

## اثر روش شستشو بر ویژگی‌های خمیرسازی باگاس در فرآیند دی‌اکسید گوگرد- اتانول- آب (SEW)

### چکیده

فرآیند خمیرسازی دی‌اکسید گوگرد- اتانول- آب (SEW) می‌تواند به عنوان یک فرآیند هیبریدی بین فرآیند خمیرسازی سولفیت اسیدی و حلال آلی در نظر گرفته شود. این فرآیند به منظور جداسازی ترکیبات اصلی مواد لیگنوسلولزی (سلولز، همی- سلولزها و لیگنین) اخیراً مورد توجه قرار گرفته است. این مطالعه با هدف بررسی اثر روش شستشو بر ویژگی‌های خمیرسازی باگاس در فرآیند جزء- به جزء سازی اسیدی دی‌اکسید گوگرد- اتانول- آب (SEW) انجام شد. متغیرهای مورد مطالعه در این تحقیق شامل دو روش شستشوی خمیر (آب- اتانول ۴۰ درصد و آب)، زمان خمیرسازی (۳۰ تا ۱۰۰ دقیقه) و دمای پخت (۱۲۰ و ۱۳۵ درجه سانتی‌گراد) بودند. خمیرها با استفاده از اتانول ۴۰ درصد با دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد (L:W برابر ۲:۱) و سپس توسط آب در دمای اتاق شستشو داده شد. نتایج نشان داد بازده نهایی خمیر به دلیل انحلال بیش‌تر لیگنین در آب- اتانول ۴۰ درصد نسبت به سیستم متداول (شستشو با آب) کاهش یافته است که این کاهش بازده از نظر آماری در سطح ۱ درصد معنی‌دار می‌باشد. نتایج حاصل از خمیرسازی در دمای ۱۲۰ و ۱۳۵ درجه سانتی‌گراد در زمان‌های مختلف مشخص می‌شود که با افزایش زمان خمیرسازی از مقدار عدد کاپای خمیر SEW کاسته می‌شود.

**واژگان کلیدی:** بازیابی، خمیرسازی، دی‌اکسید گوگرد- اتانول- آب (SEW)، روش شستشو، عدد کاپا.

علی اصغر تاتاری<sup>۱\*</sup>

محمدرضا دهقانی فیروزآبادی<sup>۲</sup>

احمدرضا سرائیان<sup>۳</sup>

محمدهادی آریائی منفرد<sup>۴</sup>

رحیم یدالهی<sup>۵</sup>

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

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

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

<sup>۴</sup> استادیار گروه صنایع خمیر و کاغذ، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران

<sup>۵</sup> دانشجوی دکتری تخصصی صنایع خمیر و کاغذ، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران

مسئول مکاتبات:

[asghar.tatari2007@yahoo.com](mailto:asghar.tatari2007@yahoo.com)

تاریخ دریافت: ۹۵/۰۲/۱۵

تاریخ پذیرش: ۹۵/۰۳/۲۳

### مقدمه

در سال‌های اخیر به دلیل کاهش منابع فسیلی، توجه به فرآیندهای پالایش زیستی به منظور تبدیل مؤثر مواد لیگنوسلولزی به سوخت‌ها، مواد شیمیایی و پلیمرهای زیستی افزایش قابل ملاحظه‌ای یافته است [۱،۲]. پیش‌از این فرآیند، استخراج همی‌سلولزها از چیپس‌های چوب قبل از خمیر سازی کرافت، یک مرحله تجاری مهم برای تولید خمیرهای حل شونده بوده است. عمده‌ترین مزایایی که با ورود پالایش زیستی و فرآیندهای پیش استخراج در صنعت خمیر و کاغذ ایجاد می‌شود، افزایش

ظرفیت کارخانه‌های مهم خمیرکاغذسازی مثل کرافت (افزایش بازده)، تقویت توان اقتصادی، تولید فرآورده‌های با ارزش‌افزوده زیاد، بهبود سیستم رنگ‌بری و کاهش مشکلات زیست‌محیطی است [۳،۴]. تولید سوخت‌های زیستی از طریق تخمیر قندهای زیست‌توده لیگنوسلولزی است. اما زمانی این تولید آسان می‌شود که عناصر اصلی زیست‌توده (سلولز، همی‌سلولزها و لیگنین) به صورت خالص جداسازی شود. خالص‌سازی این عناصر بسیار سخت خواهد بود، چون ساختار زیست‌توده بسیار پیچیده است [۵]. امروزه با ورود فرآیندهای نوظهور به صنایع

پالایشگاه‌های زیستی، تنوع محصولات تولیدی افزایش یافته است و در نتیجه آن عملکرد این واحدها به‌طور قابل‌ملاحظه‌ای افزایش یافته است [۶]. فرآیندهای ارگانوسالوا<sup>۱</sup> فواید معینی دارد. استفاده از فرآیندهای مذکور این امکان را فراهم می‌کند تا زیست‌توده لیگنوسلولزی، برای به دست آوردن الیاف سلولزی برای تولید خمیر کاغذ، همی سلولزهایی با خلوص و کیفیت زیاد و مشتقات ناشی از تجزیه لیگنین، شکسته و تولید شوند [۷]. فرآیندهای ارگانوسالو قابلیت استفاده از حلال‌هایی با نقطه جوش کم (متانول، اتانول و استون) که به‌طور آسان توسط تقطیر بازیابی می‌شوند و هم از حلال‌هایی با نقطه جوش زیاد (اتیلن گلیکول و اتانول آمین) که می‌توانند در فشار کم استفاده شوند را دارا است [۸]. با استفاده از این فرآیندها، خمیر کاغذ با ویژگی‌هایی مثل بازده زیاد، مقدار لیگنین باقیمانده کم، درجه روشنی مقاومت زیاد تولید می‌گردد. علاوه بر این محصولات جانبی با ارزش مثل همی سلولزها و لیگنین بدون سولفور قابل‌دستیابی هستند. این فرآیندها برای تولید چسب‌های بر پایه لیگنین و سایر محصولات به دلیل خلوص زیاد، وزن مولکولی کم و بازیابی آسان مواد شیمیایی مفید می‌باشند [۹]. فرآیند SEW با استفاده از مخلوط اتانول و آب همراه با گاز SO<sub>2</sub> حل شده در درجه حرارت متوسط (۱۵۰-۱۳۰ درجه سانتی‌گراد) انجام می‌شود [۱۰]. وجود گاز SO<sub>2</sub> موجب هیدرولیز همی سلولزها شده و قندهای مونومری با بازده نسبتاً زیاد تولید می‌کند. اتانول باعث افزایش نفوذ لیکور پخت به زیست‌توده لیگنوسلولزی می‌شود. در نتیجه این واکنش‌ها، کندانس شدن لیگنین و تخریب کربوهیدرات‌ها به حداقل رسیده و زمان جزء جزء سازی کوتاه می‌شود. جزء جزء سازی به‌روش SEW مزایای ممتاز زیادی نسبت به سایر فرآیندهای پیش تیمار/ جزء جزء سازی/ خمیر سازی دارد [۵]. برای مثال، قندهای همی-سلولز به‌طور کامل و با بازده زیاد قابل‌استفاده می‌باشند. از سوی دیگر، باقیمانده سلولز پس از جزء جزء سازی به‌صورت سالم باقی می‌ماند و قابل‌استفاده برای کاربردهای دیگر است. از دیگر مزایای این روش، مصرف کم انرژی است، چون که از درجه حرارت کم (۱۵۰-۱۳۰ درجه

سانتی‌گراد) استفاده می‌شود و امکان کاهش دادن نسبت لیکور به چوب کم (حتی تا ۳:۲) وجود دارد [۱۱]. در نهایت مواد شیمیایی جزء به جزء سازی مثل اتانول و SO<sub>2</sub> می‌تواند به‌آسانی توسط تقطیر بازیابی شود [۱۲]. ویژگی‌ها و مزایای فوق‌الذکر نشان می‌دهد، فرآیند SEW یک روش با پتانسیل مطلوب برای کاربرد در صنعت به‌منظور تولید سوخت‌های زیستی از زیست‌توده لیگنوسلولزی از طریق تخمیر میکروبی است [۱۳]. همچنین SEW روند بهتری را در مقایسه با فرآیند سولفیت اسیدی برای تولید سوخت-های زیستی به‌ویژه اتانول زیستی نشان می‌دهد [۱۰]. شیمی خمیر سازی SEW مشابه پخت سولفیت اسیدی است [۱۴]. به‌علاوه امکان جزء جزء سازی زیست-توده لیگنوسلولزی به‌صورت تر و خشک وجود دارد و ویژگی‌های نهایی زیست‌توده تر و خشک تقریباً مشابه یکدیگر است [۱۰، ۶]. با توجه به اینکه فرآیندهای نوظهور مثل SEW و خمیر سازی با ارزش‌افزوده آمریکایی<sup>۲</sup> در غیاب یک باز (منیزیم یا سدیم) انجام می‌شود، لذا چرخه بازیابی این فرآیندها حذف می‌شود و امکان ایجاد سیستم بسته کارخانه‌ای را با چرخه بازیابی سریع‌تر و با عملکرد بیش‌تر نسبت به فرآیندهای سنتی مثل کرافت، سودا، سولفیت اسیدی و حلال آلی میسر می‌سازد. در حال حاضر به توجه به مکانیسم نامشخص شیمی این فرآیندها، مطالعات و تحقیقات در این حوزه محدود به کشورهای خاص است که به‌طور انحصاری اقدام به تولید مواد با ارزش‌افزوده زیاد از این فرآیندها می‌کنند. به دلیل استفاده از اتانول و گوگرد در این فرآیندها، استفاده از چرخه بازیابی هیدروکسید سدیم غیر ضروری است و مواد اولیه مورد استفاده به علت فرار بودن به‌آسانی از طریق تقطیر بازیابی می‌شوند [۱۰، ۵، ۶]. مکانیسم جزء جزء سازی و شیمی لیگنین‌زدایی فرآیند به‌طور جزئی و دقیق توسط Iakovlev (۲۰۱۴-۲۰۰۹) مطالعه شده است. ویژگی‌های خمیرهای SEW کاملاً رنگ‌بری شده از نظر شیمیایی و ماکرومولکولی بسیار شبیه به خمیرهای حل‌شونده حاصل از سولفیت اسیدی است. همچنین فرآیند SEW می‌تواند جایگزین فرآیند سولفیت اسیدی برای تولید خمیرهای حل‌شونده باشد [۱۷، ۱۶، ۱۵].

<sup>2</sup>American Value Added Pulping (AVAP)<sup>1</sup>Organosolve

خرده چوب نوئل به این نتیجه رسیدند که نفوذ  $SO_2$  به چوب یک مرحله محدودکننده نیست و اسیدیته مؤثر در فرآیند SEW و سولفیت اسیدی مشابه است. همچنین کندانس شدن لیگنین در نسبت‌های بیش‌تر  $SO_2$ ، کم‌تر است [۲۳]. Iakovlev و Heiningen (۲۰۱۲) در بررسی دیگری با عنوان کارایی جزء جزء سازی مؤثر نوئل با تیمار SEW به این نتیجه رسیدند که واکنش‌های کربوهیدرات-ها، بیش‌تر محدود به واکنش‌های هیدرولیز مفیدی که در پخت سولفیت اسیدی اتفاق می‌افتد، است [۲۴]. Iakovlev و همکاران (۲۰۱۴) در مطالعه سینتیکی فرآیند جزء جزء سازی نوئل به‌روش SEW به این نتیجه رسیدند که نسبت مایع پخت به چوب اثر اندکی در طول مرحله لیگنین‌زدایی توده‌ای داشته است. در صورتی که در مرحله نهایی لیگنین‌زدایی این اثر مشخص بود [۱۶]. Iakovlev و همکاران (۲۰۱۴) در بررسی فرآیند جزء جزء سازی به-روش SEW برای تولید خمیر حل شونده از نوئل به این نتیجه رسیدند که ویژگی‌های خمیرهای SEW کاملاً رنگ‌بری شده از نظر شیمیایی و ماکرومولکولی بسیار شبیه به خمیرهای حل شونده حاصل از سولفیت اسیدی است [۱۷]. Yamamoto و همکاران (۲۰۱۴) سینتیک جزء جزء سازی زیست‌توده سوزنی‌برگ و پهن‌برگ را بررسی کردند. نتایج آنان نشان می‌دهد هرچند درصد لیگنین‌زدایی کم-تری در سوزنی‌برگان اتفاق افتاده است، اما مقدار خروج همی‌سلولزها در سوزنی‌برگان و پهن‌برگان یکسان است [۲۵].

بر اساس گزارش‌های منتشرشده، تاکنون موضوع بررسی تأثیر فرآیندهای شستشوی خمیر بر ویژگی‌های مهم خمیر و کاغذسازی (بازده و عدد کاپا) فرآیند خمیر سازی SEW انجام نشده است. بنابراین در مطالعه حاضر سعی بر این است که نقش فرآیند شستشو بر ویژگی‌های فرآیند خمیر سازی SEW موردبررسی قرار گیرد.

### مواد و روش‌ها

**تهیه نمونه:** باگاس مورد استفاده در این پژوهش از شرکت کاغذسازی پارس مستقر در هفت‌تپه خوزستان تهیه و به آزمایشگاه خمیر و کاغذ دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان منتقل شد. پس از تعیین درصد

Alfaro و همکاران (۲۰۰۹) شرایط بهینه برای پخت چوب تاگاساسته<sup>۳</sup> با روش خمیر سازی اتانول را دمای ۱۸۵ درجه سانتی‌گراد، زمان ۹۰ دقیقه و غلظت اتانول ۶۰ درصد معرفی کردند. به طوری که این شرایط منجر به دستیابی به بازده ۴۲/۹ درصدی و عدد کاپای ۵۹/۵ گردید [۱۸]. Iakovlev و همکاران (۲۰۰۹) در مطالعه سینتیکی خمیر سازی نوئل به‌روش SEW به این نتیجه رسیدند که با حضور  $SO_2$  امکان پخت گونه‌های سوزنی‌برگ وجود دارد، در صورتی که خمیر سازی اتانول محدود به گونه‌های پهن‌برگ بوده است. وجود اتانول روند آغشته سازی  $SO_2$  به چپس را صرف‌نظر از ضخامت چپس تسریع می‌کند. وی همچنین در این تحقیق به این نتیجه رسیده است که شستشوی خمیر با حلال‌های آلی مانند اتانول و دیوکسان با نسبت‌های ۶۰ و ۷۰ موجب کاهش عدد کاپای خمیر نسبت به روش شستشو با آب می‌شوند [۱۹]. Yamamoto و همکاران (2011) در بررسی موازنه جرم کل جزء به جزء سازی زیست‌توده حاصل از ضایعات بهره‌برداری جنگل به-روش SEW به این نتیجه رسیدند که تقریباً ۳۰-۴۰٪ کربوهیدرات‌های چوب در لیکور ضعیف حل می‌شوند که نیمی از این کربوهیدرات‌ها به‌صورت فندهای مونومری حضور دارند. آنان همچنین ذکر کردند که امکان تولید خمیر کاغذ همراه با جزء به جزء سازی برای تهیه فندهای قابل تخمیر (با بازده زیاد) در دمای معمولی و زمان پخت کوتاه امکان‌پذیر است [۲۰]. Iakovlev و همکاران (۲۰۱۱) در بررسی سینتیک خمیر سازی نوئل، راش و کاه گندم به‌روش SEW به این نتیجه رسیدند که لیگنین‌زدایی انتهایی برای راش بسیار آهسته‌تر از نوئل است و مقادیر انرژی فعال‌سازی برای نوئل و راش نزدیک به هم بود [۲۱]. Iakovlev و Heiningen (۲۰۱۱) در بررسی تعیین لیگنین در خمیرها و مایعات پخت فرآیند SEW به این 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 [۲۲]. Iakovlev و Heiningen (۲۰۱۲) در بررسی سینتیک جزء جزء سازی به‌روش SEW برای

<sup>3</sup> Tagasaste wood

گردید. اسامی و برخی ویژگی‌های مواد شیمیایی مورداستفاده در این پژوهش نیز در جدول ۱ آمده است.

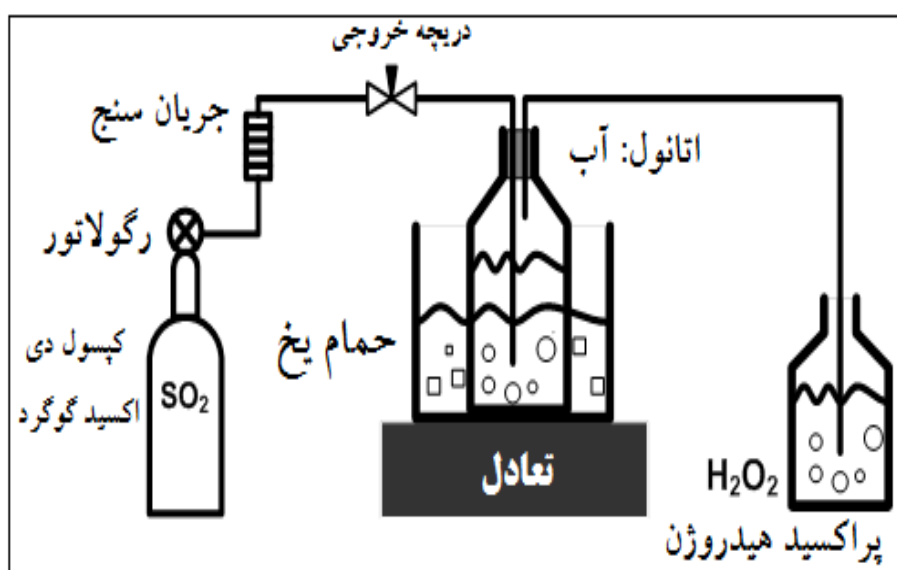
رطوبت جهت جلوگیری از تبادل رطوبتی با محیط درون کیسه‌های نایلونی نگهداری و برای تهیه خمیر آماده

جدول ۱- لیست مواد شیمیایی مورداستفاده با خلوص و منابع

نوع ماده	فرمول شیمیایی	خلوص (%)	کشور و شرکت تولیدکننده
هیدروکسید سدیم	NaOH	۹۸	اسپانیا - پانراک
اتانول (الکل اتیلیک)	C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH	۹۶	ایران - هامون
اسیدسولفوریک	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	۹۸	آلمان - مرک
پرمنگنات پتاسیم	KMnO <sub>4</sub>	۹۸	آلمان - مرک
یدید پتاسیم	KI	۹۸	ژاپن - فلوکا
تیوسولفات سدیم	Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	۹۸	ژاپن - فلوکا
پراکسید هیدروژن	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	۳۰	آلمان - مرک
گاز دی‌اکسید گوگرد	SO <sub>2</sub>	۹۹/۹۸	ایران - توسعه فن‌آوری آویژ خاورمیانه

تهیه شد. عملیات ساخت لیکور فرآیند SEW بدین‌صورت بود که ابتدا اتانول و آب داخل یک بشر و بر روی ترازو ریخته شد، سپس این محلول داخل فریزر تا رسیدن به دمای زیر صفر نگهداری شد. این عمل به‌منظور انحلال کامل گاز دی‌اکسید گوگرد انجام شد. سپس تزریق گاز دی‌اکسید گوگرد به مقدار ۱۲ درصد حجم لیکور (معادل ۱۴/۴ گرم) توسط رگلاتور کنترل تزریق و عملیات خنثی-سازی گاز دی‌اکسید گوگرد برگشتی توسط پراکسید هیدروژن در دمای حمام یخ انجام گردید (شکل ۱).

**آماده‌سازی لیکور پخت:** مایع پخت فرآیند SEW شامل دی‌اکسید گوگرد، اتانول و آب است که مطابق دستورالعمل آزمایشگاهی ارائه‌شده در دانشگاه ملی آلتو-فلاند (که توسط پژوهشگرانی چون Iakovlev, ۲۰۱۴؛ Sixta و همکاران، ۲۰۱۴؛ Sklavounos, ۲۰۱۴؛ Yamamoto و همکاران، ۲۰۱۴؛ Yamamoto, ۲۰۱۴؛ Yamamoto, ۲۰۱۱) برای مطالعه فرآیند SEW مورداستفاده قرار گرفته است، تهیه گردید. نسبت دی‌اکسید گوگرد، اتانول و آب به ترتیب ۱۲:۴۳/۵:۴۴/۵ در حجم ۱۲۰ میلی‌لیتر (L:W برابر ۱:۶) برای هر مخزن



شکل ۱- شماتیک تهیه لیکور فرآیند SEW [۵، ۶، ۱۰]

Sklavounos, ۲۰۱۴؛ Sixta و همکاران، ۲۰۱۴؛ Yamamoto و همکاران، ۲۰۱۴؛ Yamamoto، ۲۰۱۴؛ Yamamoto، ۲۰۱۱، با استفاده از محلول اتانول ۴۰ درصد با دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد (L:W برابر ۱:۲) و سپس توسط آب در دمای اتاق شستشو داده شدند. در روش شستشوی دوم خمیرها فقط با استفاده از آب در دمای اتاق شستشو داده شدند. در نهایت اندازه‌گیری ویژگی‌های خمیر کاغذ مطابق با آئین‌نامه‌های استاندارد TAPPI صورت گرفت. پس از تعیین درصد رطوبت خمیر، وزن کاملاً خشک خمیر کاغذ تعیین گردید و با استفاده از رابطه ۱ بازده کل خمیر کاغذ با دو سیستم شستشوی متفاوت محاسبه گردید. همچنین اندازه‌گیری عددکاپای خمیر کاغذ مطابق با استاندارد T2360m-85 آئین‌نامه TAPPI صورت گرفت.

**تولید خمیر SEW باگاس:** با استفاده از فرآیند SEW تحت شرایط فرآیندی مختلف، مانند دمای بیشینه پخت (۱۲۰ و ۱۳۵ درجه سانتی‌گراد) و زمان‌های مختلف خمیر سازی (از 30 تا ۱۰۰ دقیقه)، پخت‌های متعددی با هدف رسیدن به عدد کاپای ۲۰ به‌وسیله دایجستر موجود در آزمایشگاه گروه صنایع خمیر و کاغذ دانشکده مهندسی چوب و کاغذ دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی و گرگان انجام گرفت. پس از پایان زمان موردنیاز پخت، بلافاصله با قرار دادن دیگ‌ها در آب سرد، خمیر سازی متوقف شد و باگاس پخته‌شده بر روی الک ۲۰ مش قرار داده و با استفاده از مش ۲۰۰ خمیر غربال‌شده جمع‌آوری شد. در فرآیند SEW، خمیرهای جمع‌آوری‌شده پس از زهکشی کامل از مایع پخت بر روی مش ۲۰۰ ابتدا بر اساس روش ذکرشده توسط Jakovlev، ۲۰۱۴-۲۰۰۹؛

$$\text{رابطه (۱)} \quad \times 100 = \frac{\text{وزن خشک خمیر (گرم)}}{\text{وزن خشک باگاس (گرم)}} = \text{بازده خمیر کاغذ (\%)}$$

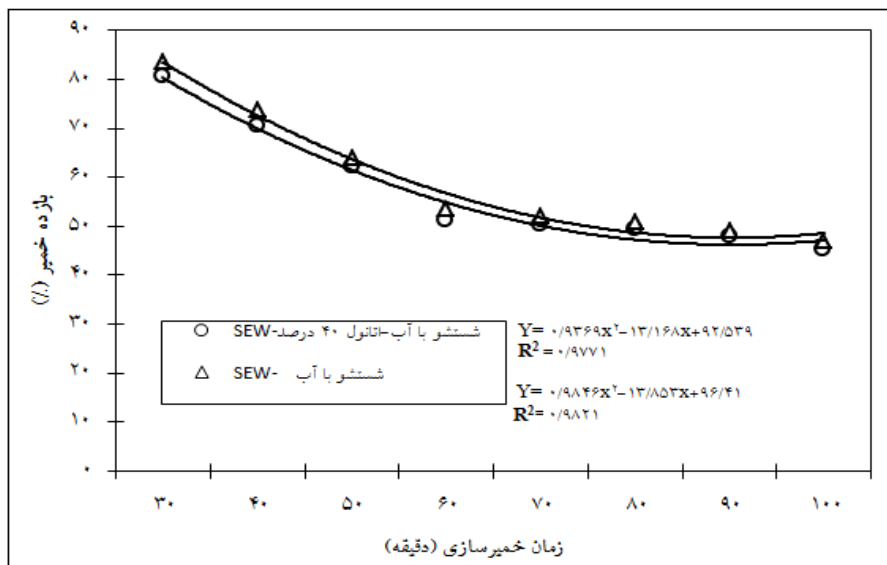
نسبت به فرآیندهای قلیایی و همچنین زمان پایانی صورت می‌پذیرد؛ بدین معنی که میزان کم شدن لیگنین در زمان اولیه پخت بیشتر از زمان انتهایی است. با توجه به اینکه در این تحقیق از دو سیستم مستقل شستشو برای خمیر SEW استفاده شد، بازده کمتر خمیرهای شسته شده با آب- اتانول به دلیل انحلال بیش تر لیگنین در این محلول نسبت به سیستم شستشو است که این کاهش بازده از نظر آماری در سطح خطای آزمایش ۱ درصد معنی‌دار است.

## نتایج و بحث

### اثر زمان خمیر سازی و روش شستشو بر بازده

#### خمیر SEW در دمای ۱۲۰ درجه سانتی‌گراد

بررسی نتایج حاصل از خمیر سازی در دمای ۱۲۰ درجه سانتی‌گراد در زمان‌های مختلف نشان داد که با افزایش زمان خمیر سازی از مقدار بازده خمیر SEW کاسته می‌شود (شکل ۲). در مرحله نخست خمیر سازی در فرآیندهای اسیدی، لیگنین‌زدایی با سرعت بیشتری



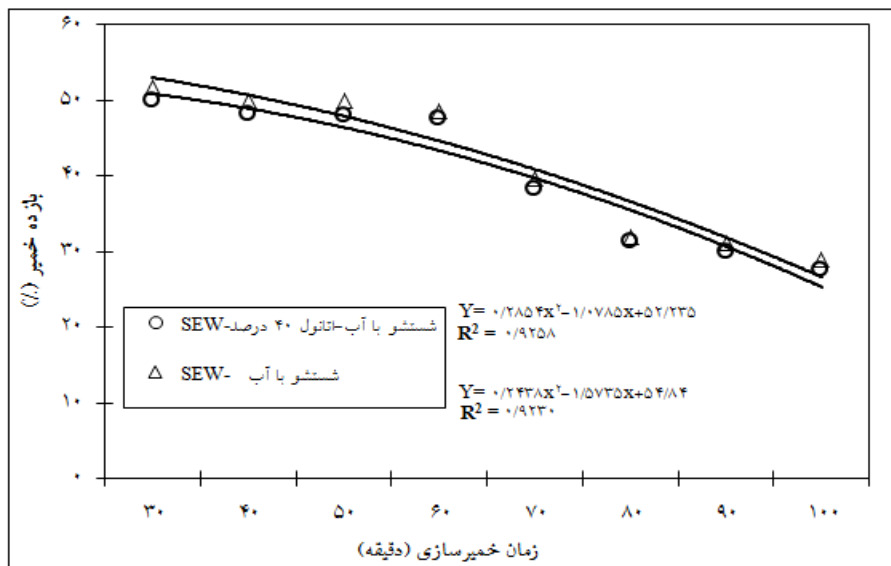
شکل ۲- اثر زمان خمیر سازی و روش شستشو بر بازده خمیر SEW در دمای ۱۲۰ درجه سانتی‌گراد

کاسته می‌شود (شکل ۳). با توجه به این که معمولاً دمای بیشتر باعث سرعت خروج بیشتر کربوهیدرات می‌شود، بنابراین کاهش بازده خمیر زیادتر از دمای ۱۲۰ درجه سانتی‌گراد است که این امر نیز از نظر آماری معنی‌دار بوده است.

#### اثر زمان خمیر سازی و روش شستشو بر بازده

#### خمیر SEW در دمای ۱۳۵ درجه سانتی‌گراد

بررسی نتایج حاصل از خمیر سازی در دمای ۱۳۵ درجه سانتی‌گراد در زمان‌های مختلف نشان داد که با افزایش زمان خمیر سازی از مقدار بازده خمیر SEW



شکل ۳- اثر زمان خمیر سازی و روش شستشو بر بازده خمیر SEW در دمای ۱۳۵ درجه سانتی‌گراد

خمیرسازی، اختلاف معنی‌دار آماری وجود دارد و عدد کاپا به شدت تحت تأثیر روش شستشو، دما و زمان است. رابطه بین زمان خمیر سازی و عدد کاپای خمیر SEW در دمای ۱۲۰ درجه سانتی‌گراد در شکل ۴ ارائه شده است. نتایج

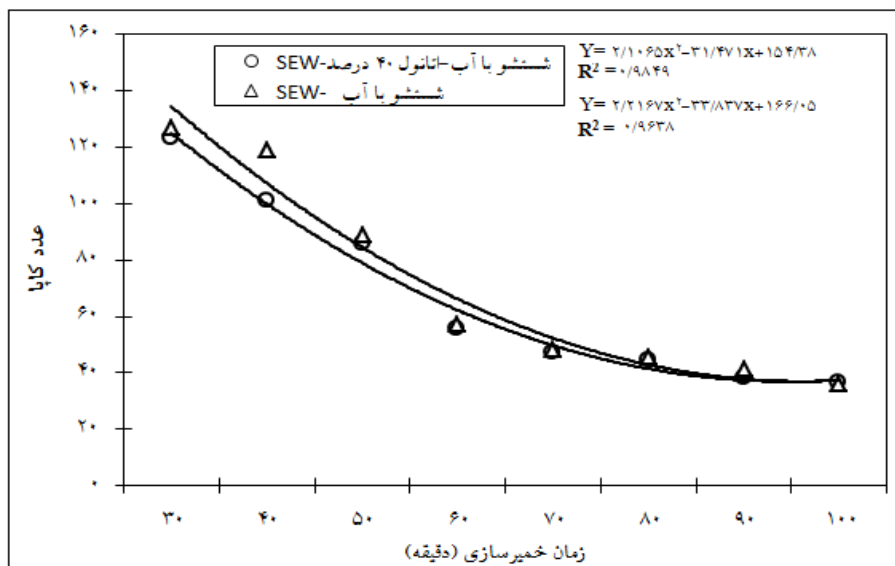
#### اثر زمان خمیر سازی و روش شستشو بر عدد

#### کاپای خمیر SEW در دمای ۱۲۰ درجه سانتی‌گراد

نتایج حاصل از تجزیه واریانس نشان می‌دهد که بین مقادیر عدد کاپای خمیر SEW در شرایط متفاوت

سازی از مقدار عدد کاپای خمیر SEW کاسته می‌شود.

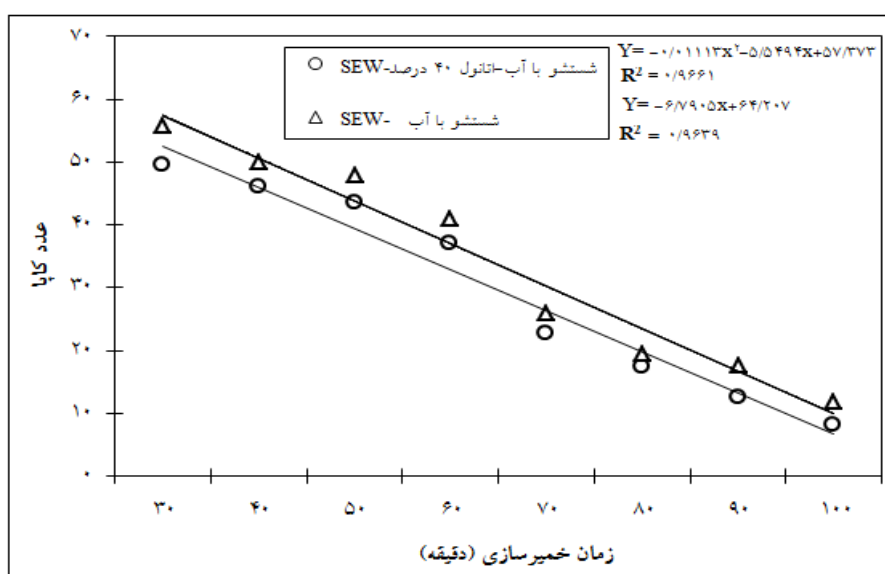
حاصل از خمیر سازی در دمای ۱۲۰ درجه سانتی‌گراد در زمان‌های مختلف نشان داد که با افزایش زمان خمیر



شکل ۴- اثر زمان خمیر سازی و روش شستشو بر عدد کاپای خمیر SEW در دمای ۱۲۰ درجه سانتی‌گراد

زمان خمیر سازی از مقدار بازده خمیر SEW کاسته می‌شود (شکل ۵). اختلاف ۱۵ درجه‌ای دما منجر به افزایش لیگنین‌زدایی تا ۴۳/۳٪ بیش‌تر از خمیر سازی با دمای ۱۲۰ درجه سانتی‌گراد گردیده است.

**اثر زمان خمیر سازی و روش شستشو بر عدد کاپای خمیر SEW در دمای ۱۳۵ درجه سانتی‌گراد**  
بررسی نتایج خمیر سازی در دمای ۱۳۵ درجه سانتی‌گراد در زمان‌های مختلف نشان داد که با افزایش



شکل ۵- اثر زمان خمیر سازی و روش شستشو بر عدد کاپای خمیر SEW در دمای ۱۳۵ درجه سانتی‌گراد

روش‌های شستشوی متفاوت (آب- اتانول ۴۰ درصد و آب) از نظر آماری معنی‌دار متفاوت بود. به طوری که عدد کاپا و

مطابق نتایج به دست آمده از پخت‌های SEW در دمای ۱۲۰ و ۱۳۵ درجه سانتی‌گراد، عدد کاپای خمیرها در

پخت در حین پخت برای فرآیندهای پخت از جمله عوامل تأثیرگذار بر میزان بازده و عدد کاپا باشد. این فاکتور معمولاً وابسته به اندازه ماده اولیه است [۱۰، ۶]. سرعت افزایش دمای ۱۳۵ درجه سانتی‌گراد با نرخ بیشتری نسبت به دمای ۱۲۰ درجه سانتی‌گراد افزایش می‌یابد که این امر نفوذ، آغشته‌سازی و دسترسی به ترکیبات شیمیایی را به‌طور شدیدتری تحت تأثیر قرار می‌دهد و از این طریق باعث کاهش زمان پخت می‌گردد. به‌طور کلی نتایج این تحقیق با نتایج Iakovlev (۲۰۱۴-۲۰۰۹) مطابقت دارد.

### نتیجه‌گیری

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 توسعه‌یافته و یک فرآیند جزء جزء سازی مؤثر و با عملکرد زیاد برای مواد لیگنوسلولزی است. نتایج حاصل از خمیرسازی نشان داد که اثر زمان، دما و روش شستشو بر بازده و عدد کاپای خمیر SEW در سطح خطای آزمایش ۱ درصد معنی‌دار است. بررسی نتایج حاصل از خمیرسازی در دمای ۱۳۵ درجه سانتی‌گراد در زمان‌های مختلف نشان داد که با افزایش زمان خمیرسازی از مقدار بازده خمیر SEW کاسته می‌شود. با توجه به این که معمولاً دمای بیش‌تر باعث سرعت خروج بیش‌تر کربوهیدرات می‌شود، بنابراین کاهش بازده خمیر زیادتر از دمای ۱۲۰ درجه سانتی‌گراد است که این امر نیز از نظر آماری معنی‌دار بوده است. در خصوص عدد کاپا نتایج نشان داد که اختلاف ۱۵ درجه‌ای دما منجر به افزایش لیگنین‌زدایی تا ۴۳/۳٪ بیش‌تر از خمیرسازی با دمای ۱۲۰ درجه سانتی‌گراد گردیده است. نتایج حاصل از شستشوی خمیر با دو روش مختلف نشان داد که شستشوی خمیر با آب- اتانول ۴۰ درصد با دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد موجب کاهش بازده و عدد کاپای خمیر نسبت به روش شستشو با آب شده است؛ بنابراین با توجه به تولید مقادیر بسیار زیاد باگاس در ایران (بیش از ۴/۳ میلیون تن در سال)، این ماده می‌تواند با استفاده فرآیندهای نوین تبدیل زیست‌توده لیگنوسلولزی مانند فرآیند SEW ضمن جایگزینی منابع

همچنین بازده خمیرهایی که با آب- اتانول ۴۰ درصد شسته شده بودند، کم‌تر از خمیرهایی بود که با آب شسته شده بودند. علت این امر این است که همی‌سلولزها در حلال‌های قطبی مانند آب بهتر حذف و شسته می‌شوند. این در حالی است که لیگنین در حلال‌های غیر قطبی مانند اتانول، دیوکسان و ... بهتر حذف می‌شوند. این امر از این جهت به‌وضوح قابل‌اثبات است که در روش شستشو با آب، بازده خمیرها اندکی بیش‌تر از روش شستشو با آب- اتانول ۴۰٪ بودند و این امر نشان‌دهنده انحلال و حذف لیگنین است که به دنبال آن بازده کاهش می‌یابد؛ بنابراین یک روش شستشوی مؤثر پیش‌نیاز و شرط اصلی برای سینتیک خمیرسازی قابل‌اطمینان است [۱۹]. بازده خمیر کاغذ به‌عنوان یک شاخص مهم در کاغذسازی مطرح است. این ویژگی عموماً تحت تأثیر ساختار شیمیایی و آناتومیکی ماده اولیه و فرآیند به کار گرفته‌شده برای تهیه خمیر کاغذ قرار می‌گیرد [۲۶]. جزء جزء سازی اسیدی دارای مزایای مهمی نسبت به فرآیندهای قلیایی است؛ مهم‌ترین این مزایا، نبود واکنش‌های تجزیه تدریجی در شرایط اسیدی است که موجب حفظ بیش‌تر کربوهیدرات‌ها می‌شود. به‌علاوه درجه روشنی و قابلیت رنگ‌بری خمیرهای حاصل از شرایط اسیدی در مقایسه با شرایط قلیایی به دلیل نبود گروه‌های رنگ‌ساز (کروموفورها) مثل کینون‌ها و استیلبن و همچنین واکنش‌پذیری بیش‌تر، زیادتر است [۱۰]. عوامل فرآیندی شامل درجه حرارت، زمان و نوع فرآیند مورد استفاده تعیین‌کننده ویژگی‌های نهایی خمیر و کاغذ مثل بازده، مقدار وازده، عدد کاپا، ویژگی‌های فیزیکی، ممانعتی و مکانیکی می‌باشند [۲۷]. به‌علاوه ترکیبات شیمیایی مواد خام لیگنوسلولزی تأثیر زیادی بر اتصال الیاف به همدیگر و رفتارهای خمیر کاغذ به‌دست‌آمده در طی کاغذسازی دارد. از طرفی درصد ترکیبات شیمیایی، تعیین‌کننده بازده نهایی خمیر کاغذ است [۲۶، ۲۸]. در مقایسه با فرآیندهای قلیایی سینتیک لیگنین‌زدایی فرآیند SEW می‌تواند در دو فاز انحلال سریع توده‌ای لیگنین و لیگنین‌زدایی آهسته انتهایی تقسیم‌بندی شود. با توجه به اهمیت میزان لیکور به خرده چوب مورد استفاده در فرآیند SEW به نظر می‌رسد آغشته‌سازی کافی مواد اولیه لیگنوسلولزی با لیکور



چوبی و همچنین تولید مشتقات پالایش زیستی (سوخت-  
ها و مواد شیمیایی با ارزش افزوده زیاد) موجب تقویت  
توان اقتصادی صنایع خمیر و کاغذ شود.

## منابع

- [1] Vishtal, A. and Kraslawski, A., 2011. Challenges in industrial applications of technical lignins. *BioResources*, 6(3):3547-3568.
- [2] Tan, T., Yu, J. and Shang, F., 2011. *Biorefinery Engineering (Comprehensive Biotechnology: Second Edition)*, Academic Press: 815-828.
- [3] Hui, S., Ying-kai, X. and Guo-zhi, X., 2010. Isolation of hemicelluloses from wood chips via extraction with kraft green liquor, *chem. Res. Chinese universities*, 26(4):667-671.
- [4] Bajpai, P., 2013. *Biorefinery in the pulp and paper technology*. Elsevier academic press. ISBN: 978-0-12-409508-3.
- [5] 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.
- [6] 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.
- [7] Fan, L., Ruan, R., Liu, Y., Wang, Y. and Tu, C., 2015. Effects of extraction conditions on the characteristics of ethanol organosolv lignin from bamboo (*Phyllostachys pubescens* Mazel). *BioResources*. 10(4):7998-8013.
- [8] Moniz, P., Lino, J., Duarte, L. C., Roseiro, L. B., Boeriu, C. G., Pereira, H. and Carvalheiro, F., 2015. Fractionation of hemicelluloses and lignin from rice straw by combining autohydrolysis and optimised mild organosolv delignification. *BioResources*, 10(2):2626-2641.
- [9] Sridach, W., 2010. The environmentally benign pulping process of non-wood fibers. *Suranaree J. Sci. Technol.*, 17(2):105-123.
- [10] Iakovlev, M., 2011. SO<sub>2</sub>-ethanol-water (SEW) fractionation of lignocellulosics. *Doctoral Dissertation*, Department of forest products technology, Aalto University.
- [11] Sklavounos, E., Iakovlev, M. and Heiningen, A.V., 2013a. Study on conditioning of SO<sub>2</sub>-Ethanol-Water spent liquor from spruce chips/softwood biomass for ABE fermentation. *Industrial & Engineering Chemistry Research*. 52:4351-5359.
- [12] Sklavounos, E., Iakovlev, M., Survase, S., Granstrom, T. and Heiningen, A.V., 2013b. Oil palm empty fruit bunch to biofuels and chemicals via SO<sub>2</sub>-Ethanol-Water fractionation and ABE fermentation. *Bioresource Technology*, 147:102-109.
- [13] Survase, S.A., Sklavounos, E., Jurgens, G., Heiningen, A.V. and Granstrom, T., 2011. Continuous acetone-butanol-ethanol-ethanol fermentation using SO<sub>2</sub>-ethanol-water spent liquor from spruce. *Bioresource Technology*, 102:10996-11002.
- [14] 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.
- [15] Sixta, H., Iakovlev, M., Testova, L., Roselli, A., Hummel, M., Borrega, M., Van Heiningen, A., Froshauer, C. and Schottenberger, H., 2013. Novel concepts of dissolving pulp production. *Cellulose*, 20:1547-1561.
- [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] Alfaro, A., Perez, A., Garcia, J.C., Lopez, F., Zamudio, M.A.M. and Rodriguez, A., 2009. Ethanol and soda pulping of Tagasaste wood neural fuzzy modeling. *Cellulose chemistry and technology*, 43(7-8):295-30619
- [19] 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.
- [20] 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.
- [21] 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.
- [22] 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.
- [23] 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.
- [24] 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.
- [25] 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.
- [26] Saraeian, A.R. and Khalili, A., 2013. Pulp production technology with kraft process. Aijj Publications. 360 pages. (In Persian).
- [27] Mirshokraei, S.A., 2002. Wood chemistry: fundamentals and applications (Eero Sjöström). Aijj Publications. 198 pages. (Translated In Persian).
- [28] Mollae, M., Enayati, A., Hamzeh, Y. and Roostae, M., 2010. Preparation of bleached soda pulp from canola stalks. *Iranian journal of wood and paper science research*, 25(1):80-90. (In Persian).

## Effects of washing method on the bagasse pulping characteristics processed by the sulfur dioxide- ethanol-water (SEW) method

### Abstract

SO<sub>2</sub>-ethanol-water (SEW) pulping can be considered a hybrid between solvent and acid sulfite pulping processes. Recently, this process has been paid attention to separate the principal components of lignocellulosic materials i.e. cellulose, hemicelluloses and lignin. The main objective of this study was to investigate the effects of washing method on the bagasse pulping characteristics processed by the acidic fractionation of sulfur dioxide-ethanol-water (SEW) method. Variables included two washing pulp methods (water and 40 v/v% ethanol-water solutions), pulping duration (30-100 min.), and temperature (120 and 135 °C). Then, pulps were washed twice with 40% v/v ethanol-water at 60°C (L: W 2 L kg<sup>-1</sup>) and with deionized water at room temperature (L: W 20 L kg<sup>-1</sup>). The results showed that the final pulp yield decreased due to the greater solubility of lignin in 40 v/v % ethanol-water compared with the conventional systems (washing by water). This decrease was statistically significant at the level of 1%. Pulping result at 120 and 135 °C at different time periods showed that with an increase in the pulping duration, kappa number is reduced.

**Keywords:** recovery, pulping, so<sub>2</sub>-ethanol-water (SEW), washing method, Kappa number.

A.A. Tatari<sup>1\*</sup>  
M.R. Deghani Firouzabadi<sup>2</sup>  
A.R. Saraeyan<sup>3</sup>  
M.H. Aryaie Monfared<sup>4</sup>  
R. Yadollahi<sup>5</sup>

<sup>1</sup> M.Sc. Graduate in pulp and paper industry, Gorgan University of Agricultural Sciences & Natural Resources

<sup>2</sup> Associate Professor in pulp and paper industry, Gorgan University of Agricultural Sciences & Natural Resources

<sup>3</sup> Associate Professor in pulp and paper industry, Gorgan University of Agricultural Sciences & Natural Resources

<sup>4</sup> Assistant Professor in pulp and paper industry, Gorgan University of Agricultural Sciences & Natural Resources

<sup>5</sup> Ph.D. Student in pulp and paper industry, Gorgan University of Agricultural Sciences & Natural Resources

Corresponding author:  
[asghar.tatari2007@yahoo.com](mailto:asghar.tatari2007@yahoo.com)

Received: 2016/05/04

Accepted: 2016/06/12