

## ارزیابی ویژگی‌های خمیر کاغذ تولید شده از کلش برنج بوسیده فرآیندهای ترکیبی مونواتانول آمین و سولفیت پتاسیم

### چکیده

در این تحقیق از مونواتانول آمین با غلظت ۱۵ درصد به همراه افزودنی سولفیت-پتاسیم در ۴ سطح و پخت سولفیت پتاسیم با قلیائیت ۱۴ درصد به همراه افزودنی مونواتانول آمین در ۴ سطح به عنوان مایع پخت جهت خمیر کاغذسازی از کلش برنج مورد استفاده قرار گرفته اند. سولفیت پتاسیم/هیدروکسید پتاسیم و سولفیت سدیم/هیدروکسید سدیم در نسبت‌های ۵۰/۵۰ درصد و تیمار سولفیت سدیم در قلیائیت ۱۴ درصد به عنوان تیمارهای شاهد انتخاب گردیدند. بر اساس نتایج بدست آمده خمیر کاغذ تولید شده با مونواتانول آمین (۱۵ درصد) دارای بیشترین بازده کل و بیشترین عدد کاپا می‌باشد. با استفاده از سولفیت پتاسیم به عنوان عامل افزودنی در پخت‌های مونواتانول آمین مقدار وازده، بازده کل و عدد کاپا کاهش می‌یابد به طوری- که کم‌ترین بازده و کم‌ترین عدد کاپا مربوط به تیمار مونواتانول آمین (۱۵ درصد) در ترکیب با سولفیت پتاسیم (۴۰ درصد) می‌باشد. در تیمار سولفیت پتاسیم (۱۴ درصد) مشاهده شد که با افزایش غلظت مونواتانول آمین به عنوان عامل افزودنی میزان بازده کل افزایش و میزان وازده و عدد کاپا کاهش می‌یابد. بیشترین شاخص کشش مربوط به تیمار مونواتانول آمین (۱۵ درصد) در ترکیب با سولفیت پتاسیم (۱۰ درصد) و بیشترین شاخص ترکیدن مربوط به تیمار سولفیت پتاسیم (۱۴ درصد) در ترکیب با مونواتانول آمین (۲۰ درصد) می‌باشد. با توجه به نتایج ویژگی‌های نوری مشخص شد که بیش‌ترین میزان درجه‌روشنی مربوط به سولفیت پتاسیم (۱۴ درصد) در ترکیب با مونواتانول آمین (۲۰ درصد) و بیشترین میزان ماتی مربوط به مونواتانول آمین ۱۵ درصد می‌باشد. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که فرآیند مونواتانول آمین در ترکیب با سولفیت پتاسیم می‌تواند به صورت موفقیت‌آمیزی بر روی کلش برنج اجرا شود و ویژگی‌های خمیر کاغذهای تولیدی به ویژه از نظر مقاومت‌های مکانیکی در حالت ترکیبی برتر از فرآیند سودا و فرایند هیدروکسید پتاسیم به تنهایی می‌باشند. همچنین کاربرد فرآیندهای ترکیبی برای خمیر کاغذسازی از کلش برنج می‌تواند امکان استفاده از مایع پخت باقیمانده را به عنوان کود آلی فراهم آورد، مایعی که بازیابی آن چالش برانگیز به نظر می‌رسد.

**واژگان کلیدی:** خمیر کاغذ، سولفیت پتاسیم، عدد کاپا، کلش برنج، مونواتانول آمین.

مقدسه اکبری امری<sup>۱</sup>  
سحاب حجازی<sup>۲\*</sup>  
محمد احمدی<sup>۳</sup>

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

<sup>۲</sup> دانشیار گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران

<sup>۳</sup> استادیار گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشگاه محقق اردبیلی، ایران

مسئول مکاتبات:

[shedjazi@ut.ac.ir](mailto:shedjazi@ut.ac.ir)

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۲/۱۹

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۸/۲۹

## مقدمه

فرآیند خمیر کاغذسازی سودا که فرآیند غالب برای خمیر کاغذسازی از پسماندهای لیگنوسولوزی کشاورزی است، با مشکلات جدی مواجه است [۳]. مایع پخت به شدت قلیایی این فرآیند، کربوهیدرات‌ها را به میزان زیادی حل می‌کند که به کاهش قابل ملاحظه بازده خمیر کاغذ و ویژگی‌های مقاومتی آن می‌گردد. هیدروکسید سدیم دارای توانائی واکنش با ساختارهای لیگنینی مشخصی می‌باشد که این به معنای میزان لیگنین باقیمانده بیشتری در خمیر کاغذ است. اکثر پسماندهای لیگنوسولوزی کشاورزی دارای مقدار زیادی سیلیس هستند که در مایع پخت قوی قلیایی فرآیند سودا حل شده و در نتیجه مشکلات جدی در تبخیرکننده‌ها، بویلرهای بازیابی و در واحد سودسازی ایجاد می‌کند. به همین دلیل است که کارخانه‌های بر مبنای فرآیند سودا فاقد سیستم بازیابی مواد شیمیایی می‌باشد [۳].

استفاده از فرآیندهای حلال آلی دارای مزیت‌هایی چون، کاهش هزینه‌های تولید، مصرف کمتر آب، انرژی و مواد شیمیایی نسبت به فرآیندهای سنتی، تولید خمیر کاغذهایی با ویژگی‌های تقریباً هم سطح اما با بازده زیادتر، درجه روشنی بیشتر، رنگبری و پالایش آسان‌تر، قدرت آلودگی کمتر و سهولت فرآوری پساب حاصل از رنگبری می‌باشد. تاکنون فرآیندهای حلال آلی متنوعی نظیر آلسل، استوسلو، استوسل، فرماسل، استر، ارگانوسل و میلوکس بر روی گونه‌های چوبی و غیرچوبی مختلفی مورد آزمایش قرار گرفته‌اند. اما اغلب به علت دارا بودن شرایط اسیدی موجب خوردگی شدید تجهیزات و همچنین کیفیت غیر قابل رقابت خمیر کاغذ از نظر ویژگی‌های مقاومتی با فرآیندهای سنتی قلیایی شده‌اند. حلال آلی قلیایی مونواتانول‌آمین (MEA) می‌تواند به عنوان یکی از مشتقات آمونیاک که در آن اتم هیدروژن با یک گروه اتیل الکل جایگزین شده است یا به صورت فرآورده افزایشی آمونیاک به اکسید اتیلن در نظر گرفته شود. مونواتانول-آمین به علت گروه آمینی بازی و گروه هیدروکسی که دارد هم به صورت آمین و هم به صورت الکل عمل می‌نماید. به علت دارا بودن گروه آمینی به صورت قلیا و باز قوی (pH برابر با ۱۳/۸) و یک عامل کاهنده عمل می‌کند

محدودیت سطح جنگل‌های تجاری و وابستگی تولید کاغذ و مواد چند سازه چوبی به منابع جنگلی، باعث ایجاد نگرانی‌های جدی در زمینه تأمین چوب مورد نیاز صنایع چوب و همچنین اثرات منفی زیست محیطی ناشی از کاهش سطح جنگل‌ها شده است [۱]. یکی از راه‌کارهای جلوگیری از تخریب جنگل‌ها و رفع کمبود منابع چوبی، استفاده گسترده از منابع لیگنوسولوزی غیرچوبی نظیر ضایعات کشاورزی و گیاهان غیرچوبی می‌باشد که به مقدار نسبتاً فراوان در کشور وجود دارند و هزینه تأمین آن‌ها نیز ناچیز است.

در صورت استفاده بهینه از پسماندهای لیگنوسولوزی کشاورزی، به عنوان منابعی تجدیدشونده، در صنعت چوب و کاغذ می‌توان مانع تخریب بی‌رویه جنگل‌ها شد و از طرف دیگر به دلیل کوتاه بودن دوره رشد این منابع، تا حد زیادی می‌توان نیازهای فیبری صنعت چوب و کاغذ را تأمین کرد [۱]. کاه و کلش غلات قرن‌هاست که به‌عنوان یک منبع فیبری در کاغذسازی به‌کار می‌رود. خمیر کاغذهای رنگ‌بری نشده کاه برای لایه‌های میانی کنگره‌ای، مقواها و مقاصد بسته‌بندی و خمیر کاغذهای رنگ‌بری شده کاه برای تولید کاغذهای چاپ و تحریر مصرف می‌شوند [۲].

از جمله مهم‌ترین پسماندهای کشاورزی در ایران، کلش برنج است. کلش برنج حاوی ۳۵/۵ - ۲۵/۴ درصد سلولز، ۳۷/۱ - ۳۲/۳ درصد همی‌سلولزها و ۱۰/۴ - ۶/۴ درصد لیگنین است. در کشور ما سالیانه حدود ۲/۵ میلیون تن شلتوک و حدود ۳ میلیون تن کلش برنج در مزارع بر جای می‌ماند که به دلیل ارزش غذایی اندک برای تغذیه دام چندان مورد توجه قرار نگرفته و برای دفع آن، در حاشیه مزارع سوزانده و منجر به آلودگی‌های شدید محیط زیستی و بیماری‌های تنفسی جوامع انسانی مجاور مناطق مورد کشت برنج می‌شود. این در حالی است که کاربردهای متعدد صنعتی کلش برنج سبب شده که به عنوان ماده خام ارزشمندی تلقی شود؛ بنابراین این ماده می‌تواند به عنوان یک جایگزین قوی برای چوب در تولید خمیر کاغذ مورد استفاده قرار گیرد [۳].

خاکستر و سیلیس را دارا می باشد [۳] به نحوی که تولید خمیر کاغذ با فرآیندهای رایج خمیرکاغذسازی از کلش برنج عملاً در مقیاس صنعتی را غیر اقتصادی نموده است، لذا در این تحقیق سعی بر این است که با معرفی فرآیندهای ترکیبی ضمن تولید خمیر کاغذ با کیفیت از کلش برنج با نیاز حداقلی به سیستم بازیابی و یا بدون نیاز به سیستم بازیابی، امکان استفاده بهینه از این پسماند لیگنوسولوزی کشاورزی مهم و مایع پخت آن به شکل کود آلی را فراهم نمود.

## مواد و روش‌ها

### مواد

نمونه‌های برنج مورد آزمایش از مزارع استان گیلان تهیه شد. کلش برنج جهت انجام آزمایش‌ها و عملیات پخت به قطعاتی به طول پنج تا هفت سانتیمتر تبدیل شدند. قطعات برش داده شده و برای رسیدن به رطوبت تعادل در محیط آزمایشگاه قرار داده شدند. نمونه‌ها پس از رسیدن به رطوبت تعادل جهت جلوگیری از تبادل رطوبتی و تغییر میزان رطوبت داخل کیسه‌های پلاستیکی بسته بندی شدند. درصد رطوبت نمونه‌های داخل کیسه‌ها تعیین و برای پخت‌ها اعمال شد. موناتانول آمین از شرکت پتروشیمی شازند اراک و در ظروف در بسته و تیره رنگ در حدود ۵۰ لیتر تهیه گردید و تحت شرایط ایزوله به آزمایشگاه منتقل گردید.

### روش‌ها

#### آماده‌سازی خمیر کاغذ

در این تحقیق پخت موناتانول آمین (MEA) با غلظت ۱۵ درصد به همراه افزودنی سولفیت پتاسیم در ۴ نسبت ۵، ۱۰، ۲۰، ۳۰ و ۴۰ درصد و پخت سولفیت پتاسیم با قلیائیت ۱۴ درصد به همراه افزودنی موناتانول آمین در ۴ غلظت ۱۰، ۲۰، ۳۰ و ۴۰ درصد نسبت به وزن خشک کلش برنج به عنوان مایع پخت جهت خمیر کاغذسازی استفاده شده است. همچنین در تیمارهای جداگانه‌ای ترکیب سولفیت پتاسیم/هیدروکسید پتاسیم و سولفیت سدیم/هیدروکسید سدیم در نسبت‌های ۵۰/۵۰ درصد و همچنین تیمار سولفیت سدیم در قلیائیت ۱۴

[۳]. با توجه به تولید داخلی این حلال در مجتمع های پتروشیمی در مقایسه با ترکیبات متداول قیمت تمام شده کمتری دارد. جهت بهبود لیگنین زدایی، موناتانول آمین (MEA) می‌تواند به تنهایی، به عنوان افزودنی به مایع پخت یا به صورت یک مرحله جداگانه و به عنوان پیش تیمار در فرآیندهای متداول خمیرکاغذسازی و یا به صورت مخلوط با مواد شیمیایی به غیر از مواد شیمیایی متداول خمیرکاغذسازی مورد استفاده قرار گیرد. در فرآیندهای خمیرکاغذسازی قلیایی که در آنها موناتانول- آمین به عنوان ماده افزودنی بکار می‌رود، لیگنین زدایی بر مبنای اثر متقابل بین قلیا و موناتانول آمین و چوب به‌وقوع می‌پیوندد. یکی از مهم‌ترین ویژگی‌های خمیرکاغذسازی موناتانول آمین حفظ همی سلولزهاست که منجر به بازده بالای خمیر کاغذ می‌شود [۴]. همچنین از دیگر مزیت‌های خمیرکاغذسازی موناتانول آمین از پسماندهای لیگنوسولوزی کشاورزی بازیابی موناتانول آمین به طور مستقیم است. بعد از تقطیر موناتانول آمین، مواد آلی باقی مانده می‌توانند به عنوان ماده خام مواد شیمیایی یا به عنوان کودهای آلی حاوی نیتروژن مورد استفاده قرار گیرند [۵]. در فرآیند سودا با افزودن موناتانول آمین همزمان با لیگنین زدایی، گزینش پذیری نیز افزایش می‌یابد. افزودن موناتانول آمین موجب کاهش میزان قلیای مصرفی و همین‌طور اعمال شرایط پخت ملایم می‌شود. خمیرکاغذهای سودا- آمین بازده و گرانبوی‌های بیشتری را دارا می‌باشند. در مقایسه با خمیرکاغذ کرافت، خمیرکاغذهای سودا- آمین، مقاومت به پارگی بیش تر ولی مقاومت به ترکیدگی و مقاومت به کشش کمتری دارد [۵].

به نظر می‌آید که استفاده از موناتانول آمین به همراه ترکیبات شیمیایی حاوی پتاسیم مانند هیدروکسید پتاسیم (KOH) و/یا سولفیت پتاسیم ( $K_2SO_3$ ) در قالب فرآیندهای MEA/KOH و MEA/ $K_2SO_3$  جهت لیگنین زدایی از پسماندهای لیگنوسولوزی کشاورزی این امکان را فراهم آورد که بدون نیاز به بازیابی مایع پخت باقیمانده بتوان مایع پخت را به پودر تبدیل نموده و به عنوان کود آلی حاوی نیتروژن، پتاسیم و گوگرد در بخش کشاورزی مورد استفاده قرار داد. با توجه به اینکه در بین پسماندهای لیگنوسولوزی کشاورزی کلش برنج بیشترین میزان

## اندازه گیری ویژگی‌های مکانیکی و نوری خمیر کاغذها

شاخص مقاومت به کشش، طبق استاندارد تاپی و آئین‌نامه شماره ۹۶-۴۹۴ om T با استفاده از دستگاه آزمون کشش که قادر است بر روی یک نمونه کاغذ با اندازه استاندارد (طول ۱۵ cm و پهنا ۱۵ mm) مقدار مقاومت در برابر کشش را تعیین کند، اندازه‌گیری شد. اندازه‌گیری شاخص مقاومت به ترکیدگی مطابق استاندارد شماره ۹۱-۴۰۳ om T آئین‌نامه تاپی انجام شد. جهت اندازه‌گیری درجه روشنی و ماتی از دستگاه Micro TB-IC استفاده شد. این دستگاه یک سیستم نوری کروی تلفیقی را به کار می‌برد که توسط استاندارد ISO ۲۴۶۹ تعریف شده است.

## نتایج و بحث

### ویژگی‌های خمیر کاغذ حاصل از پخت های مونواتانول آمین و سولفیت پتاسیم به عنوان عامل افزودنی

همان‌طور که در جدول ۱ مشاهده می‌شود خمیر کاغذ حاصل از مونواتانول آمین ۱۵ درصد بدون سولفیت پتاسیم دارای بیش‌ترین میزان بازده کل، وازده و عدد کاپا می‌باشد و بعد از آن خمیر کاغذهای مونواتانول آمین حاوی ۵، ۱۰، ۲۰، ۳۰ و ۴۰ درصد سولفیت پتاسیم قرار دارند. بر این اساس با افزایش میزان سولفیت پتاسیم میزان بازده کل، وازده و عدد کاپا کاهش می‌یابد. در نتیجه با توجه به حفظ همی سلولزها توسط مونواتانول آمین، بیشترین بازده (۶۱/۲۶ درصد) مربوط به خمیر کاغذ حاوی مونواتانول آمین ۱۵ درصد و کم‌ترین میزان (۵۷/۱۶ درصد) مربوط به مونواتانول آمین ۱۵ درصد و سولفیت پتاسیم ۴۰ درصد می‌باشد. به دلیل افزایش گزینش پذیری با مونواتانول آمین نسبت به لیگنین، مقدار لیگنین زدایی با این ماده بسیار بالاست و از طرفی افزودن سولفیت پتاسیم، فرایند لیگنین-زدایی را تسهیل داده و عدد کاپا کاهش می‌یابد. بیشترین مقدار عدد کاپا (۳۶/۹۸) در خمیر منتخب مونواتانول آمین ۱۵ درصد و کم‌ترین مقدار (۸/۷۵) مربوط به تیمار مونواتانول آمین ۱۵ درصد و سولفیت پتاسیم ۴۰ درصد می‌باشد. افزودن فقط ۵ درصد سولفیت پتاسیم به پخت

درصد به عنوان تیمار شاهد جهت پخت استفاده گردیدند. در این تحقیق برای تمام تیمارها زمان پخت ثابت ۹۰ دقیقه و دمای ثابت ۱۶۰ درجه سانتی گراد در نظر گرفته شد. مقدار کلش برنج برای هر پخت ۵۰ گرم بر مبنای وزن خشک بوده است و نسبت وزنی مایع پخت به وزن ساقه برنج (L/S) ۴/۱ انتخاب شده است. برای پخت کلش برنج از دیگ پخت (دایجستر) آزمایشگاهی آزمایشگاه خمیر کاغذ دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران که مجهز به ترموستات جهت تنظیم دما می‌باشد استفاده شد. کلش برنج در داخل محفظه پخت به مدت ۳۰ دقیقه تحت آغشتگی کامل با مایع پخت قرار گرفت، پس از آن، درب محفظه محکم بسته شد و پس از تنظیم دمای ۱۶۰ درجه سانتی گراد و زمان پخت مورد نظر، پس از رسیدن دمای داخل محفظه‌ها به دمای پخت، عمل پخت انجام شد.

پس از پخت، برای خارج کردن مایع پخت سیاه از خمیر کاغذ عمل شستشو صورت گرفت. جهت جداسازی دستجات الیاف، استفاده از دفیراتور آزمایشگاهی ضروری است. سپس الیاف روی الک با مش ۱۸ که روی الک با مش ۲۰۰ قرار داده شده بود ریخته شده و جداسازی وازده انجام گردید.

### اندازه‌گیری میزان بازده و عدد کاپا

برای تعیین بازده خمیر کاغذ، خمیر کاغذهای شسته شده از روی الک جمع‌آوری و پس از هوا خشک کردن بازده کل، بازده پس از غربال و میزان وازده اندازه‌گیری شدند. برای اندازه‌گیری عدد کاپا از استاندارد شماره ۹۶-۲۳۶ om T آئین‌نامه تاپی استفاده شد. با مقایسه مقادیر بازده کل، بازده بعد از الک و عدد کاپای خمیر کاغذهای مختلف، تعدادی از تیمارها بعنوان خمیر کاغذهای بهینه انتخاب شد.

### ساخت کاغذ

در این تحقیق بدون پالایش نهایی خمیر کاغذ از خمیر کاغذهای منتخب، کاغذ تولید گردید. ساخت کاغذ-دست‌ساز طبق آئین‌نامه شماره ۸۸ - ۲۰۵ om T استاندارد تاپی انجام شد. در این تحقیق ساخت کاغذ ۶۰ گرمی مد نظر بوده است.

نتیجه بیشترین مقدار عدد کاپا، (۳۶/۹۹) در خمیر منتخب مونواتانول آمین ۱۵ درصد و کمترین مقدار (۸/۷۳) مربوط به تیمار مونواتانول آمین ۱۵ درصد و هیدروکسیدپتاسیم ۴۰ درصد ذکر شده است همچنین کمترین میزان بازده (۴۳/۱) درصد، مربوط به مونواتانول- آمین ۱۵ درصد و هیدروکسید پتاسیم ۴۰ درصد بوده که قلیائیت قوی تر، تخریب لیگنین و همی سلولز بیشتر بوده و بازده کاهش یافته است [۶]. چنین روندی مشابه افزودن هیدروکسید پتاسیم در تحقیق حاضر مشاهده نمی شود، به نحوی که حتی با افزودن بیشتر از ۲۰ درصد سولفیت پتاسیم کاهشی در میزان بازده مشاهده نمی شود در حالی که عدد کاپا هم به کاهش خود ادامه می دهد. این امر نشان می دهد که گزینش پذیری پخت در هنگام استفاده از سولفیت پتاسیم بیشتر از زمان استفاده از هیدروکسید پتاسیم می باشد.

مونواتانول آمین با کاهش بسیار اندکی در بازده موجب کاهش ۵۸ درصدی عدد کاپا می شود. Shiralizadeh و همکاران (۲۰۱۶)، در بررسی تولید خمیر کاغذ از کلش برنج بیان داشتند، خمیر کاغذ حاصل از مونواتانول آمین ۱۵ درصد بدون هیدروکسیدپتاسیم، دارای بیشترین میزان بازده کل، وازده و عدد کاپاست. اضافه نمودن فقط ۵ درصد هیدروکسیدپتاسیم منجر به کاهش بیش از ۵۰ درصدی در عدد کاپا شده، در حالی که بازده خمیر کاغذ تولیدی به میزان اندکی کاهش می یابد که امر دلالت بر گزینش پذیری خوب پخت داشته است و در مشابَهت با نتایج حاصل از تحقیق حاضر می باشد. در تحقیق Shiralizadeh و همکاران با اضافه نمودن بیش از ۵ درصد هیدروکسید پتاسیم، عدد کاپا به میزان کمی تحت تأثیر واقع شده و به ویژه با افزودن بیشتر از ۲۰ درصد هیدروکسید پتاسیم، بازده به شدت کاهش یافته است. در

جدول ۱- ویژگی های خمیر کاغذ حاصله از پخت های مونواتانول آمین و سولفیت پتاسیم به عنوان عامل افزودنی

کد تیمار	مونواتانول آمین %	سولفیت پتاسیم %	بازده بعد از الک %	وازده %	بازده کل %	عدد کاپا
۱	۱۵	-	۶۰/۱۴ <sup>a</sup>	۱/۱۲ <sup>f</sup>	۶۱/۲۶ <sup>a</sup>	۳۶/۹۸ <sup>f</sup>
۲	۱۵	۵	۵۸/۲۹ <sup>b</sup>	۰/۹۳ <sup>e</sup>	۵۹/۲۱ <sup>b</sup>	۱۵/۴ <sup>e</sup>
۳	۱۵	۱۰	۵۷/۵۵ <sup>c</sup>	۰/۶۱ <sup>d</sup>	۵۸/۱۷ <sup>c</sup>	۱۲/۴۶ <sup>d</sup>
۴	۱۵	۲۰	۵۷/۳۷ <sup>cd</sup>	۰/۴۵ <sup>c</sup>	۵۷/۸۲ <sup>d</sup>	۹/۵۴ <sup>c</sup>
۵	۱۵	۳۰	۵۷/۱۴ <sup>d</sup>	۰/۳۸ <sup>b</sup>	۵۷/۵۲ <sup>e</sup>	۱۰/۴۸ <sup>b</sup>
۶	۱۵	۴۰	۵۶/۸۱ <sup>e</sup>	۰/۳۴ <sup>a</sup>	۵۷/۱۶ <sup>f</sup>	۸/۷۵ <sup>a</sup>

پخت سولفیت پتاسیم بازده نیز افزایش می یابد که این نشان دهنده ویژگی مونواتانول آمین مبنی بر حفظ کربوهیدرات ها در خمیر کاغذ می باشد. همچنین افزودن مونواتانول آمین به پخت مرجع باعث کاهش میزان وازده و عدد کاپای خمیر کاغذ حاصله می شود. نتایج حاصل از تحقیقات Shiralizadeh و همکاران (۲۰۱۶)، در بررسی تولید خمیر کاغذ از کلش برنج، نشان دادند که کمترین میزان بازده کل مربوط به تیمار هیدروکسیدپتاسیم بوده است. با اضافه شدن مونواتانول آمین به عنوان افزودنی به پخت هیدروکسیدپتاسیم، بازده افزایش و عدد کاپا کاهش می یابد [۶]. روند موجود در تحقیق حاضر در این بخش مشابه روند تحقیق Shiralizadeh و همکاران است.

### ویژگی های خمیر کاغذ حاصل از پخت های سولفیت پتاسیم و مونواتانول آمین به عنوان عامل افزودنی

همان طور که در جدول ۲ مشاهده می شود کمترین میزان بازده کل و بیشترین عدد کاپا، مربوط به تیمار سولفیت پتاسیم به تنهایی می باشد. اما این نکته قابل ذکر است که این تیمار نیز خمیر کاغذ شیمیایی با عدد کاپا و بازده قابل قبول از کلش برنج تولید کرده است. در مقایسه با تیمار هیدروکسید پتاسیم به تنهایی [۶]، تیمار سولفیت پتاسیم تنها، خمیر کاغذ با عدد کاپای مشابه اما با ۱۰ درصد بازده بیشتر و ۲ درصد وازده کمتر تولید نموده است. با استفاده از مونواتانول آمین به عنوان افزودنی به

جدول ۲- ویژگی‌های خمیر کاغذ حاصله از پخت‌های سولفیت پتاسیم و مونواتانول آمین به‌عنوان عامل افزودنی

کد تیمار	مونواتانول آمین %	سولفیت پتاسیم %	بازده بعد از الک %	وازده %	بازده کل %	عدد کاپا
۱	—	۱۴	۵۸/۳۹ <sup>e</sup>	۲ <sup>e</sup>	۶۰/۳۹ <sup>e</sup>	۲۰/۵ <sup>d</sup>
۲	۱۰	۱۴	۶۰/۰۵ <sup>d</sup>	۱/۵۳ <sup>d</sup>	۶۱/۵۷ <sup>d</sup>	۱۷/۴ <sup>c</sup>
۳	۲۰	۱۴	۶۰/۸۳ <sup>c</sup>	۱/۴۸ <sup>c</sup>	۶۲/۳۱ <sup>c</sup>	۱۲/۶۳ <sup>b</sup>
۴	۳۰	۱۴	۶۱/۱۲ <sup>b</sup>	۱/۲ <sup>b</sup>	۶۲/۳۲ <sup>b</sup>	۱۲/۳۴ <sup>b</sup>
۵	۴۰	۱۴	۶۱/۵۴ <sup>a</sup>	۱/۱۵ <sup>a</sup>	۶۲/۶۹ <sup>a</sup>	۱۲/۲ <sup>a</sup>

## انتخاب خمیر کاغذ برای ساخت کاغذ دست‌ساز

با انجام پخت‌های متعدد و تعیین بازده و عدد کاپا برای هر یک از ترکیب شرایط پخت و با در نظر گرفتن شرایط پخت، ۷ ترکیب پخت به عنوان تیمارهای بهینه

انتخاب و برای تهیه کاغذ دست‌ساز و انجام آزمایشات فیزیکی و مکانیکی از آن‌ها استفاده شد (جدول ۳).

جدول ۳- کد تیمارهای بهینه انتخاب شده برای تولید کاغذ از ساقه برنج

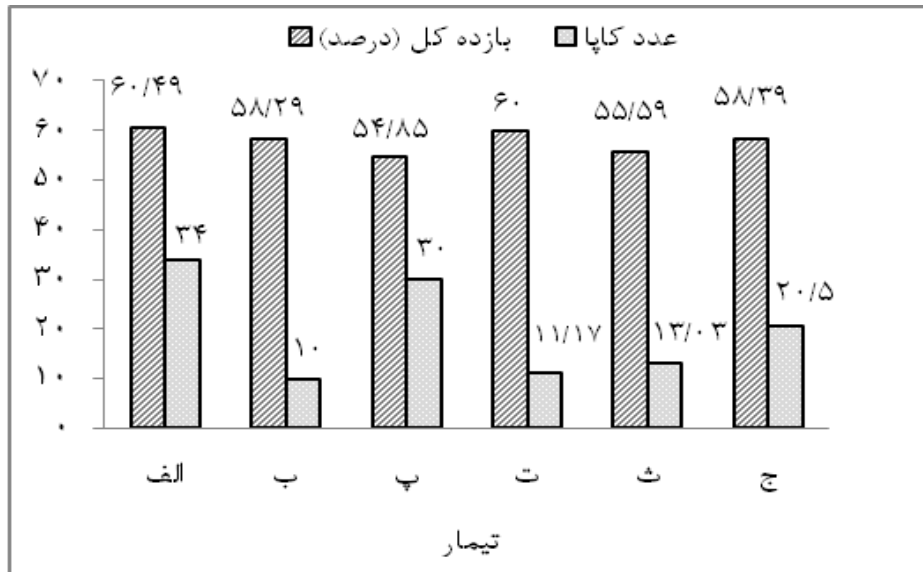
کد تیمار	ماده شیمیایی (%)
الف	مونواتانول آمین ۱۵%
ب	مونواتانول آمین ۱۵%
پ	سولفیت پتاسیم ۱۰%
ت	سولفیت سدیم ۱۴%
ث	سولفیت پتاسیم ۱۴%
ج	مونواتانول آمین ۲۰%
	هیدروکسید پتاسیم ۵۰%
	سولفیت پتاسیم ۵۰%
	سولفیت پتاسیم ۱۴%

شکل ۱ میزان بازده و عدد کاپای خمیر کاغذ های حاصل از تیمارهای جدول ۳ را نشان می دهد. در بین تمامی تیمارها، فرآیند مونواتانول آمین با افزودنی سولفیت پتاسیم منجر کمترین عدد کاپا به همراه میزان بازده مناسبی شده است (تیمار ب). همچنین فرآیند هیدروکسید پتاسیم و سولفیت پتاسیم نیز خمیر کاغذ با بازدهی برتر و عدد کاپای بسیار مطلوبی را تولید کرده است (تیمار ث). آنچنان که داده‌های شکل ۱ نشان می‌دهد در مقایسه با سولفیت سدیم، سولفیت پتاسیم در خمیر کاغذسازی از کلش برنج هم از نظر بازده و هم از نظر عدد کاپا موفق‌تر عمل نموده است (تیمارهای پ و ج). نتایج شکل ۱ نشان می‌دهد چنانچه تولید خمیر کاغذ نیمه شیمیائی مد نظر باشد، تیمار الف با حداقل میزان استفاده از مونواتانول آمین می‌توان این امکان را فراهم آورد.

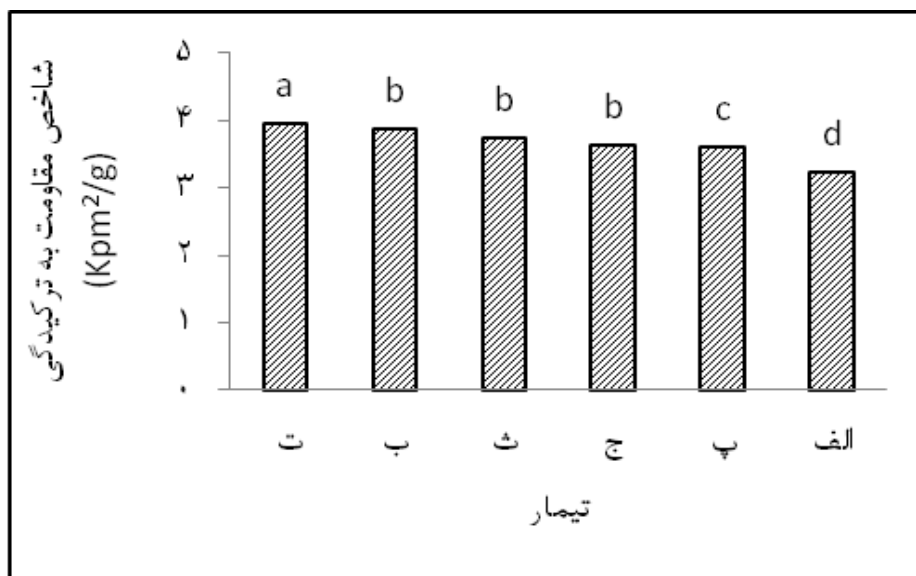
مقایسه پخت‌های بهینه از نظر مقاومت‌های مکانیکی و ویژگی‌های نوری شاخص مقاومت به ترکیدگی همان‌طور که از نتایج شکل ۲ مشخص است بیش‌ترین میزان شاخص مقاومت به ترکیدگی ( $3/96 \text{kpam}^2/\text{g}$ ) مربوط به پخت‌های سولفیت پتاسیم ۱۴ درصد در ترکیب با مونواتانول آمین ۲۰ درصد و کم‌ترین میزان آن مربوط به پخت مونواتانول ۱۵ درصد می‌باشد که این امر از میزان لیگنین‌زدایی کمتر و دسترس‌پذیری کمتر گروه‌های هیدروکسیل در تیمار الف ناشی می‌شود. شاخص مقاومت به ترکیدگی تیمارهای ب، ث و ج در یک گروه قرار می‌گیرد. Hedjazi و همکاران (۲۰۱۱)، در بررسی که بر روی کلش برنج انجام دادند میزان شاخص مقاومت به ترکیدگی در خمیر کاغذ تولیدی با استفاده از مونواتانول آمین با

تحقیق Shiralizadeh و همکاران (۲۰۱۶)، کمترین شاخص مقاومت به ترکیدگی ( $3/16 \text{ kpm}^2/\text{g}$ ) را در خمیر کاغذ مونواتانول آمین ۱۵ درصد و بیشترین میزان این شاخص را ( $3/77 \text{ kpm}^2/\text{g}$ ) تیمار هیدروکسید-سدیم/سولفیت سدیم (۵۰/۵۰) بیان کرده اند [۶].

نسبت مونواتانول آمین به آب برابر با ۵۰ به ۵۰ و ۲۵ به ۷۵ را به ترتیب  $3/36 \text{ kpm}^2/\text{g}$  و  $3/32 \text{ kpm}^2/\text{g}$  بیان نموده است [۳]. در بررسی دیگری توسط Hedjazi و همکاران (۲۰۱۸)، با استفاده از کاه جو و فرآیند مونواتانول آمین با نسبت مونواتانول آمین به آب ۷۵ به ۲۵، میزان این شاخص  $3/17 \text{ kpm}^2/\text{g}$  ذکر شده است [۷].



شکل ۱ - بازده کل و عدد کاپای خمیر کاغذ های حاصل از تیمار های بهینه

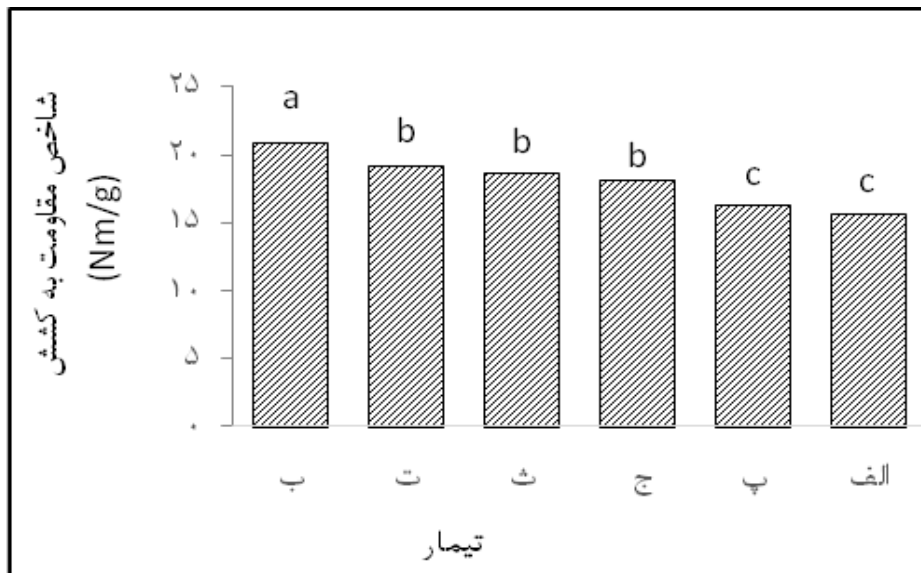


شکل ۲ - میزان شاخص مقاومت به ترکیدگی خمیر کاغذ های تولیدی در تیمار های بهینه

## شاخص مقاومت به کشش

شاخص مقاومت به کشش مانند شاخص مقاومت به ترکیب متاثر از میزان اتصالات و پیوند گروه‌های هیدروکسیل الیاف موجود در خمیر کاغذ می‌باشد. با توجه به شکل ۳ کمترین میزان این شاخص مربوط به تیمار موناتانول‌آمین ۱۵ درصد و بیشترین مقدار این شاخص مربوط به تیمار موناتانول‌آمین ۱۵ درصد - سولفیت پتاسیم ۱۰ درصد می‌باشد. Hedjazi و همکاران (۲۰۱۱)، در تحقیقی که بر روی کلش برنج انجام داده اند با استفاده از موناتانول آمین ۵۰ و ۲۵ درصد شاخص مقاومت به

کشش را به ترتیب  $40/65 \text{ Nm/g}$  و  $39/84 \text{ Nm/g}$  به دست آورده است [۳]. Hedjazi و همکاران (۲۰۱۸) در بررسی تولید خمیرکاغذ از کاه جو با موناتانول‌آمین/آب (۲۵/۷۵) به شاخص مقاومت به کشش  $64/17 \text{ Nm/g}$  رسیده اند [۷]. Shirzizadeh و همکاران (۲۰۱۶)، در تحقیقی که بر روی کلش برنج انجام شده نتیجه گرفته‌اند که کمترین میزان این شاخص ( $53/69 \text{ Nm/g}$ )، مربوط به تیمار موناتانول‌آمین ۱۵ درصد و بیشترین مقدار این شاخص ( $63/42 \text{ Nm/g}$ )، مربوط به تیمار موناتانول‌آمین ۱۵ درصد - هیدروکسید پتاسیم ۲۰ درصد است [۶].



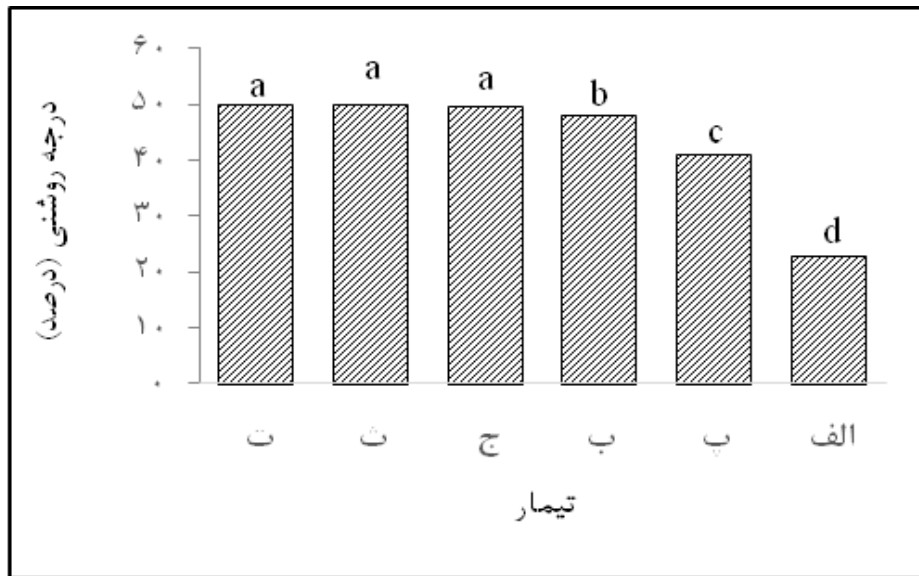
شکل ۳- میزان شاخص مقاومت به کشش خمیر کاغذهای تولیدی در تیمارهای بهینه

## درجه روشنی

درجه روشنی اساساً میزانی از فقدان زردی خمیر کاغذ است که این زردی محصول حضور لیگنین و ناخالصی‌های دیگر می‌باشد. به عبارت دیگر خمیر کاغذ رنگ‌بری نشده، خمیر کاغذ زرد رنگ با درجه خلوص پایین می‌باشد. با توجه به نتایج شکل ۴ کمترین میزان درجه روشنی مربوط به تیمار موناتانول‌آمین ۱۵ درصد ( $22/79$ ) و بیشترین مقدار آن مربوط به تیمار سولفیت پتاسیم به همراه افزودن موناتانول‌آمین ۲۰ درصد ( $49/89$ ) می‌باشد. آنچنان که نتایج نشان می‌دهد تیمارهای دارای سولفیت پتاسیم بیشترین درجه روشنی خمیر کاغذ را در اختیار قرار داده‌اند که این امر به علت اثر رنگبری است که یون سولفیت

اعمال می‌نماید، به صورتی که درجه روشنی خمیر کاغذ از تیمار الف تا تیمار ب به میزان بیش از دو برابر افزایش یافته است. Hedjazi و همکاران (۲۰۱۱) درجه روشنی خمیر کاغذ کلش برنج رنگ‌بری نشده حاصل از فرآیند، موناتانول‌آمین/آنتراکینون ۵۰ درصد را  $39/09$  گزارش کرده اند [۳]. در تحقیق Shiralizadeh و همکاران (۲۰۱۶) کمترین میزان درجه روشنی مربوط به تیمار موناتانول‌آمین ۱۵ درصد، به میزان  $22/79$  و بیشترین مقدار آن مربوط به تیمار هیدروکسید پتاسیم ۵۰ درصد - سولفیت پتاسیم ۵۰ درصد، به میزان  $49/89$  بوده است [۶].



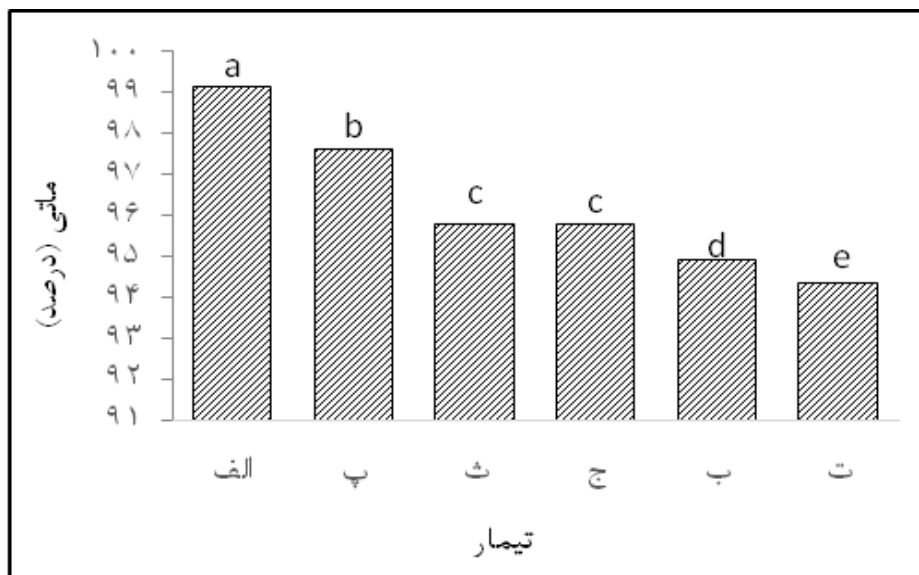


شکل ۴- میزان درجه روشنی خمیر کاغذهای تولیدی در تیمارهای بهینه

دارد. اصولاً میزان ماتی در مورد خمیر کاغذهای رنگبری نشده عامل مقایسه‌ای مهمی نبوده و پس از رنگبری خمیر کاغذ می‌تواند به صورت یک عامل تاثیرگذار کیفی مطرح گردد.

#### درجه ماتی

مقایسه درجه ماتی تیمارها در شکل ۵ نشان می‌دهد که بیشترین میزان ماتی در خمیر کاغذهای تولیدشده با تیمار مونواتانول آمین ۱۵ درصد و کم‌ترین آن به تیمار سولفیت پتاسیم ۱۴ درصد مونواتانول آمین ۲۰ درصد تعلق



شکل ۵- درجه ماتی خمیر کاغذهای تولیدی در تیمارهای بهینه

آمیازی بر روی کلس برنج به مرحله عمل در آید. با توجه به اینکه کلس برنج در میان منابع لیگنوسولوزی غیرچوبی دارای بیش‌ترین درصد خاکستر و به ویژه بیش‌ترین میزان

#### نتیجه گیری

نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که فرآیند مونواتانول در ترکیب با سولفیت پتاسیم می‌تواند به صورت موفقیت-

مقایسه شاخص‌های مقاومتی تیمارهای بهینه این تحقیق با سایر تحقیقات مشخص نشان می‌دهد که خمیرکاغذهای حاصله از فرآیندهای مختلف در این تحقیق دارای مقاومت‌های مکانیکی مناسبی می‌باشند. بطور کلی نتایج این تحقیق بیان‌گر ویژگی‌های قابل رقابت خمیرکاغذ از فرآیند MEA در ترکیب با سولفیت‌پتاسیم در مقایسه با فرآیندهای سنتی بوده و رهگشای تحقیقات و مطالعات نوین در راستای بکارگیری ترکیب MEA/K<sub>2</sub>SO<sub>3</sub> بر روی پسماندهای لیگنوسولولزی کشاورزی می‌باشد.

سلیس می‌باشد، موفقیت فرآیند MEA به ویژه در مورد کلش برنج از اهمیت فوق العاده‌ای برخوردار می‌باشد. همچنین وجود لیگنین بسیار کم کلش برنج در میان سایر منابع لیگنوسولولزی غیرچوبی این امکان ویژه را در اختیار قرار داده است تا با مصرف کم MEA در ترکیب با سولفیت‌پتاسیم بتوان به عدد کاپای مطلوب با میزان بازده مناسب جهت تولید خمیرکاغذ شیمیایی قابل رنگ‌بری دست یافت که این امر تسهیل‌کننده بازیابی مونواتانول-آمین می‌باشد. ضمن اینکه در صورت عدم تمایل به بازیابی، مایع پخت می‌تواند به صورت پودر درآمده و به عنوان کود آلی مورد استفاده قرار گیرد.

## منابع

- [1] Ates, S., Atik, S., Ni, Y. and Gumuskaya, S., 2008. Comparison of different chemical pulps from wheat straw and bleaching with xylanase pre-treated TCF method. *Turk. J. Agr. Forest*, 32: 561–570.
- [2] Kulkarni, A.G., Mathur, R.M. and Panda, A., 1989. Nature of spent liquors from pulping of non-wood fibrous raw material. *Tappi Proceedings of the Conference of Inter. Sym. On Wood and Pul. Chem, Raleigh (USA)*, 485–492.
- [3] Hedjazi, S., Heidari, a. Adli, A., Jahan Latibari, A., Hmazeh, Y., Kordsachia, O. and Ahmadi, M., 2011. Ethanolamine Pulping- As A Novel Opportunity to Overcome Rice Straw Pulping Challenges. *Proceedings of the 16th, ISWFPC. Vol. 1*
- [4] Wallis, A.F.A., 1980. Wood pulping with monoethanolamine in pressure vessels. *APPITA J.* 33: 351–355.
- [5] Kubes GJ, Fleming BI, MacLeod JM . and Bolker HI., 1978. Sulphide-free alkaline delignification, IV, extension of soda-ethylenediamine pulping to various species. *Tappi Pulping Conference, New Orleans, LA*, p 27-31.
- [6] Shiralizadeh, F., Hedjazi, S. and Ahmadi M., 2015. Evaluation of pulp properties produced from rice straw by combination the monoethanolamine and potassium hydroxide. *Iranian Journal of Wood and Paper Science Research* , 30 (1): 46-59. (In Persian).
- [7] Hedjazi, S., Mohammadi Shirkolae, J. and Ahmadi, M., 2018. The pulp producing with monoethanolamine process from barely straw and ECF bleaching of obtained pulp. *Forest and Wood products*, 70 (4): 691-700. (In Persian)

## Evaluation of the pulp properties produced from rice straw by monoethanolamine and potassium sulfite combined processes

### Abstract

In this research, monoethanolamine in the charge of 15% with potassium sulfite in four levels as additive and also potassium sulfite in the charge of 14 % as NaOH with addition of monoethanolamine in four levels were used as cooking liquor for pulping of rice straw. The combination of potassium sulfite/potassium hydroxide and sodium sulfite/sodium hydroxide in the ratio of 50/50 and sulfite sodium treatment in the alkalinity of 14 % as NaOH were selected as reference treatments. The results showed that the pulp produced using pure monoethanolamine (15%) has the highest yield and the highest kappa number. By using potassium Sulfite as an additive in MEA pulping, the rejects, yield and kappa number was decreased and the lowest yield and the lowest kappa number was relevant to monoethanolamine (15%) combined with potassium sulfite (40%). In potassium sulfite (14%) pulping with increasing of monoethanolamine concentration as additive, the amount of total yield increased but the kappa number and reject contents decreased. The highest tensile index was relevant to monoethanolamine (15%) combined with potassium sulfite (10%) and the highest burs index belongs to potassium sulfite (14%) / monoethanolamine (20%) treatment. According to the optical properties, it was found that the highest brightness was achieved in potassium sulfite (14%) / monoethanolamine (20%). The highest opacity was relevant to the monoethanolamine 15% treatment. The results of this study showed that monoethanolamine process combined with potassium sulfite can be perform successfully on rice straw and pulp properties; especially mechanical characteristics in combination case are superior to soda and potassium hydroxide processes. Furthermore, utilization of the combined processes for the pulping of rice straw could be provided the possibility of the use of cooking liquor as organic fertilizers, which its recovery seems to be challenging.

**Keywords:** kappa number, monoethanolamine, potassium sulfite, pulp, rice straw.

**M. Akbari Amri<sup>1</sup>**  
**S. Hedjazi<sup>2\*</sup>**  
**M. Ahmadi<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> Graduated M.Sc., Gorgan university of agricultural sciences and natural resources, Iran

<sup>2</sup> Associate Prof., Department of wood and paper science & technology, Faculty of natural resources, University of Tehran, Karaj, Iran

<sup>3</sup> Assistance Prof, Department of wood and paper science and technology, University of Mohaghegh Ardabili, Iran

Corresponding author:  
[shedjazi@ut.ac.ir](mailto:shedjazi@ut.ac.ir)

Received: 2018/05/09  
Accepted: 2018/11/20