



دانشگاه گواران و منابع طبیعی

نشریه پژوهش‌های علوم و فناوری چوب و جنگل  
جلد بیستم و دوم، شماره اول، ۱۳۹۴  
<http://jwfst.gau.ac.ir>

## تأثیر نوع فرآیند خمیرسازی بر میزان سیلیس‌زدایی از لیکور سیاه کلش برنج

\*سیدرحمان جعفری‌پطروودی<sup>۱</sup>، حسین رسالتی<sup>۲</sup> و اسماعیل رسولی‌گرمارودی<sup>۱</sup>

<sup>۱</sup>استادیار گروه فناوری تولید سلولز و کاغذ، دانشکده مهندسی انرژی و فناوری‌های نوین، پردیس علمی و تحقیقاتی

زیرآب، دانشگاه شهید بهشتی، <sup>۲</sup>استاد گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشکده منابع طبیعی،

دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

تاریخ دریافت: ۹۱/۰۷/۱۴؛ تاریخ پذیرش: ۹۳/۱۰/۰۷

### چکیده

کلش برنج در کشورهای فاقد منابع چوبی کافی می‌تواند به‌عنوان یکی از مواد اولیه مناسب برای تولید خمیرکاغذ شیمیایی مورد استفاده قرار گیرد. اما سیلیس موجود در کلش محدودیت‌هایی را برای کاربرد این ماده در صنایع کاغذسازی ایجاد می‌کند. همچنین بخش‌هایی نظیر آماده‌سازی ماده اولیه، دیگ پخت، سیستم بازیابی مواد شیمیایی، سودسازی، ماشین کاغذ و نیز بازیابی انرژی را نیز تحت تأثیر قرار می‌دهد. در این تحقیق تأثیر فرایندهای مختلف خمیرسازی سودا، سودا-آنتراکینون و اسید فرمیک بر میزان سیلیس‌زدایی از کلش برنج در سه محدوده عدد کاپای ۱۵، ۲۵ و ۳۵ بررسی شده است. نتایج نشان داده است که در فرایند پخت سودا با افزایش غلظت ماده شیمیایی پخت و در نتیجه کاهش عدد کاپا از ۳۵ به ۱۵، میزان سیلیس موجود در خمیرکاغذ از ۱۷/۲۷ به ۷/۴۱ درصد کاهش یافته در حالی که همزمان میزان سیلیس موجود در لیکور سیاه نیز از ۱/۳۴ به ۱۱/۲۰ درصد افزایش یافته است. در فرایند سودا-آنتراکینون میزان سیلیس موجود در لیکور سیاه در حدود ۱۱۵ درصد کمتر از فرایند سودا بوده است. نتایج در خمیرسازی اسید فرمیک در مقایسه با فرایندهای متداول ذکر شده کاملاً متفاوت بوده و نشان داده است که مقدار سیلیس خمیرکاغذ با کاهش عدد کاپا از ۳۵ به ۱۵ افزایش یافته است. به‌طوری که میزان سیلیس موجود در خمیرکاغذ در عدد کاپای ۱۵ به مقدار ۱۸

\*مسئول مکاتبه: [sr\\_jafari@sbu.ac.ir](mailto:sr_jafari@sbu.ac.ir)

نشریه پژوهش‌های علوم و فناوری چوب و جنگل جلد (۲۲)، شماره (۱) ۱۳۹۴

درصد بوده است. بنابراین در صورت استفاده از فرایندهای خمیرسازی سودا-آنتراکینون و اسید فرمیک نه تنها می‌توان کاهش قابل ملاحظه‌ای در سیلیس موجود در لیکور سیاه ایجاد کرد بلکه تولید خمیرکاغذ شیمیایی بدون مشکلات زیست‌محیطی نیز اقتصادی‌تر می‌گردد.

**واژه‌های کلیدی:** کلش برنج، سیلیس، لیکور سیاه، سودا-آنتراکینون، اسید فرمیک

### مقدمه

در حال حاضر متوسط رشد سالانه تقاضای جهانی برای محصولات کاغذ و مقوا به میزان ۲/۵ درصد می‌باشد و پیش‌بینی می‌شود مصرف این محصولات تا سال ۲۰۲۰ میلادی به ۵۰۰ میلیون تن برسد (فائو، ۲۰۱۲). در طول سالیان متمادی و حتی در حال حاضر نیز مهمترین منبع اصلی الیاف صنعت کاغذسازی درختان جنگلی و گونه‌های درختی دست‌کاشت و سریع‌الرشد بوده‌اند، ولی امروزه به دلیل تخریب بیش از حد جنگل‌ها و فشارهای زیست‌محیطی موجود، استفاده از الیاف بازیافتی گسترش بسیار زیادی پیدا کرده و در حال حاضر حدود ۴۸ درصد از تولید خمیرکاغذ را به خود اختصاص داده است (فائو، ۲۰۱۲). در این میان گیاهان غیرچوبی نیز در سال‌های اخیر با رشد چشمگیری حدود ۱۰ درصد از تولید خمیرکاغذ را برعهده داشته‌اند؛ طوری که میزان تولید خمیرکاغذ از این منابع در سال ۲۰۱۱، به میزان ۱/۳ میلیون تن بوده است (فائو، ۲۰۱۲). استفاده از الیاف غیرچوبی در کشورهای فاقد منابع چوبی مناسب که دارای ضایعات کشاورزی فراوان می‌باشند از اهمیت دوچندانی برخوردار هستند و ضرورت توجه به این‌گونه منابع را نشان می‌دهد.

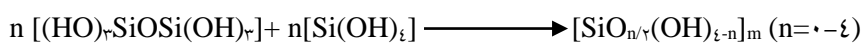
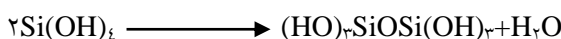
کلش برنج<sup>۱</sup> و کاه گندم با سهم ۵۱ درصدی، دارای بیشترین سهم در تولید خمیرکاغذ از گیاهان غیرچوبی را دارا می‌باشند (فائو، ۲۰۱۲). دلیل این موضوع، دارا بودن مزایایی از جمله فراوانی، لیگنین کمتر، ساختار بازتر و استفاده از مواد شیمیایی و انرژی کمتر در طول فرایند پخت می‌باشد. البته این منابع دارای معایبی از جمله میزان خاکستر (سیلیس<sup>۲</sup> بیشتر) به‌ویژه در کلش برنج نسبت به چوب بوده که استفاده از آن‌ها را در این صنایع با محدودیت زیادی مواجه می‌کند. بنابراین اطلاع از ساختار و ویژگی‌های این مواد در استفاده مناسب‌تر از آن‌ها در صنایع خمیرکاغذ ضروری به‌نظر می‌رسد.

1- Rice straw

2- Silica

### اسماعیل رسولی گرمارودی و همکاران

گیاه برنج یکی از گیاهان دارای درصد زیاد سیلیس است که با جذب اسید مونوسالیسیک<sup>۱</sup> خاک از طریق ریشه‌ها، آن را به شکل پلیمری در ساقه، برگ، شاخه، گره و سبوس ذخیره می‌کند. میزان سیلیس کلش برنج، علاوه بر نوع گونه برنج، شرایط جغرافیایی و شرایط برداشت، در بخش‌های مختلف گیاه برنج نیز متفاوت است و مقدار آن از پایین ساقه به بالا افزایش می‌یابد. اعتقاد بر این است که انتقال اسیدسالیسیلیک از طریق جریان تعرق آوندها اتفاق می‌افتد، آنگاه متراکم شده و به صورت سیلیس بی‌شکل و غیرمتبلور با درجه هیدراسیون مختلف پلیمر می‌گردد:



تقریباً ۹۰ درصد از سیلیس موجود در برگ‌ها به صورت سیلیکا ژل بوده و بقیه در بخش‌های دیگر گیاه برنج به صورت سایر ترکیبات سیلیسی می‌باشد. توزیع سیلیس در گیاه برنج به طور عموم در اپیدرم برگ‌ها، غلاف گیاه، ساقه و سبوس بوده و همچنین به صورت غریبک نواخت در سراسر بافت‌های گیاه توزیع می‌شود (اینگلسبای، ۲۰۰۶).

تولید خمیرکاغذ از کلش برنج به واسطه وجود سیلیس محدودیت‌های زیادی در بخش‌های مختلف نظیر آماده‌سازی ماده اولیه، تولید خمیرکاغذ، رنگبری خمیرکاغذ، تجهیزات غربال، سیستم بازیابی ماده شیمیایی، قلیاسازی، آماده‌سازی خمیرکاغذ و ماشین کاغذ ایجاد کرده و بدین ترتیب تولید خمیرکاغذ از کلش برنج با استفاده از فرایندهایی مانند سودا کاملاً غیراقتصادی خواهد بود (میرین و همکاران، ۱۹۹۸؛ توتوس و همکاران، ۲۰۰۴؛ کولکورانی و همکاران، ۲۰۰۵؛ بهاردواج و همکاران، ۲۰۰۵). به همین منظور مطالعات بسیار زیادی برای کاهش سیلیس موجود در لیکور سیاه انجام شده است. این مطالعات در سه بخش اصلاح نوع فرایند خمیرسازی، استفاده از فرایندهای خمیرسازی جدید و بهره‌گیری از روش‌های سیلیس‌زدایی مناسب متمرکز شده‌اند.

در این مطالعات ثابت شده است که استفاده از سودا-انتراکینون به جای فرایند سودا منجر به کاهش سیلیس موجود در لیکور سیاه خواهد شد (توتوس و همکاران، ۲۰۰۴؛ بهاردواج و همکاران، ۲۰۰۵). همچنین در یکسری از این تحقیقات مشخص شده است که خمیرکاغذهای به‌دست آمده از

1- Monosalicilic Acid

روش‌های حلال آلی نظیر اسید فرمیک، اتیلن گلیکول، دی اتیلن گلیکول و اتانول آمین در مقایسه با روش سودا دارای مقدار سیلیس بیشتری می‌باشند (لام و همکاران، ۲۰۰۴؛ رودریگویز و همکاران، ۲۰۰۵). نتایج استفاده از اسیدفرمیک در تولید خمیرکاغذ از کلش برنج نشانگر درجه بسپارش متوسط سلولز، مقدار لیگنین و پنتوزان کمتر و نیز مقاومت مکانیکی قابل قبول در کاغذهای ساخته شده بود (لام و همکاران، ۲۰۰۱؛ سرور جهان و همکاران، ۲۰۰۶).

به‌علاوه بعضی از محققان اظهار داشته‌اند که استفاده از بعضی روش‌های سیلیس‌زدایی لیکور سیاه نظیر تزریق دی اکسید کربن و آغشته‌سازی با کربنات سدیم نیز منجر به کاهش سیلیس موجود در لیکور سیاه کلش برنج شده است (میرین و همکاران، ۲۰۰۱؛ کولکورانی و همکاران، ۲۰۰۵).

**اهداف تحقیق:** بر اساس مطالعات انجام شده، تاکنون موضوع بررسی تأثیر فرایندهای مختلف خمیرسازی بر روی میزان سیلیس ورودی به لیکور سیاه و نیز میزان نشست سیلیس در خمیرکاغذ به‌صورت همزمان انجام نشده است. بنابراین در این تحقیق سعی بر این است که نقش فرایندهای مختلف خمیرسازی بر میزان سیلیس‌زدایی از لیکور سیاه در فرایندهای متداول خمیرسازی شامل سودا، سودا آنتراکینون و اسید فرمیک مورد بررسی قرار گیرد. همچنین میزان سیلیس موجود در خمیرکاغذ و لیکور سیاه تولید شده در فرایندهای مختلف و با میزان عدد کاپای یکسان نیز ارزیابی شده است.

## مواد و روش‌ها

**تهیه نمونه:** نمونه‌های کلش برنج از نوع *Oryza Sativa var. Indica* از خانواده غلات به‌صورت کاملاً تصادفی در سال زراعی ۸۸ از شالیزارهای شهرستان جویبار در استان مازندران جمع‌آوری گردید. کلش برنج جمع‌آوری شده ابتدا به قطعات ۲-۳ سانتی‌متر تبدیل شده و پس از شستشوی کوتاه با آب دیونیزه شده به‌منظور جداسازی ذرات شن و خاک، در هوای آزاد تا رسیدن به رطوبت محیط نگهداری گردید. برای تهیه خمیرکاغذ از کلش برنج هوا خشک استفاده شد.

**تعیین درصد خاکستر و سیلیس کلش برنج:** برای تعیین درصد خاکستر و سیلیس با استفاده از دستگاه آسیاب آزمایشگاهی پودرهای استاندارد از بخش‌های ساقه، شاخه، گره و پوست تهیه و سپس از پودرهای باقیمانده بر روی غربال با مش ۶۰ به‌عنوان پودرهای مناسب برای تعیین درصد خاکستر براساس استاندارد شماره T211 om-86 آیین‌نامه تاپی<sup>۱</sup> استفاده شد (تاپی، ۲۰۰۶).

1- Technical Association of Pulp and Paper Industries (TAPPI)

تعیین درصد سیلیس: میزان سیلیس موجود در بخش‌های مختلف کلش برنج نظیر ساقه، شاخه، گره و پوست، خمیرکاغذهای تولیدشده و همچنین لیکورسیاه با استفاده از دستگاه طیف‌سنجی نشری اتمی پلاسمای جفت شده القایی<sup>۱</sup> (شکل ۱) از نوع Agilent-Varian استرالیا مدل 735 Series اندازه‌گیری شد. روش آماده‌سازی نمونه‌ها به این صورت است که ابتدا ۰/۵ گرم از نمونه‌های یاد شده را با نسبت ۱ به ۹ ماده تترابورات لیتیم مخلوط، سپس آن‌ها را در درجه حرارت ۹۰۰ درجه سانتی‌گراد ذوب می‌شود و در نهایت در اسید نیتریک غلیظ حل می‌گردد. در ادامه ۰/۵ میلی‌لیتر از محلول را داخل دستگاه مذکور قرار داده می‌شود و سپس از طریق طول موج‌های مختلف ایجاد شده بر فلزهای موجود در ماده اولیه، میزان سیلیس موجود در نمونه، به وسیله دستگاه نشان داده می‌شود.



شکل ۱- دستگاه طیف‌سنجی نشری اتمی پلاسمای جفت شده القایی مورد استفاده در این تحقیق.

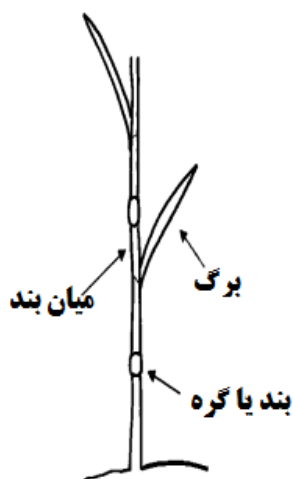
مراحل تهیه خمیرکاغذ: با استفاده از فرایندهای سودا، سودا آنتراکینون و اسید فرمیک برای دستیابی به سه عدد کاپا ۱۵، ۲۵ و ۳۵، پخت‌های متعدد آزمایشگاهی توسط دیگ پخت آزمایشگاهی به گنجایش ۱/۵ لیتر انجام شد. البته لازم به یادآوری است که به دلیل خاصیت خوردگی و نقطه جوش اسید فرمیک در ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد پخت‌های اسیدفرمیک با استفاده از بالن شیشه‌ای ۵۰۰ و ۱۰۰۰ میلی‌لیتری و تحت سیستم رفلاکس انجام شد. در فرایندهای سودا و سودا آنتراکینون، درجه حرارت ماکزیمم پخت ۱۶۰ درجه سانتی‌گراد و نسبت مایع پخت به ماده سلولزی ۱۰ به ۱ بود.

1- Inductively Coupled Plasma Atomic Emission Spectroscopy (ICP-AES)

تجزیه و تحلیل آماری: طرح آماری مورد استفاده در این تحقیق از نوع کاملاً تصادفی می‌باشد. در این طرح نتایج حاصل از همه اندازه‌گیری‌ها به روش همگنی واریانس‌ها با استفاده از آزمون دانکن مورد تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفت و برای این کار از نرم‌افزار آماری SPSS ویرایش ۱۶ استفاده شد.

### نتایج و بحث

مقدار خاکستر کلش برنج: برای تعیین میزان خاکستر موجود در بخش‌های مختلف کلش برنج از پودر آسیاب شده باقیمانده بر روی مش ۶۰ (+۶۰) میان‌بند، گره، خوشه، غلاف یا برگ و کلش برنج (شکل ۱) استفاده گردید که نتایج حاصل از آن در جدول ۱ نشان داده شده است:



شکل ۲- بخش‌های مختلف کلش برنج.

جدول ۱- نتایج حاصل از اندازه‌گیری خاکستر کلش برنج.

بخش‌های مختلف کلش برنج					نوع آنالیز
کلش برنج <sup>۵</sup>	غلاف <sup>۴</sup> یا برگ	خوشه <sup>۳</sup>	گره <sup>۲</sup>	میان‌بند <sup>۱</sup>	
۲۰/۶۸	۲۱/۸	۱۵/۲۳	۲۲/۵	۱۹/۷۹	درصد خاکستر

- 1- Internode
- 2- Node
- 3- Ear
- 4- Sheath
- 5- Whole straw

مقدار سیلیس کلش برنج: برای تعیین میزان سیلیس موجود در بخش‌های مختلف کلش برنج (میان‌بند، گره، خوشه، غلاف یا برگ و کلش برنج از پودر آسیاب شده باقیمانده بر روی مش ۶۰ +۶۰) استفاده گردید. نتایج حاصل در جدول ۲ نشان داده شده است:

جدول ۲- نتایج حاصل از اندازه‌گیری سیلیس کلش برنج.

نوع آنالیز	بخش‌های مختلف کلش برنج			
	میان بند	گره	خوشه	غلاف یا برگ
درصد سیلیس	۱۷/۲۲	۲۱/۹۸	۱۳/۲۵	۲۲
کلش برنج	۱۸/۶۱			

همان‌گونه که ملاحظه می‌گردد خاکستر و سیلیس در بخش‌های مختلف کلش برنج پراکنده‌اند و بخش‌های غنی از خاکستر دارای درصد سیلیس بیشتری می‌باشند.

نتایج پخت‌های آزمایشگاهی: نتایج پخت‌های آزمایشگاهی برای دستیابی به اعداد کاپای ۲۵، ۳۵ و ۱۵ توسط فرایندهای سودا، سودا آنتراکینون و اسید فرمیک در جدول زیر آمده است.

جدول ۳- نتایج پخت‌های کلش برنج تحت فرایند سودا.

بازده (درصد)	عدد کاپا	ویژگی‌های خمیر کاغذ	
		زمان پخت (دقیقه)	درصد ماده شیمیایی برمبنای NaOH (بر اساس وزن خشک کلش برنج)
۶۷/۵	۴۲	۲۰	۸
۶۵	۳۵/۶	۲۰	۹
۶۲/۵	۳۳	۲۰	۱۰
۵۷/۵	۲۵	۲۰	۱۴
۴۷/۵	۱۹	۲۰	۱۶
۴۶/۲	۱۶	۲۰	۱۸
۴۵/۸	۱۵	۲۰	۱۹
۴۴/۸	۱۲/۳	۲۰	۲۰

جدول ۴- نتایج پخت‌های کلش برنج تحت فرایند سوداآنتراکینون.

بازده (درصد)	عدد کاپا	ویژگی‌های خمیر کاغذ	
		زمان پخت (دقیقه)	درصد ماده شیمیایی برمبنای NaOH (بر اساس وزن خشک کلش برنج)
۶۸/۷	۴۰	۲۰	۸
۵۰/۵	۳۴/۵	۲۰	۱۰
۴۷/۵	۲۵/۶	۳۰	۱۲
۴۷/۵	۱۵	۲۰	۱۸

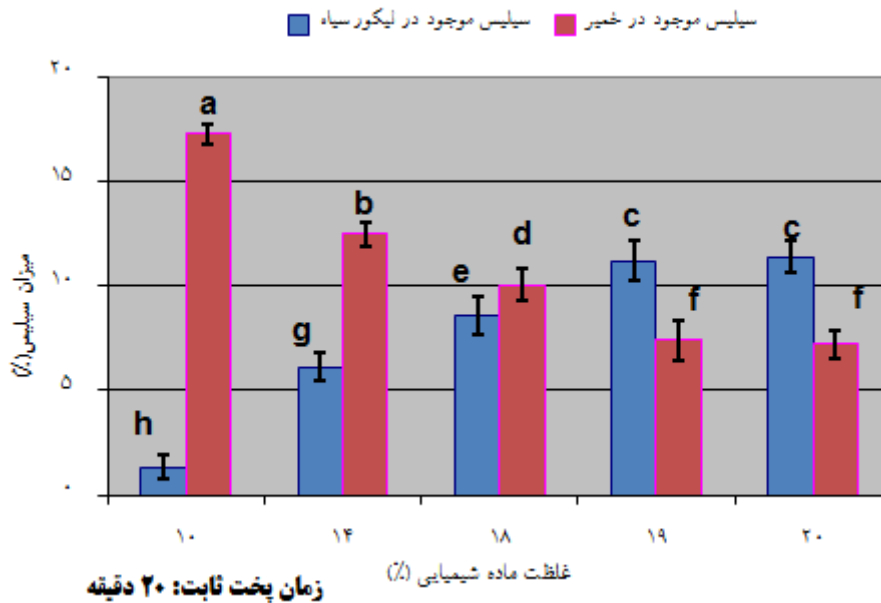
جدول ۵- نتایج پخت‌های کلش برنج تحت فرایند اسید فرمیک.

بازده خمیر کاغذ (درصد)	عدد کاپا	مشخصات خمیر کاغذ	
		زمان پخت (دقیقه)	نسبت حجمی اسید فرمیک در آب (درصد)
۴۷/۸	۵۰	۶۰	۹۰
۴۶/۹۴	۴۲	۹۰	۹۰
۴۵/۱۳	۳۵	۱۲۰	۹۰
۴۴/۵۸	۳۴	۱۵۰	۹۰
۴۶/۷	۵۵	۳۰	۹۵
۴۴/۶۶	۳۳	۱۲۰	۹۵
۴۳/۵۷	۲۵	۱۵۰	۹۵
۴۰/۴۵	۱۵	۱۵۰	۹۸

### سیلیس زدایی

تأثیر شرایط مختلف پخت در فرایند سودا بر میزان سیلیس باقیمانده در خمیر کاغذ و محلول در لیکور سیاه: جدول ۳ شرایط مختلف پخت سودای کلش برنج را نشان می‌دهد. بر اساس این جدول و شرایط اعلام شده شامل زمان ثابت پخت و درصدهای مختلف قلیای فعال، میزان سیلیس باقی مانده در خمیر کاغذ و سیلیس موجود در لیکور سیاه به صورت درصدی از سیلیس اولیه، مطابق شکل زیر تعیین شد.

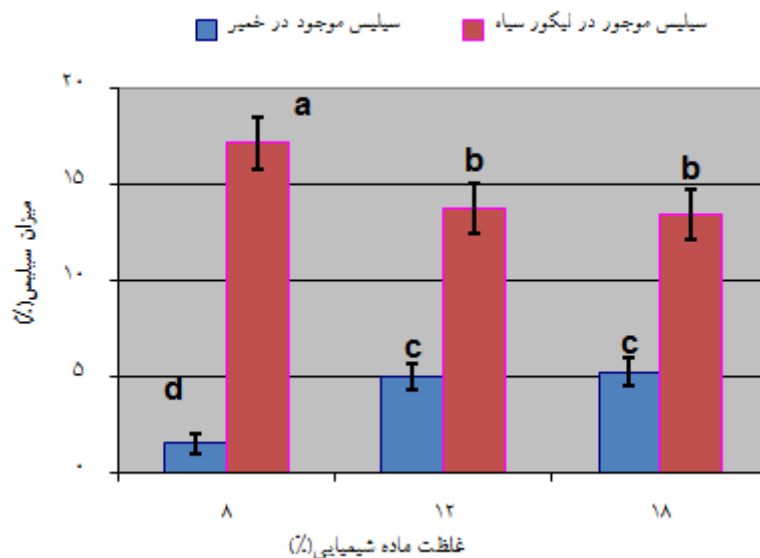




شکل ۳- میزان سیلیس موجود در خمیر و لیکور سیاه در درصدهای مختلف سود سوزآور در فرایند سودا.

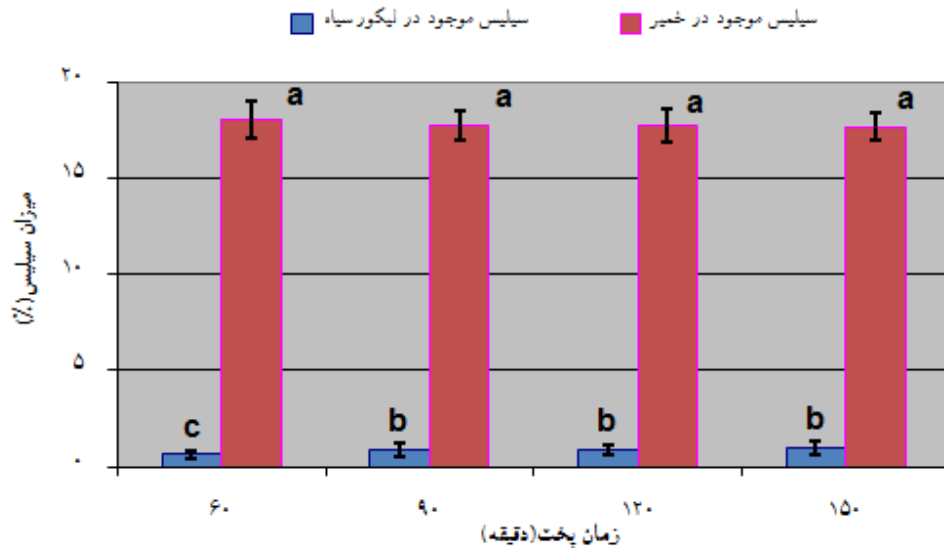
همان طوری که در شکل ۳ مشخص است با افزایش غلظت ماده شیمیایی در فرایند سودا میزان سیلیس موجود در خمیر کاغذ از ۱۷ درصد به ۷ درصد کاهش یافته و برعکس میزان سیلیس لیکور سیاه از ۱ درصد به ۱۱/۵ درصد افزایش می یابد. به طوری که تفاوت های موجود کاملاً معنی دار است. دلیل اصلی این موضوع را می توان احتمالاً به تشکیل انواع یون های سیلیکات مانند  $SiO_4^{4-}$ ،  $SiO_3^{2-}$ ،  $Si_2O_7^{6-}$  و  $Si_2O_6^{4-}$  در سیستم پخت اشباع از مایع پخت و در ادامه انحلال آن ها در طول فرایند پخت و ورود به لیکور سیاه دانست (بهاردواج و همکاران، ۲۰۰۵).

تأثیر شرایط مختلف پخت در فرایند سودا- آنتراکینون بر میزان سیلیس باقی مانده در خمیر و محلول در لیکور سیاه: جدول ۴ شرایط مختلف پخت سودا- آنتراکینون کلش برنج را نشان می دهد. بر اساس این جدول و شرایط اعلام شده شامل زمان های مختلف پخت و درصدهای مختلف اسید، میزان سیلیس باقی مانده در خمیر و سیلیس موجود در لیکور سیاه به صورت درصدی از سیلیس اولیه به صورت شکل ۴ ارایه شده است.



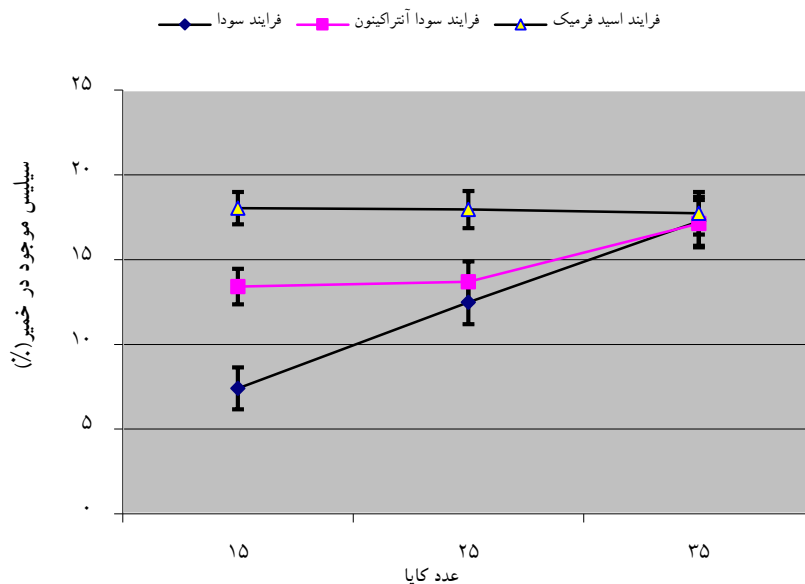
شکل ۴- میزان سیلیس موجود در خمیر کاغذ و لیکور سیاه در شرایط پخت متفاوت در فرایند سودا- انتراکینون (زمان پخت ۲۰ دقیقه در نظر گرفته شده است به غیر از غلظت ۱۲ درصد که در زمان ۳۰ دقیقه اندازه‌گیری شده است).

همانطوری که در شکل ۴ ملاحظه می‌شود، به دلیل حضور آنتراکینون میزان سیلیس موجود در لیکور سیاه نسبت به فرایند سودا، به میزان قابل ملاحظه‌ای کاهش یافته و در خمیر کاغذ باقی مانده است. به عبارت بهتر می‌توان عنوان کرد که وجود آنتراکینون در فرایند پخت باعث پایدار شدن انواع یون‌های حاوی سیلیکات شده و در نتیجه طی فرایند پخت در ماده شیمیایی پخت حل نمی‌شود. تأثیر شرایط مختلف پخت در فرایند اسید فرمیک بر میزان سیلیس باقی مانده در خمیر کاغذ و محلول در لیکور سیاه: جدول ۵ شرایط مختلف پخت حلال آلی اسید فرمیک کلش برنج را نشان می‌دهد. بر اساس این جدول و شرایط اعلام شده شامل زمان‌های مختلف پخت و درصدهای مختلف اسید، میزان سیلیس باقی مانده در خمیر و سیلیس موجود در لیکور سیاه به صورت درصدی از سیلیس اولیه به صورت شکل ۵ ارائه شده است.



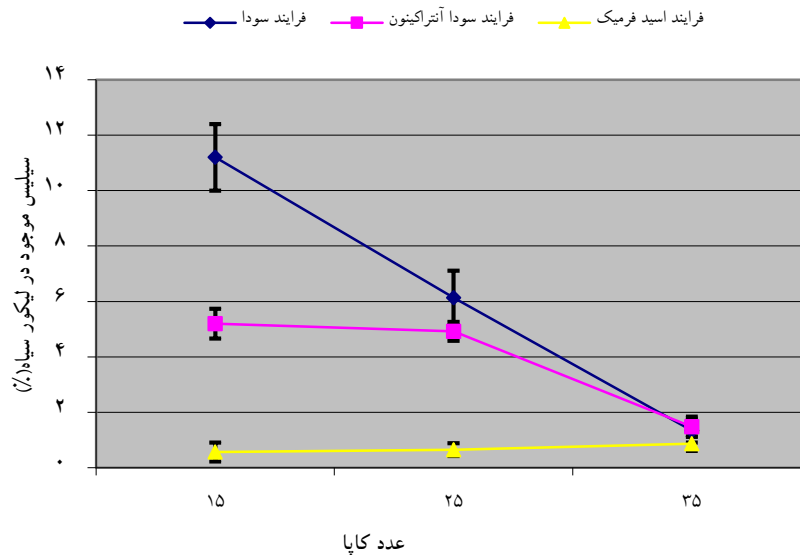
شکل ۵- میزان سیلیس موجود در خمیرکاغذ و لیکور سیاه در شرایط پخت متفاوت در فرایند اسید فرمیک (تمامی شرایط در نسبت حجمی اسید فرمیک به آب ۹۰ درصد اندازه گیری شده است به غیر از زمان پخت ۱۵۰ دقیقه که نسبت حجمی اسید فرمیک به آب ۹۵ درصد بوده است).

بر اساس شکل ۵ می توان دریافت که اسید فرمیک به دلیل دارا بودن قدرت اسیدی ضعیف قادر به انحلال پیوند قطبی  $\text{SiO}_2$  نخواهد بود و به همین دلیل بیش از ۹۵ درصد سیلیس در خمیرکاغذ تولیدی باقی مانده و به یون های سیلیکات قابل حل در مواد شیمیایی پخت تبدیل نخواهد شد و در نتیجه تنها درصد اندکی وارد لیکور سیاه پخت خواهد شد. این اختلاف از نظر آماری نیز کاملاً معنی دار می باشد. تأثیر نوع فرایند خمیرسازی بر میزان سیلیس باقی مانده در خمیرکاغذ و محلول در لیکور سیاه: به این منظور خمیرکاغذهای تولید شده در فرایندهای سودا، سودا- انتراکینون و اسید فرمیک در اعداد کاپای ۳۵، ۲۵ و ۱۵ مورد بررسی قرار گرفتند. میزان سیلیس موجود در خمیرکاغذهای مزبور در شکل ۶ نشان داده شده است.



شکل ۶- میزان سیلیس موجود در خمیر کاغذ در فرایندهای سودا، سودا-آنتراکینون و اسید فرمیک در اعداد کاپای ۱۵، ۲۵ و ۳۵.

همان‌طوری که ملاحظه می‌شود فرایندهای قلیایی نظیر سودا و سودا-آنتراکینون به دلیل حضور هیدروکسید سدیم و قابلیت آن در تجزیه به یون‌های  $\text{Na}^+$  و  $\text{OH}^-$  پیوند قطبی  $\text{SiO}_2$  را تحت تأثیر قرار داده و منجر به شکست بعضی از پیوندهای آن گردیده است. با کاهش عدد کاپا و در نتیجه افزایش غلظت ماده شیمیایی تعداد پیوندهای بیشتری به دلیل قدرت بسیار زیاد ماده شیمیایی گسسته شده و در طول فرایند پخت در ماده شیمیایی حل می‌گردند. به همان نسبت این امر، باعث کاهش سیلیس موجود در خمیر کاغذ و افزایش میزان آن در لیکور سیاه می‌گردد. تفاوت فرایند سودا-آنتراکینون با فرایند سودا، حضور آنتراکینون است که احتمالاً موجب ثبات نسبی پیوندهای  $\text{SiO}_2$  می‌شود. در نتیجه مقدار بیشتری از این ماده در خمیر کاغذ باقی می‌ماند بهارداواج و همکاران، (۲۰۰۵). این موضوع در مورد اسید فرمیک کاملاً متفاوت است و خمیر کاغذ حاصل از این پخت دارای بیشترین مقدار سیلیس می‌باشد. دلیل اصلی این موضوع، قدرت اسیدی بسیار کم اسید فرمیک در تجزیه پیوندهای قطبی و قوی  $\text{SiO}_2$  می‌باشد و در نتیجه سیلیس بیشتری بدون هیچ‌گونه تغییری در ماده اولیه باقی می‌ماند و وارد لیکور سیاه نمی‌شود.



شکل ۷- میزان سیلیس موجود در لیکور سیاه در فرایندهای سودا، سودا-اتراکتینون و اسید فرمیک در اعداد کاپای ۱۵، ۲۵ و ۳۵.

همان‌طوری که در شکل ۷ مشخص است با افزایش عدد کاپا از ۱۵ به ۳۵ میزان سیلیس موجود در لیکور سیاه در فرایند سودا و سودا-اتراکتینون کاهش یافته در حالی که میزان سیلیس موجود در لیکور سیاه اسید فرمیک افزایش می‌یابد. این مشاهدات تأییدکننده نتایج حاصل از بررسی میزان سیلیس در خمیرکاغذ حاصل از روش‌های پخت یاد شده می‌باشد. دلایل آن با موارد ذکر شده کاملاً مطابقت دارد. این مشاهدات موید نتایج به‌دست آمده در مطالعه بهار دواج و همکاران (۲۰۰۵) می‌باشد.

### نتیجه‌گیری نهایی

این پژوهش به‌منظور بررسی تأثیر نوع فرایند خمیرسازی بر روی میزان سیلیس‌زدایی از کلس برنج انجام شده است. نظر به تولید مقدار قابل توجهی از کلس برنج در نقاط مختلف جهان و از جمله کشور ایران (به‌عنوان مثال تولید حدود ۱/۵ میلیون تن در استان مازندران (جعفری پطرودی، ۲۰۱۱)) این ماده می‌تواند به‌عنوان جایگزین مناسبی برای منابع چوبی در صنایع خمیرکاغذ باشد. در این میان عامل اصلی و محدودکننده استفاده از این منبع، وجود سیلیس می‌باشد.

- نتایج این بررسی نشان داد که خمیرکاغذ تولید شده از فرایند اسید فرمیک و سودا انتراکینون دارای بیشترین مقدار سیلیس نسبت به فرایند سودا می‌باشد و مشکلات فرایندی ناشی از حضور سیلیس در آن‌ها کمتر می‌باشد. بنابراین با استفاده از نتایج این تحقیق می‌توان عنوان کرد که:
- بازیابی مواد شیمیایی و انرژی لیکور سیاه کلش برنج در فرایندهای سودا-انتراکینون و اسید فرمیک بر عکس فرایند سودا ساده‌تر خواهد بود.
  - خمیرسازی با روش اسید فرمیک می‌تواند جایگزین مناسبی برای خمیرسازی به روش‌های قلیایی شود.
  - مشکلات زیست‌محیطی ناشی از خمیرسازی به روش قلیایی در صورت استفاده از خمیرسازی به روش اسید فرمیک به حداقل خواهد رسید.
  - ایجاد واحدهای کوچک تولیدی خمیرکاغذ از کلش برنج با استفاده از فرایندهای اسید فرمیک و سودا انتراکینون کاملاً اقتصادی خواهد بود.

#### منابع

1. Bhardwaj, N.K., Goyal, S.K., Ajay, G., Upadhyaya, J.S., and Ray, A.K. 2005. Soda and soda- anthraquinone pulping of rice straw. APPITA Journal, 58(3): 180-185.
2. Djafari Petroudy, S.R. 2011. Rice straw capabilities as an important raw material for papermaking industries. Presented at the conference on agricultural and natural resources residues: challenges and opportunities. Rasht, Iran. (In Persian)
2. Food and Agriculture Organization (FAO) of the United Nations (UN). <http://www.fao.org/forestry/industries/en/>.
3. Hedjazi, S., Kordsachia, O., Jahan Latibari, A., and Tschirner, U. 2009. Alkaline sulphite/anthraquinone (AS/AQ) pulping of rice straw and TCF bleaching of pulps. APPITA Journal, 62(2): 137-145.
4. Inglesby, M.K., Wood, D.F., and Gray, G.M. 2006. Effect of chemical fractionation treatments on silicon dioxide content and distribution in *Oryza sativa*. Pp: 192-212, In: Stokke, D.D., Groom, L.H. Characterization of cellulosic cell wall. Blackwell Publishing Ltd.
5. Kadam, L.K., Loyd, H.F., and Jacobson, A.W. 2000. Rice straw as a lignocellulosic resource: collection, processing, transportation and environmental aspects. Biomass and Bioenergy, 18(2000): 369-389.
6. Kulkarni, A.G., Mathur, R.M., and Dixit, A.K. 2005. Desilication of wheat straw black liquor. APPITA Journal, 59(1): 615-621.

- 7.Lam, H.Q., Bigot, Y.L., Delmas, M., and Avignon, G. 2001. Formic acid pulping of rice straw. *Industrial Crops and Products*, 14: 65-71.
- 8.Lam, H.Q., Bigot, Y.L., Denis, G., Thao, V.H., and Delmas, M. 2005. Location and composition of silicon derivatives in rice straw pulp obtained by organic acid pulping. *APPITA Journal*, 58(3): 214-217.
- 9.Jihad-E- Agriculture Organization of Mazandaran. Unpublished data. 2010.
- 10.Myreen, B. 2001. A new approach to the nonwood black liquor problem. Proceeding from the 2001 TAPPI pulping conference.
- 11.Rodriguez, A., Moral, A., Serrano, L., Labidi, J., and Jimenez, L. 2008. Rice straw pulp obtained by using various method. *Bioresource Technology*, 99: 2881-2886.
- 12.Sarwar Jahan, M. 2006. Formic Acid Pulping of Bagasse. *Bangladesh Journal of Scientific and Industrial Research*, 41(3-4): 245-250.
- 13.TAPPI Standard Test Methods. 2006. TAPPI Press, Atlanta.
- 14.Tutus, A., Deniz, I., and Eroglu, H. 2004. Rice straw pulping with oxide added soda– oxygen- anthraquinone. *Pakistan Journal of Biological Sciences*, 7(8): 1350-1354.



Gorgan University of Agricultural  
Sciences and Natural Resources

*J. of Wood & Forest Science and Technology, Vol. 22 (1), 2015*

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

## **The effect of type pulping process on the desilication of rice straw black liquor**

**\*S.R. Jafari Petroudy<sup>1</sup>, H. Resalati<sup>2</sup> and E. Rasouli Garmaroudi<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Assistant Prof., Dept., of Cellulose and Paper Technology, Faculty of Energy and New Technologies Engineering, Zirab Scientific and Research Campus, Shahid Beheshti University, <sup>2</sup>Professor, Dept., of Science and Wood and Paper Industry, Faculty Natural Resource, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, IRAN,  
Received: 10/5/2012 ; Accepted: 12/28/2014

### **Abstract**

Rice straw in the countries without adequate woody lignocellulosic materials can be used as one of the suitable raw materials for the production of chemical pulp. But silica present in the straw causes limitations for its use in this industry and adversely affects sections such as: the raw material preparation, digester, chemical recovery system, recausticizing and paper machine as well as recovery of sodium and energy. In this study, the effect of different pulping process such as soda, soda-AQ and formic acid on the desilication of rice straw black liquor at three kappa number 15, 25 and 35 has been studied. The results have shown that in soda pulping process with increasing of chemical charge and consequently kappa number decreasing from 35 to 15 led to reduction of silica deposition in the pulp from 17.3 to 7.4 percent while silica content in black liquor increased from 1.34 to 11.2 percent. The amount of silica in soda-AQ black liquor pulping was lower in comparison with soda pulping process in about 115%. The results in formic acid pulping were significantly different from mentioned conventional pulping and it indicated that silica content of pulp is increased with decreasing of kappa number from 35 to 15. So that pulp silica content at kappa number 15 was 18%. Therefore in the case of using soda-AQ and formic acid pulping of rice straw not only significant reduction of silica in the black liquor may be obtained but also production of chemical pulp without any environmental problems can more be economical.

**Keywords:** Rice straw, Silica, Black liquor, Soda-AQ, formic acid

---

\*Corresponding author: [sr\\_jafari@sbu.ac.ir](mailto:sr_jafari@sbu.ac.ir)