



دانشگاه گواران

نشریه پژوهش‌های علوم و فناوری چوب و جنگل

جلد بیست و چهارم، شماره سوم، ۱۳۹۶

<http://jwfst.gau.ac.ir>

## بررسی مقایسه‌ای ویژگی‌های خمیر کاغذ و کاغذ تهیه‌شده به روش دی اکسید گوگرد- اتانول- آب (SEW) و سودا از الیاف باگاس

علی اصغر تاتاری<sup>۱</sup>، \*محمدرضا دهقانی فیروزآبادی<sup>۲</sup>، احمدرضا سرائیان<sup>۲</sup> و محمدهادی آریائی منفرد<sup>۳</sup>

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

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

<sup>۳</sup>استادیار گروه صنایع خمیر و کاغذ، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۲/۲۷؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۲/۲۴

### چکیده

**سابقه و هدف:** در مقیاس جهانی تولید کاغذ روزنامه و چاپ و تحریر از خمیر کاغذ پسماندهای کشاورزی مانند الیاف باگاس به دلیل محدودیت‌های منابع چوبی و دسترسی به فناوری تولید مناسب، مورد توجه جدی قرار گرفته است. در حال حاضر باگاس نیشکر می‌تواند به‌عنوان مهم‌ترین و مناسب‌ترین پسماند کشاورزی ایران جهت استفاده در سرمایه‌گذاری‌های جدید با تکنولوژی مناسب و نوین مورد توجه قرار گیرد. مطالعه حاضر با هدف بررسی مقایسه‌ای ویژگی‌های خمیر کاغذ تهیه‌شده به روش دی اکسید گوگرد- اتانول- آب (SEW) و سودا از الیاف باگاس انجام شده است.

**مواد و روش‌ها:** با استفاده از فرآیندهای سودا و SEW تحت شرایط فرآیندی مختلف، مانند دمای بیشینه پخت (۱۳۵ درجه سانتی‌گراد) و زمان‌های خمیرسازی (از ۳۰ تا ۱۰۰ دقیقه)، پخت‌های متعددی با هدف رسیدن به عدد کاپای حدود ۲۰ انجام گردید. برای خمیرهای سودا ابتدا از آب تصفیه شده برای حذف مایع پخت سیاه خمیر استفاده گردید و سپس خمیرها با اعمال فشار مجدداً توسط آب تصفیه‌شده شستشو داده شدند. در فرآیند SEW، خمیر جمع‌آوری شده پس از زهکشی کامل از مایع پخت بر روی مش ۲۰۰ ابتدا بر اساس روش مشخص با استفاده از اتانول ۴۰ درصد با دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد و سپس توسط آب تصفیه‌شده شستشو داده شد. پس از انتخاب فرآیند خمیرسازی به لحاظ عدد کاپا، پالایش خمیرها تا حصول درجه روانی ۳۸۰ میلی‌لیتر (CSF) انجام شد. در نهایت ویژگی‌های خمیر کاغذ تولیدشده به روش SEW بر اساس دستورالعمل‌های آئین‌نامه TAPPI مورد ارزیابی قرار گرفت و با فرآیند رایج سودا به لحاظ مقاومت‌های فیزیکی، مکانیکی و نوری کاغذ مقایسه گردید.

**یافته‌ها:** نتایج ارزیابی‌ها نشان داد که دانسیته کاغذهای SEW بیش‌تر از کاغذ سودا می‌باشد و ضخامت، بالک و مقاومت به عبور هوای آن کم‌تر است. کاغذهای SEW دارای مقاومت به ترکیدن، پارگی و کششی کم‌تری نسبت به

\*مسئول مکاتبه: [m\\_r\\_dehghani@mail.ru](mailto:m_r_dehghani@mail.ru)

کاغذهای سودا بودند. همچنین نتایج حاصل از ارزیابی ویژگی‌های نوری نشان داد کاغذهای SEW درجه روشنی بیش‌تر و زردی کم‌تری نسبت به کاغذهای سودا داشتند. ماتی کاغذهای SEW نسبت به کاغذهای سودا کم‌تر بود. نتیجه‌گیری: با توجه به این‌که شیمی لیگنین‌زدایی فرآیند SEW مشابه سولفیت اسیدی است؛ از این‌رو انتظار می‌رود ویژگی‌های خمیرکاغذ آن مشابه سولفیت اسیدی باشد. بنابراین با توجه به مقاومت کم الیاف خمیرهای حاصل از فرآیند SEW و نیاز به دور پالایش کم این خمیرها به‌نظر می‌رسد این فرآیند از پتانسیل مطلوبی برای تولید طیفی وسیعی از خمیرکاغذهای ویژه (خمیر حل‌شونده، کاغذ ضدچربی، نانوسلولز) در کنار سایر فرآورده‌های با ارزش افزوده زیاد برخوردار باشد. همچنین درجه روشنی زیاد قبل از رنگ‌بری، یک مزیت آشکار فرآیند SEW است. این امر باعث جلوگیری از ایجاد توالی‌های رنگ‌بری طولانی و کاهش مصرف مواد شیمیایی رنگ‌بری در راستای توسعه پایدار صنایع خمیرکاغذ می‌شود.

**واژه‌های کلیدی:** خمیرسازی، دی‌اکسید گوگرد- اتانول- آب (SEW)، سودا، لیگنین‌زدایی، کاغذهای ویژه

#### مقدمه

امروزه تأمین ماده اولیه سلولزی قابل استفاده و ارزان، مهم‌ترین چالش حاضر صنایع خمیرکاغذ در سطح جهان می‌باشد. از آنجا که بخش عمده این ماده اولیه از چوب و یا به‌عبارت بهتر از جنگل تأمین می‌شود، این امر موجب فشار بسیار زیاد بر جنگل‌های موجود و به‌ویژه جنگل‌های شمال کشور می‌گردد (۵). باگاس ضایعات نیشکر بعد از استخراج قند می‌باشد که یکی از بیشترین مواد لیگنوسلولزی در دسترس برای صنعت کاغذسازی در برخی کشورها مثل ایران است که بیش از ۴/۳ میلیون تن باگاس در سال در ایران (عمدتاً در استان خوزستان) تولید می‌شود (۷). از این رو باگاس به عنوان یک محصول جانبی صنایع شکر از اهمیت بی‌نظیری نسبت به سایر پسماندهای زراعی برای تولید خمیرکاغذ برخوردار بوده و هزینه‌های جمع‌آوری، خردکردن و تمیزکردن آن بر عهده کارخانه شکر است و نیز میزان سیلیس آن کم می‌باشد (۱۹، ۲۷). برای کشورهایی که از نظر شرایط آب و هوایی مناسب می‌باشد، به‌دلیل جمع‌آوری و کشت آسان و بازدهی زیاد آن نسبت به دیگر الیاف غیرچوبی با صرفه‌تر و مهم‌تر و نیز یکی از ارزان‌ترین مواد خام صنعت خمیرکاغذ است (۱۸، ۳۱). پالایش

زیستی استفاده از فناوری‌های پیشرفته برای تبدیل موثر بخش غیر سلولزی (لیگنین و همی‌سلولزها)، زیست توده چوبی به سوخت‌های مایع و مواد شیمیایی ارزشمند است (۲۴ و ۲۵). چالش اولیه حال حاضر برای توسعه پالایشگاه‌های زیستی، جزء به جزء‌سازی زیست‌توده لیگنوسلولزی به بخش‌های اصلی (سلولز، همی‌سلولزها و لیگنین) با خلوص زیاد می‌باشد (۱۴). علاوه بر این، بازیافت مواد شیمیایی استفاده شده در بسیاری از این فرآیندهای پیش‌تیمار، نیازمند روش‌های پر هزینه است. فرآیند خمیرسازی SEW با هدف جبران کاستی‌های فوق‌الذکر معرفی شده است (۱۱). در این فرآیند، هر هر نوع زیست‌توده لیگنوسلولزی به وسیله مایع دی‌اکسید گوگرد+ اتانول + آب تحت فشار و دما به الیاف سلولزی، قندهای همی‌سلولز و لیگنین جداسازی می‌شوند (۱۵). در مقایسه با سایر فرآیندهای تهیه خمیرکاغذ، فرآیند SEW برای گونه‌های چوبی دارای زمان پخت کوتاه‌تر، بازیابی سریع‌تر و راحت‌تر مواد شیمیایی، لیکور با خلوص زیاد، انعطاف‌پذیری در پخت گونه‌های سخت، دوست‌دار محیط‌زیست بودن، قابلیت رنگ‌بری بهتر، روشنی بیش‌تر خمیر، تولید خمیر حل‌شونده با کیفیت زیاد و مصرف بسیار کم

انرژی می‌باشد (۹، ۱۰، ۱۳، ۲۱). فرآیند خمیرسازی SEW می‌تواند به‌عنوان یک فرآیند ترکیبی بین سولفیت اسیدی و حلال آلی (اتانول- آب) در نظر گرفته شود. این فرآیند در حال حاضر به‌منظور جداسازی ترکیبات اصلی مواد لیگنوسلولزی (سلولز، همی سلولزها و لیگنین) با خلوص زیاد مورد استفاده قرار می‌گیرد (۲۸، ۲۹). انواع زیست‌توده (شامل سوزنی‌برگان، پهن‌برگان و گیاهان یک‌ساله) می‌توانند به‌طور موفقیت‌آمیزی با فرآیند پخت SEW پخت شوند و همچنین خمیرهای حل‌شونده حاصل از این فرآیند قابل رقابت با خمیرهای حل‌شونده حاصل از فرآیند سولفیت اسیدی می‌باشد (۱۳). فرآیند SEW در اصل برای پخت مواد لیگنوسلولزی توسعه یافته است و به‌وسیله شورنینگ در سال ۱۹۵۷ معرفی گردید. در حال حاضر استفاده از فرآیند SEW در مقیاس نیمه صنعتی (چندین تن زیست توده در روز) برای تولید قندهای مونومری به‌منظور تولید قند دیابتی، مواد شیمیایی و سوخت‌های زیستی به صورت سیستم پالایش زیستی انحصار امریکایی (USA-Patent) تحت نام AVAP® در ایالات متحده امریکا به ثبت رسیده است (۲۲). در سال‌های اخیر این فرآیند به‌طور انحصاری و به‌عنوان بخشی از تکنولوژی خمیرسازی با ارزش افزوده امریکایی (AVAP) توسط تیم تحقیقاتی پالایش زیستی مستقر در دانشگاه آلتو فنلاند مطالعه شده است.

یاکولو و همکاران (۲۰۱۴a) در مطالعه سینتیکی فرآیند خمیرسازی نوئل به‌روش SEW به‌این نتیجه رسیدند که نسبت مایع پخت به چوب اثر اندکی در طول مرحله لیگنین‌زدایی توده‌ای داشته است. در صورتی‌که در مرحله نهایی لیگنین‌زدایی این اثر مشخص بود (۱۶). یاکولو و همکاران (۲۰۱۴b) در بررسی تولید خمیر حل‌شونده از نوئل به‌این نتیجه رسیدند که ویژگی‌های خمیرهای SEW کاملاً رنگ‌بری شده از نظر شیمیایی و ماکرومولکولی بسیار

شبيه به خمیرهای حل‌شونده حاصل از سولفیت اسیدی می‌باشد (۱۷). یاماموتو و همکاران (۲۰۱۴) سینتیک خمیرسازی زیست‌توده سوزنی‌برگ و پهن‌برگ را بررسی کردند. نتایج آنان نشان می‌دهد هرچند درصد لیگنین‌زدایی کم‌تری در سوزنی‌برگان اتفاق افتاده است، اما مقدار خروج همی سلولزها در سوزنی‌برگان و پهن‌برگان یکسان می‌باشد (۳۰). یاکولو (۲۰۱۱) در گزارش خود به‌این نکته اشاره می‌کند که سینتیک لیگنین‌زدایی فرآیند SEW می‌تواند در دو مرحله مرتبه اول: ۱- انحلال سریع توده‌ای لیگنین و ۲- لیگنین‌زدایی آهسته انتهایی تقسیم‌بندی شود، ولی انرژی فعال‌سازی مرحله توده‌ای برای نوئل و راش به‌ترتیب ۱۰۷ و ۱۰۲ کیلوژول بر مول محاسبه نمود (۱۱). یاکولو و همکاران (۲۰۱۱) در بررسی سینتیک خمیرسازی نوئل، راش و کاه گندم به‌روش SEW به‌این نتیجه رسیدند که لیگنین‌زدایی انتهایی برای راش بسیار آهسته‌تر از نوئل است و مقادیر انرژی فعال‌سازی برای نوئل و راش نزدیک به هم بود (۱۳). یاکولو و هنینگن (۲۰۱۱) در بررسی تعیین لیگنین در خمیرها و مایعات پخت فرآیند SEW به‌این نتیجه رسیدند که یک رابطه خطی بین عددکاپا و لیگنین کل‌ازون و همچنین مقدار لیگنین کل برای خمیرهای نوئل، راش و کاه گندم وجود دارد. رابطه بین لیگنین باقیمانده و عددکاپا در خمیرهای SEW مشابه خمیرهای سولفیت است (۱۲). یاکولو و همکاران (۲۰۱۰) در بررسی مقایسه‌ای ویژگی‌های کاغذ حاصل از خمیرسازی نوئل به‌روش SEW با کاغذ تهیه‌شده از خمیر کرافت همان‌گونه به‌این نتیجه رسیدند که کاغذهای تهیه‌شده به‌روش SEW، مقاومت کششی، مقاومت جهت Z و روشنی بهتری قبل از رنگ‌بری داشتند (۱۰). کاروال هو و همکاران (۲۰۱۴) در بررسی خمیرسازی اتانول-سودای باگاس به‌این نتیجه رسیدند که شرایط بهینه دما، زمان و غلظت اتانول برای تولید خمیر باگاس با عدد کاپای

### مواد و روش‌ها

تهیه نمونه: باگاس مورد استفاده در این پژوهش از بخش یارد ذخیره شرکت کاغذسازی پارس مستقر در خوزستان تهیه و به آزمایشگاه خمیرکاغذ دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان منتقل شد. پس از تعیین درصد رطوبت جهت جلوگیری از تبادل رطوبتی با محیط درون کیسه‌های نایلونی نگهداری و برای تهیه خمیرکاغذ آماده گردید. مواد شیمیایی مورد استفاده در این پژوهش و برخی از ویژگی‌های آن‌ها در جدول ۱ ارائه شده است.

۱۲±۰/۳ به ترتیب ۱۹۵ درجه سانتی‌گراد، ۹۰ دقیقه و غلظت ۲۵ درصد می‌باشد (۴). بر اساس گزارشات منتشرشده، تاکنون موضوع بررسی مقایسه‌ای ویژگی‌های خمیرکاغذ و کاغذ تهیه‌شده به روش SEW و سودا از الیاف باگاس در ایران انجام نشده است. بنابراین در مطالعه حاضر سعی بر این است که ویژگی‌های خمیرکاغذ و کاغذ تهیه‌شده به روش SEW مورد بررسی قرار گیرد.

جدول ۱- مواد شیمیایی مورد استفاده.

Table 1. Chemicals used in this research.

کشور و شرکت Country and Supplier company	درجه خلوص (درصد) Purity, %	نوع ماده Chemical
اسپانیا- پانراک (Spanish, panreac)	98	هیدروکسید سدیم (Sodium hydroxide)
ایران- هامون (Iran, hamoon)	96	اتانول (Ethanol)
آلمان- مرک (Germany, merck)	98	اسیدسولفوریک (Sulfuric acid)
آلمان- مرک (Germany, merck)	98	پرمنگنات پتاسیم (Potassium permanganate)
ژاپن- فلوکا (Japan, fluka)	98	یدید پتاسیم (Potassium iodide)
ژاپن- فلوکا (Japan, fluka)	98	تیوسولفات سدیم (Sodium thiosulfate)
آلمان- مرک (Germany, merck)	30	پراکسید هیدروژن (Hydrogen peroxide)
ایران- توسعه فن‌آوری آویژ خاورمیانه (Iran, Avizheh technology development of Middle East)	99.98	گاز دی اکسید گوگرد (Sulfur dioxide gas)

می‌باشد که مطابق پروتکل آزمایشگاهی ارائه شده در دانشگاه ملی آلتو- فنلاند (که توسط پژوهشگرانی چون یاکوولو، ۲۰۱۴-۲۰۰۹؛ سیکستا و همکاران، ۲۰۱۴؛ اسکلاونوس، ۲۰۱۴؛ یاماموتو و همکاران، ۲۰۱۴؛ یاماموتو، ۲۰۱۴؛ یاماموتو، ۲۰۱۱) برای مطالعه فرآیند SEW مورد استفاده قرار گرفته است. نسبت دی اکسید گوگرد، اتانول و آب به ترتیب ۱۲: ۴۳/۵: ۴۴/۵ در حجم ۱۲۰ میلی‌لیتر برای هر بمب تهیه شد (۱۷-۹، ۲۱، ۲۲، ۲۸، ۲۹، ۳۰). عملیات ساخت لیکور فرآیند SEW بدین صورت بود که ابتدا اتانول و آب داخل یک بشر و بر روی ترازو ریخته شد، سپس این

آماده‌سازی لیکور پخت فرآیندها: مایع پخت فرآیند سودا، محلول هیدروکسید سدیم (NaOH) می‌باشد که مواد شیمیایی پخت بر اساس هیدروکسید سدیم محاسبه گردید. در هر پخت از معادل ۲۰ گرم ماده خشک استفاده گردید. سپس هیدروکسید سدیم مورد نیاز برای پخت در داخل یک بشر ریخته شد و با مقداری آب مقطر حل شد. با در نظر گرفتن میزان آب موجود در خرده‌چوب‌ها (درصد رطوبت) و با توجه به نسبت بین وزن مایع پخت به وزن چوب برای هر پخت به حجم مورد نظر رسانده شد. مایع پخت فرآیند SEW شامل دی اکسید گوگرد، اتانول و آب

قرار دادن دیگ‌ها در آب سرد، خمیرسازی متوقف شد و باگاس پخته‌شده بر روی الک ۲۰ مش قرار داده و با استفاده از مش ۲۰۰ خمیر غربال شده جمع‌آوری شد. پس از جمع‌آوری خمیرهای سودا، ابتدا از آب تصفیه‌شده برای حذف مایع پخت سیاه خمیر استفاده گردید و سپس خمیرها با اعمال فشار مجدداً توسط آب تصفیه‌شده شستشو داده شدند. در فرآیند SEW، خمیر جمع‌آوری شده پس از زهکشی کامل از مایع پخت بر روی مش ۲۰۰ ابتدا با استفاده از اتانول (اتانول ۴۰ درصد با دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد) و سپس توسط آب تصفیه‌شده شستشو داده شد. پس از تعیین درصد رطوبت خمیر، وزن کاملاً خشک خمیر کاغذ تعیین گردید و با استفاده از رابطه ۱ بازده کل خمیرکاغذ محاسبه گردید.

**ارزیابی خواص کاغذ:** اندازه‌گیری ویژگی‌های خمیرکاغذ مطابق با استانداردهای آئین‌نامه TAPPI به شرح جدول ۲ صورت گرفت.

$$\text{رابطه (۱)} = \frac{\text{وزن خشک خمیر (g)}}{\text{وزن خشک الیاف باگاس (g)}} \times 100 = \text{بازده خمیرکاغذ (درصد)}$$

محلول داخل فریزر تا رسیدن به دمای زیر صفر نگهداری شد. این عمل به‌منظور انحلال کامل گاز دی اکسید گوگرد انجام شد. سپس تزریق گاز دی‌اکسید گوگرد به مقدار ۱۲ درصد حجم لیکور (معادل ۱۴/۴ گرم) توسط رگلاتور کنترل تزریق و عملیات ختنی‌سازی گاز دی اکسید گوگرد برگشتی توسط پراکسید هیدروژن در دمای حمام یخ انجام گردید.

**تولید خمیر SEW و سودای باگاس:** با استفاده از فرآیندهای سودا و SEW تحت شرایط فرآیندی مختلف، مانند دمای بیشینه پخت (۱۳۵ درجه سانتی‌گراد) و زمان‌های مختلف خمیرسازی (از ۳۰ تا ۱۰۰ دقیقه)، پخت‌های متعددی با هدف رسیدن به عدد کاپای ۲۰ به‌وسیله دایجستر آزمایشگاهی با مدل تجاری Frank PTI موجود در آزمایشگاه گروه صنایع خمیرکاغذ دانشکده مهندسی چوب و کاغذ دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان انجام گرفت. پس از پایان زمان موردنیاز پخت، بلافاصله با

جدول ۲- ویژگی‌های اندازه‌گیری شده بر اساس استاندارد تاپی.

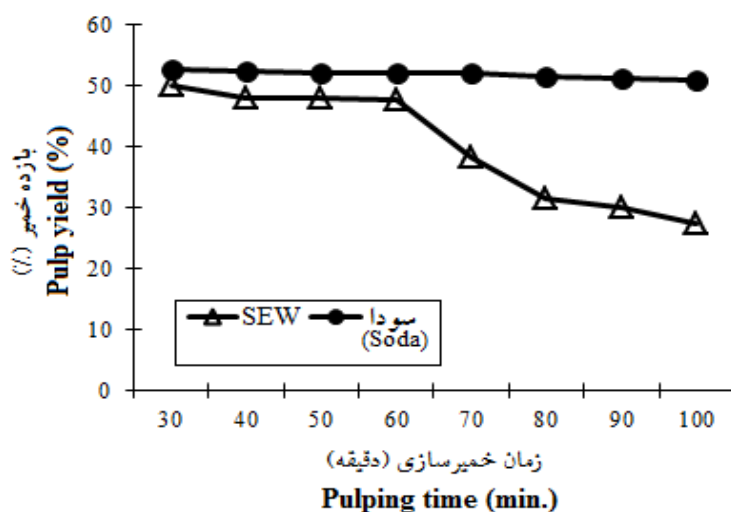
Table 2. Measured characteristics based on TAPPI standard.

شماره استاندارد Standard No.	ویژگی Characteristic
T236om-85	عدد کاپا (Kappa number)
T227om-04	تعیین درجه روانی (Freeness)
T248-SP-00	پالایش خمیرکاغذ (Refining)
T205om-88	تهیه کاغذ دست‌ساز ۶۰ گرمی (Hand sheet paper, 60g.)
T411om-89	ضخامت کاغذ (caliper)
T410om-02	وزن پایه کاغذ (Basis weight)
T403om-97	مقاومت به ترکیدن (Burst strength)
T414om-88	مقاومت به پارگی (Tear strength)
T497om-88	مقاومت کششی (Tensile strength)
T460om-02	مقاومت به عبور هوا (Air permeability)
T452om-92	درجه روشنی و زردی (Brightness and Yellowness)
T425om-92	ماتی (Opacity)

### نتایج و بحث

فوق، پارامترهایی همچون عددکاپای حدود ۲۰، بازده و شرایط فرآیندی تولید خمیر بوده است. رابطه بین زمان خمیرسازی و بازده خمیر سودا و SEW در دمای ۱۳۵ درجه سانتی‌گراد در شکل ۱ ارائه شده است. نتایج نشان می‌دهد که با افزایش زمان خمیرسازی از مقدار بازده خمیر سودا و SEW کاسته می‌شود.

ویژگی‌های خمیرکاغذ SEW و سودا: با توجه به این‌که هدف این تحقیق مقایسه ویژگی‌های خمیرکاغذهایی با عددکاپای حدود ۲۰ بود، لذا برای تعیین ویژگی‌های خمیرکاغذهای SEW و سودا، تیمارهای با عددکاپای مطلوب شناخته شدند و برای ساخت کاغذهای دست‌ساز با گراماژ ۶۰ گرم بر مترمربع انتخاب گردیدند. مبنای انتخاب تیمارهای

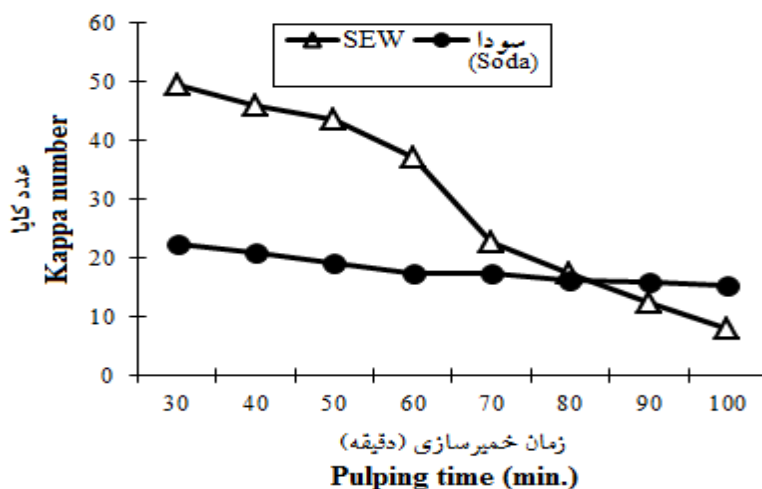


شکل ۱- رابطه بین زمان خمیرسازی و بازده خمیرکاغذ در دمای ۱۳۵ درجه سانتی‌گراد.

Figure 1. Relationship between pulping time and pulp yield at 135 °C.

افزایش زمان خمیرسازی، عددکاپای خمیر SEW نسبت به سودا با شدت بیشتری کاهش پیدا کرده است.

رابطه بین زمان خمیرسازی و عددکاپای خمیر سودا و SEW در دمای ۱۳۵ درجه سانتی‌گراد در شکل ۲ ارائه شده است. نتایج نشان می‌دهد که با



شکل ۲- رابطه بین زمان خمیرسازی و عددکاپا در دمای ۱۳۵ درجه سانتی‌گراد.

Figure 2. Relationship between pulping time and kappa number at 135 °C.

به کاغذهای سودا (۰/۴۸ گرم بر سانتی متر مکعب) هستند (شکل ۳). نتایج تحقیقات یاکوولو و همکاران (۲۰۱۰) نشان داد که دانسیته کاغذهای حاصل از گونه نوتل SEW بیش تر از کاغذهای کرافت بوده است (۱۰). به نظر می رسد پیوندهای بین الیاف باعث این تغییرات شده است. نتایج این بخش با تحقیقات یاکوولو و همکاران (۲۰۱۰) و یاکوولو (۲۰۱۱) مطابقت دارد (۱۰، ۱۱).

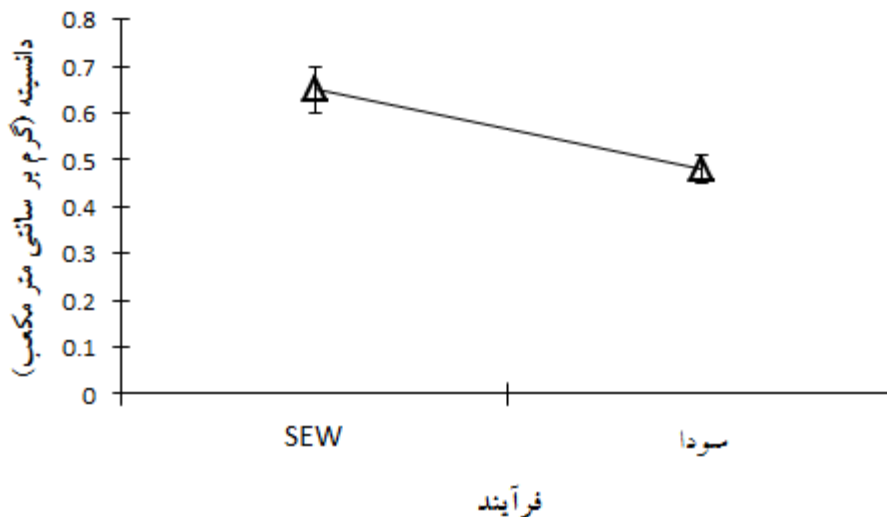
ویژگی های فیزیکی کاغذهای دست ساز دانسیته: نتایج تجزیه واریانس نشان داد بین مقادیر دانسیته کاغذهای SEW و سودا اختلاف معنی داری در سطح احتمال ۱ درصد وجود داشت (جدول ۳). دانسیته ظاهری کاغذ یکی از مهم ترین خواص کاغذ است که تقریباً بر روی تمام خواص مکانیکی، فیزیکی و الکتریکی کاغذ تأثیر می گذارد (۱). مقایسه میانگین ها نشان می دهد کاغذهای SEW دارای دانسیته بیشتری (۰/۶۵ گرم بر سانتی متر مکعب) نسبت

جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس (ANOVA) اثر فرآیند خمیرسازی بر دانسیته.

Table 3. The results of variance analysis (ANOVA) for pulping process effect on the density.

تفاوت (differences)	Sig.	مقدار F (F value)	میانگین مربعات M.S	درجه آزادی D.F	مجموع مربعات S.S	منبع تغییرات S.O.V
**	0.001	101.680	0.041	1	0.041	بین گروه ها (Between Groups)
**			0.000	4	0.002	داخل گروه ها (Within Groups)
				5	0.042	مجموع (Total)

\*\* معنی دار در سطح احتمال ۱ درصد  
Significant differences in level 1%.



شکل ۳- مقایسه دانسیته کاغذهای SEW و سودا.

Figure 3. Comparison between the density of SEW and soda papers.

در سطح احتمال ۱ درصد وجود داشت (جدول ۴). همان طور که در شکل ۴ مشاهده می شود، ضخامت

ضخامت: نتایج تجزیه واریانس نشان داد بین مقادیر ضخامت کاغذهای SEW و سودا اختلاف معنی داری

ویژگی‌های فیزیکی و مقاومتی آن باشد. به‌طور کلی با افزایش آب‌دوستی، تورم و انعطاف‌پذیری الیاف که در اثر پالایش اتفاق می‌افتد، دانسیته کاغذ افزایش و ضخامت آن در گراماژ ثابت کاهش می‌یابد که حاکی از تشکیل پیوندهای قوی‌تری بین الیاف در جهت ضخامت است (۸).

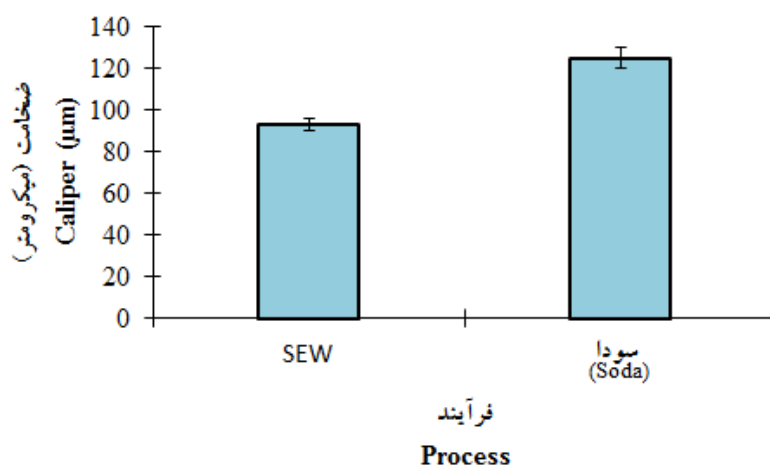
کاغذ حاصل از SEW (با ۹۳ میکرومتر) از ضخامت کاغذ حاصل از خمیر سودا (با ۱۲۵ میکرومتر) کم‌تر است که دلیلی بر توسعه سطح پیوند بین الیاف در شبکه کاغذ است. ضخامت کاغذهای SEW کم‌تر از کاغذهای سودا بود که علت این امر، افزایش دانسیته این خمیرها می‌باشد. مقایسه ضخامت کاغذها در وزن پایه برابر می‌تواند به‌عنوان یکی از معیارهای پیش‌بینی

جدول ۴- نتایج تجزیه واریانس (ANOVA) اثر فرآیند خمیرسازی بر ضخامت.

Table 4. The results of variance analysis (ANOVA) for pulping process effect on the caliper.

منبع تغییرات S.O.V	مجموع مربعات S.S	درجه آزادی D.F	میانگین مربعات M.S	مقدار F (F value)	Sig.	تفاوت (differences)
بین گروه‌ها (Between Groups)	1536.000	1	1536.000	90.353	0.001	**
داخل گروه‌ها (Within Groups)	68.000	4	17.000			**
مجموع (Total)	1604.000	5				

\*\* معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد  
Significant differences in level 1%.



شکل ۴- مقایسه ضخامت کاغذهای SEW و سودا.

Figure 4. Comparison the caliper of SEW and soda papers.



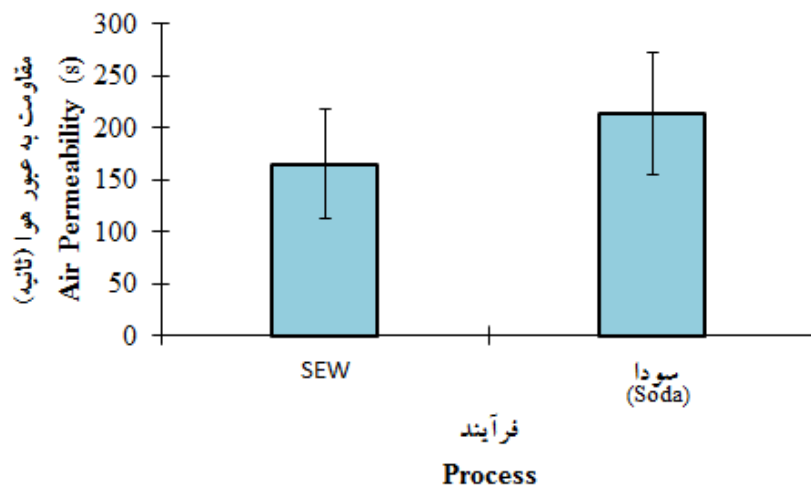
دارند. این امر نشان می‌دهد، کاغذهای حاصل از فرآیند سودا دارای یک ساختار بسیار بسته هستند. الیاف بلندتر و انعطاف‌پذیر خمیر سودا و همچنین مقاومت اتصال و ظرفیت شکل‌گیری خوب از جمله دلایل بیش‌تر بودن مقاومت به عبور به هوا در کاغذهای سودا است (۶، ۲۳). بلندتر و منعطف‌تر بودن الیاف سودا می‌تواند به دلایلی همچون استفاده از قلیا در پخت و عدم تخریب ساختار آن مرتبط باشد، زیرا فرآیندهای پخت بر پایه اسیدی موجب شکننده شدن الیاف می‌شوند.

مقاومت به عبور هوا: نتایج تجزیه واریانس نشان داد اختلاف معنی‌داری بین مقادیر مقاومت به عبور هوای کاغذهای SEW و سودا وجود نداشت (جدول ۵). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که مقاومت به عبور هوا در کاغذهای حاصل از خمیر سودا (۲۱۳/۲ ثانیه) بیش‌تر از کاغذهای حاصل از SEW (۱۶۴/۵ ثانیه) می‌باشد (شکل ۵). نتایج حاصل از اندازه‌گیری قابلیت نفوذپذیری هوا نشان می‌دهد که کاغذهای حاصل از فرآیند SEW اگرچه دارای دانسیته بیش‌تری نسبت به سودا هستند، اما مقاومت به عبور هوای کم‌تری از کاغذهای حاصل از فرآیند سودا

جدول ۵- نتایج تجزیه واریانس (ANOVA) اثر فرآیند خمیرسازی بر مقاومت به عبور هوا.

Table 5. The results of variance analysis (ANOVA) for pulping process effect on the air permeability.

منبع تغییرات S.O.V	مجموع مربعات S.S	درجه آزادی D.F	میانگین مربعات M.S	مقدار F (F value)	Sig.	تفاوت (differences)
بین گروه‌ها (Between Groups)	3552.667	1	3552.667	1.119	0.350	ns
داخل گروه‌ها (Within Groups)	12703.567	4	3175.892			ns: تفاوت غیرمعنی‌دار
مجموع (Total)	16256.233	5				Non-significant differences



شکل ۵- مقایسه مقاومت به عبور هوا کاغذهای SEW و سودا.

Figure 5. Comparison the air permeability of SEW and soda papers.

بین مقادیر مقاومت به ترکیدن کاغذهای SEW و سودا وجود داشت (جدول ۶). شاخص مقاومت به ترکیدن نیز بیان‌کننده خواص کششی کاغذ است (۱). نتایج تغییرات شاخص مقاومت به ترکیدن کاغذهای

ویژگی‌های مکانیکی کاغذهای دست‌ساز شاخص مقاومت به ترکیدن<sup>۱</sup>: نتایج تجزیه واریانس نشان داد اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد

1- Burst index

زایلان در هیدرولیز اسیدی کاملاً ناپایدار است، به نظر می‌رسد هیدرولیز آن باعث افت ویژگی‌های ترکیدن کاغذهای SEW شده است. اگرچه مقاومت کاغذهای حاصل از فرآیندهای قلیایی به مراتب بیش‌تر از فرآیندهای اسیدی است. اما حضور همی‌سلولزها در خمیر می‌تواند موجب انعطاف‌پذیری و پیوند بیش‌تر بین الیاف و بهبود ویژگی‌های مکانیکی (به استثنای پارگی) کاغذ شود (۲ و ۳). به‌طور کلی مقاومت ذاتی کم الیاف حاصل از فرآیند SEW و هیدرولیز همی‌سلولز زایلان (به‌طور متقابل) از مهم‌ترین عوامل افت ویژگی‌های ترکیدن کاغذهای SEW می‌باشد (۱۰، ۱۱).

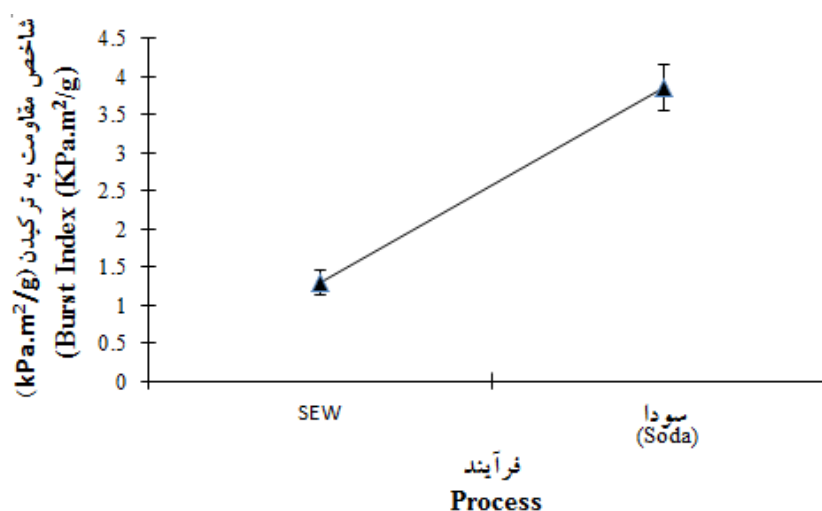
دست‌ساز در شکل ۶ ارائه شده است. میزان شاخص مقاومت به ترکیدن در کاغذهای سودا و SEW به‌ترتیب حدود ۳/۸۶ و ۱/۲۹ کیلوپاسکال مترمربع اندازه‌گیری شد که کاغذهای SEW نسبت به کاغذهای سودا به‌ترتیب کاهش ۶۶/۵ درصدی داشته است. شاخص مقاومت به ترکیدن نیز بیان‌کننده خواص کششی کاغذ است. افزایش طول الیاف، شدت پالایش، فشار پرس و گراماژ باعث افزایش مقاومت به ترکیدگی و افزایش مقدار مواد پرکننده و رطوبت و نیز شاخص شکل‌گیری (شکل‌گیری نامناسب) باعث کاهش آن خواهد شد (۱). یکی از مهم‌ترین همی‌سلولزهای غالب در پسماندهای کشاورزی زایلان می‌باشد (۲۲، ۲۹). با توجه به این‌که همی‌سلولز

جدول ۶- نتایج تجزیه واریانس (ANOVA) اثر فرآیند خمیرسازی بر شاخص مقاومت به ترکیدن.

Table 6. The results of variance analysis (ANOVA) for pulping process effect on the burst index.

تفاوت (differences)	Sig.	مقدار F (F value)	میانگین مربعات M.S	درجه آزادی D.F	مجموع مربعات S.S	منبع تغییرات S.O.V
**	0.000	167.543	9.907	1	9.907	بین گروه‌ها (Between Groups)
			0.059	4	0.237	داخل گروه‌ها (Within Groups)
				5	10.144	مجموع (Total)

\*\*\*: معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد  
Significant differences in level 1%.



شکل ۶- مقایسه شاخص مقاومت به ترکیدن کاغذهای SEW و سودا.

Figure 6. Comparison between the burst characteristics of SEW and soda papers.

گزارشات نشان می‌دهند که حضور همی سلولزها تأثیر منفی بر ویژگی پارگی دارند (۲، ۲۶). بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که مقاومت ذاتی کم الیاف فرآیند SEW باعث کاهش این ویژگی شده است و احتمالاً انحلال همی سلولزها نقش کم‌تری را برای مقاومت به پارگی ایفا می‌کند. مطابق آنچه در ریخت‌شناسی الیاف شناخته شده است، طول الیاف و همچنین زبری زیاد الیاف باعث افزایش مقاومت به پارگی می‌شود. مطابق تحقیقات انجام شده، طول الیاف و زبری خمیرهای SEW به ترتیب کم‌تر و بیش‌تر از خمیر فرآیند کرافت بوده است. بنابراین می‌توان علت مقاومت به پارگی کم خمیرهای SEW را طول الیاف کم، زبری زیاد و مقاومت کم الیاف دانست (۱۰).

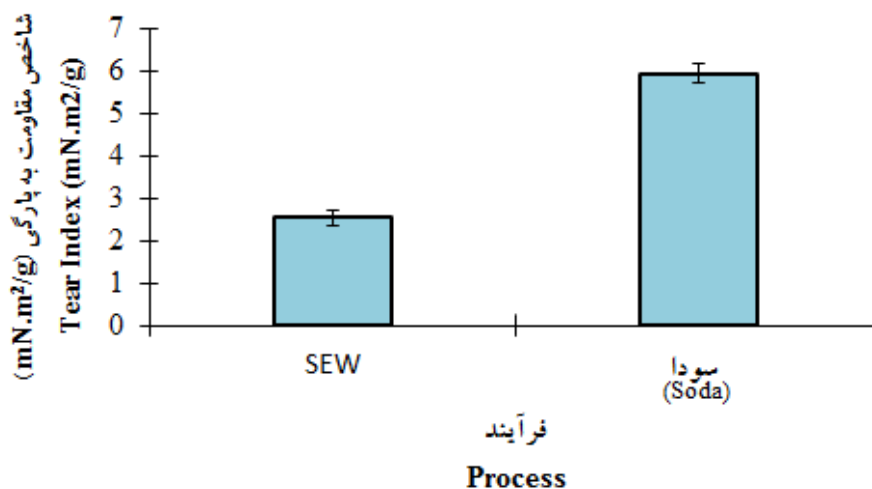
شاخص مقاومت به پارگی: شاخص مقاومت به پارگی از پارامترهای موردنظر در ارزیابی کیفی کاغذ است، چنانکه آن را در قابلیت گذر کاغذ مؤثر می‌دانند (۱). میزان شاخص مقاومت به پارگی در کاغذهای سودا ۵/۹۵ میلی نیوتن مترمربع بر گرم اندازه‌گیری شد. همان‌طور که در شکل ۷ مشاهده می‌شود، شاخص مقاومت به پارگی در کاغذهای سودا نسبت به کاغذهای SEW بیشتر می‌باشد که نتایج تجزیه واریانس نیز بیانگر اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد بین این مقادیر است (جدول ۷). میزان شاخص مقاومت به پارگی در کاغذهای SEW، ۲/۵۴ میلی نیوتن مترمربع بر گرم اندازه‌گیری شد که نسبت به کاغذهای سودا کاهش ۵۷/۳ درصدی داشته است.

جدول ۷- نتایج تجزیه واریانس (ANOVA) اثر فرآیند خمیرسازی بر شاخص مقاومت به پارگی.

Table 7. The results of variance analysis (ANOVA) for pulping process effect on the tear index.

منبع تغییرات S.O.V	مجموع مربعات S.S	درجه آزادی D.F	میانگین مربعات M.S	مقدار F (F value)	Sig.	تفاوت (differences)
بین گروه‌ها (Between Groups)	17.374	1	17.374	336.597	0.000	**
داخل گروه‌ها (Within Groups)	0.206	4	0.052			
مجموع (Total)	17.580	5				

\*\*\* معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد  
Significant differences in level 1%.



شکل ۷- مقایسه شاخص مقاومت به پارگی کاغذهای SEW و سودا.

Figure 7. Comparison between the tear index of SEW and soda papers.

افت درجه روانی خواهد داشت و موجب افزایش پیوندیابی بین الیاف می‌شود.

### ویژگی‌های نوری

درجه روشنی و زردی: میزان درجه روشنی به خواص نوری کاغذ اشاره دارد. درجه روشنی به روشنی یا بازتاب کلی طیفی کاغذ مربوط می‌شود (۱). نتایج حاصل از بررسی درجه روشنی در کاغذهای دست‌ساز حاصل از فرآیند SEW و سودا نشان می‌دهد درجه روشنی فرآیند SEW نسبت به سودا به‌طور قابل ملاحظه‌ای بیش‌تر است، به‌طوری‌که این میزان در کاغذهای حاصل از SEW به ۳۵/۹۶ درصد ایزو و در کاغذهای حاصل از سودا به ۲۵/۷ درصد ایزو می‌رسد (شکل ۱۱). این مقادیر از نظر آماری در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بودند (جدول ۹). مقایسه میانگین‌ها بیانگر زردی کم‌تر خمیر SEW (۳۷/۹ درصد ایزو) نسبت به خمیر سودا (۴۵/۹ درصد ایزو) می‌باشد (شکل ۱۲). درجه روشنی خمیر به‌دست آمده از شرایط خمیرسازی اسیدی مانند SEW و سولفیت اسیدی در مقایسه با شرایط خمیرسازی قلیایی بیش‌تر است. این امر به دلیل نبود گروه‌های کروموفور<sup>۱</sup> (رنگ‌ساز) مانند کینون‌ها<sup>۲</sup> و استیلبن<sup>۳</sup> می‌باشد. درجه روشنی زیاد قبل از رنگ‌بری، یک مزیت آشکار فرآیند SEW است. این امر باعث جلوگیری از ایجاد توالی‌های رنگ‌بری<sup>۴</sup> طولانی می‌شود (۱۱). زردی خمیر وجود لیگنین را نشان می‌دهد. از این‌رو، علت درجه روشنی کم‌تر کاغذهای سودا نسبت به می‌تواند به علت استفاده از هیدروکسید سدیم باشد، زیرا استفاده از این ماده منجر به تشکیل

ویژگی‌های کششی: نتایج تجزیه واریانس نشان داد که بین مقادیر ویژگی‌های کششی کاغذهای SEW و سودا اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۱ درصد وجود دارد (جدول ۸). مقاومت کششی از جمله خواص مهم مقاومتی کاغذ است که تحت تأثیر عواملی از قبیل مقاومت ذاتی الیاف، مقاومت پیوند بین الیاف، تعداد پیوند (سطح پیوندیافته) و توزیع الیاف (کیفیت شکل‌گیری کاغذ) است (۱). نتایج تغییرات ویژگی‌های کششی کاغذهای دست‌ساز در شکل‌های ۸، ۹ و ۱۰ ارائه شده است. میزان شاخص مقاومت کششی، جذب انرژی کششی، کشیدگی، سفتی و طول پارگی در کاغذهای سودا به ترتیب ۵۲/۷۶ نیوتن متر بر گرم، ۱۱۹/۲ ژول بر مترمربع، ۲/۲۶ درصد، ۵/۶۸ میلی‌نیوتن و ۵/۳۷ کیلومتر اندازه‌گیری شد. همان‌طور که در شکل‌های ۸، ۹ و ۱۰ مشاهده می‌شود، ویژگی‌های کششی در کاغذهای SEW نسبت به سودا کمتر است. میزان شاخص مقاومت کششی، جذب انرژی کششی، کشیدگی، سفتی و طول پارگی در کاغذهای SEW به ترتیب ۳۴/۸۴ نیوتن متر بر گرم، ۴۸ ژول بر مترمربع، ۱/۳۴ درصد، ۴/۹۷ میلی‌نیوتن و ۳/۵۴ کیلومتر اندازه‌گیری شد. مطابق نتایج به‌دست آمده، مقاومت کششی کاغذهای SEW بسیار پایین‌تر از کاغذهای سودا بوده است. دلایل دقیق برای این امر، مقاومت و پیوند کم الیاف می‌باشد (۱۰، ۱۱). به نظر می‌رسد، کاهش همی‌سلولزها در خمیر SEW یکی دیگر از دلایل افت مقاومت کششی باشد. با ابقای همی‌سلولزها در خمیر کاغذ، پالایش‌پذیری الیاف بیشتر می‌شود که افزایش اتصال بین الیاف و شاخص مقاومت کششی کاغذ را نتیجه می‌دهد (۳، ۲۰). این بدین معنی است که خمیر کاغذی با درصد بیشتری همی‌سلولز خیلی سریع به عمل پالایش پاسخ می‌دهد و در دوره‌های کم

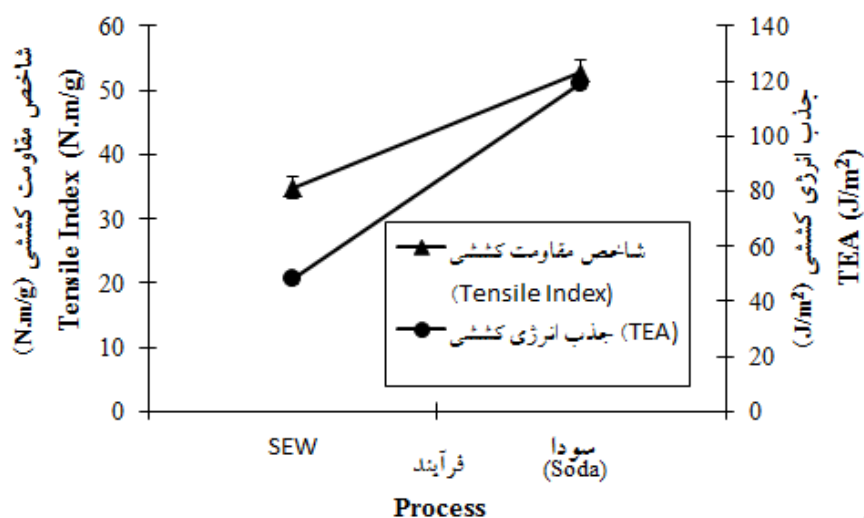
- 1- Chromophores
- 2- Quinones
- 3- Stilbenes
- 4- Bleaching Sequences

گروه‌های رنگ‌ساز در حین فرآیند خمیرسازی که در pH قلیایی است، می‌شود که در نهایت سبب افت درجه روشنی (در عدد کاپای برابر) نسبت به خمیر SEW می‌گردد.

جدول ۸- نتایج تجزیه واریانس (ANOVA) اثر فرآیند خمیرسازی بر ویژگی‌های کششی.

Table 8. The results of variance analysis (ANOVA) for pulping process effect on the tensile characteristics.

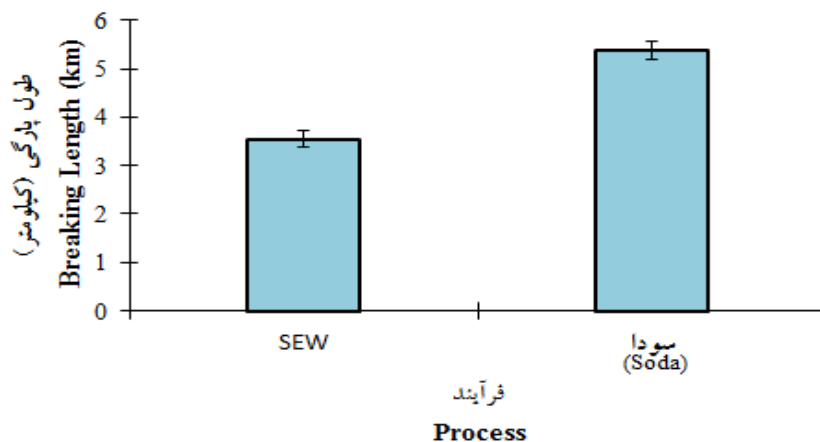
تفاوت (differences)	Sig.	مقدار F (F value)	میانگین مربعات M.S	درجه آزادی D.F	مجموع مربعات S.S	منبع تغییرات S.O.V	ویژگی‌ها (characteristics)
**	0.000	133.205	481.331	1	481.331	بین گروه‌ها (Between Groups)	شاخصی کششی (Tensile index)
**			3.613	4	14.454	داخل گروه‌ها (Within Groups)	
**				5	495.785	مجموع (Total)	
**	0.000	117.828	7582.815	1	7582.815	بین گروه‌ها (Between Groups)	جذب انرژی کششی (Tensile energy absorption, TEA)
**			64.355	4	257.420	داخل گروه‌ها (Within Groups)	
**				5	7840.235	مجموع (Total)	
**	0.010	20.813	0.770	1	0.770	بین گروه‌ها (Between Groups)	سفتی (Stiffness)
**			0.037	4	0.148	داخل گروه‌ها (Within Groups)	
**				5	0.918	مجموع (Total)	
**	0.001	69.838	1.251	1	1.251	بین گروه‌ها (Between Groups)	کشیدگی (Stretch)
**			0.018	4	0.072	داخل گروه‌ها (Within Groups)	
**				5	1.323	مجموع (Total)	
**	0.000	131.252	5.005	1	5.005	بین گروه‌ها (Between Groups)	طول پارگی (Breaking Length, BL)
**			0.038	4	0.153	داخل گروه‌ها (Within Groups)	
**				5	5.158	مجموع (Total)	



شکل ۸- مقایسه ویژگی‌های شاخص کششی و جذب انرژی کششی کاغذهای SEW و سودا.  
Figure 8. Comparison between the tensile index and TEA of SEW and soda papers.



شکل ۹- مقایسه ویژگی‌های سفتی و کشیدگی کاغذهای SEW و سودا.  
Figure 9. Comparison between the stiffness and stretch of SEW and soda papers.

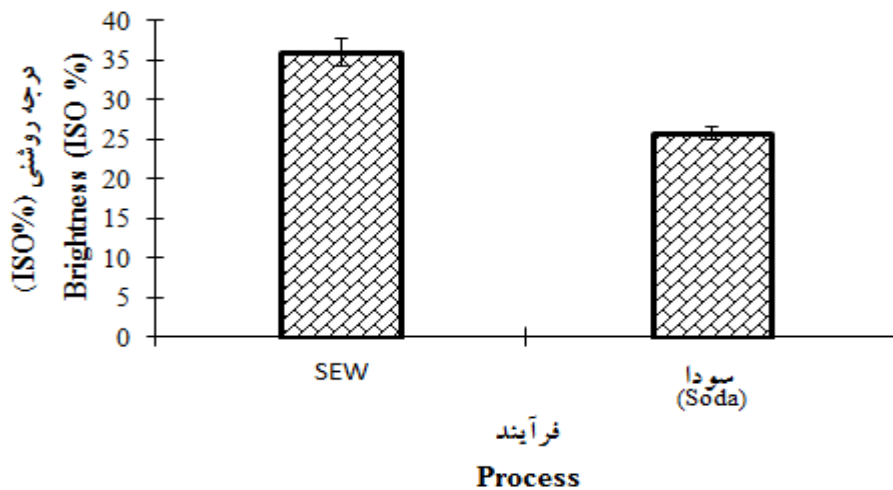


شکل ۱۰- مقایسه طول پارگی کاغذهای SEW و سودا.  
Figure 10. Comparison between the breaking length of SEW and soda papers.

جدول ۹- نتایج تجزیه واریانس (ANOVA) اثر فرآیند خمیرسازی بر درجه روشنی و زردی.

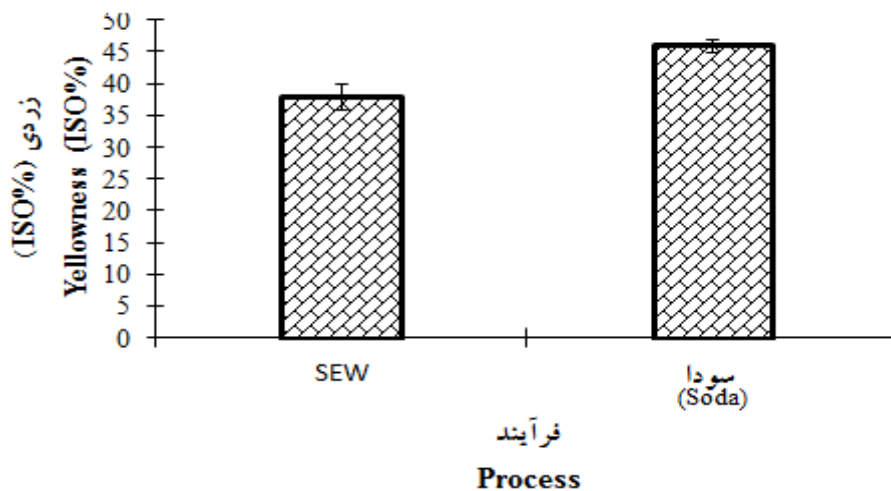
Table 9. The results of variance analysis (ANOVA) for pulping process effect on the Brightness and yellowness.

تفاوت (differences)	Sig.	مقدار F (F value)	میانگین مربعات M.S	درجه آزادی D.F	مجموع مربعات S.S	منبع تغییرات S.O.V	ویژگی‌ها (characteristics)
**	0.001	69.753	158.107	1	158.107	بین گروه‌ها (Between Groups)	درجه روشنی (Brightness)
** معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد Significant differences in level 1%.			2.267	4	9.067	داخل گروه‌ها (Within Groups)	
				5	167.173	مجموع (Total)	
**	0.005	32.851	96.802	1	96.802	بین گروه‌ها (Between Groups)	زردی (yellowness)
** معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد Significant differences in level 1%.			2.947	4	11.787	داخل گروه‌ها (Within Groups)	
				5	108.588	مجموع (Total)	



شکل ۱۱- مقایسه درجه روشنی کاغذهای SEW و سودا.

Figure 11. Comparison between the brightness of SEW and soda papers.



شکل ۱۲- مقایسه زردی کاغذهای SEW و سودا.

Figure 12. Comparison between the yellowness of SEW and soda papers.

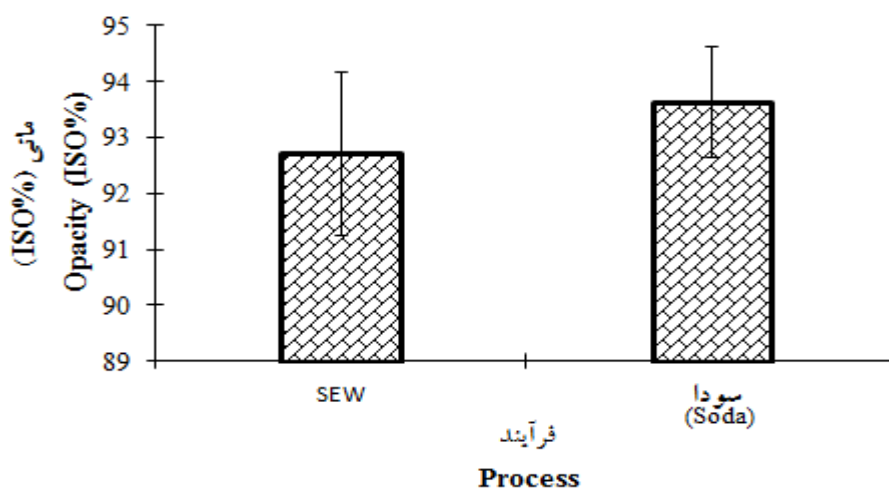
قابلیت جذب آب بیشتر می‌باشد که در نتیجه آن سبب افزایش ماتی نسبت به کاغذهای SEW شده است. یاکوولو و همکاران (۲۰۱۰) در تحقیقات خود به این نتیجه رسیدند که ماتی کاغذهای SEW نوئل از کاغذهای کرافت بسیار کم‌تر است. به نظر می‌رسد علت این امر نیاز به دور پالایش زیاد خمیرهای کرافت باشد. زیرا خمیرهای قلیایی دارای الیاف مقاوم (نسبت به فرآیندهای اسیدی) هستند (۱۰). کم‌تر بودن ماتی کاغذهای SEW به دلیل درجه روشنی زیاد خمیرهای SEW نیز می‌تواند باشد، چون این ویژگی‌ها وابسته به یکدیگر هستند (۱، ۱۰). نتایج این بخش با نتایج یاکوولو و همکاران (۲۰۱۰) مطابقت دارد (۱۰).

ماتی: برخلاف درجه روشنی، ماتی توان جذب نور کاغذ در یک طول موج معین یعنی ۴۵۷ نانومتر، است. رنگ‌ها می‌توانند تأثیر مهمی روی درجه روشنی و ماتی کاغذ داشته باشند. ماتی یک خاصیت مهم کاغذهای چاپ و اوراق بهادار و تحریر است و معمولاً بخشی از مشخصه‌های آن‌هاست (۱). بر اساس نتایج مقدار ماتی در کاغذهای دست‌ساز SEW معادل ۹۲/۷ درصد ایزو و برای کاغذهای دست‌ساز سودا معادل ۹۳/۶۳ درصد ایزو اندازه‌گیری شد. همان‌طور که مشاهده می‌گردد اختلاف زیادی بین مقادیر ماتی کاغذهای دست‌ساز دو فرآیند مشاهده نمی‌گردد (شکل ۱۳). این مقادیر از نظر آماری معنی‌دار نبودند (جدول ۱۰). به نظر می‌رسد خمیر حاصل از فرآیند سودا دارای الیافی با انعطاف‌پذیری و

جدول ۱۰- نتایج تجزیه واریانس (ANOVA) اثر فرآیند خمیرسازی بر ماتی.

Table 10. The results of variance analysis (ANOVA) for pulping process effect on the opacity.

منبع تغییرات S.O.V	مجموع مربعات S.S	درجه آزادی D.F	میانگین مربعات M.S	مقدار F (F value)	Sig.	تفاوت (differences)
بین گروه‌ها (Between Groups)	1.307	1	1.307	0.794	0.423	ns
داخل گروه‌ها (Within Groups)	6.587	4	1.647			***: عدم تفاوت معنی‌دار
مجموع (Total)	7.893	5				Non- significant differences



شکل ۱۳- مقایسه ماتی کاغذهای SEW و سودا.

Figure 13. Comparison between the opacity of SEW and soda papers.



### نتیجه گیری

امروزه فرآیند نوین SEW جایگزین فرآیندهای متداول خمیرسازی شده است. این فرآیند به دلیل نیاز به دما و زمان پخت کوتاه برای رسیدن به ویژگی‌های مطلوب توسعه یافته و یک فرآیند خمیرسازی مؤثر و با عملکرد زیاد برای مواد لیگنوسلولزی می‌باشد. بررسی اندازه‌گیری ویژگی‌های فیزیکی کاغذها نشان داد که دانسیته کاغذهای SEW بیش‌تر از کاغذ سودا بوده و ضخامت، بالک و مقاومت به عبور هوای آن کم‌تر است. بررسی اندازه‌گیری ویژگی‌های مکانیکی نشان داد که کاغذهای SEW دارای مقاومت به

ترکیدن، مقاومت به پارگی، مقاومت کششی، جذب انرژی کششی، سفتی، طول پارگی و درصد کشیدگی کم‌تری نسبت به کاغذهای سودا بودند. اما کاغذهای SEW درجه روشنی بیش‌تر و زردی کم‌تری نسبت به کاغذهای سودا داشتند و ماتی کاغذهای SEW نسبت به کاغذهای سودا کم‌تر بود. درجه روشنی زیاد قبل از رنگ‌بری، یک مزیت آشکار فرآیند SEW است. این امر باعث جلوگیری از ایجاد توالی‌های رنگ‌بری طولانی و مصرف کمتر مواد شیمیایی در راستای توسعه پایدار صنایع خمیرکاغذ می‌شود.

### منابع

1. Afra, E. 2006. Properties of paper an introduction. Aij Press. 392 pages. (Translated In Persian)
2. Bai, L., Hu, H., and Xu, J. 2012. Influences of configuration and molecular weight of hemicelluloses on their paper-strengthening effects. *Journal of carbohydrate polymers*. 88(4): 1258-1263.
3. Blomstedt, M. 2007. Modification of cellulosic fibers by carboxymethyl cellulose (CMC), effects on fiber and sheet properties. Doctoral Dissertation, Helsinki University of Technology, Laboratory of Forest Products Chemistry.
4. Carvalho, D.M.D., Perez, A., Garcia, J.C., Colodette, J.L., Lopez, F., and Diaz, M.J. 2014. Ethanol-soda pulping of sugarcane bagasse and straw. *Cellulose Chem. Technol.*, 48(3-4): 355-364.
5. Ghasemian, A., and Khalili, A. 2011. Principle and methods of paper recycle. Tehran: Aij press, 184p. (In Persian)
6. Gulsoy, S.K., Kustas, S., and Erenturk, S. 2013. The effect of old corrugated container (OCC) pulp addition on the properties of paper made with virgin softwood kraft pulps. *BioResources.*, 8(4): 5842-5849.
7. Hamzeh, Y., Abyaz, A., Mirfatahi Niaraki, M.S., and Abdulkhani, A. 2009. Application of surfactants as pulping additives in soda pulping of bagasse. *Bioresources.*, 4(4): 1267-1275.
8. Hubbe, M. 2006. Bonding between cellulosic fibers in the absence and presence of dry strength agent, A review. *BioResource*. 1(2): 37.
9. Iakovlev, M., Paakkonen, T., and Heiningen, A.V. 2009. Kinetics of SO<sub>2</sub>-ethanol-water pulping of spruce. *Holzforschung*. 63(6): 779-784.
10. Iakovlev, M., Hiltunen, E., and Heiningen, A.V. 2010. Paper technical potential of spruce SO<sub>2</sub>-Ethanol-Water (SEW) pulp compared to kraft pulp. *Nordic pulp and paper research journal*. 25(4): 428-433.
11. Iakovlev, M. 2011. SO<sub>2</sub>-ethanol-water (SEW) fractionation of lignocellulose, Doctoral Dissertation, Department of forest products technology, Aalto University.
12. Iakovlev, M., and Heiningen, A.V. 2011. SO<sub>2</sub>-Ethanol-Water (SEW) Pulping: I. Lignin Determination in Pulp and Liquors. *Journal of Wood Chemistry and Technology*. 31: 233-249.
13. Iakovlev, M., Sixta, H., and Heiningen, A.V. 2011. SO<sub>2</sub>-Ethanol-Water (SEW) Pulping: II. Kinetics for Spruce, Beech and Wheat Straw. *Journal of Wood Chemistry and Technology*. 31: 250-266.

14. Iakovlev, M., and Heiningen, A.V. 2012a. Kinetics of fractionation by SO<sub>2</sub>-ethanol-water (SEW) treatment: understanding the deconstruction of spruce wood chips. RSC Advances. 2: 3057-3068.
15. Iakovlev, M., and Heiningen, A.V. 2012b. Efficient fractionation of spruce by SO<sub>2</sub>-Ethanol-Water treatment: closed mass balances for carbohydrates and sulfur. ChemSusChem. 5: 1625-1637.
16. Iakovlev, M., You, X., Heiningen, A.V., and Sixta, H. 2014a. SO<sub>2</sub>-ethanol-water (SEW) fractionation of spruce: kinetics and conditions for paper and viscose-grade dissolving pulps. RSC Adv., 4: 1938-1950.
17. Iakovlev, M., You, X., Heiningen, A.V., and Sixta, H. 2014b. SO<sub>2</sub>-ethanol-water (SEW) fractionation process: production of dissolving pulp from spruce. Cellulose. 21(3): 1419-1429.
18. Ibrahim, H., Bugaje, I.M., Famuyide, O.O., and Mohammed, I.A. 2011. Utilization of bagasse as raw material for the production of pulp and paper in Nigeria. International Journal of Engineering and Mathematical Intelligence. 2(1-3): 26-33.
19. Sheikhi, P., Asadpour, G., Zabihzadeh, M., and Amooe, N. 2013. An optimum mixture of virgin bagasse and recycled pulp (OCC) for manufacturing fluting paper. BioResources, 8(4): 5871-5883.
20. Shoub chari, H., Saraeian, A.R., and Ghasemian, A. 2011. Investigation of the properties of alkaline peroxide mechanical pulp (APMP) from cotton stalk. Iranian Journal of Wood and Paper Science Research, 26(1): 98-116. (In Persian)
21. Sixta, H., Iakovlev, M., Testova, L., Roselli, A., Hummel, M., Borrega, M., Van Heiningen, A., Froschauer, C., Schottenberger, H. 2013. Novel concepts of dissolving pulp production. Cellulose, 20: 1547-1561.
22. Sklavounos, E. 2014. Conditioning of SO<sub>2</sub>-ethanol-water (SEW) spent liquor from lignocellulosics for ABE fermentation to biofuels and chemicals, Doctoral Dissertation. Department of Forest Products Technology, Aalto University.
23. Sousa, S., De Sousa, A.M., Reis, B., and Ramos, A. 2014. Influence of binders on inkjet print quality. Material Science, 20(1): 55-60.
24. Tatari, A., and Zeynali, F. 2013. Hemicelluloses: effects, types and their applications as dry strength polymers of paper. Iranian Journal of Polymerization. 3(4): 13-25. (In Persian)
25. Tatari, A., Dehghani Firouzabadi, M.R., Yadollahi, R., and Ghaffari, M. 2014. A brief review on biorefinery of natural polymers (hemicelluloses and lignin) in pulp and paper industry. Iranian Journal of Polymerization. 4(4): 32-43. (In Persian)
26. Wan, J., Wang, Y., and Xiao, Q. 2010. Effects of hemicellulose removal on cellulose fiber structure and recycling characteristics of eucalyptus pulp, Journal of Bioresource Technology, 101(12): 4577-4583.
27. Worathanakul, P., Payubnop, W., and Muangpet, A. 2009. Characterization for post-treatment effect of bagasse ash for silica extraction. World Academy of Science, Engineering and Technology. 3(8):339-341.
28. Yamamoto, M., Iakovlev, M., and Heiningen, A.V. 2011. Total mass balances of SO<sub>2</sub>-ethanol-water (SEW) fractionation of forest biomass. Holzforschung. 65: 559-565.
29. Yamamoto, M. 2014. SO<sub>2</sub>-ethanol-water fractionation and enzymatic hydrolysis of forest biomass, Doctoral Dissertation, Department of forest products Technology. Aalto University.
30. Yamamoto, M., Iakovlev, M., and Heiningen, A.V. 2014. Kinetics of SO<sub>2</sub>-ethanol-water (SEW) fractionation of hardwood and softwood biomass, Bioresource Technology. 155: 307-313.
31. Zhou, J., Ouyang, J., Zhang, M., and Yu, H. 2014. Simultaneous saccharification and fermentation of bagasse sulfite pulp to lactic acid by *Bacillus coagulans* CC17. BioResources, 9(2): 2609-2620.



Gorgan University of Agricultural  
Sciences and Natural Resources

*J. of Wood & Forest Science and Technology*, Vol. 24 (3), 2017  
<http://jwfst.gau.ac.ir>

## Comparative study of the characteristics of pulp and paper prepared by Sulfur dioxide-Ethanol-Water (SEW) and soda from bagasse fiber

A.A. Tatari<sup>1</sup>, \*M.R. Dehghani Firouzabadi<sup>2</sup>, A.R. Saraeyan<sup>2</sup> and  
M.H. Aryaie Monfared<sup>3</sup>

<sup>1</sup>M.Sc. Graduate in Pulp and Paper Industry, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, <sup>2</sup>Associate Prof., in Pulp and Paper Industry, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, <sup>3</sup>Assistant Prof., in Pulp and Paper Industry, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

Received: 05/16/2016; Accepted: 05/14/2017

### Abstract

**Background and objectives:** In global scale, newspaper, printing and writing paper production from agriculture residues pulp such as bagasse fiber due to wood resource constraints and access to appropriate production process technology has been considered seriously. Nowadays, bagasse sugarcane could be the most important and the most suitable criteria into account as agricultural residues to Iran for use in new investments with appropriate and novel technology considered. The objective of this study was to investigate the comparative characteristics of pulp prepared from bagasse fiber by sulfur dioxide- ethanol- water (SEW) and soda process.

**Materials and methods:** Using by soda and SEW processes under different process conditions such as maximum cooking temperature (135 °C) and various pulping time (from 30 to 100 min), several cooking achieve a kappa number about 20 were performed. For soda pulp, purified water was used to remove black liquor and then pulps again by water pressure washed. In the SEW process, pulp collected after complete drainage of liquor on the 200 mesh, based on method using 40 v/v.% ethanol – water solution at 60 °C and then wash by water. After selecting the pulping process in terms of kappa number, pulps were refined up to 380 ml, CSF freeness. Finally the characteristics of pulp and paper prepared by SEW process evaluated according to TAPPI standard and with traditional processes (soda) in terms of physical, mechanical and optical characteristics were compared.

**Results:** Results showed that the density and caliper of the SEW paper is more than soda paper, bulk and air permeability is lower. SEW papers has poorer burst, tear and tensile strength than soda papers. The evaluation results of the optical properties showed that the SEW papers has higher brightness and low yellowness in comparison with soda papers. SEW papers has poorer opacity than soda papers

**Conclusion:** Regarding to that the chemical delignification of SEW process is similar to that of acidic sulfite; It is expected to feature similar to the acidic sulfite pulp and paper. Therefore, due to low pulp fibers strength obtained from SEW process and requires far less refining the dough seems the process of the potential for a range of pulp and paper production such as special (dissolving pulp, paper greaseproof, Nano-cellulose) in other products with value-added. High brightness before bleaching is a clear advantage of the SEW solid residues which allows avoiding long bleaching sequences and reduce the use of chemical bleaching in order to sustainable development of pulp industry.

**Keywords:** Pulping, Sulfur dioxide-ethanol-water (SEW), Soda, Delignification, Special paper

---

\*Corresponding author: m\_r\_dehghani@mail.ru

