

## تولید خمیر کاغذ از چوب ممرز با فرآیند سولفیت قلیایی-آنتراکینون

## چکیده

این تحقیق با هدف بررسی اصلاح مایع پخت فرآیند خمیر کاغذسازی نیمه شیمیایی سولفیت خنثی (NSSC) با اعمال تغییرات درصد مواد شیمیایی، افزایش میزان قلیائیت و تغییر زمان پخت برای تولید خمیر کاغذ شبه شیمیایی (سولفیت قلیایی) انجام شده است. در بین خمیر کاغذهای تولیدی، بهترین ترکیب با توجه به قلیائیت باقی مانده قابل قبول ( $\text{pH} > 11$ ) و عدد کاپای قابل قبول (حدود ۱۷) و کمترین مقدار وازده انتخاب شد. خمیر کاغذ سولفیت قلیایی خالص و همچنین اختلاط درصدهای مختلف خمیر کاغذ سولفیت قلیایی با خمیر کاغذ NSSC مقایسه و ارزیابی شد. نتایج به دست آمده نشان داد که مقاومت کلی خمیر کاغذ اصلاح شده در مقایسه با خمیر کاغذ NSSC اولیه افزایش یافته است. بطوری که شاخص کشش خمیر کاغذ سولفیت قلیایی و NSSC به ترتیب حدود ۶۶/۲ و ۳۲/۴ نیوتن متر بر گرم است. با افزودن مقادیر بیشتر این نوع خمیر کاغذ، می توان ضمن تامین ویژگی های مقاومتی کاغذ، مقدار مصرف خمیر کاغذ الیاف بلند وارداتی را کاهش داد.

**واژگان کلیدی:** سولفیت قلیایی، اصلاح مایع پخت، خمیر کاغذ NSSC، ویژگی های مقاومتی.

احمد رضا زاهدی طبرستانی<sup>۱</sup>

احمد رضا سرائیان<sup>۲\*</sup>

حسین رسالتی<sup>۳</sup>

علی قاسمیان<sup>۴</sup>

<sup>۱</sup> دانش آموخته دکتری صنایع خمیر و کاغذ، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران

<sup>۲</sup> دانشیار، گروه علوم و مهندسی کاغذ، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران

<sup>۳</sup> استاد گروه علوم و مهندسی کاغذ، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران

<sup>۴</sup> دانشیار گروه علوم و مهندسی کاغذ، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران

مسئول مکاتبات:

[Saraeyan.ahmadreza@gmail.com](mailto:Saraeyan.ahmadreza@gmail.com)

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۱۲/۱۳

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۲/۳۰

## مقدمه

کاهش سطح جنگل ها و استفاده کمتر از منابع چوبی، اغلب کارخانه های دارای فرآیند فوق الذکر، سعی دارند از کاغذهای باطله در ترکیب نهایی خمیر کاغذ خود استفاده کنند. از طرفی استفاده از این قبیل کاغذها به دلیل بازیافت تکراری موجب کاهش برخی مقاومت های کاغذ نهایی می گردد که استفاده از خمیر الیاف بلند را در ترکیب نهایی خمیر کاغذ اجتناب ناپذیر می کند [۵]. در میان پهن برگان، ممرز (*Carpinus betulus*) از مهم ترین گونه های جنگلی پهن برگ است که دامنه انتشار وسیعی داشته و درصد قابل توجهی از سطح جنگل های شمال را به خود اختصاص داده است. این گونه حدود ۳۰ تا ۴۰

مصارف متنوع فرآورده های کاغذی در امور چاپ و تحریر، بسته بندی و بهداشتی به نحوی روزافزون نیاز به خمیر کاغذ با کیفیت زیاد را به عنوان ضرورتی اجتناب ناپذیر تبدیل کرده است [۱]. امروزه تعادل عرضه و تقاضای خمیر و کاغذ به دلیل بازدهی زیاد و اصلاح خواص خمیر کاغذ (بالایش الیاف) در جهت استفاده از خمیر کاغذ شیمیایی- مکانیکی پیش می رود [۲]. به طوری که این وضعیت در کشورهایی که دارای منابع فراوان پهن برگ هستند بیشتر محسوس است و پیش بینی می شود در آینده نیز افزایش یابد [۳ و ۴]. در دهه اخیر، با توجه به

اصلاح و بهبود فرآیند تولید، حجم و بار آلودگی‌ها به حداقل ممکن کاهش یابد و با استفاده از فن‌آوری مناسب برای تمیزسازی و تصفیه هوا و پساب ضمن انطباق با استانداردهای زیست محیطی اقدامات لازم معمول گردد [۱۵]. در این خصوص اصلاح فرآیندهای خمیر کاغذ سازی به‌طور گسترده‌ای زمینه تحقیقاتی پژوهشگران و صنعتگران خمیر و کاغذ شده است [۱۶، ۱۷].

Hedjazi و همکاران (۲۰۰۸) فرآیند خمیر کاغذسازی سولفیت قلیایی-آنتراکینون (AS/AQ) را در مورد باگاس مطالعه کردند. نتایج آنان نشان داد با افزایش نسبت هیدروکسید سدیم به سولفیت سدیم در شرایط دمایی ۱۶۵-۱۵۵ درجه سانتی‌گراد بازده خمیر کاغذ و عدد کاپا کاهش می‌یابد [۱۸].

Kamthai (۲۰۰۷) با مقایسه روش خمیر کاغذسازی AS/AQ و کرافت معمولی گونه بامبو گزارش دادند که افزودن ۰/۱٪ آنتراکینون می‌تواند سرعت لیگنین‌زدایی را افزایش دهد و بازده خمیر کاغذ AS و AS/AQ تقریباً حدود ۱۰٪ بیشتر از بازده خمیر کاغذ کرافت به دست آمده است، اما عدد کاپای AS-AQ و کرافت به‌طور متوسط حدود ۱۸ واحد کمتر از عدد کاپای AS تعیین شد [۱۴].

Erisir و همکاران (۲۰۱۵) تاثیر افزودن سدیم بوروهیدرید و اتانول را بر خمیر کاغذسازی AS-AQ از خرده چوب نوتل قفقازی مورد بررسی قرار دادند. در این تحقیق بازده، ویسکوزیته و خواص فیزیکی-شیمیایی خمیر کاغذهای تولید شده با روش AS-AQ با و بدون افزودن سدیم بوروهیدرید (ASAB) و اتانول (ASAE) مقایسه شد. نتایج به دست آمده نشان داد که افزودن اتانول به فرآیند خمیر کاغذسازی AS-AQ تاثیر معنی‌داری بر بازده و عدد کاپای خمیرها داشته است. افزودن سدیم بوروهیدرید به خمیر کاغذ AS-AQ تاثیر معنی‌داری بر شاخص‌های خمیر کاغذها نشان داد، در صورتی که مقدار ماده افزوده شده مذکور بیش از ۲-۱ درصد نباشد و زمان خمیر کاغذسازی نیز در حد ۱۸۰ دقیقه باشد [۱۹].

با توجه به مزیت میانگین طول الیاف در گونه ممرز نسبت به سایر گونه‌های پهن‌برگ، این گونه

درصد ترکیب جنگل‌های شمال و ۴۳ درصد کل موجودی جنگل‌های تجارتي شمال کشور را تشکیل می‌دهد [۶]. کمبود مواد اولیه سلولزی، افزایش راندمان تولید، کاهش مشکلات فرآیندی و مصرف انرژی، کاهش بار زیست-محیطی مایع پخت و پساب نهایی خمیر کاغذ تولیدی و اصلاح ساختار سیستم بازیابی مواد شیمیایی از جمله دلایل گسترش فرآیندهای خمیر کاغذسازی نوظهور و اصلاح شده است [۷ و ۸]. یکی از فرآیندهای اصلی و مناسب در استفاده از پهن‌برگان، فرآیند نیمه شیمیایی سولفیت خنثی (NSSC) می‌باشد که به‌طور ویژه برای تولید کاغذ کنگره‌ای در نظر گرفته شده است [۹]. تولید خمیر کاغذ به روش NSSC یک فرآیند دو مرحله‌ای است که در مرحله اول مواد لیگنوسولزی تحت تاثیر یک تیمار ملایم شیمیایی قرار گرفته تا پیوندهای بین الیاف با خروج بخشی از همی‌سلولزها و نیز بخشی از لیگنین ضعیف شود. لذا با توجه به خروج کمتر این دو ماده از خمیر کاغذ، بازده تولید خمیر کاغذ به مقدار قابل توجهی نسبت به فرآیندهای شیمیایی بیشتر است. در مرحله دوم، تیمار مکانیکی، مواد حاصل از مرحله اول را به الیاف جداگانه تفکیک می‌نماید. به‌طور کلی در این مرحله کمترین شکست الیاف ایجاد می‌شود [۱۰]. بررسی‌های ریخت-شناسی انجام شده در مورد این خمیر کاغذها نشان‌دهنده شباهت بسیار زیاد این الیاف با الیاف تولیدی فرآیندهای شیمیایی خمیر کاغذسازی است [۱۱]. از مزایای این روش می‌توان به هزینه کم خمیر کاغذ تولیدی از پهن‌برگان، سفتی زیاد خمیر کاغذ حاصل، ویژگی‌های مقاومتی خوب به ویژه برای تولید مقوای کنگره‌ای، مصرف کم مواد شیمیایی، عدم انتشار بوهای آزاردهنده، کاهش حساسیت به کیفیت ماده لیگنوسولزی و بازده زیاد خمیر کاغذ اشاره کرد [۱۰، ۱۲، ۱۳]. اگرچه روند عمومی ظرفیت خمیر کاغذ شیمیایی، توسعه خمیر کاغذسازی کرافت را به جای سایر خمیر کاغذها نشان می‌دهد، ولی دلیل اصلی برای استفاده بیشتر از خمیر کاغذ سولفیت مزایای به خوبی شناخته شده خمیر کاغذهای آن در مقایسه با خمیر کاغذهای کرافت است [۱۴]. لذا جهت تضمین استمرار فعالیت‌های صنایع خمیر و کاغذ و توسعه پایدار آن باید با انتخاب تکنولوژی و مقیاس تولید مناسب و نیز

## مواد و روش‌ها

### خرده چوب

در این تحقیق از خرده چوب‌های ممرز استفاده شده است. خرده چوب‌ها از خط تولید خرده چوب صنایع چوب و کاغذ مازندران (ساری، ایران) تهیه شده و پس از کلاسه‌بندی و جدا کردن خرده چوب‌های خارج از اندازه خرده چوب‌های قابل قبول در دمای محیط هواخشک گردید و سپس به درون کیسه‌های غیر قابل نفوذ پلاستیکی منتقل شدند.

### مایع پخت

مایع پخت مورد نیاز این تحقیق ترکیب سولفیت سدیم بافرشده با کربنات سدیم بوده که برای استفاده در خط تولید خمیر کاغذ نیمه شیمیایی سولفیت خنثی آماده‌سازی شد (جدول ۱). برای اصلاح مایع پخت NSSC و تبدیل آن به مایع پخت فرآیند جدید (سولفیت قلیایی) از هیدروکسید سدیم ۵۰ درصد استفاده شد که از واحد بازیابی مواد شیمیایی صنایع چوب و کاغذ مازندران نمونه‌گیری شده بود.

جدول ۱- ویژگی‌های مایع پخت فرآیند NSSC

مقدار	واحد	نوع ماده
۹/۱	-	pH
۸۸	گرم در لیتر	دی اکسید گوگرد (SO <sub>2</sub> )
۱۰۷	گرم در لیتر	اکسید سدیم فعال (Na <sub>2</sub> O)
۱/۲۱	-	نسبت SO <sub>2</sub> به Na <sub>2</sub> O

خروج مایع پخت سیاه خمیر کاغذها استفاده گردید و سپس خمیرها با اعمال فشار مجدداً توسط آب تصفیه‌شده شستشو داده شدند. پس از تعیین درصد رطوبت خمیر کاغذ، وزن کاملاً خشک آنها تعیین شده و با استفاده از رابطه زیر، بازده کل خمیر کاغذ محاسبه گردید.

$$\text{بازده خمیر کاغذ (\%)} = \frac{\text{وزن خشک خمیر کاغذ (g)}}{\text{وزن خشک خرده چوب (g)}} \times 100$$

### اصلاح اولیه مایع پخت NSSC با افزایش pH

#### مایع پخت

راهکار اولیه در اصلاح مایع پخت از طریق افزایش pH با افزودن هیدروکسید سدیم ۵۰٪ بود که در این شرایط

چوبی منبع مناسبی برای ساخت کاغذ می‌باشد. از طرفی به علت کوتاه بودن طول الیاف پهن‌برگان برای کاغذسازی، کارخانه‌های تولیدکننده خمیر کاغذ برای جبران کاهش مقاومت‌های مکانیکی و همچنین بهبود قابلیت گذر ماشین کاغذ، درصدی از خمیر کاغذ الیاف بلند را به ترکیب نهایی خمیر کاغذ خود اضافه می‌کنند. با توجه به مشکلات تامین خمیر کاغذهای وارداتی و همچنین هزینه زیاد خرید آنها، باید از راهکارهای جدید برای کاهش میزان استفاده از این خمیر کاغذ استفاده کرد. با توجه به امکان تغییر ماهیت مایع پخت خمیر کاغذ NSSC و امکان اصلاح شیمیایی و افزودن قلیائیت آن که باعث افزایش pH مایع پخت می‌گردد، می‌توان خمیر کاغذی با ویژگی‌های مقاومتری زیاد و مشابه با خمیر کاغذ کرافت تولید نمود. لذا این تحقیق با هدف اصلاح مایع پخت فرآیند خمیر کاغذسازی NSSC برای تولید خمیر کاغذ سولفیت قلیایی با ویژگی‌های مقاومتری مطلوب‌تر از فرآیند NSSC از گونه چوبی ممرز انجام شده است.

### خمیر کاغذسازی

در شرایط فرآیندی مختلف، مانند دمای بیشینه پخت (۱۷۵ درجه سانتی‌گراد) و زمان‌های مختلف خمیر کاغذسازی (از ۰/۵ تا ۵ ساعت)، پخت‌های متعددی در دایجستر آزمایشگاهی (۱۰ لیتری) ساخت شرکت HAOTTO کشور فنلاند، مستقر در آزمایشگاه شرکت صنایع چوب و کاغذ مازندران انجام گرفت. پس از پایان زمان مورد نیاز پخت، بلافاصله با باز کردن شیر تخلیه و خروج گازها، خمیر کاغذسازی متوقف شد و خرده چوب پخته شده بر روی الک با مش ۲۰ قرار داده و با استفاده از مش ۲۰۰ خمیر کاغذ غربال شده جمع‌آوری شد. پس از جمع‌آوری خمیر کاغذها، ابتدا از آب تصفیه شده برای

باشد. در هر مرحله به مقدار ۰/۱ درصد آنتراکینون نسبت به وزن خشک چوب به مایع پخت افزوده شد و سپس عملیات پخت انجام گرفت.

### ویژگی‌های ریخت‌شناسی

برای بررسی ویژگی‌های ریخت‌شناسی از میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) مدل TESCAN-XMU ساخت جمهوری چک استفاده شد. برای این منظور ابتدا نمونه الیاف آسیاب و به مدت ۲۴ ساعت در درجه حرارت ۴۰ درجه سانتی‌گراد خشک شدند. سپس نمونه‌ها به مدت ۱۵ دقیقه با دستگاه متالایزر همراه با تزریق گاز آرگن (به عنوان حامل) با طلا (جهت رسانا کردن) پوشش‌دهی شدند. نمونه‌های پوشش‌دهی شده با طلا در ولتاژ ۱۵ کیلوولت (kV) مشاهده شدند. برای اندازه‌گیری قطر الیاف ۱۵۰ عدد لیف در تصاویر میکروسکوپی مورد بررسی قرار گرفتند [۲۰].

### ترکیب خمیر کاغذ و اندازه‌گیری ویژگی‌های آن

در این پژوهش از خمیر کاغذ سولفیت قلیایی تولیدی با مایع پخت شامل ۱۰ درصد مایع پخت NSSC و ۲۰ درصد هیدروکسید سدیم با مصرف ۰/۱ درصد آنتراکینون برای ساخت کاغذ دست‌ساز استفاده شد. خمیر کاغذ فوق‌الذکر با استفاده از PFI آزمایشگاهی تا دستیابی به درجه روانی مورد نظر (۴۵۰ ml, CSF) پالایش شد. در ادامه مقادیر ۱۰، ۳۰ و ۴۰ درصد خمیر کاغذ سولفیت قلیایی در ترکیب با خمیر NSSC برای تولید کاغذ دست‌ساز استاندارد (۱±۶۰ گرمی) استفاده شدند (جدول ۲). در نهایت ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی کاغذهای دست‌ساز با استفاده از روش‌های مندرج در آیین‌نامه تاپی اندازه‌گیری شد (جدول ۳).

pH مایع پخت تا حد مورد انتظار افزایش یافت. در این مرحله با افزودن تدریجی هیدروکسید سدیم، pH مایع پخت افزایش داده شد و سپس نمونه مایع پخت اصلاح شده برای انجام پخت، جمع‌آوری شدند. مایع پخت NSSC از pH اولیه حدود ۹/۱ تا pHهای ۱۰، ۱۱ و ۱۲ با افزودن هیدروکسید سدیم و از حداقل ۱۷ میلی‌لیتر برای pH برابر ۱۰ تا حداکثر ۲۲ میلی‌لیتر برای pH برابر ۱۲ افزایش داده شد. در ادامه با افزودن بیشتر هیدروکسید سدیم، pH تا ۱۲/۷ افزایش یافت و سپس تغییری در آن حاصل نشد. هر کدام از مایع پخت‌های اصلاح شده در حدود pH فوق‌الذکر به مقدار کافی جمع‌آوری شده و شرایط عملیاتی پخت‌های قبلی اعم از تغییرات زمان و درصد مواد شیمیایی مایع پخت بر روی آنها اعمال شد. در هر مرحله به مقدار ۰/۱ درصد آنتراکینون نسبت به وزن خشک چوب به مایع پخت افزوده شد و سپس عملیات پخت انجام گرفت. پس از پخت بازده این خمیرها اندازه‌گیری شد.

### اصلاح نهایی مایع پخت با ترکیب

#### هیدروکسید سدیم و مایع پخت NSSC

بر اساس بررسی‌های انجام شده در این پژوهش مشخص شد که قلیانیت لازم برای پخت خمیر کاغذ با افزودن قلیا علی‌رغم تغییر مقادیر pH مایع پخت کافی نبوده و نیاز است قلیانیت مایع پخت اولیه به مقدار بیشتری افزایش یابد، لذا در گام بعدی اصلاح مایع پخت، حجم بیشتری از قلیا به مایع پخت NSSC اضافه شد تا قلیانیت مایع پخت به مقدار بیشتری افزایش یابد. به این صورت که درصد مواد شیمیایی نهایی مایع پخت، متشکل از سه‌م‌های مختلفی از مایع پخت NSSC و هیدروکسید سدیم نسبت به وزن خشک خرده چوب می

جدول ۲- ترکیب خمیر کاغذهای دست‌ساز

کد تیمار	NSSC (%)	سولفیت قلیایی (%)
A	۹۰	۱۰
B	۷۰	۳۰
C	۶۰	۴۰
D	-	۱۰۰
E	۱۰۰	-

## جدول ۳- استانداردهای تعیین ویژگی‌های خمیر و کاغذ

ویژگی	استاندارد
عدد کاپا	T 236om-85
ضخامت کاغذ	T 411om-89
شاخص کشش	T 494om-88
شاخص ترکیب‌گی	T 403om-91
شاخص پارگی	T 414om-88
مقاومت به تاخوری	T 511 om-88

## تجزیه و تحلیل آماری

به منظور تجزیه و تحلیل ویژگی‌های کاغذهای دست‌ساز از آزمون تجزیه واریانس استفاده شده و سپس گروه‌بندی میانگین‌ها با کمک آزمون چنددامنه‌ای دانکن (DMRT) صورت گرفت. برای تشخیص بهترین تیمار آزمایشی از نظر مجموع ویژگی‌های مکانیکی و نوری، از روش امتیازدهی براساس محاسبه معادلات نرمال‌سازی استفاده شد [۲۱].

## نتایج و بحث

## نتایج حاصل از خمیرکاغذسازی در فرآیندهای

## مختلف

ابتدا خرده چوب‌های ممرز با مایع پخت NSSC و با تغییر شرایط و مولفه‌های موثر پخت مانند زمان پخت، درصد مواد شیمیایی مایع پخت، زمان آغشته‌سازی، لیگنین‌زدایی شدند که عملاً در هر مرحله با تشدید شرایط پخت، بازده خمیرکاغذ کاهش یافت (جدول ۴). شرایط عملیاتی فرآیند NSSC کارخانه چوب و کاغذ مازندران و ویژگی‌های خمیرکاغذ تولیدی با آن در جدول ۵ ارائه شده است. بدین منظور مدت زمان پخت از ۲ تا ۴ ساعت و درصد مواد شیمیایی مایع پخت نسبت به وزن خشک چوب از ۲۰ تا ۳۰ درصد افزایش یافت و مقادیر سپس

بازده خمیرکاغذ در هر مرحله اندازه‌گیری شد. بازده‌های پخت حاصل از این تغییرات نشان داد که حتی با تشدید شرایط پخت، فاصله زیادی با بازده هدف (کمتر از ۶۰ درصد) وجود دارد. لذا در این مرحله مشخص شد که امکان لیگنین‌زدایی بیشتر با مایع پخت NSSC و اعمال تغییر شرایط عملیاتی پخت وجود ندارد و نیاز به استفاده از راه کار دیگری برای رسیدن به این هدف می‌باشد. از مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار بر بازده خمیرکاغذ NSSC می‌توان به مقادیر کربنات سدیم، سولفیت سدیم و درجه حرارت زیاد پخت اشاره کرد [۲۲]. با توجه به این که دمای پخت به عنوان عامل ثابت و ماده شیمیایی به‌عنوان عامل متغیر در نظر گرفته شده است، استفاده از تیمار با زمان پخت و درصد ماده شیمیایی کمتر منجر به بهبود بازده شده است. این نتایج نشان می‌دهد که با افزایش زمان پخت میزان بازده کاهش می‌یابد و علت آن را می‌توان به افزایش میزان لیگنین حل شده و تخریب کربوهیدرات‌ها نسبت داد [۹]. بازده خمیرکاغذ با درصد ماده شیمیایی بیشتر در مقایسه با درصد ماده شیمیایی کمتر مقداری کاهش داشت که علت آن به این مسئله بر می‌گردد که با افزایش قلیا میزان خروج همی‌سلولزها در عدد کاپای مشخص افزایش می‌یابد [۵].

## جدول ۴- شرایط خمیرکاغذسازی در دمای ۱۷۵ درجه سانتی‌گراد (با تغییر درصد مواد شیمیایی مایع پخت NSSC)

درصد مواد شیمیایی	زمان (ساعت)	L/W	بازده (%)
۲۰	۳		۶۹
۳۰	۳		۶۸
۲۰	۴	۵	۶۷/۵
۲۵	۴		۶۷

جدول ۵- شرایط عملیاتی فرآیند NSSC کارخانه چوب و کاغذ مازندران و ویژگی های خمیر کاغذ تولیدی با آن

ویژگی	واحد	مقدار
دمای پخت	درجه سانتی گراد	۱۷۵
فشار	بار	۷-۸
شارژ مواد شیمیایی	لیتر بر تن خرده چوب	۰/۵
pH	-	۵/۶-۶/۲
درصد خشکی	درصد	۸-۱۴
درجه روانی	میلی لیتر CSF	۴۹۰
بازده کل	درصد	۷۷
نسبت مایع پخت به خرده چوب (L:W)	-	۱/۵
گراماژ	g/m <sup>2</sup>	۶۰
شاخص پارگی	mN.m <sup>2</sup> /g	۳/۳۳
شاخص ترکیبگی	kPa.m <sup>2</sup> /g	۱/۲۵

قلیائیت مایع پخت را افزایش نداده و بر این اساس در زمان پخت واکنش های لیگنین زدایی گسترده نبوده و راندمان کاهش نمی یابد. در این شرایط به منظور افزایش سرعت لیگنین زدایی و حفظ کربوهیدرات ها با توجه به افزایش میزان قلیائیت، در هر مرحله به مقدار ۰/۱ درصد آنتراکینون نسبت به وزن خشک چوب به مایع پخت افزوده شد و سپس عملیات پخت انجام گرفت. با شرایط جدید اعمال شده نیز افزایش قابل ملاحظه ای در لیگنین-زدایی و کاهش بازده مشاهده نشده است. نتایج به دست آمده از پخت های مختلف و بازده حاصل در این مرحله از اصلاح در جدول ۶ ارائه است.

### نتایج حاصل از اصلاح اولیه مایع پخت

#### NSSC با افزایش pH مایع پخت

نتایج نشان داد با افزایش pH مایع پخت در اثر افزودن هیدروکسید سدیم ۵۰ درصد به مایع پخت NSSC، کاهش محسوسی در بازده خمیر کاغذ مشاهده نشد. به طوری که افزودن هیدروکسید سدیم به مایع پخت و تنظیم pH حتی در حد ۱۲ و بالطبع افزایش قلیائیت، مقدار و سرعت لیگنین زدایی را افزایش نداده است. این نتیجه به این دلیل است که افزودن چند میلی لیتر هیدروکسید سدیم به مایع پخت NSSC برای اصلاح مایع پخت موجب افزایش pH شده ولی به علت نداشتن درصد مواد شیمیایی کافی،

جدول ۶- اصلاح اولیه مایع پخت NSSC با افزایش pH از طریق تزریق هیدروکسید سدیم ۵۰٪ و آنتراکینون و پخت خمیر کاغذ

درصد مواد شیمیایی	مصرف آنتراکینون	زمان (ساعت)	L/W	دمای پخت (°C)	بازده غربال (%)	بازده کل (%)	عدد کاپا
۲۰	+	۱		۵۱	۲۷/۵	۷۸/۵	-
۲۰	-	۲		۵۶	۱۸	۷۴	-
۲۰	+	۳		۵۶	۱۴	۷۰	-
۲۵	+	۳	۵	۱۷۵	۵۴	۶۹	-
۳۰	+	۳		۶۵	-	۶۵	-
۳۰	-	۳		۶۵	-	۶۵	۸۰
۳۰	+	۴		۶۴	-	۶۴	۸۰

مختلف، بهترین زمان از لحاظ کمترین مقدار وازده و قلیائیت مناسب (>۱۱) در زمان ۴۵ دقیقه به دست آمده است. افزایش بیشتر زمان پخت تا ۱ ساعت به لیگنین زدایی بیشتر و بازده و عدد کاپای کمتر منتهی می شود که با توجه به عدم رنگبری خمیر کاغذ مذکور نیازی به کاهش و افت عدد کاپا نمی باشد (جدول ۷). از جمله دلایل انتخاب زمان ۴۵ دقیقه برای کاغذسازی، تولید خمیر کاغذی با قلیائیت باقیمانده زیاد (pH بیشتر از ۱۱) و مقدار حداقل وازده بود که در بین پخت های مختلف، بهترین نتیجه مربوط به ترکیب ۲۰٪ هیدروکسید سدیم و ۱۰٪ مایع پخت NSSC (به علت وازده بسیار کمتر در حدود ۱ درصد و داشتن قلیائیت کافی پس از پخت >۱۱) می باشد.

## نتایج حاصل از اصلاح نهایی مایع پخت با ترکیب

### هیدروکسید سدیم و مایع پخت NSSC

نتایج به دست آمده از پخت های مختلف و بازده های حاصل در این مرحله از اصلاح در جدول ۷ آمده است. با اصلاح مایع پخت از طریق افزایش قلیائیت و درصد مواد شیمیایی، با و یا بدون استفاده از آنتراکینون و انجام عملیات پخت، خمیر کاغذی با بازده کم و مشابه با خمیر کرافت تولید می گردد. در شرایط مختلف اعمال شده از طریق تغییر درصد مواد شیمیایی مایع پخت، تغییر ترکیب درصد مایع پخت و هیدروکسید سدیم، افزایش زمان پخت و در نهایت استفاده و یا عدم استفاده از آنتراکینون دامنه مختلفی از خمیر کاغذ های شبه شیمیایی با مقادیر بازده مختلف تولید شد. با انجام پخت در زمان های

جدول ۷- اصلاح نهایی مایع پخت با ترکیب هیدروکسید سدیم، آنتراکینون و مایع پخت NSSC

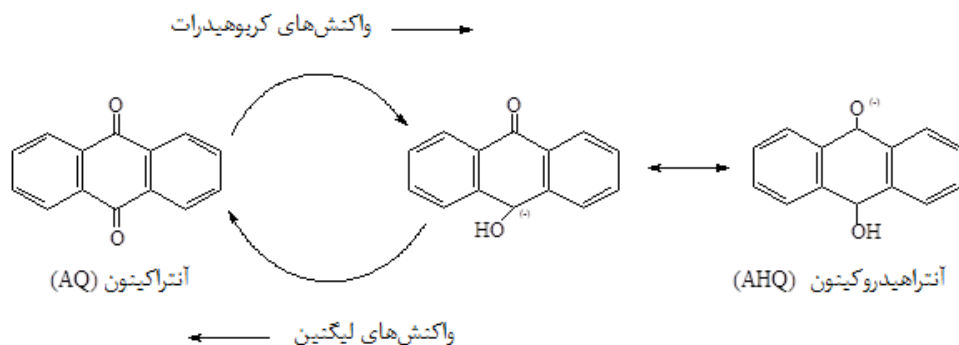
عدد کاپا	بازده کل (%)	وازده (%)	بازده غربال (%)	دمای پخت (°C)	L/W	زمان (ساعت)	مصرف آنتراکینون	درصد ترکیب	
								درصد کل مواد شیمیایی	مایع پخت NSSC
۱۹	۵۴/۵	۶	۴۸/۵			۰/۵	+	۳۰	۱۰
۱۷	۴۶/۶	۱/۱	۴۵/۵			۰/۷۵	+	۳۰	۱۰
۱۹/۲	۵۲	۳/۵	۴۸/۵			۱	-	۳۰	۱۰
۱۶	۴۶/۳	۱/۸۷	۴۴/۵			۱	+	۳۰	۱۰
۱۳	۴۳/۶	۰/۰۸	۴۳/۵			۲	+	۳۰	۱۰
-	۶۴	-	۶۴			۳	+	۳۰	۲۵
-	۶۲	-	۶۲	۱۷۵	۵	۳	-	۳۰	۲۰
۲۶	۷۹/۲	۲۴/۷	۵۴/۵			۳	+	۳۰	۲۰
۸۳	۶۵	-	۶۵			۴	+	۲۵	۱۵
-	۶۸	-	۶۸			۴	-	۲۵	۱۵
-	۴۶	-	۴۶			۴	+	۳۰	۱۵

خمیر کاغذ کاملاً دفیبره شده به دست آمد، در صورتی که بدون مصرف این ماده، محتویات دایجستر به صورت خرده چوب های دفیبره نشده از دایجستر خارج شدند. علت کاهش بازده در نتیجه افزودن آنتراکینون به مایع پخت را می توان بدین صورت بیان کرد که آنتراکینون حداکثر تاثیر بر تخریب مولکول های لیگنین و پایداری کربوهیدرات ها را در طول خمیر کاغذ سازی فراهم می کند. افزودن آنتراکینون به لیکور پخت موجب افزایش سرعت لیگنین زدایی، کاهش عدد کاپا، انتخاب پذیری، کاهش

نتایج نشان داد با افزایش سهم مایع پخت NSSC بازده کل افزایش می یابد، که می تواند به دلیل حضور سولفیت سدیم بیشتر و کاهش قلیائیت مایع پخت نهایی باشد. در این شرایط کربوهیدرات ها بهتر حفظ می شوند [۱۸]. اثر آنتراکینون در تسریع لیگنین زدایی و جداسازی لیاف در پخت های مختلف به خوبی مشهود است، به طوری که در شرایط مساوی، ۳۰ درصد مواد شیمیایی در مایع پخت بر مبنای وزن خشک چوب (۱۰٪ مایع پخت NSSC و ۲۰٪ هیدروکسید سدیم) با مصرف ۰/۱ درصد آنتراکینون

کاپا و حفظ کربوهیدرات‌ها تأیید می‌کنند [۱۸، ۲۳].

شارژ قلیایی، بهبود خواص خمیر کاغذ و بازده می‌گردد [۹]. تحقیقات بسیار زیادی تأثیر آنتراکینون را بر کاهش عدد



شکل ۱- واکنش‌های آنتراکینون [۹].

و عدد کاپای خمیر کاهش می‌یابد [۱۸]. همچنین این محققین نتایج مشابه‌ای را برای خمیرسازی سولفیت قلیایی- آنتراکینون از کاه گندم گزارش نموده‌اند [۲۶]. در مطالعه دیگری Erişir و همکاران (۲۰۱۵) تقویت فرآیند خمیرسازی سولفیت قلیایی- آنتراکینون گونه چوبی نوئل قفقازی (*Picea orientalis* L.) را با افزودن سدیم بورهیدرید و اتانول مورد مطالعه قرار دادند. نتایج تحقیق آنان نشان داد که با افزودن سدیم بورهیدرید و اتانول، بازده کل خمیر نسبت به سولفیت قلیایی- آنتراکینون افزایش و عدد کاپا کاهش می‌یابد [۲۷]. نتایج به دست آمده در این بخش با نتایج به دست آمده توسط محققین فوق‌الذکر مطابقت دارد.

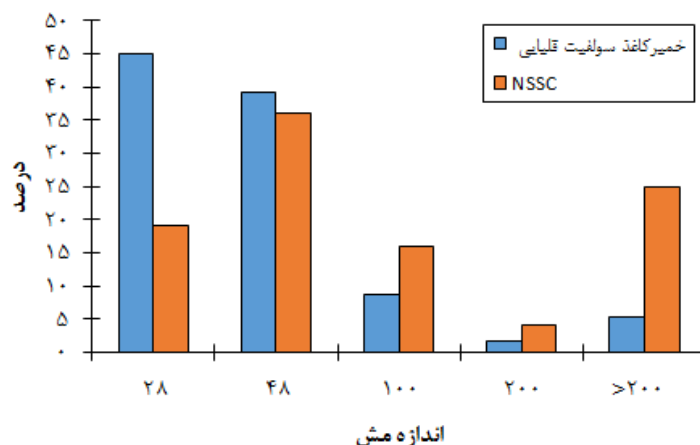
#### کلاسه‌بندی الیاف

کلاسه‌بندی الیاف خمیر کاغذهای تولیدی با شرایط مذکور (شکل ۲) نشان داد که درصد الیاف بلند (مش‌های ۲۸ و ۴۸) خمیر کاغذ حاصل زیاد بوده و حتی در زمان کمتر پخت (۴۵ دقیقه) نتیجه بهتری حاصل شد. همان طور که در جدول ۷ نیز مشاهده می‌شود، با کاهش زمان پخت‌ها میزان آسیب به الیاف کمتر شده است. به‌طوری که در مدت زمان ۴۵ دقیقه، کمترین درصد الیاف کوتاه (مش ۲۰۰ و >۲۰۰) و بیشترین درصد الیاف بلند به دست آمده است. در مورد خمیر کاغذ NSSC مشخص شد که درصد الیاف بلند (مش‌های ۲۸ و ۴۸) خمیر حاصل نسبتاً کم بوده و نسبت به خمیر کاغذ سولفیت قلیایی از الیاف بلند کمتر و نرمه بیشتری برخوردار است.

امروزه آنتراکینون به یکی از مواد افزودنی مهم در خمیر کاغذسازی تبدیل شده است که در گستره وسیعی در فرآیندهای قلیایی تولید خمیر کاغذ کاغذ استفاده می‌شود [۹]. مکانیزم شیمیایی خمیر کاغذسازی قلیایی آنتراکینون به خوبی شناخته شده است. بدین صورت که آنتراکینون به عنوان یک کاتالیزور اکسنده- کاهنده در سیستم مایع عمل می‌نماید. واکنش‌های لیگنین تحت تأثیر واکنش‌های تراکمی ثانویه خاص و به علاوه محافظت از تخریب از طریق شکست اتصالات گلیکوزیدی قندها است [۲۴]. در دمای متوسط آنتراکینون به وسیله گروه انتهایی پلی ساکاریدها به آنتراهدروکینوناحیاء می‌شود و این ماده نیز به گروه‌های آلدونیک اسیدی مقاوم به قلیا اکسید می‌شود. گروه‌های احیاء شده جدید آنتراهدروکینون عامل موثری در شکستن پیوندهای اتری  $\beta$ - آریل لیگنین بوده و به طور همزمان به آنتراکینون اکسید می‌شود. این ملکول لیگنین که بخشی از آن تخریب شده است، در حرارت زیاد به وسیله هیدروکسید سدیم بیشتر تخریب می‌شود. در نتیجه این چرخه احیاء اکسایش لیگنین‌زدایی بهبود می‌یابد. در فرآیند خمیرسازی کرافت مقدار مصرف آنتراکینون خیلی کم است و در حدود ۰/۰۱ درصد وزن خشک مواد لیگنوسولوزی آنتراکینون کافی است تا لیگنین‌زدایی را به نحو چشم‌گیر بهبود بخشد [۹ و ۲۵].

Hedjazi و همکاران (۲۰۰۸) در بررسی خمیرسازی سولفیت قلیایی- آنتراکینون باگاس به این نتیجه رسیدند که با افزایش سهم سولفیت سدیم در مایع پخت، بازده کل





شکل ۲- نتایج کلاسه‌بندی خیمیر کاغذ سولفیت قلیایی و NSSC

یافته‌های به دست آمده توسط Kocurek و Stevens (۱۹۸۳) است [۲۸].

#### ویژگی‌های مقاومتی کاغذ حاصل از اختلاط خالص خیمیر کاغذ سولفیت قلیایی با خیمیر کاغذ NSSC

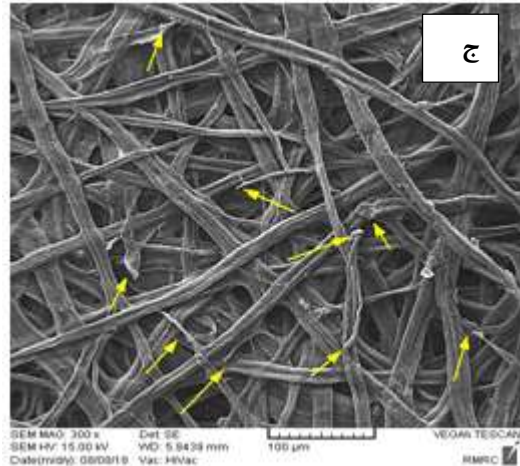
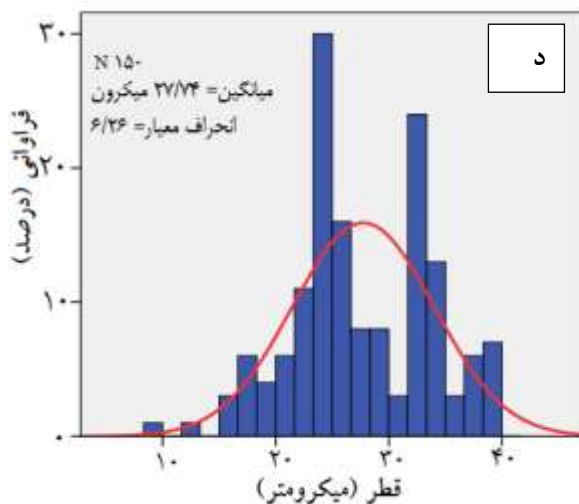
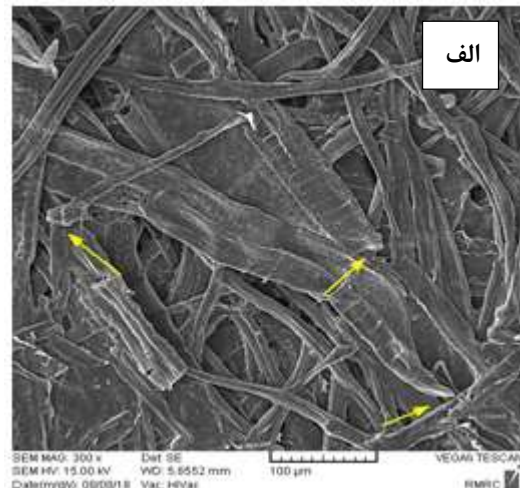
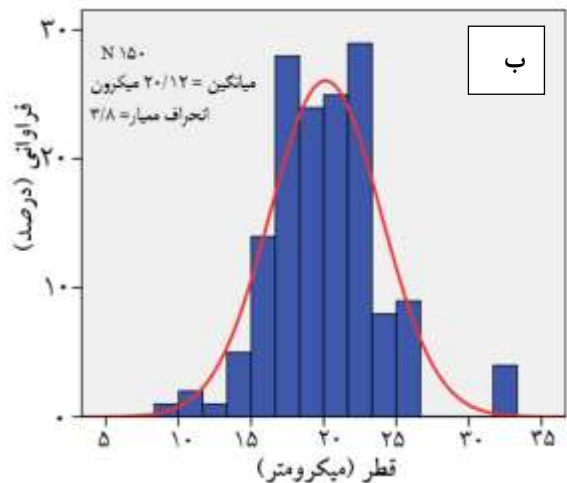
نتایج حاصل از ارزیابی ویژگی‌های مقاومتی کاغذ نشان داد که خیمیر کاغذ ۱۰۰ درصد سولفیت قلیایی در مقایسه با خیمیر کاغذ NSSC دارای ویژگی‌های مقاومتی مطلوبی بودند. در خصوص اختلاط درصدهای مختلف خیمیر کاغذ سولفیت قلیایی اعم از ۱۰، ۳۰ و ۴۰ درصد با خیمیر کاغذ NSSC، مشخص شد که با اختلاط ۱۰، ۳۰ و ۴۰ درصد خیمیر کاغذ سولفیت قلیایی با خیمیر کاغذ NSSC، تفاوت معنی‌داری در سطح اطمینان ۹۵ درصد بین میانگین مقادیر مقاومت‌های کششی، پاره‌شدن و ترک‌شدن وجود دارد (شکل ۴). کاغذهای ساخته شده از ۱۰۰ درصد خیمیر کاغذ سولفیت قلیایی، ضخامت کمتری نسبت به کاغذ NSSC داشتند و ضخامت به دست آمده از خیمیر کاغذ الیاف بلند به مراتب بیشتر از خیمیر کاغذ مذکور تعیین شد. شاخص کشش خیمیر کاغذ سولفیت قلیایی با خیمیر کاغذ NSSC مقادیر مقاومتی بیشتری را در مقایسه با خیمیر کاغذ مذکور نشان داده است. در مقاومت کششی هم مقاومت اتصال بین الیاف و هم خود الیاف تحت کشش قرار می‌گیرند. بیشتر بودن مقاومت کاغذ حاصل از فرآیند سولفیت قلیایی می‌تواند به دلایلی مانند طول بلندتر، انعطاف پذیری بیشتر و میل به اتصال و قدرت اتصال

#### نتایج حاصل از بررسی ریخت‌شناسی خیمیر کاغذها

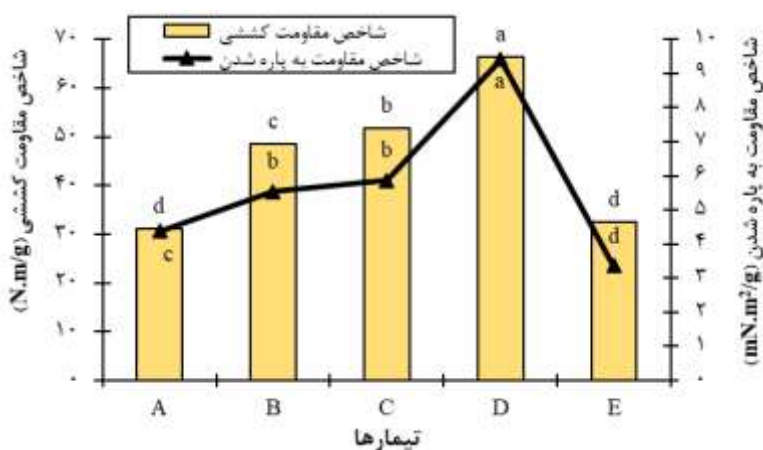
شکل ۳ تصاویر حاصل از میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) الیاف خیمیر کاغذ NSSC و سولفیت قلیایی را نشان می‌دهد. تصاویر SEM نشان دادند که الیاف خیمیر کاغذ NSSC، ساختاری شبکه‌ای مانند با قطری در محدوده ۳۵-۱۰ میکرومتر و به‌طور متوسط  $20/12 \pm 3/8$  میکرومتر بودند. از طرفی خیمیر کاغذ سولفیت قلیایی تولیدی با قطری در محدوده ۴۰-۱۰ نانومتر و به‌طور متوسط  $27/74 \pm 6/26$  میکرومتر می‌باشند. این نتایج نشانگر نمونه‌هایی با ویژگی‌های ریخت‌شناسی و ابعادی متفاوت بوده و بیانگر این است که فرآیند به‌طور قابل ملاحظه‌ای بر روی ساختمان و ابعاد الیاف تاثیر می‌گذارد. فرآیند خیمیر کاغذسازی و همچنین مایع پخت پخت تاثیر بسیار مهمی در ریخت‌شناسی، طول الیاف و قطر الیاف خیمیر کاغذ حاصله دارد. میانگین قطر و طول الیاف خیمیر کاغذ حاصل از پهن‌برگان به ترتیب ۴۰-۲۰ میکرون و ۱/۶-۰/۷ میلی‌متر و برای الیاف خیمیر کاغذ حاصل از سوزنی‌برگان به ترتیب ۴۳-۳۲ میکرون و ۴/۶-۲/۷ میلی‌متر تعیین شده است [۲۸]. نتایج به دست آمده در این بخش مطابق با

پاره شدن در درجه اول به طول و مقاومت الیاف بستگی دارد. زیاده تر بودن شاخص مقاومت به پاره شدن کاغذهای حاصل از خمیر کاغذ سولفیت قلیایی خالص در مقایسه با خمیر NSSC خالص یا ترکیب شده با خمیر کاغذ سولفیت قلیایی به دلیل وجود الیاف بلند بیشتر (حدود ۸۵ درصد در مش‌های ۲۸ و ۴۸) در این خمیرها می‌باشد (شکل ۲).

بیشتر باشد. یکی از پارامترهای تأثیرگذار بر ویژگی شاخص پارگی، طول الیاف است. افزایش نسبت الیاف بلند به الیاف کوتاه باعث افزایش این مقاومت می‌گردد [۲۹]. لذا با توجه به خصوصیات فوق و درصد زیاد لیگنین و کوتاهی الیاف خمیر کاغذ NSSC کم بودن مقدار این مقاومت منطقی به نظر می‌رسد. مقدار شاخص مقاومت به



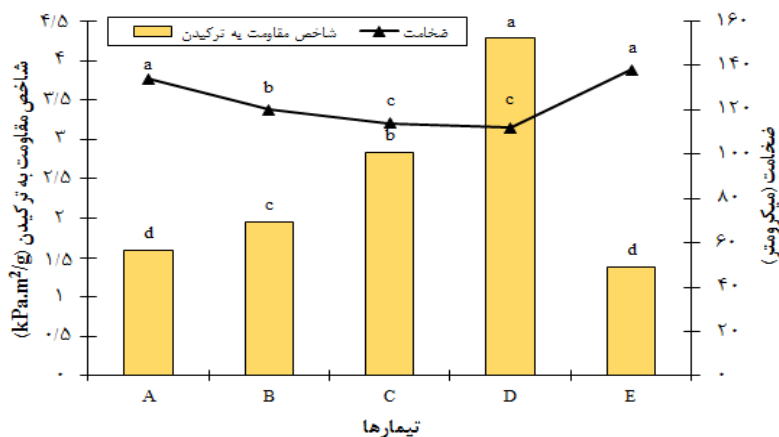
شکل ۳- تأثیر فرآیند بر ابعاد الیاف: (الف) تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) الیاف خمیر کاغذ ممرز NSSC، (ب) متوسط و توزیع قطری الیاف خمیر کاغذ ممرز NSSC، (ج) تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) الیاف خمیر کاغذ ممرز سولفیت قلیایی، (د) متوسط و توزیع قطری الیاف خمیر کاغذ ممرز سولفیت قلیایی.



شکل ۴- شاخص کشش و شاخص پارگی خمیر کاغذهای حاصل از ترکیب خالص و اختلاط خمیر کاغذ سولفیت قلیایی با خمیر کاغذ NSSC

نتیجه رسید که در درجه روانی برابر ۴۵۰ میلی‌لیتر کانادایی (CSF)، شاخص مقاومت به ترکیدن کاغذ حاصل از فرآیند خمیر کاغذسازی AS/AQ رنگ‌بری نشده تقریباً برابر با کاغذ حاصل از فرآیند خمیر کاغذسازی کرافت رنگ‌بری نشده است [۱۴]. شکل ۵، ضخامت و شاخص ترکیدگی خمیر کاغذهای حاصل از ترکیب خالص و اختلاط خمیر کاغذ سولفیت قلیایی با خمیر کاغذ NSSC را نشان می‌دهد.

مقاومت به ترکیدن از جمله مقاومت‌هایی است که به طول فیبر و میزان پیوند بین الیاف بستگی دارد ولی بیشتر تحت تأثیر اتصال بین الیاف است [۲۹]. خمیر کاغذ NSSC دارای حداقل مقاومت به ترکیدن است که متأثر از طول کوتاه تر الیاف، انعطاف‌پذیری کم تر الیاف و پیوند ضعیف بین الیاف است. هر چه الیاف نازک‌تر یا انعطاف‌پذیرتر باشند به دلیل ایجاد اتصالات هیدروژنی بیشتر، پیوند بین الیاف افزایش یافته و در نتیجه مقاومت به ترکیدن نیز افزایش می‌یابد. Kamthai (۲۰۰۷) در تحقیق خود به این



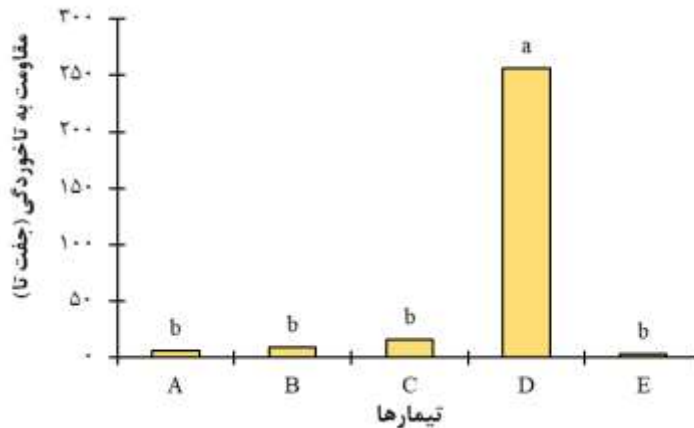
شکل ۵- مقایسه ضخامت و شاخص ترکیدگی خمیر کاغذهای حاصل از ترکیب خالص و اختلاط خمیر کاغذ سولفیت قلیایی با خمیر کاغذ NSSC

نیروهای کششی، انحنای پذیری، مقاومت به فشار و دیگر تنش‌های برشی و تغییر طول‌های نسبی به صورت ترکیبی به نمونه اعمال می‌شود [۲۹]. در بررسی نتایج مقاومت به تاخوردگی نمونه‌های خالص سولفیت قلیایی در مقایسه با سطوح مختلف اختلاط خمیر کاغذ NSSC و سولفیت

مقاومت به تاخوردگی یکی از پیچیده‌ترین خواص مکانیکی عمومی کاغذ است و در جاهایی که تاخوردگی در کاغذ ایجاد می‌شود، مثلاً در مورد کاغذهای اسکناس و اسناد بهادار، بسیار حائز اهمیت است. پیچیدگی آزمون مقاومت به تاخوردگی به این دلیل است که در این آزمون

کاغذ شده است. Kamthai (۲۰۰۷) به این نتیجه رسید که در درجه روانی برابر ۴۵۰ میلی لیتر کانادایی (CSF)، مقاومت به تاخوردگی کاغذ حاصل از فرآیند خمیر کاغذسازی AS/AQ رنگ بری نشده تقریباً برابر با کاغذ حاصل از فرآیند خمیر کاغذسازی کرافت رنگ بری نشده است [۱۴].

قلیایی، افزایش معنی داری در نتایج تاخوردگی تیمارها مشاهده شد (شکل ۶). مقاومت به تاخوردگی کاغذ با افزایش طول فیبر و افزایش چگالی ورقه کاغذ افزایش می یابد [۲۹]. به نظر می رسد پراکنش بیشتر الیاف بلند (مش های ۲۸ و ۴۸) خمیر کاغذ سولفیت قلیایی در مقایسه با خمیر NSSC باعث بهبود مقاومت به تاخوردگی



شکل ۶- مقایسه مقاومت به تاخوردگی کاغذهای حاصل از ترکیب خالص و اختلاط خمیر کاغذ سولفیت قلیایی با خمیر کاغذ NSSC

با داشتن میانگین کل هر یک از خواص مکانیکی تیمارها (جدول ۹)، معادله نرمال سازی برای داده های حاصل از آزمایش های انجام شده به شرح زیر به دست آمد:

#### امتیازدهی تیمارها با معادلات نرمال سازی

مقادیر درصد اهمیت هر یک از ویژگی های مکانیکی در جدول ۸ ارائه شده است.

جدول ۸- درصد اهمیت ویژگی های مکانیکی در محاسبه معادلات نرمال سازی

ویژگی	الگوی شماره ۱	الگوی شماره ۲	الگوی شماره ۳
شاخص ترکیدگی (X <sub>1</sub> )	٪۴۵	٪۱۵	٪۳۰
شاخص پارگی (X <sub>2</sub> )	٪۱۵	٪۱۵	٪۳۰
مقاومت به تاخوری (X <sub>3</sub> )	٪۱۵	٪۳۵	٪۲۰
شاخص کشش (X <sub>4</sub> )	٪۲۵	٪۳۵	٪۲۰
مجموع	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰

جدول ۹- میانگین نتایج ویژگی های مکانیکی کاغذهای حاصل از تیمارها

ویژگی	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	X <sub>4</sub>
تیمار A	۱/۶	۴/۳۷	۶/۳	۳۱/۰۳
B	۱/۹۵	۵/۵۳	۹/۳	۵۴/۳
C	۲/۸	۵/۸	۱۶	۳۳/۹
D	۴/۳	۹/۴	۲۵۶	۵۱/۶۳
E	۱/۴	۳/۳۶	۳	۳۱/۸۹
میانگین	۲/۴۰	۵/۷	۵۸/۱	۴۰/۵

معادله نرمال سازی برای الگوی شماره ۱

$$Y_1 = 0.11875 X_1 + 0.26315 X_2 + 0.02580 X_3 + 0.06163 X_4 = 1$$

معادله نرمال سازی برای الگوی شماره ۲

$$Y_2 = 0.0625 X_1 + 0.26315 X_2 + 0.06020 X_3 + 0.08629 X_4 = 1$$

معادله نرمال سازی برای الگوی شماره ۳

$$Y_3 = 0.125 X_1 + 0.52631 X_2 + 0.03340 X_3 + 0.04930 X_4 = 1$$

طوری که با حداقل زمان پخت (۴۵ دقیقه) می توان خمیر کاغذ با الیاف بلندتر و مقدار نرمه کمتر تولید کرد. افزایش بیشتر زمان پخت (۱ ساعت) موجب تولید خمیر کاغذی با بازده و کاپای کمتر می شود، ولی موجب صدمه بیشتر به کربوهیدرات ها می گردد. به طوری که مقدار نرمه بیشتر و الیاف بلند کمتر حاصل می شود. با توجه به اینکه خمیر کاغذ سولفیت قلیایی تولید شده نیاز به رنگ بری ندارد، لذا عدد کاپای کمتر منجر به صدمه بیشتر به کربوهیدرات ها شده افت بیشتر بازده را به وجود می آورد. بررسی مقایسه ای مقاومت های کاغذ های دست- ساز سولفیت قلیایی با خمیر کاغذ الیاف بلند وارداتی تفاوت معنی داری را نشان می دهد ولی از آنجایی که خمیر سولفیت قلیایی ساخته شده از گونه پهن برگ است و طول ثالیاف این گونه الیاف کم است، خمیر کاغذی با ویژگی های مقاومتی برتر به دست آمده که با توجه به تفاوت معنی دار ویژگی های مقاومت آن با خمیر کاغذ NSSC می توان با افزودن مقادیر بیشتر نسبت به خمیر الیاف بلند در ترکیب خمیر نهایی کارخانه مورد استفاده قرار گیرد. چنانچه خمیر سولفیت قلیایی با خمیر کرافت پهن برگ مقایسه شود ویژگی های مقاومتی بهتری در حالت مقایسه با خمیر الیاف بلند وارداتی حاصل می شود. در مجموع، نتایج نشان داد که خمیر کاغذ سولفیت قلیایی تولیدی از جایگاه نسبتاً مناسبی برای تقویت کاغذ کنگره ای در مقایسه با خمیر کاغذ الیاف بلند وارداتی برخوردار است و می تواند برای جبران بخشی از کمبود ماده اولیه در خط تولید خمیر کاغذ کنگره ای شرکت چوب و کاغذ مازندران توصیه شود.

با توجه به نتایج حاصل از اندازه گیری خواص مقاومتی کاغذ های دست ساز حاصل از تیمارهای مختلف، امتیاز محاسبه شده و بهترین تیمار آزمایشی از نظر مجموع ویژگی های مقاومتی تعیین شد (جدول ۱۰). نتایج حاصل از روش امتیازدهی نشان داد در الگوی شماره ۱، ۲ و ۳ تیمار D (کاغذ حاصل از ترکیب خالص خمیر کاغذ سولفیت قلیایی) دارای بیشترین امتیاز (به ترتیب ۲/۵۰۱۵، ۲/۰۲۸۵، ۲/۱۶۴۹ و ۲/۱۶۴۹) بود که در بین سایر تیمارها دارای امتیاز بیشتری بود. در بین تیمارها، تیمار C (۴۰ درصد خمیر کاغذ سولفیت قلیایی + ۶۰ درصد خمیر کاغذ NSSC) در الگوی شماره ۱، ۲ و ۳ به ترتیب با کسب امتیاز (۰/۹۳۵۴، ۰/۷۲۰۴ و ۰/۸۸۴۶) در جایگاه دوم و تیمار B (۳۰ درصد خمیر کاغذ سولفیت قلیایی + ۷۰ درصد خمیر کاغذ NSSC) به ترتیب با کسب امتیاز (۰/۸۶۹۹، ۰/۷۹۲۱ و ۰/۸۳۴۶) در جایگاه سوم قرار دارد. از این رو استفاده از ترکیب های فوق به عنوان مقدار بهینه اختلاط خمیر کاغذ معرفی می شود که می تواند جایگزین بخشی از خمیر کاغذ الیاف بلند قهوه ای وارداتی برای تولید کاغذ فلوتینگ شود و کاغذی با کیفیت مقاومتی مطلوب تولید کند.

### نتیجه گیری

نتایج این تحقیق نشان داد که تغییر شرایط پخت با استفاده از تزریق بیشتر قلیایی به مایع پخت NSSC و همچنین افزودن آنتراکینون منجر به افزایش میزان لیگنین زدایی با حفظ بیشتر کربوهیدرات ها می شود. به-

- [1] Ghasemian, A. and Khalili, A., 2011. Principle and methods of paper recycle. Tehran: Aijj press, 184 p. (In Persian).
- [2] Liang, F., Fang, G., Jiao, J., Deng, Y., Han, S., Li, H., Tian, Q., Pan, A. and Zhu, B., 2018. Modified hydrogen peroxide bleaching of bamboo chemo-mechanical pulp using aqueous alcohol media. *BioResources*, 14(1): 870-881.
- [3] Lahtinen, P., Liukkonen, S., Pere, j., Sneck, A. and Kangas, H., 2014. A comparative study of fibrillated fibers from different mechanical and chemical pulps. *BioResources*, 9(2):2115-2127.
- [4] Reixach, R., Marques, E.F., El Mansouri, N.E., de Cartagena, F.R., Arbat, G., Espinach, F.X. and Mutje, P., 2013. Micromechanics of mechanical, thermomechanical, and chemi-thermomechanical pulp from organo tree pruning as polypropylene reinforcement: A comparative study. *BioResources*, 8(3):3231-3246.
- [5] Mirshokraei, S.A., 2009. Pulp and paper technology (edition 2), Aijj Publications, (Translated In Persian)
- [6] Parsapajouh, D., 2012. Atlantic woods of northern Iran: elaboration and microscopic detection of important species, 6th Ed., Tehran University Publications, Tehran, 142 p. (In Persian).
- [7] Tatari, A., Dehghani Firouzabadi, M.R., Saraeyan, A.R. and Aryaie Monfared, M.H., 2017. Comparative study of the characteristics of pulp and paper prepared by Sulfur dioxide-Ethanol-Water (SEW) and soda from bagasse fiber. *Iranian Journal of wood and forest science and technology*, 24(3):221-239. (In Persian).
- [8] Tatari, A., Dehghani Firouzabadi, M.R., Saraeyan, A.R., Aryaie Monfared, M.H. and Yadollahi, R., 2017. Effects of washing method on the bagasse pulping characteristics processed by the sulfur dioxide-ethanol-water (SEW) method. *Iranian Journal of wood and paper industries*, 7(4):549-559. (In Persian).
- [9] Mirshokraei, S.A., 2002. Wood chemistry: fundamentals and applications (Eero Sjöström). Aijj Publications. 198 p. (Translated In Persian).
- [10] Sixta, H., 2006. Handbook of pulp (volume 1), WILEY-VCH, Weinheim, 1369 p.
- [11] Law, K.N., Kokta, B.V. and Mao, C. B., 2001. Fibre morphology and soda-sulphite pulping of switchgrass. *Bioresource technology*, 77(1):1-7.
- [12] Hinck, J. F., Casebier, R. L. and Hamilton, J. K., 1985. Pulp and Paper Manufacture-Sulfite Science and Technology.
- [13] Biermann, C.J. 1996. Handbook of pulping and papermaking. second ed., Academic Press, New York, 283 p.
- [14] Kamthai, S., 2007. Comparison of AS-AQ Pulping of Sweet Bamboo (*Dendrocalamus asper* Backer) and Pulping by Conventional Kraft Process. *Chiang Mai J Sci*, 34(1):97-107.
- [15] Saraeian, A.R. and Khalili, A., 2013. Pulp production technology with kraft process. Aijj Publications. 360 p. (In Persian).
- [16] Deshpande, R., Sundvall, L., Grundberg, H. and Germgard, U., 2016. The Influence of different types of bisulfite cooking liquors on pine wood components. *BioResources*, 11(3):5961-5973.
- [17] Rahman, H., Lindström, M. E., Sandström, P., Salmén, L. and Engstrand, P., 2017. The effect of increased pulp yield using additives in the softwood kraft cook on the physical properties of low grammage handsheets. *Nordic Pulp & Paper Research Journal*, 32(3):317-323.
- [18] Hedjazi, S., Kordsachia, O., Patt, R., Latibari, A.J. and Tschirner, U., 2008. Bagasse alkaline sulfite-anthraquinone (AS/AQ) pulping and totally chlorine free (TCF) bleaching. *Holzforchung*, 62(2):142-148.
- [19] Erisir, E., Gumuskaya, E., Kirci, H. and Misir, N., 2015. Alkaline sulphite anthraquinone pulping of caucasian spruce (*Picea orientalis* L.) chips with added sodium borohydride and ethanol. *Drewno. Prace Naukowe. Doniesienia. Komunikaty*, 58(194).

- [20] Morais, J. P. S., de Freitas Rosa, M., Nascimento, L. D., do Nascimento, D. M. and Cassales, A.R., 2013. Extraction and characterization of nanocellulose structures from raw cotton linter. *Carbohydrate Polymers*, 91(1):229-235.
- [21] Ghasemian, A., Saraeyan, A.R. and Lesan, J., 2011. Physical, mechanical and optical properties of the unbleached Kraft pulp of *Eucalyptus microtheca* from Iranshahr region. *Iranian Journal of Wood & Forest Science and Technology*, 18(3):15-30. (In Persian).
- [22] Area, M.C., Felissia, F.E., Venica, A. and Valade, J.L., 2001. NSSC process optimization: Pulping, pulps and spent liquors, *Tappi J.*, 84(4):1-12.
- [23] Khristova, P., Kordsachia, O., Patt, R. and Dafaalla, S., 2006. Alkaline pulping of some eucalypts from Sudan. *Bioresource Technology*, 97(4):535-544.
- [24] Fengel, D. and Wegener, G., 2011. *Wood: chemistry, ultrastructure, reactions*. Walter de Gruyter, Berlin and New York, 613 pp.
- [25] Ingruber, O.V., Kocurek, M.J. and Wong, A., 1985. *Pulp and Paper Manufacture: Vol. 4: Sulfite science and technology*. The Joint Textbook Committee of the Paper Industry (TAPPI/CPPA). cap. VIII.
- [26] Hedjazi, S., Kordsachia, O., Patt, R., Latibari, A. J. and Tschirner, U., 2009. Alkaline sulfite–anthraquinone (AS/AQ) pulping of wheat straw and totally chlorine free (TCF) bleaching of pulps. *Industrial crops and products*, 29(1):27-36.
- [27] Erisir, E., Gumuskaya, E., Kirci, H. and Misir, N., 2015. Alkaline sulphite anthraquinone pulping of Caucasian spruce (*Picea orientalis* L.) chips with added sodium borohydride and ethanol. *Drewno. Prace Naukowe. Doniesienia. Komunikaty*, 58(194).
- [28] Kocurek, M.J. and Stevens, C.F.B., 1983. Properties of fibrous raw materials and their preparation for pulping (Volume 1): In pulp and paper manufacture, Joint Textbook Committee of the Paper Industry, TAPPI, 182 p.
- [29] Scott, W. E., Abbott, J. C. and Trosset, S., 1995. *Properties of paper: an introduction*, Second Edition, TAPPI Press, Atlanta, 191 p.

## The product of pulp from hornbeam with alkaline sulfite- AQ process

### Abstract

The objective of this study was to investigate the modification of neutral sulfite semi chemical (NSSC) pulping liquor by applying changes in the percentage of chemicals, increasing alkalinity and changing the pulping duration for the production alkali sulfite (AS). Among the pulps, the best combination was acceptable with respect to the residual alkalinity ( $\text{pH} > 11$ ) and the acceptable kappa number (about 17) and the lowest amounts of so-called undercooked wood (or “rejects”) was selected. Pure AS pulp and also the mixing of different percentages of AS pulp with NSSC pulp were compared. The results showed that the overall strength of the modified pulp compared with the initial NSSC pulp increased. So that the alkali sulfite (AS) and NSSC is about 66.2 and 32.4 N.m/ g, respectively. By adding more amounts of this pulp in furnish, by increasing the required strength of the paper, the consumption of pulp from the imported long fiber could be reduced while maintaining the paper's strength properties.

**Keywords:** alkali sulfite (AS), modification of pulping liquor, NSSC pulp, strength properties.

**A.R. Zahedi Tabarestani<sup>1</sup>**

**A.R. Saraeyan<sup>2\*</sup>**

**H. Resalati<sup>3</sup>**

**A. Ghasemian<sup>4</sup>**

<sup>1</sup> Ph.D., Faculty of wood and paper engineering, Gorgan university of agricultural sciences & natural resources, Gorgan, Iran

<sup>2</sup> Associate Prof., Faculty of wood and paper engineering, Gorgan university of agricultural sciences & natural resources, Gorgan, Iran

<sup>3</sup> Professor, Faculty of wood and paper engineering, Sari university of agricultural sciences & natural resources, Sari, Iran

<sup>4</sup> Associate Prof., Faculty of wood and paper engineering, Gorgan university of agricultural sciences & natural resources, Gorgan, Iran

Corresponding author:

[saraeyan.ahmadreza@gmail.com](mailto:saraeyan.ahmadreza@gmail.com)

Received: 2019/03/04

Accepted: 2019/05/20