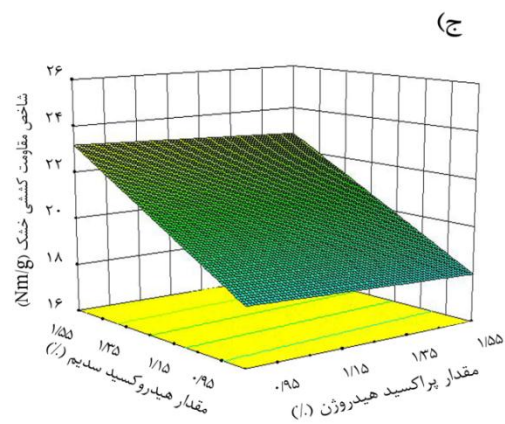
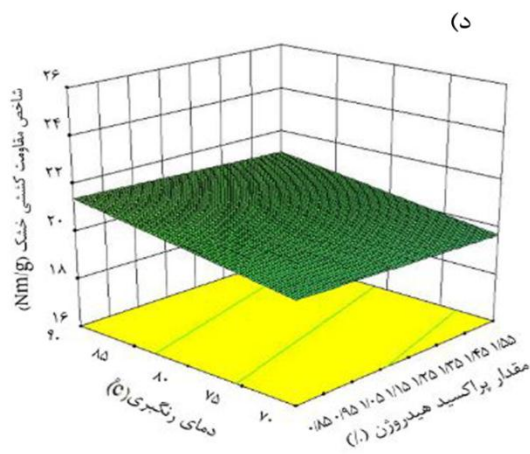
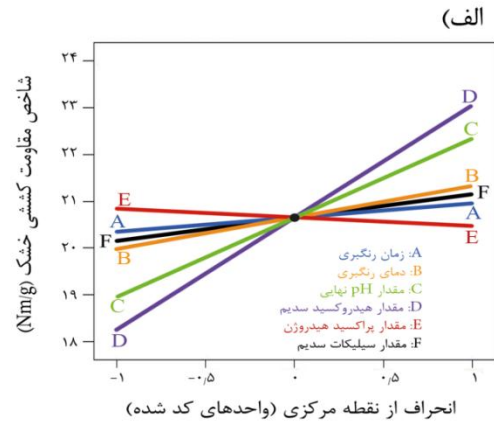
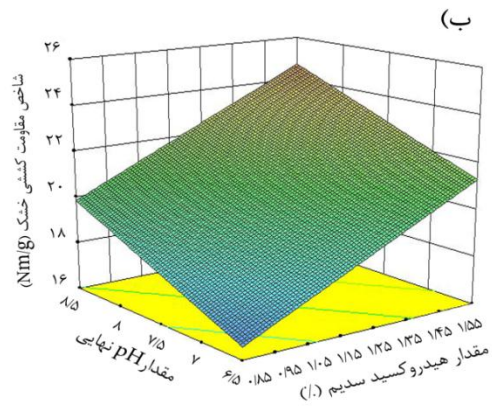
با توجه به شکل ۳ که نمودار پرشیدگی مدل شاخص مقاومت کششی خشک (شکل ۳-الف) و نمودار سه بعدی مقاومت کششی خشک بر حسب دو متغیر را نشان می دهد، می توان بیان کرد که روند تغییرات و شرایط بهینه شاخص



شکل ۱- نمودارهای مربوط به مدل شاخص مقاومت کششی تر کاغذ دست‌ساز، (الف) پرشیدگی مدل، (ب) مقادیر مدل شاخص مقاومت کششی تر واقعی در مقابل مقادیر پیش‌بینی شده، (ج) نمودار نرمال مانده‌ها، (د) منحنی باکس-کاکس برای تعیین درجه تابع مدل، (ه) مقدار مانده‌ها در برابر مقادیر پیش‌بینی شده، (و) مانده استیودنتیته بیرونی



شکل ۲- نمودار سه بعدی شاخص مقاومت کششی تر برحسب دو متغیر، الف) دمای رنگبری و مقدار پراکسید هیدروژن، ب) مقدار pH نهایی و مقدار هیدروکسید سدیم، ج) مقدار هیدروکسید سدیم و مقدار پراکسید هیدروژن، د) مقدار پراکسید هیدروژن و مقدار هیدروکسید سدیم، ه) زمان رنگبری و دمای رنگبری، و) مقدار سیلیکات سدیم و مقدار هیدروکسید سدیم



شکل ۳- الف) نمودار پرشیدگی مدل شاخص مقاومت کششی خشک و نمودار سه بعدی شاخص مقاومت کششی خشک بر حسب دو متغیر، ب) مقدار pH نهایی و مقدار هیدروکسید سدیم، ج) مقدار هیدروکسید سدیم و مقدار پراکسید هیدروژن، د) دمای رنگبری و مقدار پراکسید هیدروژن، ه) زمان رنگبری و دمای رنگبری، و) مقدار سیلیکات سدیم و مقدار هیدروکسید سدیم

جدول ۴- نقاط بهینه شاخص مقاومت کششی تر و شاخص مقاومت کششی خشک کاغذ دست ساز و سایر فاکتورهای مهم رنگبری

میزان ماندگاری	درجه	درجه	شاخص	شاخص	میزان	میزان	میزان	pH	دمای	زمان	صفت
(g/g) آب الیاف	زردی	روشنی	مقاومت کششی	مقاومت کششی	سیلیکات	پراکسید	هیدروکسید	نهایی	رنگبری	رنگبری	شماره
	(%)	(%)	خشک (Nm/g)	تر (Nm/g)	سدیم (%)	هیدروژن (%)	سدیم (%)		(°C)	(دقیقه)	
۰/۸۱۲۹	-۱۲/۹۵	۸۷/۰۷	۲۵/۶۰	۱/۳۹	۱/۵۵	۱/۵۵	۱/۵۵	۸/۵	۸۳/۸۹	۸۹/۸۷	۱
۰/۸۱۲۹	-۱۲/۸۹	۸۶/۹۳	۲۵/۶۷	۱/۳۹	۱/۵۳	۱/۵۵	۱/۵۵	۸/۵	۸۵/۰۸	۹۰	۲
۰/۸۱۳۱	-۱۲/۹۴	۸۷/۰۷	۲۵/۵۴	۱/۳۸	۱/۵۴	۱/۵۵	۱/۵۵	۸/۵	۸۳/۳۰	۹۰	۳
۰/۸۱۳۲	-۱۲/۹۵	۸۷/۰۹	۲۵/۵۱	۱/۳۸	۱/۵۵	۱/۵۵	۱/۵۵	۸/۵	۸۳/۸۰	۸۸/۵۰	۴
۰/۸۱۰۷	-۱۲/۹۴	۸۷/۰۸	۲۵/۵۱	۱/۳۸	۱/۵۴	۱/۵۵	۱/۵۵	۸/۵	۸۳/۴۶	۸۹/۱۲	۵

بحث

رنگ‌بری ۹۰ دقیقه، دمای رنگ‌بری ۸۳ درجه سانتی‌گراد و pH نهایی ۸/۵ قابل حصول است.

منابع مورد استفاده

- Ashrafian, S., 2003. Improving the strength of OCC recycled by treatment with sodium hydroxide. International conference of technology and cellulose's matter application, Paradise technical college, Tehran University, pp. 1-5. (In Persian)
- Ghasemian, A. and Khalili, A., 2012. Fundamentals and Procedures of Paper Recycling, Aeij Press, Tehran, 169p. (In Persian).
- Hietanen, T. M., Österberg, M. and Backfolk, K.A., 2013. Effects on pulp properties of magnesium hydroxide in peroxide bleaching. *BioResources*, 8(2), 2337-2350.
- McKinney, R.(Ed.), 1995. Technology of paper recycling. Springer Science and Business Media, 401p.
- Mckinney, T. and Hache, M., 1991. Technology of paper recycling. Blackie Academic and Professional, UK, 401p.
- Mehri Iraie, H., Ghasemian, A., Resalati, H., Saraeyan, A. and Akbarpour, I., 2013. Investigation on Bleaching of Mixed Old Newspaper and Magazine Deinked Pulp with Hydrogen Peroxide. *Iranian Journal of Natural Resources*, 67(3): 503-516.
- Montgomery, D.C., 2008. Design and analysis of experiments. John Wiley & Sons, 757p.
- Myers, R.H. and Montgomery, D.C., 1995. Response Surface Methodology: John Wiley and Sons, 1247p.
- Yun, N. and He, B., 2013. Mg(OH)₂-based hydrogen peroxide bleaching of deinked pulp. *BioResources*, 8(3), 609-4618.

نتایج این تحقیق نشان داد، با افزایش میزان هیدروکسید سدیم، pH نهایی، دمای رنگ‌بری، میزان سیلیکات سدیم و مدت زمان رنگ‌بری شاخص مقاومت‌کششی تر افزایش پیدا می‌کند و میزان هیدروکسید سدیم و pH نهایی تأثیر بیشتری بر افزایش شاخص مقاومت‌کششی تر و خشک دارند. همچنین در اثر افزایش میزان پراکسید هیدروژن، شاخص مقاومت‌کششی تر و خشک کاغذ کاهش پیدا می‌کند. نتایج مشابه با این نتایج عبارتند از: Yun و He (2013)؛ Hietanen و همکاران (2013)؛ Ashrafian (2003) و McKinney (1995)، که دریافتند با افزایش میزان هیدروکسید سدیم و مقدار قلیای محیط رنگ‌بری کاغذهای بازیافتی جوهرزدایی شده، سبب افزایش مقاومت‌های مکانیکی (شاخص مقاومت به کشش خشک، شاخص مقاومت به ترکیدن کاغذ خشک) می‌گردد که علت این امر را در تورم الیاف و در نتیجه ایجاد پیوندهای بیشتر بین الیاف بیان کرده‌اند. همچنین Mehri Iraie و همکاران (2013)، بیان کردند که افزایش درصد ماده رنگ‌بر پراکسید هیدروژن تأثیر معنی‌داری بر ویژگی‌های مکانیکی کاغذ خشک (شاخص مقاومت به کشش، شاخص مقاومت به ترکیدن، شاخص مقاومت به پاره‌شدن) ندارد، اما افزایش زمان رنگ‌بری منجر به افزایش مقاومت مکانیکی کاغذ می‌شود. به‌طورکلی نتایج این تحقیق نشان داد که مقدار بهینه مقاومت‌کششی تر و مقاومت‌کششی خشک کاغذ تیشو در شرکت کاغذسازی لطیف در مقادیر پراکسید هیدروژن، هیدروکسید سدیم و سیلیکات سدیم ۱/۵۵ درصد، مدت زمان

Optimization process variables of deinked pulp bleaching - improvement of wet tensile strength of tissue paper

H. Sharifi Taskouh¹, Y. Hamzeh^{2*} and Sh. Pourmoussa³

1- Graduated MSc. Faculty of Natural Resources, Department of Wood and Paper Sciences and Technology, University of Tehran, Karaj, Iran

2*-Corresponding author, Professor, Department of Wood and Paper Sciences and Technology, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, I.R. Iran, Email: hamzeh@ut.ac.ir

3-Assistant Professor, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Department of Wood and Paper Science and Technology, Karaj Branch, Islamic Azad University, Karaj, Iran

Received: Feb., 2015

Accepted: Oct., 2015

Abstract

In this study deinked pulp (DIP) produced in Latif Company which contains a mixture of printers edgings, mixed office waste (MOW) and recycled mechanical paper was used to investigate the effect of bleaching variables on pulp and paper properties. Six variables of bleaching process including the amount of hydrogen peroxide, sodium hydroxide, and sodium silicate, bleaching time, bleaching temperature and final pH were optimized in order to improve wet and dry tensile index of handsheet. Design Expert software was used for analyzing and modeling. Results were investigated in from of central composite design (CCD) and response surface methodology (RSM) was modeled and analyzed. Optimized wet and dry tensile were obtained by applying 1.55% hydrogen peroxide, 1.55% sodium hydroxide and 1.55% silicate, 90 minutes bleaching time, 83 °C bleaching temperature, and final pH equal to 8.5. The result showed that bleaching variables affect significantly the optical properties as well as mechanical strength of paper, and also dry and wet tensile strengths can be improved by optimization of bleaching condition.

Keywords: Wet tensile index, bleaching of deinked pulp, tissue paper, response surface methodology.