Archive of SID



# تولید خمیرکاغذ از چوب ممرز با فرآیند سولفیت قلیایی-آنتراکینون

**احمدرضا زاهدی طبرستانی**[۱]
**احمدرضا سرائیان**[۲*]
**حسین رسالتی**[۳]
**علی قاسمیان**[۴]

[۱] دانش آموخته دکتری صنایع خمیر و کاغذ، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران

[۲] دانشیار، گروه علوم و مهندسی کاغذ، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران

[۳] استاد گروه علوم و مهندسی کاغذ، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران

[۴] دانشیار گروه علوم و مهندسی کاغذ، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران

مسئول مکاتبات:
Saraeyan.ahmadreza@gmail.com

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۱۲/۱۳
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۲/۳۰

## چکیده

این تحقیق با هدف بررسی اصلاح مایع پخت فرآیند خمیرکاغذسازی نیمه شیمیایی سولفیت خنثی (NSSC) با اعمال تغییرات درصد مواد شیمیایی، افزایش میزان قلیائیت و تغییر زمان پخت برای تولید خمیرکاغذ شبه شیمیایی (سولفیت قلیایی) انجام شده است. در بین خمیرکاغذهای تولیدی، بهترین ترکیب با توجه به قلیائیت باقی‌مانده قابل قبول (pH >۱۱ ) و عدد کاپای قابل قبول (حدود ۱۷) و کمترین مقدار وازده انتخاب شد. خمیرکاغذ سولفیت قلیایی خالص و همچنین اختلاط درصدهای مختلف خمیرکاغذ سولفیت قلیایی با خمیرکاغذ NSSC مقایسه و ارزیابی شد. نتایج به دست آمده نشان داد که مقاومت کلی خمیرکاغذ اصلاح شده در مقایسه با خمیرکاغذ 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 خمیرکاغذ، می‌توان ضمن تامین ویژگی‌های مقاومتی کاغذ، مقدار مصرف خمیرکاغذ الیاف بلند وارداتی را کاهش داد.

**واژگان کلیدی:** سولفیت قلیایی، اصلاح مایع پخت، خمیرکاغذ NSSC، ویژگی-های مقاومتی.

## مقدمه

مصارف متنوع فرآورده‌های کاغذی در امور چاپ و تحریر، بسته بندی و بهداشتی به نحوی روزافزون نیاز به خمیرکاغذ 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 (پالایش الیاف) در جهت استفاده از خمیرکاغذ شیمیایی- مکانیکی پیش می‌رود [۲]. به طوری که این وضعیت در کشورهایی که دارای منابع فراوان پهن‌برگ هستند بیشتر محسوس است و پیش‌بینی می‌شود در آینده نیز افزایش یابد [۳ و ۴]. در دهه اخیر، با توجه به کاهش سطح جنگل‌ها و استفاده کمتر از منابع چوبی، اغلب کارخانه‌های دارای فرآیند فوق‌الذکر، سعی دارند از کاغذهای باطله در ترکیب نهایی خمیرکاغذ خود استفاده کنند. از طرفی استفاده از این قبیل کاغذها به دلیل بازیافت تکراری موجب کاهش برخی مقاومت‌های کاغذ نهایی می‌گردد که استفاده از خمیر الیاف بلند را در ترکیب نهایی خمیرکاغذ اجتناب ناپذیر می‌کند [۵]. در میان پهن‌برگان، ممرز (*Carpinus betulus*) از مهم‌ترین گونه‌های جنگلی پهن‌برگ است که دامنه انتشار وسیعی داشته و درصد قابل توجهی از سطح جنگل‌های شمال را به خود اختصاص داده است. این گونه حدود ۳۰ تا ۴۰

www.SID.ir

Archive of SID


درصد ترکیب جنگل‌های شمال و ۴۳ درصد کل موجودی جنگل‌های تجارتی 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 خمیرکاغذ تولیدی و اصلاح ساختار سیستم بازیابی مواد شیمیایی از جمله دلایل گسترش فرآیندهای خمیرکاغذسازی 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 به طور ویژه برای تولید کاغذ کنگره‌ای در نظر گرفته شده است [۹]. تولید خمیرکاغذ به روش NSSC یک فرآیند دو مرحله‌ای است که در مرحله اول مواد لیگنوسلولزی 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 ازخمیرکاغذ، بازده تولید خمیرکاغذ به مقدار قابل توجهی نسبت به فرآیندهای شیمیایی بیشتر است. درمرحله دوم، تیمار مکانیکی، مواد حاصل از مرحله اول را به الیاف جداگانه تفکیک می‌نماید. به طور کلی در این مرحله کمترین شکست الیاف ایجاد می‌شود [۱۰]. بررسی‌های ریخت-شناسی انجام شده در مورد این خمیرکاغذها نشان‌دهنده شباهت بسیار زیاد این الیاف با الیاف تولیدی فرآیندهای شیمیایی خمیرکاغذسازی است [۱۱]. از مزایای این روش می‌توان به هزینه کم خمیرکاغذ تولیدی از پهن‌برگان، سفتی زیاد خمیرکاغذ حاصل، ویژگی‌های مقاومتی خوب به ویژه برای تولید مقوای کنگره‌ای، مصرف کم مواد شیمیایی، عدم انتشار بوهای آزاردهنده، کاهش حساسیت به کیفیت مادهٔ لیگنوسلولزی و بازده زیاد خمیرکاغذ اشاره کرد [۱۰، ۱۲، ۱۳]. اگرچه روند عمومی ظرفیت خمیرکاغذ شیمیایی، توسعه خمیرکاغذسازی کرافت را به جای سایر خمیرکاغذها نشان می‌دهد، ولی دلیل اصلی برای استفاده بیشتر از خمیرکاغذ سولفیت مزایای به خوبی شناخته شده خمیرکاغذهای آن در مقایسه با خمیرکاغذهای 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 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 خمیرکاغذ سازی به‌طور گسترده‌ای زمینه تحقیقاتی پژوهشگران و صنعتگران خمیر و کاغذ شده است [۱۶، ۱۷].

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

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

Erisir و همکاران (۲۰۱۵) تاثیر افزودن سدیم بوروهیدرید و اتانول را بر خمیرکاغذسازی AS-AQ از خرده چوب نوئل قفقازی مورد بررسی قرار دادند. در این تحقیق بازده، ویسکوزیته و خواص فیزیکی-شیمیایی خمیرکاغذهای 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 خمیرکاغذسازی AS-AQ تاثیر معنی‌داری بر بازده و عدد کاپای خمیرها داشته است. افزودن سدیم بوروهیدرید به خمیرکاغذ AS-AQ تاثیر معنی‌داری بر شاخص‌های خمیرکاغذها نشان داد، در صورتی که مقدار ماده افزوده شده مذکور بیش از ۲-۱ درصد نباشد و زمان خمیرکاغذسازی نیز در حد ۱۸۰دقیقه باشد [۱۹].

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

www.SID.ir

Archive of SID



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

## 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 خمیرکاغذ نیمه شیمیایی سولفیت خنثی آماده‌سازی شد (جدول ۱). برای اصلاح مایع پخت NSSC و تبدیل آن به مایع پخت فرآیند جدید (سولفیت قلیایی) از هیدروکسیدسدیم 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**

| نوع ماده | واحد | مقدار |
|---|---|---|
| pH | - | ۹/۱ |
| دی اکسید گوگرد ($SO_2$) | گرم در لیتر | ۸۸ |
| اکسیدسدیم فعال ($Na_2O$) | گرم در لیتر | ۱۰۷ |
| نسبت $SO_2$ به $Na_2O$ | - | ۱/۲۱ |

### خمیرکاغذسازی

در شرایط فرآیندی مختلف، مانند دمای بیشینه پخت (۱۷۵ درجه سانتی‌گراد) و زمان‌های مختلف خمیرکاغذسازی (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، خمیرکاغذسازی متوقف شد و خرده چوب پخته شده بر روی الک با مش ۲۰ قرار داده و با استفاده از مش ۲۰۰ خمیرکاغذ غربال شده جمع‌آوری شد. پس از جمع‌آوری خمیرکاغذها، ابتدا از آب تصفیه شده برای خروج مایع پخت سیاه خمیرکاغذها استفاده گردید و سپس خمیرها با اعمال فشار مجدداً توسط آب تصفیه‌شده شستشو داده شدند. پس از تعیین درصد رطوبت خمیرکاغذ، وزن کاملاً خشک آنها تعیین شده و با استفاده از رابطه زیر، بازده کل خمیرکاغذ محاسبه گردید.

$$\text{بازده خمیرکاغذ (٪)} = \frac{\text{وزن خشک خمیرکاغذ (g)}}{\text{وزن خشک خرده چوب (g)}} \times ۱۰۰$$

### اصلاح اولیه مایع پخت NSSC با افزایش pH مایع پخت

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

www.SID.ir

Archive of SID


pH مایع پخت تا حد مورد انتظار افزایش یافت. در این مرحله با افزودن تدریجی هیدروکسیدسدیم، 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 هیدروکسیدسدیم و از حداقل ۱۷ میلی‌لیتر برای pH برابر ۱۰ تا حداکثر ۲۲ میلی لیتر برای pH برابر ۱۲ افزایش داده شد. در ادامه با افزودن بیشتر هیدروکسیدسدیم، 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 جمع-آوری 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 هیدروکسیدسدیم و مایع پخت NSSC

بر اساس بررسی‌های انجام شده در این پژوهش مشخص شد که قلیائیت لازم برای پخت خمیرکاغذ با افزودن قلیا علی‌رغم تغییر مقادیر pH مایع پخت کافی نبوده و نیاز است قلیائیت 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 قلیائیت 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 هیدروکسیدسدیم نسبت به وزن خشک خرده چوب می 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 خمیرکاغذ و اندازه‌گیری ویژگی‌های آن

در این پژوهش از خمیرکاغذ سولفیت قلیایی تولیدی با مایع پخت شامل ۱۰ درصد مایع پخت NSSC و ۲۰ درصد هیدروکسیدسدیم با مصرف ۰/۱ درصد آنتراکینون برای ساخت کاغذ دست‌ساز استفاده شد. خمیرکاغذ فوق-الذکر 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 خمیرکاغذ سولفیت قلیایی در ترکیب با خمیر NSSC برای تولید کاغذدست‌ساز استاندارد (۱±۶۰ گرمی) استفاده شدند (جدول ۲). در نهایت ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی کاغذهای دست‌ساز با استفاده از روش‌های مندرج در آیین‌نامه تاپی اندازه-گیری شد (جدول ۳).

**جدول ۲- ترکیب خمیر کاغذهای دست‌ساز**

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

www.SID.ir

Archive of SID



**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 ترکیدگی | 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 مولفه های 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 ویژگی های 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 | ۵ | ۶۹ |
| ۳۰ | ۳ | | ۶۸ |
| ۲۰ | ۴ | | ۶۷/۵ |
| ۲۵ | ۴ | | ۶۷ |

www.SID.ir

Archive of SID


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

| ویژگی | واحد | مقدار |
|---|---|---|
| دمای پخت | درجه سانتی‌گراد | 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 | $g/m^2$ | ۶۰ |
| شاخص پارگی | $mN.m^2/g$ | ۳/۳۳ |
| شاخص ترکیدگی | $kPa.m^2/g$ | ۱/۲۵ |

## نتایج حاصل از اصلاح اولیه مایع پخت NSSC با افزایش pH مایع پخت

نتایج نشان داد با افزایش pH مایع پخت در اثر افزودن هیدروکسیدسدیم ۵۰ درصد به مایع پخت NSSC، کاهش محسوسی در بازده خمیرکاغذ مشاهده نشد. به‌طوری که افزودن هیدروکسیدسدیم به مایع پخت و تنظیم pH حتی در حد ۱۲ و بالطبع افزایش قلیائیت، مقدار و سرعت لیگنین‌زدایی را افزایش نداده است. این نتیجه به این دلیل است که افزودن چند میلی لیتر هیدروکسیدسدیم به مایع پخت NSSC برای اصلاح مایع پخت موجب افزایش pH شده ولی به علت نداشتن درصد مواد شیمیایی کافی، قلیائیت مایع پخت را افزایش نداده و بر این اساس در زمان پخت واکنش‌های لیگنین‌زدایی گسترده نبوده و راندمان کاهش نمی‌یابد. در این شرایط به منظور افزایش سرعت لیگنین‌زدایی و حفظ کربوهیدرات‌ها 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 ملاحظه‌ای در لیگنین-زدایی و کاهش بازده مشاهده نشده است. نتایج به دست آمده از پخت‌های مختلف و بازده حاصل در این مرحله از اصلاح در جدول ۶ ارائه است.

**جدول ۶- اصلاح اولیه مایع پخت NSSC با افزایش pH از طریق تزریق هیدروکسیدسدیم۵۰٪ و آنتراکینون و پخت خمیرکاغذ**

| درصد مواد شیمیایی | مصرف آنتراکینون | زمان (ساعت) | L/W | دمای پخت (°C) | بازده غربال (٪) | وازده (٪) | 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 | ۱۵ | ۶۹ | - |
| ۳۰ | + | ۳ | | | ۶۵ | - | ۶۵ | |
| ۳۰ | - | ۳ | | | ۶۵ | - | ۶۵ | ۸۰ |
| ۳۰ | + | ۴ | | | ۶۴ | - | ۶۴ | ۸۰ |

www.SID.ir

Archive of SID



### نتایج حاصل از اصلاح نهایی مایع پخت با ترکیب هیدروکسیدسدیم و مایع پخت NSSC

نتایج به‌دست آمده از پخت‌های مختلف و بازده‌های 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، خمیرکاغذی با بازده کم و مشابه با خمیر کرافت تولید می‌گردد. در شرایط مختلف اعمال شده از طریق تغییر درصد مواد شیمیایی مایع پخت، تغییر ترکیب درصد مایع پخت و هیدروکسیدسدیم، افزایش زمان پخت و در نهایت استفاده و یا عدم استفاده از آنتراکینون دامنه مختلفی از خمیرکاغذهای شبه شیمیایی با مقادیر بازده مختلف تولید شد. با انجام پخت در زمان‌های 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 می‌شود که با توجه به عدم رنگ‌بری خمیرکاغذ مذکور نیازی به کاهش و افت عدد کاپا نمی‌باشد (جدول ۷). از جمله دلایل انتخاب زمان ۴۵ دقیقه برای کاغذسازی، تولید خمیرکاغذی با قلیائیت باقیمانده زیاد (pH بیشتر از ۱۱) و مقدار حداقل وازده بود که در بین پخت‌های مختلف، بهترین نتیجه مربوط به ترکیب ۲۰٪ هیدروکسیدسدیم و ۱۰٪ مایع پخت NSSC (به علت وازده بسیار کمتر در حدود ۱ درصد و داشتن قلیائیت کافی پس از پخت ۱۱<) می‌باشد.

**جدول ۷- اصلاح نهایی مایع پخت با ترکیب هیدروکسیدسدیم، آنتراکینون و مایع پخت NSSC**

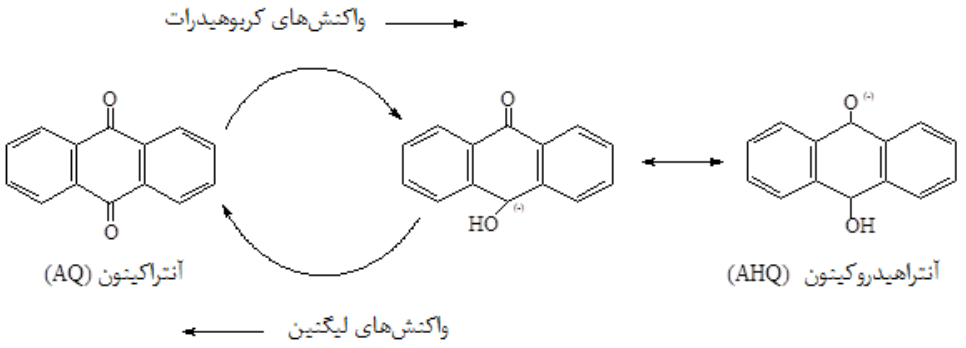
| درصد ترکیب | | درصد کل مواد شیمیایی | مصرف آنتراکینون | زمان (ساعت) | L/W | دمای پخت (°C) | بازده غربال (٪) | وازده (٪) | بازده کل (٪) | عدد کاپا |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| هیدروکسیدسدیم | مایع پخت NSSC | | | | | | | | | |
| ۲۰ | ۱۰ | ۳۰ | + | ۰/۵ | | | ۴۸/۵ | ۶ | ۵۴/۵ | ۱۹ |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

نتایج نشان داد با افزایش سهم مایع پخت NSSC بازده کل افزایش می‌یابد، که می‌تواند به دلیل حضور سولفیت سدیم بیشتر و کاهش قلیائیت مایع پخت نهایی باشد. در این شرایط کربوهیدرات‌ها بهتر حفظ می‌شوند [۱۸]. اثر آنتراکینون در تسریع لیگنین‌زدایی و جداسازی الیاف در پخت‌های مختلف به‌خوبی مشهود است، به‌طوری که در شرایط مساوی، ۳۰ درصد مواد شیمیایی در مایع پخت بر مبنای وزن خشک چوب (۱۰٪ مایع پخت NSSC و ۲۰٪ هیدروکسیدسدیم) با مصرف ۰/۱ درصد آنتراکینون خمیرکاغذ کاملا دفیبره شده به‌دست آمد، در صورتی که بدون مصرف این ماده، محتویات دایجستر به‌صورت خرده چوب‌های دفیبره نشده از دایجستر خارج شدند. علت کاهش بازده در نتیجه افزودن آنتراکینون به مایع پخت را می‌توان بدین صورت بیان کرد که آنتراکینون حداکثر تاثیر بر تخریب مولکول‌های لیگنین و پایداری کربوهیدرات‌ها را در طول خمیرکاغذسازی فراهم می‌کند. افزودن آنتراکینون به لیکور پخت موجب افزایش سرعت لیگنین‌زدایی، کاهش عدد کاپا، انتخاب‌پذیری، کاهش

www.SID.ir

Archive of SID


شارژ قلیایی، بهبود خواص خمیرکاغذ و بازده می‌گردد [۹]. تحقیقات بسیار زیادی تأثیر آنتراکینون را بر کاهش عدد کاپا و حفظ کربوهیدرات‌ها تأیید می‌کنند [۱۸، ۲۳].




**شکل ۱- واکنش های آنتراکینون [۹].**

امروزه آنتراکینون به یکی از مواد افزودنی مهم در خمیرکاغذسازی تبدیل شده است که در گستره وسیعی در فرآیندهای قلیایی تولید خمیرکاغذ کاغذ استفاده می‌شود [۹]. مکانیزم شیمیایی خمیرکاغذسازی 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 تاثیر 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 آنتراهیدروکینوناحیاء می شود و این ماده نیز به گروه های آلدونیک اسیدی مقاوم به قلیا اکسید می شود. گروه های احیاء شده جدید آنتراهیدروکینون عامل موثری در شکستن پیوندهای اتری β- آریل لیگنین بوده و به طور همزمان به آنتراکینون اکسید می شود. 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 لیگنوسلولزی آنتراکینون کافی است تا لیگنین‌زدایی را به نحو چشم گیر 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 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 فوق الذکر مطابقت دارد.

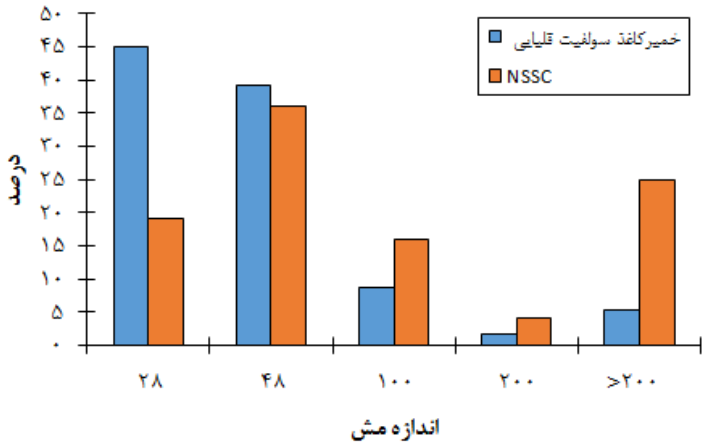
### کلاسه‌بندی الیاف

کلاسه‌بندی الیاف خمیرکاغذهای تولیدی با شرایط مذکور (شکل ۲) نشان داد که درصد الیاف بلند (مش‌های ۲۸ و ۴۸) خمیرکاغذ 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 خمیرکاغذ NSSC مشخص شد که درصد الیاف بلند (مش‌های ۲۸ و ۴۸) خمیر حاصل نسبتا کم بوده و نسبت به خمیر کاغذ سولفیت قلیایی از الیاف بلند کمتر و نرمه بیشتری برخوردار است.

www.SID.ir

Archive of SID






**شکل ۲- نتایج کلاسه‌بندی خمیرکاغذ سولفیت قلیایی و NSSC**

## نتایج حاصل از بررسی ریخت‌شناسی خمیرکاغذها

شکل ۳ تصاویر حاصل از میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) الیاف خمیرکاغذ NSSC و سولفیت قلیایی را نشان می‌دهد. تصاویر SEM نشان دادند که الیاف خمیرکاغذ NSSC، ساختاری شبکه‌ای مانند با قطری در محدوده ۳۵-۱۰ میکرومتر و به‌طور متوسط ۳/۸±۲۰/۱۲ میکرومتر بودند. از طرفی خمیرکاغذ سولفیت قلیایی تولیدی با قطری در محدوده ۴۰-۱۰ نانومتر و به‌طور متوسط ۶/۲۶±۲۷/۷۴ 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 خمیرکاغذسازی و همچنین مایع پخت پخت تاثیر بسیار مهمی در ریخت‌شناسی، طول الیاف و قطر الیاف خمیرکاغذ حاصله دارد. میانگین قطر و طول الیاف خمیرکاغذ حاصل از پهن‌برگان به ترتیب ۴۰-۲۰ میکرون و ۱/۶-۰/۷ میلی‌متر و برای الیاف خمیرکاغذ 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 یافته‌های به دست آمده توسط Kocurek و Stevens (۱۹۸۳) است [۲۸].

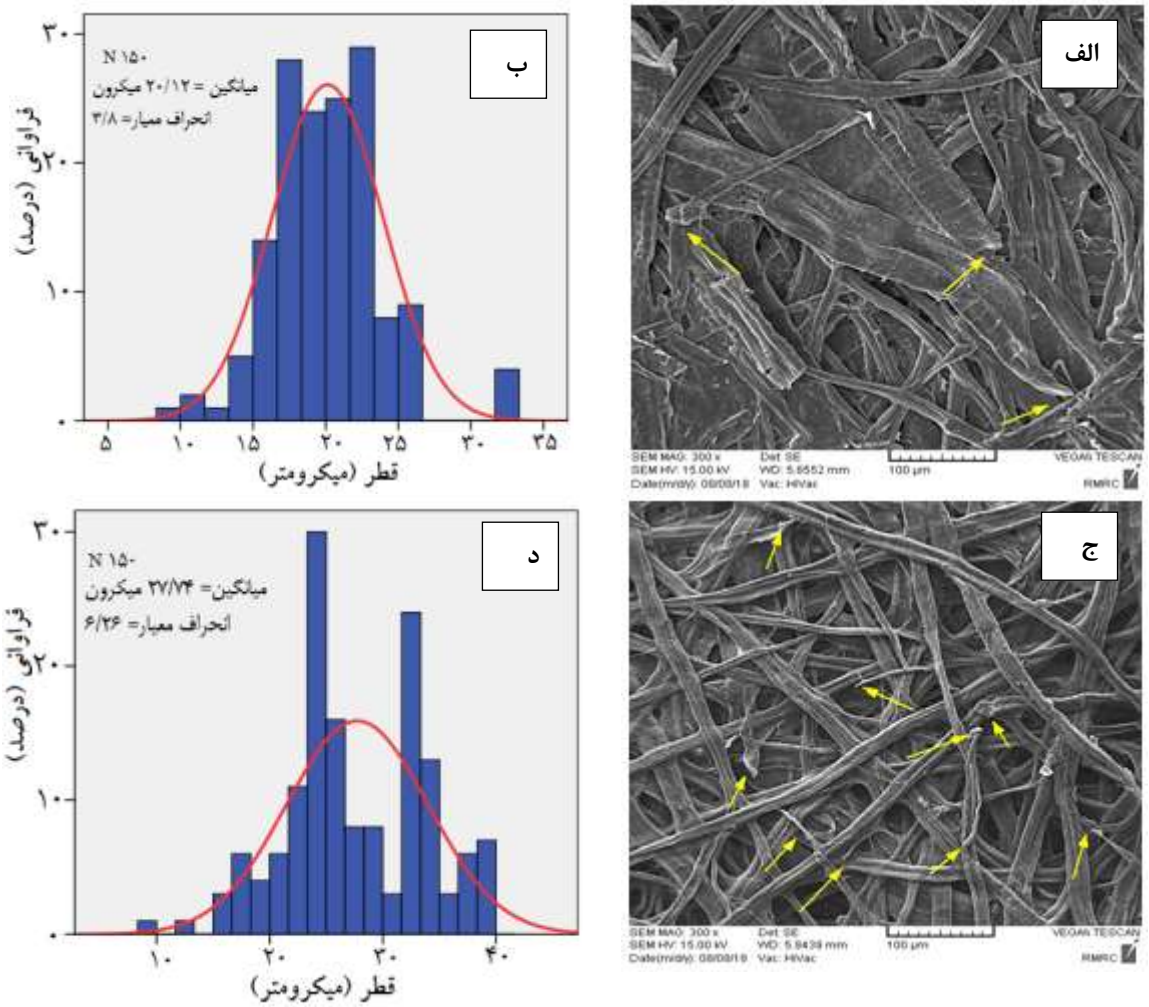
## ویژگی‌های مقاومتی کاغذ حاصل از اختلاط خالص خمیرکاغذ سولفیت قلیایی با خمیرکاغذ NSSC

نتایج حاصل از ارزیابی ویژگی‌های مقاومتی کاغذ نشان داد که خمیرکاغذ ۱۰۰ درصد سولفیت قلیایی در مقایسه با خمیر کاغذ NSSC دارای ویژگی‌های مقاومتی مطلوبی بودند. در خصوص اختلاط درصدهای مختلف خمیرکاغذ سولفیت قلیایی اعم از ۱۰،۳۰ و ۴۰ درصد با خمیرکاغذ NSSC، مشخص شد که با اختلاط ۱۰، ۳۰ و ۴۰ درصد خمیرکاغذ سولفیت قلیایی با خمیرکاغذ NSSC، تفاوت معنی‌داری در سطح اطمینان ۹۵ درصد بین میانگین مقادیر مقاومت‌های کششی، پاره‌شدن و ترکیدن وجود دارد (شکل ۴). کاغذهای ساخته شده از ۱۰۰درصد خمیرکاغذ سولفیت قلیایی، ضخامت کمتری نسبت به کاغذ NSSC داشتند و ضخامت به دست آمده از خمیرکاغذ الیاف بلند به مراتب بیشتر از خمیرکاغذ مذکور تعیین شد. شاخص کشش خمیرکاغذ سولفیت قلیایی با خمیرکاغذ NSSC مقادیر مقاومتی بیشتری را در مقایسه با خمیرکاغذ 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

www.SID.ir

Archive of SID


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 خمیرکاغذ NSSC کم بودن مقدار این مقاومت منطقی به نظر می‌رسد. مقدار شاخص مقاومت به پاره‌شدن در درجه اول به طول و مقاومت الیاف بستگی دارد. زیادتر بودن شاخص مقاومت به پاره‌شدن کاغذهای حاصل از خمیرکاغذ سولفیت قلیایی خالص در مقایسه با خمیر NSSC خالص یا ترکیب شده با خمیرکاغذ سولفیت قلیایی به دلیل وجود الیاف بلند بیشتر (حدود ۸۵ درصد در مش‌های ۲۸ و ۴۸) در این خمیرها می‌باشد (شکل ۲).

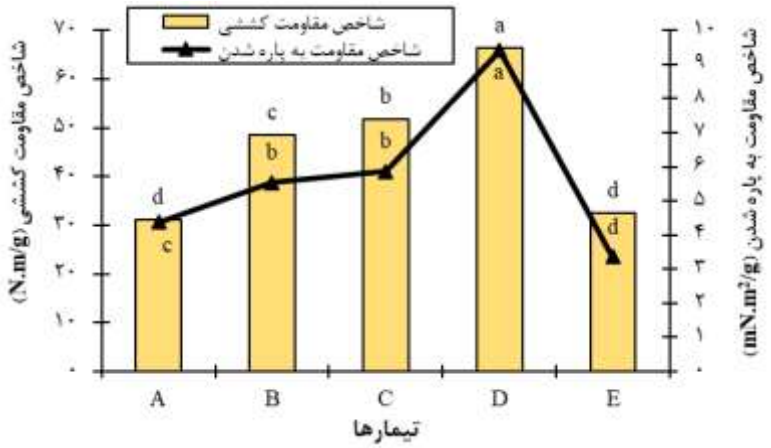



**شکل ۳- تاثیر فرآیند بر ابعاد الیاف: الف) تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) الیاف خمیرکاغذ ممرز NSSC، ب) متوسط و توزیع قطری الیاف خمیرکاغذ ممرز NSSC، ج) تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) الیاف خمیرکاغذ ممرز سولفیت قلیایی، د) متوسط و توزیع قطری الیاف خمیرکاغذ ممرز سولفیت قلیایی.**

www.SID.ir

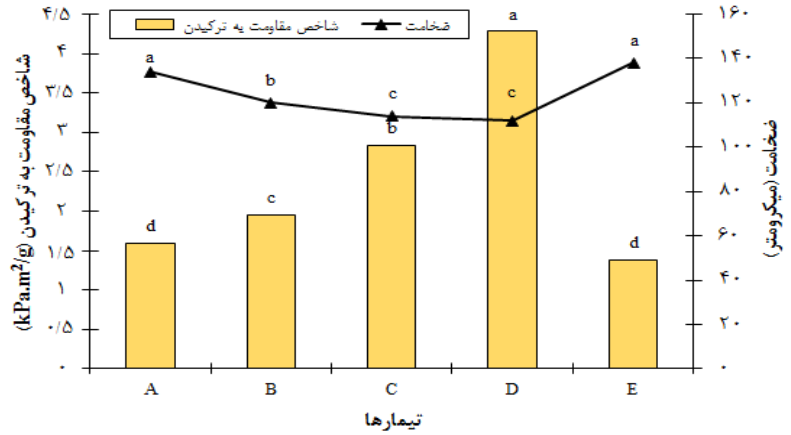
Archive of SID






**شکل ۴- شاخص کشش و شاخص پارگی خمیرکاغذهای حاصل از ترکیب خالص و اختلاط خمیرکاغذ سولفیت قلیایی با خمیرکاغذ NSSC**

مقاومت به ترکیدن ازجمله مقاومت‌هایی است که به طول فیبر و میزان پیوند بین الیاف بستگی دارد ولی بیشتر تحت تأثیر اتصال بین الیاف است [۲۹]. خمیرکاغذ 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 نتیجه رسید که در درجه روانی برابر ۴۵۰ میلی‌لیتر کانادایی (CSF)، شاخص مقاومت به ترکیدن کاغذ حاصل از فرآیند خمیرکاغذسازی AS/AQ رنگ‌بری نشده تقریبا برابر با کاغذ حاصل از فرآیند خمیرکاغذسازی کرافت رنگ‌بری نشده است [۱۴]. شکل ۵، ضخامت و شاخص ترکیدگی خمیرکاغذهای حاصل از ترکیب خالص و اختلاط خمیرکاغذ سولفیت قلیایی با خمیرکاغذ NSSC را نشان می‌دهد.



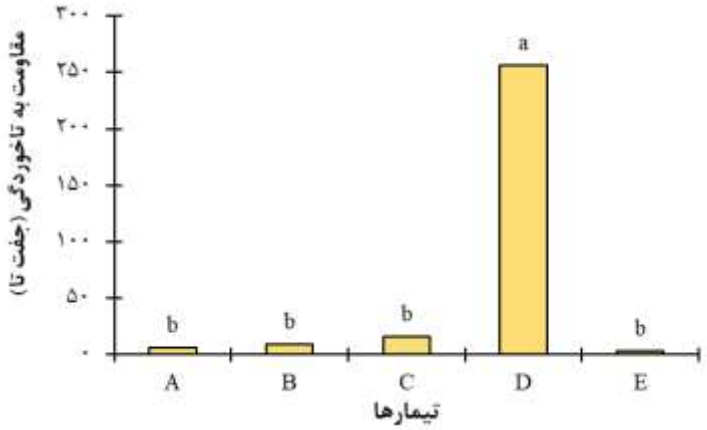

**شکل ۵- مقایسه ضخامت و شاخص ترکیدگی خمیرکاغذهای حاصل از ترکیب خالص و اختلاط خمیرکاغذ سولفیت قلیایی با خمیرکاغذ NSSC**

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 نیروهای کششی، انحنا پذیری، مقاومت به فشار و دیگر تنش‌های برشی و تغییر طول‌های نسبی به‌صورت 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

www.SID.ir

Archive of SID


قلیایی، افزایش معنی‌داری 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 می‌رسد پراکنش بیشتر الیاف بلند (مش‌های ۲۸ و ۴۸) خمیرکاغذ سولفیت قلیایی در مقایسه با خمیر NSSC باعث بهبود مقاومت به تاخوردگی کاغذ شده است. Kamthai (۲۰۰۷) به این نتیجه رسید که در درجه روانی برابر ۴۵۰ میلی‌لیتر کانادایی (CSF)، مقاومت به تاخوردگی کاغذ حاصل از فرآیند خمیرکاغذسازی AS/AQ رنگ‌بری نشده تقریبا برابر با کاغذ حاصل از فرآیند خمیرکاغذسازی کرافت رنگ‌بری نشده است [۱۴].




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

## امتیازدهی تیمارها با معادلات نرمال‌سازی

مقادیر درصد اهمیت هریک از ویژگی‌های مکانیکی در جدول ۸ ارائه شده است.

با داشتن میانگین کل هر یک از خواص مکانیکی تیمارها (جدول ۹)، معادله نرمال‌سازی برای داده‌های حاصل از آزمایش‌های انجام شده به شرح زیر به‌دست آمد:

**جدول ۸- درصد اهمیت ویژگی‌های مکانیکی در محاسبه معادلات نرمال‌سازی**

| ویژگی | الگوی شماره ۱ | الگوی شماره ۲ | الگوی شماره ۳ |
|---|---|---|---|
| شاخص ترکیدگی ($X_1$) | ٪۴۵ | ٪۱۵ | ٪۳۰ |
| شاخص پارگی ($X_2$) | ٪۱۵ | ٪۱۵ | ٪۳۰ |
| مقاومت به تاخوری ($X_3$) | ٪۱۵ | ٪۳۵ | ٪۲۰ |
| شاخص کشش ($X_4$) | ٪۲۵ | ٪۳۵ | ٪۲۰ |
| مجموع | ۱۰۰ | ۱۰۰ | ۱۰۰ |

**جدول ۹- میانگین نتایج ویژگی‌های مکانیکی کاغذهای حاصل از تیمارها**

| ویژگی / تیمار | $X_1$ | $X_2$ | $X_3$ | $X_4$ |
|---|---|---|---|---|
| A | ۱/٦ | ٤/۳۷ | ٦/۳ | ۳۱/۰۳ |
| B | ۱/۹٥ | ٥/٥۳ | ۹/۳ | ٥٤/۳ |
| C | ۲/۸ | ٥/۸ | ۱٦ | ۳۳/۹ |
| D | ٤/۳ | ۹/٤ | ۲٥٦ | ٥۱/٦۳ |
| E | ۱/٤ | ۳/۳٦ | ۳ | ۳۱/۸۹ |
| میانگین | ۲/٤۰ | ٥/۷ | ٥۸/۱ | ٤۰/٥ |

www.SID.ir

Archive of SID



معادله نرمال‌سازی برای الگوی شماره ۱

$$Y_1= ۰/۱۸۷۵\ X_1+ ۰/۰۲۶۳۱۵\ X_2+ ۰/۰۰۲۵۸۰\ X_3+ ۰/۰۰۶۱۶۳\ X_4 = ۱$$

معادله نرمال‌سازی برای الگوی شماره ۲

$$Y_2= ۰/۰۶۲۵\ X_1+ ۰/۰۲۶۳۱۵\ X_2+ ۰/۰۰۶۰۲۰\ X_3+ ۰/۰۰۸۶۲۹\ X_4 = ۱$$

معادله نرمال‌سازی برای الگوی شماره ۳

$$Y_3= ۰/۱۲۵\ X_1+ ۰/۰۵۲۶۳۱\ X_2+ ۰/۰۰۳۳۴۰X_3+ ۰/۰۰۴۹۳۰X_4 = ۱$$

با توجه به نتایج حاصل از اندازه‌گیری خواص مقاومتی کاغذهای دست‌ساز حاصل از تیمارهای مختلف، امتیاز محاسبه شده و بهترین تیمار آزمایشی از نظر مجموع ویژگی‌های 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 خمیرکاغذ سولفیت قلیایی) دارای بیشترین امتیاز (به ترتیب ۲/۰۲۸۵، ۲/۵۰۱۵ و ۲/۱۶۴۹) بود که در بین سایر تیمارها دارای امتیاز بیشتری بود. در بین تیمارها، تیمار C (۴۰ درصد خمیرکاغذ سولفیت قلیایی+ ۶۰ درصد خمیرکاغذ 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 خمیرکاغذ سولفیت قلیایی+ ۷۰ درصد خمیرکاغذ NSSC) به ترتیب با کسب امتیاز ۰/۸۶۹۹، ۰/۷۹۲۱ و ۰/۸۳۴۶ در جایگاه سوم قرار دارد. از این رو استفاده از ترکیب‌های فوق به عنوان مقدار بهینه اختلاط خمیرکاغذ معرفی می‌شود که می‌تواند جایگزین بخشی از خمیرکاغذ الیاف بلند قهوه‌ای وارداتی برای تولید کاغذ فلوتینگ شود و کاغذی با کیفیت مقاومتی مطلوب تولید کند.

## نتیجه‌گیری

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 لیگنین‌زدایی با حفظ بیشتر کربوهیدرات‌ها می‌شود. به‌طوری که با حداقل زمان پخت (۴۵ دقیقه) می‌توان خمیرکاغذ با الیاف بلندتر و مقدار نرمه کمتر تولید کرد. افزایش بیشتر زمان پخت (۱ ساعت) موجب تولید خمیرکاغذی با بازده و کاپای کمتر می‌شود، ولی موجب صدمه بیشتر به کربوهیدرات‌ها می‌گردد. به‌طوری که مقدار نرمه بیشتر و الیاف بلند کمتر حاصل می‌شود. با توجه به اینکه خمیرکاغذ سولفیت قلیایی تولید شده نیاز به رنگ‌بری ندارد، لذا عددکاپای کمتر منجر به صدمه بیشتر به کربوهیدرات‌ها شده افت بیشتر بازده را به‌وجود می‌آورد. بررسی مقایسه‌ای مقاومت‌های کاغذهای دست‌ساز سولفیت قلیایی با خمیرکاغذ الیاف بلند وارداتی تفاوت معنی‌داری را نشان می‌دهد ولی از آنجایی که خمیر سولفیت قلیایی ساخته شده از گونه پهن‌برگ است و طول ئالیاف این گونه الیاف کم است، خمیرکاغذی با ویژگی‌های مقاومتی برتر به دست آمده که با توجه به تفاوت معنی‌دار ویژگی‌های مقاومت آن با خمیرکاغذ NSSC می‌توان 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 پهن‌برگ مقایسه شود ویژگی‌های مقاومتی بهتری در حالت مقایسه با خمیر الیاف بلند وارداتی حاصل می‌شود. در مجموع، نتایج نشان داد که خمیرکاغذ سولفیت قلیایی تولیدی از جایگاه نسبتاً مناسبی برای تقویت کاغذ کنگره‌ای در مقایسه با خمیرکاغذ الیاف بلند وارداتی برخوردار است و می‌تواند برای جبران بخشی از کمبود ماده اولیه در خط تولید خمیرکاغذ کنگره‌ای شرکت چوب و کاغذ مازندران توصیه شود.

www.SID.ir

Archive of SID


## منابع

[1] Ghasemian, A. and Khalili, A., 2011. Principle and methods of paper recycle. Tehran: Aiij 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), Aiij 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). Aiij 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. Aiij 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. Holzforschung, 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).

www.SID.ir

Archive of SID



[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 Texbook 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.

www.SID.ir

Archive of SID


# 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 (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**[1]
**A.R. Saraeyan**[2*]
**H. Resalati**[3]
**A. Ghasemian**[4]

[1] Ph.D., Faculty of wood and paper engineering, Gorgan university of agricultural sciences & natural resources, Gorgan, Iran

[2] Associate Prof., Faculty of wood and paper engineering, Gorgan university of agricultural sciences & natural resources, Gorgan, Iran

[3] Professor, Faculty of wood and paper engineering, Sari university of agricultural sciences & natural resources, Sari, Iran

[4] Associate Prof., Faculty of wood and paper engineering, Gorgan university of agricultural sciences & natural resources, Gorgan, Iran

Corresponding author:
saraeyan.ahmadreza@gmail.com

Received: 2019/03/04
Accepted: 2019/05/20

www.SID.ir