

## بررسی ویژگی‌های خمیر کاغذ شیمیایی تهیه شده از کاه برنج به روش سولفیت فرمالدهید

کامل محمدزاده سقاواز<sup>۱\*</sup> و حسین رسالتی<sup>۲</sup>

<sup>۱</sup> دانشجوی کارشناسی ارشد خمیر کاغذ، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ایران

<sup>۲</sup> استاد تکنولوژی خمیر و کاغذ، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ایران

### چکیده

این تحقیق با هدف بررسی اثرگذاری افزودن فرمالدهید به مایع (لیکور) سولفیت برای تهیه خمیر کاغذ از کاه برنج انجام شد. کاه برنج (رقم طارم) از شالیزارهای سلمان شهر تهیه شده و به آزمایشگاه صنایع چوب کاغذ دانشگاه گرگان برای انجام آزمایش‌ها منتقل شده است. شرایط پخت برای تولید خمیر کاغذ شامل دمای پخت ۱۶۰ درجه سلسیوس، زمان پخت: ۶۰، ۳۰ و ۹۰ دقیقه و با مصرف مواد شیمیایی (سولفیت سدیم ۱۶، ۱۸ و ۲۰٪، فرمالدهید ۴ و ۶٪) بر پایه وزن ماده خشک مصرفی بوده است. به منظور بررسی اثرگذاری فرمالدهید چهار تیمار مختلف در محدوده عدد کاپای ۱۲-۱۴ گزینش شدند. از هر نوع خمیر، کاغذ دست ساز ۶۰ گرمی تهیه شد و ویژگی‌های مقاومتی آنها با استفاده از استاندارد TAPPI اندازه گیری شد. نتایج آزمایش‌ها نشان داد که استفاده از فرمالدهید در مایع پخت سولفیت علاوه بر ماده فعال  $\text{CH}_2\text{OHSO}_3^-$  معادل ۲ واحد هیدروکسید سدیم آزاد می‌کند. یون هیدروکسیل که باز بسیار قوی می‌باشد، به طور قابل توجهی لیگنین زدایی را آسان کرده و یون  $\text{CH}_2\text{OHSO}_3^-$  به دست آمده نیز در واکنش با لیگنین با سولفون‌دار کردن واحدهای لیگنین سبب تسهیل در لیگنین زدایی و بهبود گزینش پذیری در لیگنین زدایی، بازده خمیر کاغذ در عدد کاپای همانند و همچنین بهبود ویژگی‌های مکانیکی خمیر کاغذ می‌شود.

واژه‌های کلیدی: کاه برنج، خمیر کاغذ، سولفیت سدیم، فرمالدهید، ویژگی‌های مقاومتی کاغذ

## مقدمه

چالش‌های کنونی صنایع خمیر کاغذ دستیابی به کیفیت بهینه خمیر کاغذ و در عین حال سازگار با محیط زیست و با استفاده از مصرف کمتری آب، انرژی و مواد خام و به کمینه رساندن آلودگی ناشی از پساب‌های حاصل از پخت مواد خام و رنگبری آنها می‌باشد، به ویژه فرایند پخت مواد خام که دارای ترکیبات گوگردی است میزان زیادی پساب بسیار آلاینده را تولید می‌کند (به عنوان مثال فرایندهای سولفیت و کرافت) (۲). دلایل بالا لزوم استفاده از فرایندهای نو با سرمایه‌گذاری متوسط برای دستیابی به فرآورده‌های با کیفیت کم هزینه و در عین حال سازگار با محیط زیست را می‌رساند. این امر می‌تواند با کاربرد فرایندهایی که با استفاده از حلال‌های آلی و یا اصلاح فرایندهای متداول عملیاتی شود. یکی از فرایندهای تولید خمیر کاغذ، فرآیند شیمیایی سولفیت سدیم می‌باشد. این فرآیند که بیشتر برای تولید خمیر کاغذ از پهن برگان مورد استفاده قرار می‌گیرد، پس از فرایند کرافت از مهم‌ترین فرایندهای شیمیایی مورد استفاده در جهان به شمار می‌رود که دارای برتری‌هایی نسبت به فرایند کرافت از جمله درجه روشنی اولیه بالاتر و پالایش پذیری بهتر می‌باشد.

اما از جمله نارسایی‌های گسترش نیافتن فرایند سولفیت سدیم بحث آلودگی و بازیابی نشدن مواد شیمیایی مصرفی می‌باشد که در مقایسه با فرایند کرافت که مواد شیمیایی مصرفی بازیابی می‌شود، باعث نفوذ گسترش آلودگی می‌شود (۶). حجازی (۱۳۸۴)، ویژگیهای خمیر کاغذ به دست آمده از کاه برنج به روش سودا آنتراکینون را مورد بررسی قرار داد. ایشان نتایج مقاومت‌های مکانیکی شامل طول پارگی، شاخص کشش، شاخص پارگی، شاخص ترکیدن خمیر کاغذ سودا آنتراکینون کاه برنج را به ترتیب برابر با  $7/16 \text{ km}$ ،  $3/9 \text{ KPam}^2/\text{g}$ ،  $4 \text{ mNm}^2/\text{g}$ ،  $70/2 \text{ Nm/g}$  اعلام نمود (۱). مهدوی و همکاران (۱۳۸۵)، تحقیقی در مورد بررسی ویژگیهای خمیر کاغذ اتانول-قلیا، کرافت و سودای تهیه شده از کاه گندم انجام دادند. نتایج تحقیقات نشان داد

که بیشینه بازده در یک کاپای همانند در خمیر کاغذ اتانول-قلیا نسبت به دو خمیر کاغذ کرافت و سودا دارای بازده بیشتری (۸.۳ تا ۱۵.۸ درصد) بود. ویژگیهای فیزیکی سه نوع خمیر کاغذ تهیه شده از کاه گندم، تفاوت محسوسی با هم نداشتند در حالی که ویژگیهای مقاومتی خمیر کاغذ اتانول - قلیا به طور عمده نسبت به دو نوع دیگر خمیر کاغذ کمتر بود (Ziaie-Shirkolae (۵) و همکاران (۲۰۰۷)، اثرگذاری پخت دی متیل فرم آمید کاه گندم بر روی تخریب سلولز و مقایسه آن با فرایند کرافت مورد بررسی قرار دادند. شرایط پخت کاه گندم با دی متیل فرم آمید شامل: (دمای ۱۹۰، ۲۰۰، و ۲۱۰ درجه سلسیوس) و زمان (۱.۵، ۲ و ۳ ساعت) و نسبت حلال آلی دی متیل فرم آمید (۵۰، ۳۰ و ۷۰٪) بود. نتایج نشان داده است که خمیر کاغذ با مقاومت مکانیکی بالا در دمای ۲۱۰ درجه سلسیوس، زمان ۱۵۰ دقیقه با دی متیل فرم آمید ۵۰٪ بدست آمده است، دما به طور عموم در مقایسه با درصد دی متیل فرم آمید نقش کمتر داشته است. پخت دی متیل فرم آمید در مقایسه با پخت کرافت درجه پلیمریزاسیون سلولز را کمتر کاهش داده و در نتیجه خمیر کاغذ دی متیل فرم آمید دارای مقاومت مکانیکی بیشتری نسبت به خمیر کاغذ کرافت بوده است (۱۲).

Hoang Quoc Lam و همکاران (۲۰۰۱)، تولید خمیر کاغذ از کاه برنج را با استفاده از فرمیک اسید در دما، زمان های پخت و غلظت های اسید مختلف را مورد بررسی قرار دادند. ایشان درصد لیگنین زدایی نزدیک به ۸۵٪ با یک بازده ۴۴.۴ درصدی خمیر در شرایط پخت به نسبت ملایم (دمای ۱۰۰ درجه سلسیوس زمان پخت ۶۰ دقیقه غلظت ۹۰٪ اسید فرمیک) اعلام نمود. (۷) L. Jimenez و همکاران (۲۰۰۰)، تولید خمیر کاغذ از کاه گندم با استفاده از فرمالدهید را مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد میزان بالای هلو سلولز در مقادیر پایین لیگنین و مواد استخراجی اتانول-بنزن در شرایطی به دست می‌آید که سطوح بالای عامل های فرآیندی از جمله دما، زمان و درصد ماده شیمیایی بکار گرفته شده باشد.

## مواد و روش ها

کاه برنج مورد استفاده در این بررسی، از شالیزارهای سلمان شهر واقع در استان مازندران تهیه و به آزمایشگاه صنایع چوب و کاغذ دانشگاه گرگان منتقل شد. آنگاه سنبله‌ی ساقه‌ها جدا شده و بقیه ساقه به قطعه های ۲-۲/۵ سانتی‌متری تبدیل و در محیط آزمایشگاه در برابر هوا خشک شدند. سپس به منظور تبادل نشدن با محیط در کیسه‌های پلاستیکی قرار گرفتند. پخت خمیر کاغذ از کاه به روش سولفیت فرمالدهید و با استفاده دیگ پخت ناپیوسته‌ی چرخان موجود در آزمایشگاه صنایع چوب و کاغذ دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان که دارای ۶ مخزن به گنجایش ۲/۵ لیتر است، انجام شد. پس از انجام پخت و سرد کردن سیلندرها، شستشوی خمیرهای تولیدی با آب سرد انجام گرفت. در مرحله بعد خمیرهای یاد شده با استفاده از پالایش‌گر PFI آزمایشگاهی تا درجه‌های روانی مورد نظر (۳۰۰، ۴۰۰ و ۵۰۰ میلی لیتر در استاندارد کانادایی) پالایش شدند. پس از آن به منظور اندازه گیری ویژگی های مقاومتی بر پایه استاندارد 2020m-88 آیین نامه TAPPI<sup>۱</sup>، ۱۲ عدد کاغذ دست‌ساز ۶۰ گرمی برای هر یک از تیمارها تهیه و ویژگی‌های فیزیکی و مقاومتی با استفاده از روش‌های استاندارد آیین‌نامه‌ی TAPPI اندازه‌گیری شد.

## تعیین ویژگی‌های خمیر کاغذ

عددکاپا بر پایه استاندارد شماره T3600m آیین نامه TAPPI تعیین شد. پالایش خمیر بنابر استاندارد T2480m آیین نامه TAPPI و درجه روانی مورد نظر بر پایه استاندارد T2270m-92 آیین نامه TAPPI تعیین شد. به منظور اندازه گیری ویژگی های مقاومتی بر پایه استاندارد 2020m-88 آیین نامه TAPPI، ۱۲ عدد کاغذ دست‌ساز برای هر نوع از کاغذها در نظر گرفته شد.

مقدار بالای آلفاسولوز در شرایط زمان پخت دراز مدت، دمای بالا و در غلظت پایین فرمالدهید بدست می‌آید. همچنین غلظت بالای فرمالدهید در دمای پایین می‌تواند در صرفه جویی انرژی موثر باشد. بازده، pH و هلوسولوز، آلفاسولوز، لیگنین و مواد استخراجی اتانول-بنزن حساسیت بیشتری به تغییرات زمان پخت نسبت به غلظت فرمالدهید را نشان دادند. (۳)

He Wei و همکاران (۱۹۹۴)، تاثیر فرمالدهید بر خمیرسازی سولفیت قلیایی کاه گندم را مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد میزان مناسب افزودن فرمالدهید به مایع ۱-۲ درصد وزن خشک ماده لیگنوسولوزی می‌باشد. همچنین افزودن فرمالدهید به مایع پخت سبب شتاب در لیگنین‌زدایی و بهبود گزینش پذیری لیگنین زدایی، ویژگی‌های مقاومتی و بهبود قابلیت رنگبری خمیر به دست آمده شده است (۱۱). پژوهش پیش رو با هدف تولید خمیر کاغذی با ویژگی‌های مکانیکی بالا و همچنین برای کنترل و کاهش بار آلودگی پساب به دست آمده از پخت مواد لیگنوسولوزی با اصلاح فرایند پخت سولفیت سدیم با فرمالدهید درصد کاهش اثرگذاری های منفی پخت مواد سلولزی که منجر به افت بازده، افت ویژگی‌های مکانیکی، نوری و همچنین افزایش هزینه‌ها می‌شود انجام گرفته شد. فرمالدهید در واکنش با سولفیت سدیم علاوه بر ماده فعال  $\text{CH}_2\text{OHSO}_3^-$  معادل ۲ واحد هیدروکسید سدیم آزاد می‌کند. یون هیدروکسیل که باز بسیار قوی می‌باشد، به طور قابل توجهی لیگنین‌زدایی را آسان کرده و یون  $\text{CH}_2\text{OHSO}_3^-$  به دست آمده نیز در واکنش با لیگنین با سولفون‌دار شدن واحدهای لیگنین باعث افزایش آبدوستی لیگنین می‌شود. که نتیجه آن بهبود لیگنین زدایی، حفظ هلوسولوز و افزایش بازده در یک کاپای همانند نسبت به تیمار شاهد می‌شود (۶). حفظ هلوسولوز در یک کاپای مشخص علاوه بر بهبود کیفیت خمیر کاغذ باعث کاهش بار آلودگی پساب تولیدی و اثرگذاری زیست محیطی آن می‌شود. همچنین از کاه برنج به عنوان یک ماده غیر چوبی که می‌تواند جایگزین منابع چوبی شود به عنوان ماده اولیه لیگنوسولوزی استفاده شد.

<sup>1</sup> Technical Association of Pulp and Paper Industry

جدول ۱- عامل های پخت به شرح زیر تعیین شد.

فاکتورهای پخت	
وزن ساقه‌های کاه	۱۰۰ گرم (بر پایه وزن خشک)
نسبت مایع پخت به کاه (L/W)	۱۰:۱
دمای پخت (°C):	۱۶۰
زمان پخت (دقیقه):	۹۰
سولفیت سدیم (%):	۱۸، ۱۶
فرمالدهید (%):	۴، ۲

جدول ۲- ویژگی های کاغذ های دست ساز برابر استانداردهای زیر تعیین شد.

ویژگی ها	استاندارد
ضخامت کاغذ	T411-om89
اندیس مقاومت پاره شدن	T414-om88
اندیس مقاومت ترکیدن	T403-om91
طول پاره شدن	T320-om88
اندیس مقاومت کششی	T494-om88

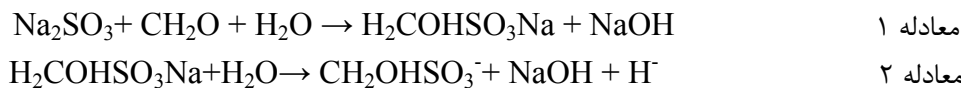
## نتایج و بحث

بازده و عدد کاپای خمیرهای تولیدی از کاه برنج با استفاده از فرایند پخت سولفیت فرمالدهید در جدول ۳ نشان داده شده است

جدول ۳- بازده و عدد کاپای خمیرهای تولیدی از کاه برنج در شرایط مختلف پخت سولفیت فرمالدهید

شماره پخت	درصد مواد شیمیایی (%)			میانگین عدد کاپا
	AQ	فرمالدهید	سولفیت	
۱	-	-	۱۶	۲۷
۲	-	-	۱۸	۲۵
۳	-	۲	۱۶	۱۸/۲
۴	-	۴	۱۶	۱۶/۴۵
۵	-	۲	۱۸	۱۳/۸
۶	-	۴	۱۸	۱۲/۱
۷	-	-	۲۰	۱۳/۷
۸	-	۴	۲۰	۱۳/۴
۹	۰/۱	۴	۱۸	۱۲/۷۵
۱۰	۰/۱	۴	۲۰	۱۲/۸

گزینش پذیری فرایند لیگنین زدایی ناشی از افزودن فرمالدهید به مایع پخت را دید. علت این امر با توجه به سازوکار واکنش می تواند بدین گونه باشد که فرمالدهید در واکنش با سولفیت در محیط آبی یون  $\text{CH}_2\text{OHSO}_3^-$  و  $\text{NaOH}$  بر پایه رابطه زیر تولید می شود (۴).



برای پخت مناسب است. پخت های ۲، ۶، ۹ و ۱۰ با عنایت به رابطه بین عدد کاپا و بازده و نیز با هدف تولید خمیر کاغذ قابل رنگبری، به عنوان تیمار بهینه در محدوده عدد کاپای  $12/5 \pm 0/5$  گزینش شدند. هر یک از نمونه های خمیر کاغذ به طور جداگانه تا درجه روانی محدوده  $370 \pm 15$  با پالایشگر PFI MILL پالایش شدند و آنگاه کاغذ ۶۰ گرمی ساخته شد. در جدول ۴، شمار دور پالایش مورد نیاز برای دست یابی به درجه روانی همانند از تیمارهای گزینش شده نشان داده شده است. ویژگی های کاغذ تولیدی از نمونه های مختلف خمیر کاغذ گزینش شده در درجه روانی همانند در جدول ۵ نشان داده شده است.

به طور کلی فرمالدهید باعث بهبود گزینش پذیری فرایند لیگنین زدایی پخت می شود، این امر را می توان با مقایسه بازده، عدد کاپای تیمارهای ۱ و ۴ و یا تیمار ۲ و ۶ که در برابر افت نزدیک به ۶ واحد بازده، به ترتیب عدد کاپا با افت ۱۰ واحدی و ۱۳ واحدی را نشان می دهند، بهبود

همان گونه که دیده شد در واکنش هر مول فرمالدهید با یک مول سولفیت سدیم علاوه بر ماده فعال  $\text{CH}_2\text{OHSO}_3^-$  معادل ۲ مول هیدروکسید سدیم آزاد می شود. یون هیدروکسید که باز بسیار قوی می باشد بطور قابل توجهی لیگنین زدایی را آسان کرده و یون  $\text{CH}_2\text{OHSO}_3^-$  به دست آمده نیز در واکنش با لیگنین باعث سولفوندار شدن گروه های انتهایی کانفرالدهیدی و ساختارهای استخلاف شده  $\alpha$ -کربونیل دار می شود. سولفوندار شدن واحدهای لیگنین باعث افزایش آبدوستی لیگنین می شود. وجود این دو یون در مایع پخت باعث بهبود لیگنین زدایی، حفظ هلو سولوز و افزایش بازده در یک کاپای همانند نسبت به تیمار شاهد می شود (۶). مقایسه پخت های اولیه مشخص نموده است که زمان پخت ۹۰ دقیقه و دمای ۱۶۰ درجه سلسیوس

جدول ۴- شمار دور پالایش برای دستیابی به درجه روانی همانند

درجه روانی پس از پالایش (CSF)	شمار دور پالایشگر	تیمار			کد پخت
		سولفیت	فرمالدهید	AQ	
۴۱۰	۲۰۰۰	۱۸	-	-	S <sub>18</sub>
۳۸۵	۱۵۰۰	۱۸	۴	-	S <sub>18</sub> F
۳۸۵	۱۵۰۰	۱۸	۴	۰/۱	S <sub>18</sub> FA
۳۹۰	۱۲۰۰	۲۰	۴	۰/۱	S <sub>20</sub> FA

S<sub>18</sub>: سولفیت سدیم ۱۸ درصد  
F: فرمالدهید ۴ درصد  
S<sub>20</sub>: سولفیت سدیم ۲۰ درصد  
A: آنتراکینون ۰/۱ درصد

جدول ۵- نتایج تولید خمیر سولفیت فرمالدهید در درجه روانی ۳۷۰

S <sub>18</sub>	S <sub>18</sub> F	S <sub>18</sub> FA	S <sub>20</sub> FA	کد پخت ها
				ویژگی مورد بررسی
۰/۴۳	۰/۴۴	۰/۴۴	۰/۴۴	چگالی کاغذ (g/cm <sup>3</sup> )
۱۴۷/۷	۱۴۱/۱۲	۱۴۵/۲	۱۴۶/۳	ضخامت کاغذ (μ)
۱/۹۸	۲/۳	۲/۷۴	۳/۶	شاخص مقاومت به ترکیدن (Kpam <sup>2</sup> /g)
۲۰/۱	۲۵/۲۱	۳۱/۳۳	۳۲/۶۵	شاخص مقاومت به کشیدگی (N.m/g)
۵/۷	۶/۸۸	۷/۶۴	۸/۱۴	شاخص مقاومت به پاره شدن (N.m <sup>2</sup> /g)
۴	۶	۹	۱۰/۵	مقاومت به تا شدن (شمار جفت تا)
۵۲/۱	۴۷/۶	۴۱/۲	۴۰/۲	درجه روشنی (درصد)
۹۳/۵۴	۹۲/۲۰	۹۰/۷۵	۸۹/۸	ماتی (درصد)

S<sub>18</sub>: سولفیت سدیم ۱۸ درصدS<sub>20</sub>: سولفیت سدیم ۲۰ درصد

F: فرمالدهید ۴ درصد

A: آنتراکینون ۰/۱ درصد

داری در سطح اعتماد ۹۵ درصد می باشد). مقاومت به کشش

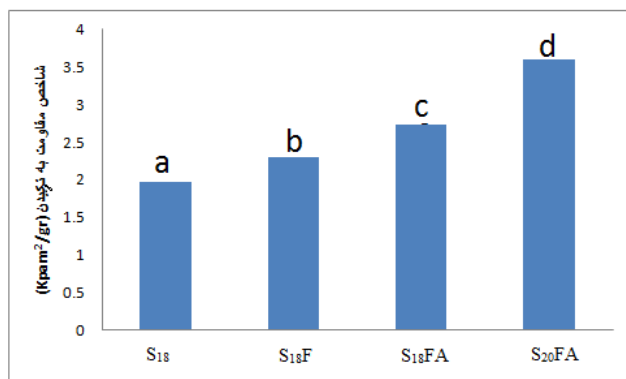
شاخص مقاومت به کشش کاغذ تولیدی از پخت دارای فرمالدهید نسبت به پخت بدون فرمالدهید بیشتر می باشد که علت این امر را می توان به گزینش پذیری بهتر در فرایند لیگنین زدایی اشاره کرد که منجر به پالایش پذیری بهتر ایجاد شده توسط فرمالدهید نسبت داد که به دنبال آن، انعطاف پذیری افزایش و به احتمال یافتن افت درازای الیاف کاهش می یابد که منجر به افزایش شاخص مقاومت کششی می شود. جدول تجزیه واریانس مقاومت کششی نشان می دهد که اختلاف معنی داری بین میزان های آزمون مقاومت به کشش کاغذ ساخته شده در سطح ۵٪ وجود دارد (حروف نایکسان در نمودار ۲ نشان دهنده معنی داری در سطح اعتماد ۹۵ درصد می باشد).

## بررسی ویژگی های مقاومتی کاغذ دست ساز

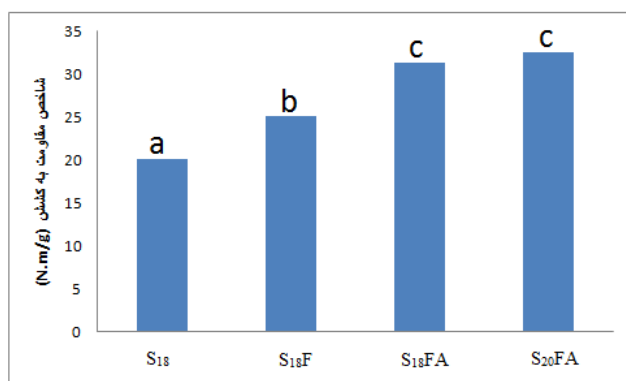
### مقاومت به ترکیدن

شاخص مقاومت به ترکیدگی کاغذ تولیدی از پخت دارای فرمالدهید نسبت به بدون فرمالدهید بیشتر می باشد که علت این امر را می توان به گزینش پذیری<sup>۲</sup> مناسب فرمالدهید در واکنش لیگنین زدایی پخت نسبت داد که باعث بهبود لیگنین زدایی و حفظ هلوسلولز که در نهایت باعث بهبود آبدوستی الیاف که به پالایش پذیری بهتر منتهی می شود. که این پدیده موجب افزایش انعطاف-پذیری و به احتمال افت کمتر درازای الیاف می شود که به دنبال آن اتصال بین الیاف افزایش می یابد که در نتیجه آن مقاومت به ترکیدگی کاغذ نیز بیشتر می شود. تجزیه واریانس میانگین میزان های مربوط به آزمون ترکیدن نشان می دهد که بین میزان های آزمون مقاومت به ترکیدن کاغذ ساخته شده، از نظر آماری در سطح ۵٪ اختلاف معنی دار وجود دارد. همچنین مقایسه میانگین ها بیانگر از آن است که میانگین آزمون مقاومت ترکیدن کاغذ دست ساز در چهار گروه مختلف قرار می گیرند (حروف نایکسان در نمودار ۱ نشان دهنده معنی-

<sup>2</sup> Selectivity



نمودار ۱- تغییرات شاخص مقاومت به ترکیدگی در تیمارهای مختلف



نمودار ۲- تغییرات شاخص مقاومت به کشش در تیمارهای مختلف

(حروف نایکسان در نمودار ۳ نشان دهنده‌ی معنی‌داری در سطح اعتماد ۹۵ درصد می‌باشد).

### مقاومت به تا شدن

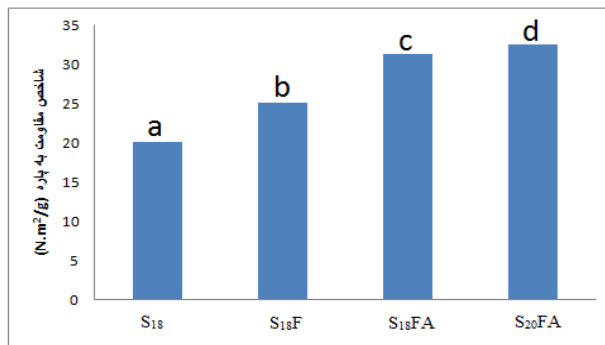
مقاومت به تا شدن کاغذ تولیدی از پخت دارای فرمالدهید نسبت به بدون فرمالدهید بیشتر می‌باشد که علت آن را می‌توان به پالایش پذیری بهتر ایجاد شده با فرمالدهید نسبت داد که این پدیده ضمن افزایش دادن انعطاف-پذیری و بهبود اتصال‌های بین الیاف باعث افت آسیب-دیدگی دیواره الیاف می‌شود. با توجه به داده‌های جدول تجزیه واریانس، می‌توان نتیجه گرفت که بین میزان‌های آزمون مقاومت به تا شدن کاغذ ساخته شده، از نظر آماری در سطح ۵٪ اختلاف معنی‌دار وجود ندارد.

### مقاومت به پاره شدن

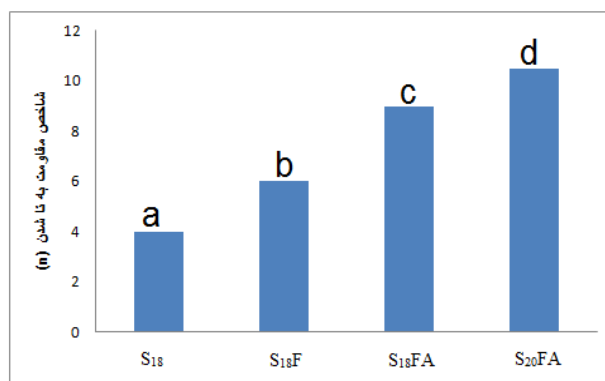
شاخص مقاومت به پاره شدن کاغذ تولیدی از پخت دارای فرمالدهید نسبت به بدون فرمالدهید بیشتر می‌باشد که علت آن را می‌توان به پالایش پذیری به نسبت بهتر که در نتیجه بهبود گزینش پذیری ایجاد شده با فرمالدهید نسبت داد که باعث افزایش واکنش‌پذیری الیاف در حین پالایش و آسیب‌دیدگی کمتر آنها شده است. با توجه به داده‌های جدول تجزیه واریانس، می‌توان نتیجه گرفت که بین میزان‌های آزمون مقاومت در برابر پاره شدن کاغذ ساخته شده، از نظر آماری در سطح ۵٪ اختلاف معنی‌دار وجود دارد. جدول تجزیه واریانس نشان می‌دهد که اختلاف معنی‌داری بین میزان‌های مقاومت به پاره شدن کاغذ ساخته شده در سطح ۵ درصد وجود دارد.

نمودار ۴ نشان دهنده‌ی معنی‌داری در سطح اعتماد ۹۵ درصد می‌باشد).

با توجه به داده‌های جدول تجزیه واریانس اختلاف معنی‌داری بین میزان‌های آزمون مقاومت به تا شدن کاغذ در سطح ۵ درصد وجود ندارد (حروف نایکسان در



نمودار ۳- تغییرات شاخص مقاومت به پاره شدن در تیمارهای مختلف



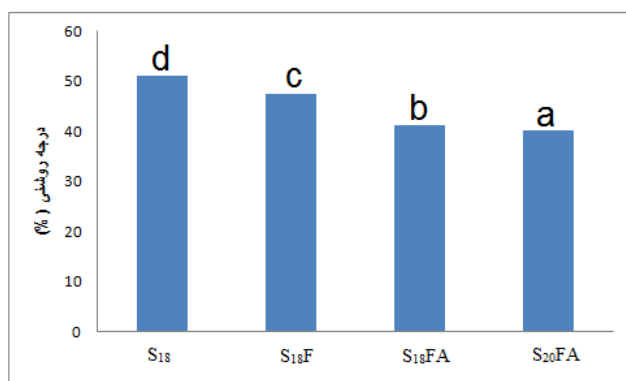
نمودار ۴- تغییرات مقاومت در برابر تا شدن در تیمارهای مختلف

می‌دهد که اختلاف معنی‌داری بین میزان درجه روشنی کاغذ دست‌ساز ساخته شده از نظر آماری در سطح ۵ درصد وجود دارد (حروف نایکسان در نمودار ۶ نشان دهنده‌ی معنی‌داری در سطح اعتماد ۹۵ درصد می‌باشد).

### درجه روشنی

همانطور که مشخص است، در همه حالت‌ها میزان درجه روشنی در تیمار که از فرمالدهید و آنتراکینون در ترکیب مایع سولفیت استفاده شده است (S<sub>20</sub>FA، S<sub>18</sub>FA)، کاهش یافته است. علت آن را می‌توان به تشکیل هیدروکسیدسدیم در طی واکنش فرمالدهید با سولفیت-سدیم و در نتیجه افزایش میزان pH قلیائیت مایع پخت و نیز تاثیر آنتراکینون به لحاظ ایجاد نوعی سایه رنگ زرد در خمیرکاغذ نسبت داد. جدول تجزیه واریانس نشان





نمودار ۵- تغییرات درجه روشنی در تیمارهای مختلف

### بحث و نتیجه گیری

این تحقیق با هدف بررسی تولید خمیر کاغذ سولفیت فرمالدهید از کاه برنج انجام شد. با توجه به بازده تولید خمیر کاغذ و عدد کاپا هر یک از پخت‌ها و نیز ضرورت رنگبری خمیر کاغذ، پخت بهینه با شرایط قلیائیت ۲۰٪ و فرمالدهید ۴٪ در زمان پخت ۹۰ دقیقه، در دمای ۱۶۰ درجه سلسیوس و با بازده ۵۹/۴ و عدد کاپای ۱۲/۸ مناسب‌ترین خمیر کاغذ تولیدی گزینش شد. فرمالدهید در واکنش با سولفیت سدیم برابر معادله ۱ و ۲ همان‌گونه که مشخص است از واکنش هر مول فرمالدهید با یک مول سولفیت سدیم علاوه بر ماده فعال  $\text{CH}_2\text{OHSO}_3^-$  معادل ۲ مول هیدروکسید سدیم آزاد می‌شود. در نتیجه باعث افزایش درصد یون  $\text{CH}_2\text{OHSO}_3^-$  و یون هیدروکسیل در محیط واکنش می‌شود (۴). یون هیدروکسیل که باز بسیار قوی می‌باشد به طور قابل توجهی لیگنین‌زدایی را آسان کرده و یون  $\text{CH}_2\text{OHSO}_3^-$  به دست آمده در واکنش با لیگنین باعث سولفوندار شدن گروه‌های انتهایی کانیفرالدهیدی و ساختارهای استخلاف شده  $\alpha$ -کربونیل‌دار شده، که سوافون‌دار شدن واحدهای لیگنین باعث افزایش آبدوستی لیگنین که نتیجه وجود این دو یون در مایع پخت باعث بهبود لیگنین‌زدایی، حفظ هلوسلولز و افزایش بازده در یک کاپای همانند نسبت به تیمار شاهد می‌شود [۶]. به منظور ارزیابی ویژگی‌های مقاومتی و نوری کاغذ، خمیر کاغذ سولفیت فرمالدهید به درجه روانی CSF ۴۰۰

رسانده شد و از آن کاغذهای دست ساز استاندارد برای ارزیابی ویژگی‌های فیزیکی، مکانیکی و نوری ساخته شد. نتایج به دست آمده از تجزیه واریانس و آزمون دانکن نشان داد که خمیر کاغذ تولیدی از تیمار ۴ به استثنای نشان ویژگی‌های نوری و اندیس مقاومت به پاره شدن در همه ویژگی‌ها بهینه تر از دیگر تیمارها بوده است. به طور کلی ویژگی‌های مقاومتی کاغذهای دست‌ساز تولیدی از تیمارهای دارای فرمالدهید نسبت به تیمار شاهد برتر بوده [۱۱]. همچنین با افزایش میزان سولفیت از ۱۸ درصد به ۲۰ درصد باعث افت مقاومت به پارگی شد که علت آن می‌تواند به آسیب دیدگی الیاف باشد. همچنین با افزایش میزان سولفیت مقاومت به ترکیدگی افزایش یافت، که علت آن را می‌توان به انعطاف پذیرتر شدن الیاف و ایجاد قابلیت اتصال‌های هیدروژنی بیشتر نسبت داد. علاوه بر این میزان نرمه‌ها نیز در خمیر پالایش شده افزایش می‌یابد و با قرار گرفتن آنها در بین الیاف پالایش شده، موجب افزایش مقاومت به ترکیدگی شده، با افزایش میزان سولفیت، مقاومت به تاه شدن نیز افزایش یافته است که علت آن را نیز می‌توان به افزایش اتصال‌های بین الیاف ارتباط داد [۱۱].

درجه روشنی خمیر و کاغذ با افزودن فرمالدهید در نبود و یا با بود آنتراکینون در مایع پخت سولفیت، موجب کاهش درجه روشنی شده است و کمترین میزان آن در حالتی که از فرمالدهید به همراه آنتراکینون استفاده شده است دیده شد که علت آن را می‌توان به تشکیل

هیدروکسید سدیم در طی واکنش فرمالدهید با سولفیت- سدیم و در نتیجه افزایش میزان pH قلیائیت مایع پخت و نیز تاثیر آنتراکینون به ایجاد نوعی سایه رنگ زرد در خمیر کاغذ نسبت داد.

### منابع

- 1-Hejazie, S. 2005. The Survey of Using Alkaline Sulfite-Antrakinon Method instead of Soda Procedure. *Journal of the Iranian Natural Res.* 60:3.981-988.
- 2-Jime'nez, L. De la Torre, M.J. Maestre, F. Ferrer, J.I. Pe'rez, I. 1997a. Organosolv pulping of wheat straw by use of phenol. *Bioresour. Technol.* 60 (3), 199-205.
- 3- Jimenez, L. Perez, I. de la Torre, M.J. Lopez, F. Ariza J, 2000. Use of formaldehyde for making wheat straw cellulose pulp. *Bioresource Technology.* 38: 39-47
- 4-Kiryushov, V. N.. Skvortsova, L. I, 2005. Optimal Conditions for Masking of Sulfite Anions with Formaldehyde in Iodometric Titration of Photographic Fixing Solutions. *Russian Journal of Applied Chemistry, Vol. 78, No. 4, 2005, pp. 552-555. Translated from Zhurnal Prikladnoi Khimii, Vol. 78, No. 4, 2005, pp. 559-562.*
- 5-Mahdavi et al, 2006. The Survey of Alkaline-Ethanol Paper Pulp Properties by Kraft Paper Pulp and Soda made of Wight Straw. *Biannual Scientific-Research Journal of Iran Wood and Paper Science Researches.* 21:2.105-114.
- 6-MirShokraei, S. 1995. *Wood and Paper Technology*, Payam Noor University Press, Tehran, 1:79. (Translated in Persian).
- 7- Quoc Lam, H . Le Bigot, Y. Delmas, M. Avignon,G, 2000. Formic acid pulping of rice straw. *Industrial Crops and Products* 14 (2001) 65-71
- 8-Shatalov, A.A., Pereira, H., 2002. Carbohydrate behavior of *Arundo donax* L. in ethanol alkali medium of variable composition during organosolv delignification. *Carbohydr. Polym.* 49 (3), 331-336.
- 9-Shatalov, A.A., Pereira, H., 2005. *Arundo donax* L. reed: new perspective for pulping and bleaching Part 4, peroxide bleaching of organosolv pulps. *Biores. Technol.* 96, 865-872.
- 10-Shatalov, A.A., Pereira, H., 2007. Polysaccharide degradation during ozone-based TCF bleaching of non-wood organosolv pulps. *Carbohydr. Polym.* 67 (3), 275-281.
- 11- Wei, H. Die-sheng, T . Zhong-zheng, L. 1994. Effect of Formaldehyde during Alkaline Sulfite Pulping of Wheat Straw. *Journal of the China . China Pulp & Paper.*1994-00
- 12- Ziaie-Shirkolaee, Y. Mohammadi-Rovshandeh, J. Rezayati-Charani, P. Rezayati-Charani, M.B, 2007. Influence of dimethyl formamide pulping of wheat straw on cellulose degradation and comparison with Kraft process. *Bioresource Technology.* 89: 513-520

## **The Survey of Chemical Paper Pulp Properties Produced from Rice Straw Based on Formaldehyde Sulfide Method.**

**k. Mohamadzadeh Saghavaz<sup>\*1</sup> and H. Resalati<sup>2</sup>**

### **Abstract**

The aim of this study was to evaluate the effect of formaldehyde addition to Sodium Sulfide cooking liquor for chemical Pulp Production from rice straw. Rice straw (*oryza sativa*) was collected from the rice field of Salmanshahr and was carried to the laboratory of wood and paper in Gorgan University. Digestion conditions of pulp included cooking temperature of 160 °C, digestion times of 30, 60 and 90 min and using chemical (16, 18 and, 20% Sodium sulfite and 4 and 6% formaldehyde) based on oven dry dosages weight of raw material. Four different treatments, at a Kappa number ranges of 12 - 14 were selected from each pulp In order to evaluate the effect of formaldehyde added based on Kappa number and pulp yield relations. Hand sheets with grammage of 60 g/m<sup>2</sup> were prepared from each of pulp samples and their properties were measured using the related Tappi standard. The results indicated that the addition of formaldehyde in sulfite liquor increased the pulp yield at the same Kappa number, accelerated delignification rate and improved delignification selectivity as well as improving the mechanical properties of paper.

**Keywords:** Rice straw, Paper Pulp, Sulfide sodium, Formaldehyde, Mechanical properties

---

\* Corresponding author: Email: k.mohamadzade@yahoo.com