

## بررسی پالایش پذیری خمیر کاغذهای سودا و مونواتانول آمین کاه گندم

محمد احمدی<sup>۱</sup>  
 سحاب حجازی<sup>\*۲</sup>  
 بودو زاگه<sup>۳</sup>  
 اتار کرذاخیا<sup>۴</sup>  
 حسین یوسفی<sup>۵</sup>

<sup>۱</sup> استادیار، گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی

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

<sup>۳</sup> استاد بخش شیمی و فناوری شیمیایی چوب دانشگاه هامبورگ آلمان

<sup>۴</sup> استاد خمیر کاغذ انستیتو تحقیقات چوب و کاغذ مرکز یوهان هاینریش فون تونن آلمان

<sup>۵</sup> استادیار، دانشکده مهندسی چوب و کاغذ، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران

مسئول مکاتبات:

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

تاریخ دریافت: ۹۴/۰۱/۱۷

تاریخ پذیرش: ۹۴/۰۳/۲۰

### چکیده

در این تحقیق به مقایسه پالایش پذیری خمیر کاغذهای سودا و مونواتانول آمین کاه گندم پرداخته شده است. جهت انجام پالایش خمیر کاغذها از پالایشگر نیمه صنعتی مدل LR 40 شرکت Voith استفاده گردید. نتایج نشان داد که خمیر کاغذ مونواتانول آمین با صرف ۷۰ kwh/t انرژی در پالایشگر نیمه صنعتی، مقاومت در برابر کشش و مقاومت در برابر ترکیدن آن به حداکثر میزان خود می رسند و افزایش انرژی بیش از این مقدار بر این مقاومتها اثر نامطلوب دارد. در مورد خمیر کاغذ سودا از کاه گندم افزایش مصرف انرژی تا ۵۰۰ kwh/t رابطه خطی با مقاومت در برابر کشش و مقاومت در برابر ترکیدن دارد. در مقایسه با خمیر کاغذ مونواتانول آمین، پالایش پذیری خمیر کاغذ سودا بسیار دشوارتر بوده و نیازمند مصرف انرژی بیشتری است. استفاده از خمیر کاغذ مونواتانول آمین موجب صرفه جویی در مصرف انرژی به میزان ۷۰ تا ۸۰ درصد جهت رسیدن به میزان متعارف و بهینه شاخصهای مقاومتی است.

**واژگان کلیدی:** کاه گندم، خمیر کاغذ، مونواتانول آمین، سودا، پالایش پذیری.

### مقدمه

امروزه فرآیند سودا، فرآیند غالب جهت خمیر کاغذسازی از منابع لیگنوسولزی غیر چوبی است؛ اما متأسفانه این روش از محدودیت های فنی و زیست محیطی بسیاری رنج می برد، به طوری که مایع پخت قلیایی قوی این فرایند به میزان زیادی کربوهیدراتها را از طریق واکنش های تخریب تدریجی و هیدرولیز قلیایی در خود

حل می کند و باعث کاهش بازده خمیر کاغذ و مقاومت های مکانیکی آن می شود. از سوی دیگر توانایی هیدروکسید سدیم جهت انحلال لیگنین به ساختارهای لیگنینی مشخصی محدود می شود که این امر به معنای تحمل میزان لیگنین بیشتری در خمیر کاغذ و دشوار شدن عملیات رنگبری می شود. یکی دیگر از مهم ترین چالش های تولید خمیر کاغذ با استفاده از فرایند سودا از

رشته‌ای شدن داخلی و خارجی الیاف، از بین رفتن دیواره ی الیاف، لایه لایه کردن الیاف، ایجاد نرمه، واکنشیدگی و راست تاری آن‌ها می‌گردد. پالایش کاغذ از یک طرف باعث کاهش متوسط طول الیاف شده و از طرف دیگر منجر به بهبود و توسعه اتصالات بین الیاف می‌گردد که در نتیجه خواص فیزیکی و مقاومت‌های مکانیکی کاغذ ارتقا می‌یابد. در تحقیقات انجام گرفته مختلف مشخص شده است که با افزایش پالایش از مقاومت در برابر پاره شدن کاسته می‌شود، ولی مقاومت به کشش، مقاومت به ترکیدن و دانسیته کاغذ افزایش می‌یابد [۴-۵]. همچنین محققان دریافتند که با انجام عملیات پالایش، ضریب پراکنش نور، مقاومت به پارگی، حجیمی، ماتی و تخلخل کاغذ کاهش می‌یابد [۱۳-۱۶]. لازم به ذکر است که فرایند پالایش به منظور ایجاد چنین ویژگی‌هایی نیازمند مصرف مقدار فراوانی از انرژی است [۵]. از آنجائی که تاکنون مطالعه‌ای در خصوص مصرف انرژی و میزان پالایش پذیری خمیر کاغذهای سودا و مونواتانول آمین صورت نگرفته است در این تحقیق در مقیاس نیمه صنعتی، به مقایسه پالایش پذیری این خمیر کاغذ پرداخته شده است.

## مواد و روش‌ها

### مواد

نمونه‌های کاه گندم مورد آزمایش از مزارع ایالت هامبورگ در شمال کشور آلمان تهیه، جهت آماده‌سازی برای انجام عملیات پخت، توسط دستگاه برش<sup>۱</sup> به قطعات کوتاه‌تری تبدیل 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 بسته‌بندی شدند. سپس مقدار رطوبت نمونه‌های تمامی کیسه‌ها اندازه‌گیری شد. مونواتانول آمین آزمایشگاهی نیز از شرکت BASF<sup>۲</sup> آلمان و در ظروف دربسته و تیره‌رنگ به مقدار ۱۰۰ لیتر تهیه گردید و تحت شرایط ایزوله جهت انجام آزمایش‌ها به موسسه شیمی چوب و فناوری چوب دانشگاه هامبورگ منتقل گردید.

پسماندهای کشاورزی، عدم وجود سیستم بازیابی مناسب است که علاوه بر هدر رفتن مواد شیمیایی و بروز مشکلات زیست محیطی، امکان رقابت این فرایندها با فرایندهای پیشرفته خمیر کاغذسازی از چوب و همچنین پیشرفت‌های حاصله در این صنعت از نظر اقتصادی و فن‌آوری را مشکل می‌سازد. علت عدم وجود سیستم بازیابی مناسب در کارخانه‌های خمیر کاغذ بر مبنای پسماند کشاورزی، وجود سیلیس زیاد در این مواد خام است. یکی از جایگزین‌های جدی فرآیند سودا، فرآیند خمیر کاغذسازی مونواتانول آمین است. فرآیند خمیر کاغذسازی با استفاده از مونواتانول آمین (MEA)، به علت این‌که این ماده قابلیت حفظ کربوهیدرات‌ها و سیلیس را در خمیر کاغذ دارد، به نظر می‌رسد که یکی از راه‌های غلبه صنایع تولید خمیر کاغذ بر پایه محصولات کشاورزی بر معضلات فوق‌الذکر باشد. [۳-۱۱]. از سوی دیگر یکی از ویژگی‌های منحصر به فرد این ماده، لیگنین‌زدایی زیاد از توده لیگنوسولوزی با حفظ بازده بالا و به عبارت دیگر گزینش پذیری زیاد پخت مونواتانول آمین است. مونواتانول آمین به عنوان یک حلال آلی با فرآیند تقطیر ساده قابل بازیابی است و با استفاده از این ماده مشکلات بازیابی موجود در کارخانه‌های خمیر کاغذسازی بر پایه فرآیند سودا رفع خواهد شد. از این رو استفاده از مونواتانول آمین جهت تبدیل توده لیگنوسولوزی به خمیر کاغذ از مدت‌ها پیش مورد نظر بوده است و تاکنون تحقیقات مختلفی در زمینه خمیر کاغذسازی با استفاده از مونواتانول آمین بر روی پسماندهای مختلف کشاورزی و مقایسه آن با فرایند سودا صورت گرفته است. [۳-۱۱]. با توجه به تحقیقات مذکور، مونواتانول آمین قابلیت خود را از نظر مطلوبیت فنی جهت تولید خمیر کاغذ به جای فرآیند سودا نشان داده است؛ اما علاوه بر تولید خمیر کاغذ، صنعت خمیر کاغذ و کاغذ دارای جوانب فنی دیگر نیز است که یکی از مهم‌ترین این ویژگی‌ها، خاصیت پالایش پذیری خمیر کاغذ و الیاف است. با پالایش الیاف می‌توان شکل پذیری، انعطاف پذیری و قابلیت پیوند یابی بین الیاف را بهبود بخشید. در واقع پالایش یکی از مراحل ضروری در فرآوری الیاف خمیر کاغذ به منظور دستیابی به سطح کیفی مورد نظر در فرآیند کاغذسازی است و سبب تغییرات ساختاری هم‌زمان و مختلفی نظیر

<sup>۱</sup> cutter

<sup>۲</sup> Baden Aniline Soda Factory

## روش‌ها

### تهیه خمیر کاغذ

در این تحقیق از دو فرایند سودا و مونواتانول آمین (MEA) جهت پخت کاه گندم استفاده شد. در روش سودا، میزان قلیابیت ۱۶٪، زمان پخت ۳۰ دقیقه، دمای پخت ۱۶۰ درجه سانتی‌گراد و نسبت مایع پخت به کاه گندم ۳ به ۱ در نظر گرفته شد در فرایند MEA، زمان پخت ۴۵ دقیقه، دمای پخت ۱۴۰ درجه سانتی‌گراد و نسبت مایع پخت به کاه گندم ۴ به ۱ تعیین شد. جهت انجام پخت از دیگ پخت پاندا ۸۰ لیتری بخش شیمی و فن‌آوری‌های شیمیایی چوب دانشگاه هامبورگ استفاده گردید. برای هر پخت از ۲۵۰۰ گرم ماده اولیه بر مبنای وزن خشک استفاده شد.

### آنالیز خمیر کاغذ

بعد از هر پخت، خمیر کاغذ خارج شده از دیگ پخت شسته شده و در یک خمیر کاغذ ساز آزمایشگاهی جداسازی لیاف انجام گرفته و در نهایت توسط یک غربال آزمایشگاهی با اندازه الک ۰/۱۵ میلی‌متر، خمیر کاغذ و لیاف قابل قبول از تراشه‌ها و وزده‌های الک جدا گردیدند. بعد از این مرحله، خمیر کاغذ آبدگیری شده و پس از محاسبه رطوبت خمیر کاغذ، میزان بازده کل، بازده قابل قبول و میزان وزده آن اندازه‌گیری گردید. اندازه‌گیری ترکیب کربوهیدرات‌ها و قندهای ساده بعد از یک هیدرولیز کامل توسط اسیدسولفوریک ۷۲٪، با دستگاه HPLC صورت گرفت. برای اندازه‌گیری عدد کاپا از استاندارد شماره ۰۶ - ۲۳۶ om آئین‌نامه TAPPI استفاده شد.

### پالایش خمیر کاغذ

جهت انجام پالایش خمیر کاغذها از پالایشگر نیمه‌صنعتی مدل LR 40 شرکت Voith استفاده گردید. این پالایشگر شامل یک قاب مقاوم ساخته‌شده از فولاد ضدزنگ است که محفظه‌ای یکپارچه برای اضافه کردن نمونه خمیر کاغذ درون آن تعبیه شده است. همچنین داخل دستگاه تیغه‌های پالایش با زاویه خاص که هم می‌تواند صفحه‌ای باشد و هم مخروطی، طراحی شده‌اند. جهت انجام پالایش مقدار ۱۵۰۰ گرم خمیر کاغذ بر مبنای وزن خشک به پالایشگر اضافه می‌گردد. میزان مصرف انرژی موردنظر

را برای هر مرحله از پالایش مشخص شده که در رایانه متصل به دستگاه ثبت می‌شود. در این تحقیق ۸ سطح انرژی (۵۰۰، ۲۵۰، ۱۷۰، ۱۳۰، ۹۰، ۷۰، ۵۰، ۳۰ kwh/t) برای پالایش هر دو خمیر کاغذ مونواتانول آمین و سودا در نظر گرفته شد. خمیر کاغذ در داخل پالایشگر با آب رقیق می‌گردد تا به غلظت از پیش تعیین شده برسد. قبل از شروع مرحله اصلی پالایش، نمونه بدون اینکه بار و انرژی به آن‌ها وارد شود، درون مخزن پالایشگر چرخانده می‌شوند تا گرم شده و به دمای موردنیاز جهت انجام پالایش برسند. در پایان هر مرحله، پس از اینکه خمیر کاغذ با مصرف میزان انرژی موردنظر پالایش گردید، نمونه‌ای از خمیر کاغذ به‌طور خودکار از دستگاه خارج شده و داخل سطل مخصوص آن مرحله جمع‌آوری می‌گردد.

### اندازه‌گیری درجه روانی

درجه روانی تمام خمیر کاغذهای پالایش شده توسط پالایشگر نیمه‌صنعتی بر مبنای SR طبق استاندارد ۱-۵۲۶۷ DIN EN ISO اندازه‌گیری گردید.

### ساخت کاغذ

تهیه کاغذ دست‌ساز با گراماژ ۸۰ گرم بر مترمربع طبق استاندارد 2-ISO 5269 انجام شد.

### اندازه‌گیری ویژگی‌های کاغذ دست‌ساز

#### - ویژگی‌های مکانیکی

اندازه‌گیری شاخص مقاومت به کشش طبق استاندارد شماره 96 om-494 T، اندازه‌گیری مقاومت در برابر ترک‌شدن طبق استاندارد شماره 01 om-403 T و اندازه‌گیری شاخص مقاومت در برابر پاره شدن طبق استاندارد شماره 98 om-414 T آیین‌نامه TAPPI انجام گردید.

#### - ویژگی‌های فیزیکی

اندازه‌گیری حجیمی کاغذ طبق استاندارد ISO ۵۳۴، اندازه‌گیری ضخامت کاغذ طبق استاندارد شماره 97 om-411 T، اندازه‌گیری زبری سطح کاغذ طبق استاندارد شماره 01 om-538 T و اندازه‌گیری مقاومت به عبور هوا طبق استاندارد شماره 02 om-460 T آیین‌نامه TAPPI انجام شد.

## - ویژگی‌های نوری

اندازه‌گیری درجه روشنی طبق استاندارد شماره T452-om 02 و اندازه‌گیری درجه ماتی طبق استاندارد شماره T 425-om 01 آیین‌نامه TAPPI انجام گردید.

## تجزیه و تحلیل آماری

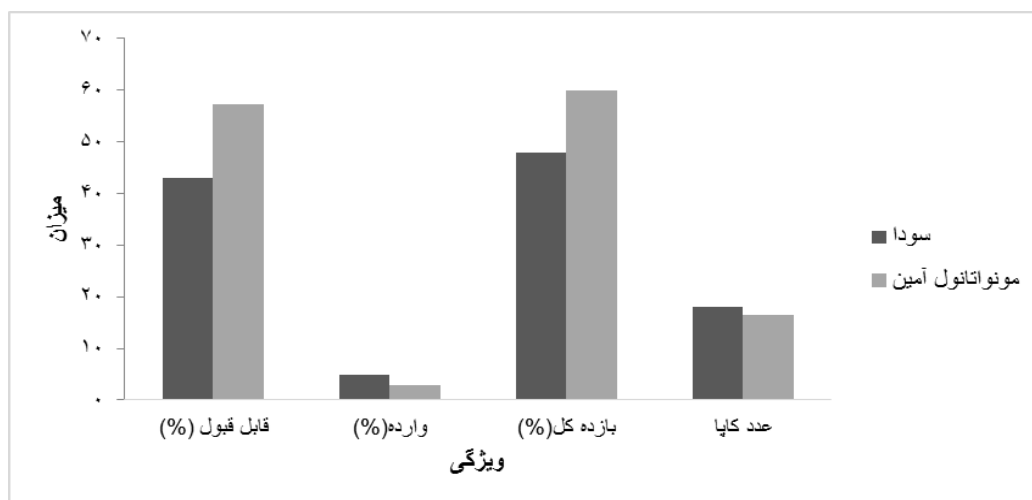
تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار آماری SPSS در قالب طرح تحلیل واریانس یک‌طرفه انجام شد و در نهایت مقایسه و گروه‌بندی میانگین‌ها به کمک آزمون دانکن در سطح اطمینان ۹۵٪ انجام گرفت.

## نتایج و بحث

## ویژگی‌های خمیر کاغذ

در شکل ۱ نتایج مربوط به میزان بازده قابل قبول، وازده و عدد کاپای دو فرآیند سودا و مونواتانول آمین نشان

داده شده است. همان‌طور که در جدول مشخص است، خمیر کاغذ MEA دارای بازده کل بیشتری (۶۰٪) نسبت به خمیر کاغذ سودا (۴۸٪) است. همچنین میزان وازده در خمیر کاغذ MEA نسبت به خمیر کاغذ سودا کمتر است. یکی از ویژگی‌های بارز مونواتانول آمین، حفظ همی سلولزهای ماده لیگنوسلولزی در جریان فرآیند خمیر کاغذسازی است که این امر منتج به افزایش راندمان خمیر کاغذ تولیدی می‌گردد. در تحقیقاتی که به‌منظور بررسی تولید خمیر کاغذ از کلش برنج و کاه گندم با مونواتانول آمین، صورت گرفته بود، مقدار بازده به ترتیب ۶۷/۵۸ و ۵۸/۹ گزارش گردید [۱]. در تحقیقی میزان بازده کل پخت سودای کاه گندم با قلیابیت ۱۶ درصد، درجه حرارت ۱۶۰ درجه سانتی‌گراد و زمان پخت ۹۰ دقیقه را ۴۷/۹ درصد گزارش شد [۲].



شکل ۱- ویژگی‌های خمیر کاغذسازی سودا و مونواتانول آمین

## ترکیبات قندی

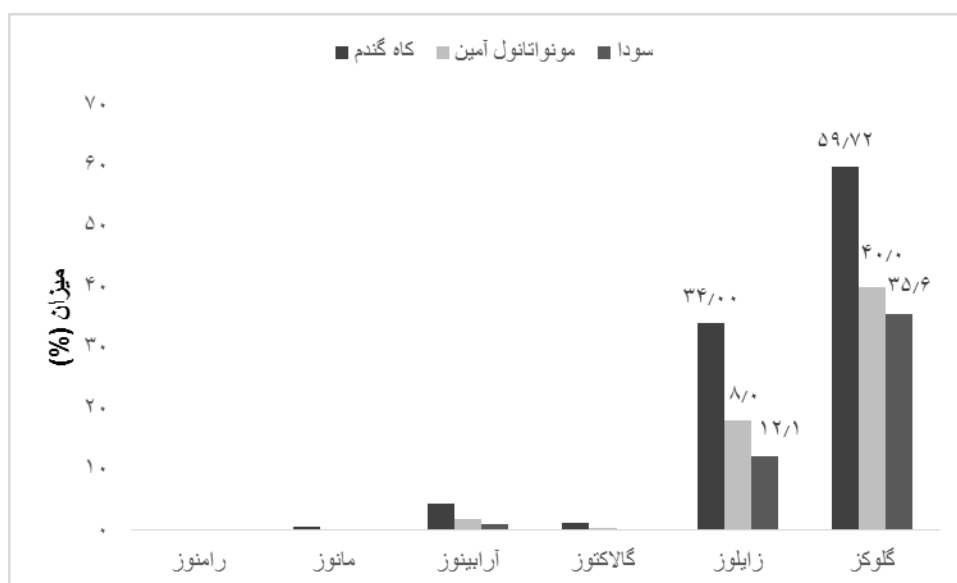
شکل ۲ درصد مونومرهای قندی تشکیل‌دهنده بخش کربوهیدراتی کاه گندم و خمیر کاغذهای سودا و مونواتانول آمین را نشان می‌دهد.

همان‌طور که در شکل ۲ مشخص است خمیر کاغذ مونواتانول آمین کاه گندم میزان زایلوز بیشتری (۱۸٪) نسبت به خمیر کاغذ سودا (۱۲/۰۵٪) دارد. در مجموع میزان کربوهیدرات‌ها در خمیر کاغذ مونواتانول آمین نسبت

در این تحقیق سعی بر این شد که جهت بررسی دقیق پاسخ به پالایش میزان لیگنین‌زدایی در هر دو نوع خمیر کاغذ سودا و MEA یکسان باشد تا هر دو نوع خمیر کاغذ، عدد کاپای نزدیک به هم داشته باشند اما در تحقیقات صورت گرفته قبلی مشخص گردید که به دلیل افزایش گزینش پذیری پخت با مونواتانول آمین، مقدار لیگنین‌زدایی با این ماده بسیار بالاست. [۳، ۲، ۱]

محققان، MEA به صورت یک عامل کاهنده عمل می‌نماید. گروهی دیگر نیز حدس می‌زنند که مونواتانول آمین، پلی‌ساکاریدها را از طریق واکنش تراکمی با گروه‌های انتهایی آلدئیدی و تشکیل ایمین‌ها پایدار می‌نماید. این عده پایدارسازی کربوهیدرات‌ها را به کاهش رادیکالی در حضور MEA نسبت می‌دهند. [۱۴، ۱۵، ۱۶].

به خمیر کاغذ سودا حدود ۱۲٪ بیشتر است. مکانیسم پایدارسازی کربوهیدرات‌ها توسط مونواتانول آمین به طور کامل مشخص نیست. در منابع مختلف نظرات متفاوتی وجود دارد. گروهی از محققان اعتقاد دارند که دپلمریزه شدن اندک سلولز و همی سلولزها در حضور مونواتانول آمین به علت پایدارسازی این ترکیبات توسط MEA در برابر واکنش‌های تخریب تدریجی است. بر طبق نظر این



شکل ۲- ترکیبات قندی تشکیل‌دهنده کاه گندم و خمیر کاغذهای سودا و مونواتانول آمین

گلوکومانان بیشترین مقدار همی سلولز را تشکیل می‌دهند که در این میان زایلان‌ها مقدار کمتری معادل ۸٪ را در برمی‌گیرند [۱۷، ۱۸].

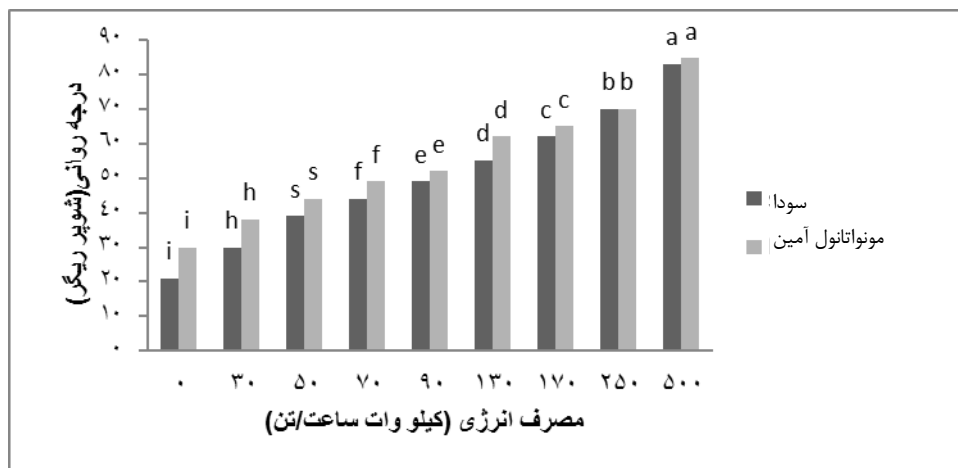
### درجه روانی خمیر کاغذ

نتایج مربوط به میزان مصرف انرژی پالایشگر و تأثیر آن بر درجه روانی در خمیر کاغذهای سودا و MEA در شکل ۳ نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود افزایش میزان مصرف انرژی تأثیر معنی‌داری بر روی درجه روانی هر دو نوع خمیر کاغذ دارد. با افزایش میزان مصرف انرژی پالایشگر، درجه روانی (SR) در هر دو نوع خمیر کاغذ افزایش می‌یابد. این میزان افزایش در خمیر کاغذ MEA بیشتر است، به طوری که در سطح یکسان مصرف انرژی، خمیر کاغذ MEA درجه‌ی روانی

همی سلولزها شامل گروه‌های ناهمگن از پلی‌ساکاریدهای شاخه‌دار می‌باشند. پلیمر همی سلولز به گونه مشخص گیاهی و بافت آن بستگی دارد. گلوکز، زایلوز و مانوز اغلب در ساختار همی سلولزها وجود دارند و اصطلاحاً، گلوکان، زایلان، زایلوگلوکان و مانان نامیده می‌شوند. زایلان‌ها فراوان‌ترین پلی‌ساکاریدهای غیر سلولزی در اکثر پهن برگان هستند که ۲۰ تا ۳۰٪ وزن خشک بافت چوبی را تشکیل می‌دهند و غالباً از اجزای دیواره ثانویه هستند؛ اما در تک‌لپه‌ای‌ها در دیواره اولیه نیز یافت می‌شوند و ۲۰٪ کل دیواره از دیواره‌های اولیه و ثانویه تشکیل می‌دهند. در دولپه‌ای‌ها همی سلولزها ۲۰٪ دیواره ثانویه را تشکیل می‌دهند اما همی سلولزها تنها ۵٪ از دیواره اولیه را تشکیل می‌دهند. زایلان‌ها نیز در تک‌لپه‌ای‌ها و دولپه‌ای‌ها مقادیر متفاوتی دارند. در سوزنی برگان، گالاکتوگلوکومانان و

است. پالایش، الیاف را فیبریله و پرزدار می‌کند و باعث می‌شود که گروه‌های هیدروکسیلی بیشتری در سطح الیاف آزاد شوند. این گروه‌های هیدروکسیلی قادر به جذب آب بیشتری بوده و به همین خاطر باعث افزایش درجه روانی SR می‌شوند [۴].

بیشتری نسبت به خمیرکاغذ سودا دارد که این می‌تواند به دلیل وجود همی سلولزهای بیشتر در خمیرکاغذ MEA باشد. در این تحقیق مشاهده شد که بیشترین درجه روانی در خمیرکاغذهای سودا (۸۳ SR) و MEA (۸۵SR) مربوط به بیشترین سطح مصرف انرژی توسط پالایشگر

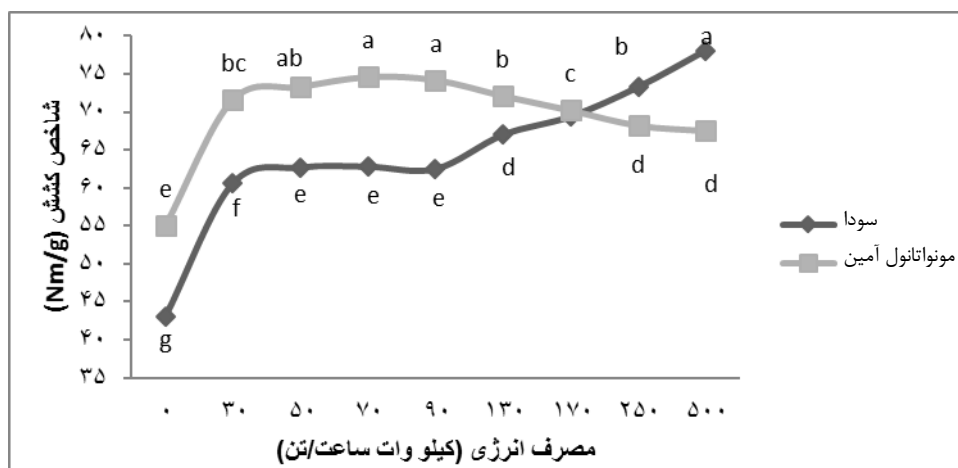


شکل ۳- تأثیر میزان مصرف انرژی در پالایشگر بر درجه روانی خمیرکاغذ سودا و MEA

بیشترین میزان آن (۷۸/۱ Nm/g) مربوط به تیماری است که مصرف انرژی پالایشگر آن حداکثر و ۵۰۰ kwh/t است. نتایج این تحقیق نشان داد که افزایش میزان مصرف انرژی در پالایشگر باعث افزایش شاخص کشش کاغذ می‌گردد، زیرا قابلیت اتصال بین لیفی افزایش می‌یابد و کاغذ مستحکم‌تری به دست می‌آید. این نتایج در بررسی‌های صورت گرفته مختلف تأیید گردیده است [۷، ۸، ۱۳].

### ویژگی‌های مکانیکی شاخص کشش

همان‌طور که در شکل ۴ مشاهده می‌شود، خمیرکاغذ مونواتانول آمین بدون پالایش، شاخص کشش بیشتری (۵۵Nm/g) نسبت به فرآیند سودای بدون پالایش (۴۳ Nm/g) دارد. در خمیرکاغذ سودا با افزایش میزان انرژی پالایشگر، شاخص کشش افزایش می‌یابد. به‌طوری‌که



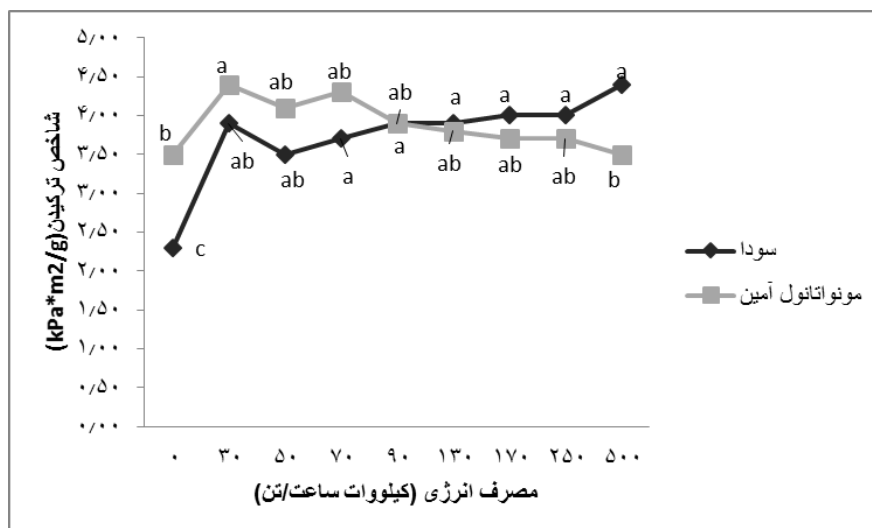
شکل ۴- تأثیر میزان مصرف انرژی در پالایشگر بر شاخص کشش

آمین مربوط به تیمارهای بدون پالایش است که به ترتیب معادل  $3/5 \text{ kPa} \cdot \text{m}^2/\text{g}$  و  $2/3$  می‌باشند. بیشترین میزان شاخص ترکیدن برای خمیر کاغذهای سودا و مونواتانول آمین برابر  $4/4 \text{ kPa} \cdot \text{m}^2/\text{g}$  است که در خمیر کاغذ سودا برای رسیدن به این میزان شاخص، مصرف  $500 \text{ kWh/t}$  انرژی در پالایشگر نیازمند است. در صورتی که در خمیر کاغذ مونواتانول آمین فقط با مصرف  $300 \text{ kWh/t}$  انرژی در پالایشگر این مقدار شاخص به دست آمده است که این به معنی صرفه‌جویی ۹۴ درصدی در مصرف انرژی در پالایشگر است. با افزایش مصرف انرژی در خمیر کاغذ سودا، شاخص ترکیدن کاغذ افزایش می‌یابد که این امر به دلیل افزایش انعطاف‌پذیری الیاف و ایجاد اتصالات هیدروژنی بیشتر در بین الیاف است. در مورد خمیر کاغذ MEA، با ادامه‌ی افزایش مصرف انرژی به بالاتر از سطح  $300 \text{ kWh/t}$ ، شاخص ترکیدن کاغذ به دلیل پالایش بیش‌ازحد و شکست الیاف کاهش می‌یابد. تحقیقات صورت گرفته، نتایج این تحقیق را تأیید کرده‌اند [۸، ۹].

در مورد خمیر کاغذ MEA مشاهده می‌شود که ابتدا با افزایش میزان مصرف انرژی شاخص کشش افزایش می‌یابد به طوری که با مصرف انرژی معادل  $70 \text{ kWh/t}$  شاخص کشش به حداکثر مقدار خود ( $74/6 \text{ Nm/g}$ ) می‌رسد اما پس از آن با افزایش بیشتر مصرف انرژی، شاخص کشش کاهش می‌یابد؛ بنابراین در خمیر کاغذ مونواتانول آمین با مصرف  $70 \text{ kWh/t}$  انرژی در پالایشگر مقدار بهینه شاخص کشش به دست می‌آید اما در مورد خمیر کاغذ سودا برای رسیدن به این میزان از شاخص کشش، مصرف  $250 \text{ kWh/t}$  انرژی در پالایشگر نیازمند است. این نشان می‌دهد که خمیر کاغذ مونواتانول آمین برای رسیدن به شاخص کشش بهینه قابلیت صرفه‌جویی در مصرف انرژی پالایشگر تا حدود ۷۰٪ را نسبت به خمیر کاغذ سودا دارد.

### شاخص ترکیدن

نتایج به دست آمده در شکل ۵ نشان می‌دهد که افزایش میزان مصرف انرژی در پالایشگر تأثیر معنی‌داری بر شاخص ترکیدن خمیر کاغذهای سودا و MEA ندارد. کمترین میزان شاخص ترکیدن در هر دو نوع خمیر کاغذ سودا و مونواتانول

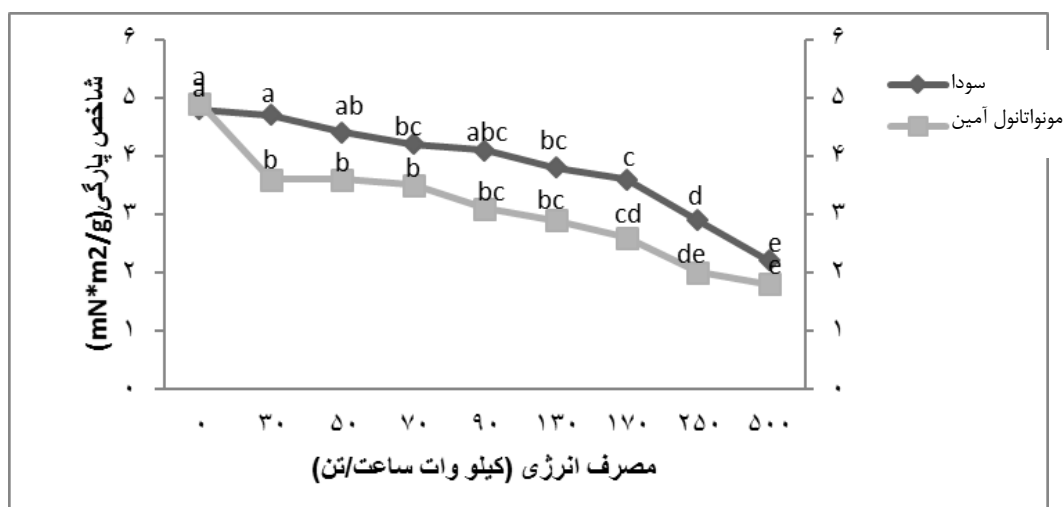


شکل ۵- تأثیر میزان مصرف انرژی در پالایشگر بر شاخص ترکیدن

افزایش میزان مصرف انرژی در پالایشگر، شاخص پارگی در هر دو نوع خمیر کاغذ کاهش یافته است که این افت شاخص در خمیر کاغذ مونواتانول آمین شدیدتر است.

### شاخص پارگی

همان‌طور که شکل ۶ نشان می‌دهد، بیشترین میزان شاخص پارگی کاغذ در فرآیندهای سودا و مونواتانول آمین مربوط به تیمارهای بدون پالایش ( $4/8 \text{ mNm}^2/\text{g}$ ) است. با



شکل ۶- تأثیر مصرف انرژی در پالایشگر بر شاخص پاره شدن

کاغذهای دست‌ساز ساخته شده از خمیر کاغذ سودا و MEA معنی‌دار است اما تأثیر آن بر دانسیته‌ی این کاغذها معنی‌دار نیست. با افزایش میزان مصرف انرژی، ضخامت، زبری و تخلخل کاغذ کاهش یافته است. لازم به ذکر است که در خمیر کاغذ MEA پس از افزایش مصرف انرژی به سطح ۱۳۰ kwh/t، میزان زبری و تخلخل کاغذ به حدی کاهش می‌یابد که دیگر امکان اندازه‌گیری آن توسط دستگاه زبری سنج و تخلخل سنج کاغذ میسر نیست. در مورد خمیر کاغذ سودا این مورد در سطح انرژی ۲۵۰ kwh/t مشاهده می‌شود.

از آنجاکه مقاومت به پاره شدن کاغذ رابطه‌ی مستقیم با طول الیاف خمیر کاغذ دارد بنابراین با افزایش مصرف انرژی پالایش و کوتاه شدن الیاف، مقاومت به پاره شدن کاغذ به دست آمده کاهش می‌یابد. نتایج تحقیقات مختلف در تأیید نتایج این تحقیق است. [۷، ۸، ۹].

### ویژگی‌های فیزیکی کاغذ دست‌ساز

در جدول ۱، خصوصیات فیزیکی کاغذهای ساخته شده از خمیر کاغذ سودا و MEA نشان داده شده است. همان‌طور که در جدول مشخص است تأثیر میزان مصرف انرژی توسط پالایشگر بر ضخامت، زبری و تخلخل

جدول ۱- ویژگی‌های فیزیکی کاغذ دست‌ساز پالایش شده توسط پالایشگر

میزان انرژی Kwh/t	۵۰۰	۲۵۰	۱۷۰	۱۳۰	۹۰	۷۰	۵۰	۳۰	۰	
سودا	ضخامت $\mu\text{m}$	۷۳ <sup>g</sup>	۷۸ <sup>f</sup>	۹۳ <sup>e</sup>	۱۰۱ <sup>d</sup>	۱۰۲ <sup>cd</sup>	۱۰۴ <sup>c</sup>	۱۰۴ <sup>c</sup>	۱۱۰ <sup>b</sup>	۱۲۶ <sup>a</sup>
	دانسیته $\text{g/cm}^3$	۰/۹۹ <sup>a</sup>	۰/۸۱ <sup>b</sup>	۰/۸۴ <sup>c</sup>	۰/۷۸ <sup>d</sup>	۰/۷۳ <sup>e</sup>	۰/۷۲ <sup>ef</sup>	۰/۷۳ <sup>ef</sup>	۰/۷۱ <sup>f</sup>	۰/۶۲ <sup>g</sup>
	زبری ml/min	-	-	۱۸۴۸ <sup>g</sup>	۲۶۴۵ <sup>f</sup>	۲۶۶۷ <sup>e</sup>	۲۹۵۱ <sup>d</sup>	۲۹۷۵ <sup>c</sup>	۳۰۱۴ <sup>b</sup>	۳۳۷۶ <sup>a</sup>
	تخلخل ml/min	-	-	۸/۹ <sup>g</sup>	۱۵ <sup>f</sup>	۳۷ <sup>e</sup>	۵۰ <sup>d</sup>	۸۲ <sup>c</sup>	۱۲۸ <sup>b</sup>	۵۷۹ <sup>a</sup>
MEA	ضخامت $\mu\text{m}$	۷۶ <sup>g</sup>	۶۸ <sup>b</sup>	۷۶ <sup>g</sup>	۸۰ <sup>f</sup>	۸۳ <sup>e</sup>	۹۳ <sup>d</sup>	۱۰۰ <sup>b</sup>	۹۸ <sup>c</sup>	۱۰۵ <sup>a</sup>
	دانسیته $\text{g/cm}^3$	۰/۹۱ <sup>a</sup>	۰/۸۱ <sup>b</sup>	۰/۹۱ <sup>a</sup>	۰/۸۱ <sup>b</sup>	۰/۷۸ <sup>c</sup>	۰/۷۷ <sup>c</sup>	۰/۷۵ <sup>d</sup>	۰/۷۳ <sup>e</sup>	۰/۶۲ <sup>f</sup>
	زبری ml/min	-	-	-	-	۳۲۵۵ <sup>e</sup>	۳۳۵۵ <sup>d</sup>	۳۴۶۰ <sup>b</sup>	۳۴۴۳ <sup>c</sup>	۳۵۵۳ <sup>a</sup>
	تخلخل ml/min	-	-	-	-	۱۰ <sup>e</sup>	۱۴ <sup>d</sup>	۲۱ <sup>c</sup>	۴۳ <sup>b</sup>	۹۰ <sup>a</sup>

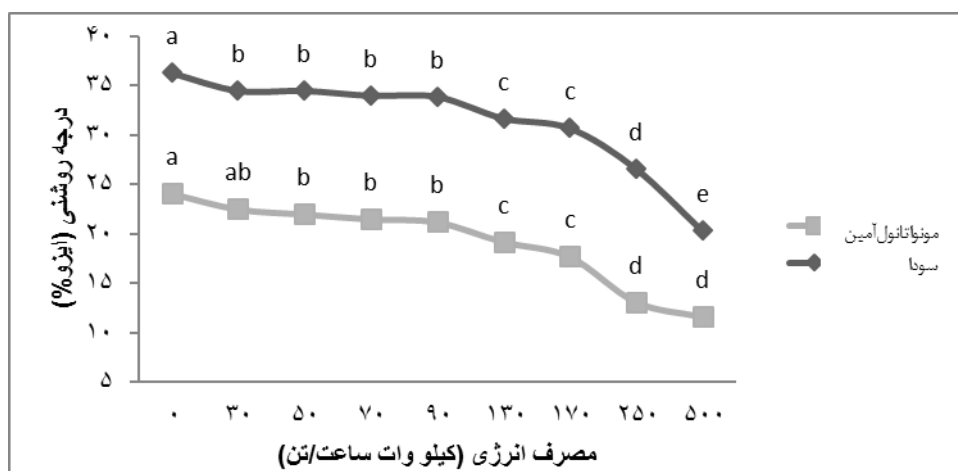


افزایش میزان مصرف انرژی در پالایشگر تأثیر معنی‌داری بر درجه روشنی هر دو نوع خمیر کاغذ دارد. بیشترین میزان درجه روشنی در خمیر کاغذهای سودا و مونواتانول آمین مربوط به تیمار پالایش نشده می‌باشند که به ترتیب عبارت‌اند از  $36.3$  و  $24.1$  ISO٪ و با شروع پالایش و افزایش مصرف انرژی در پالایشگر، درجه روشنی خمیر کاغذها کاهش می‌یابد. این کاهش درجه روشنی تا سطح مصرف انرژی  $90 \text{ kWh/t}$  ملایم‌تر است اما با افزایش مصرف انرژی به بیشتر از  $130 \text{ kWh/t}$  افت درجه روشنی محسوس‌تر می‌شود به طوری که این اتفاق در خمیر کاغذ مونواتانول آمین مشهودتر است. همان‌طور که در شکل مشاهده می‌شود میزان درجه روشنی در حد نهایی پالایش برای خمیر کاغذ مونواتانول آمین تا  $55$ ٪ نسبت به تیمار بدون پالایش کاهش داشته است. در صورتی که در سطح نهایی پالایش خمیر کاغذ سودا  $44$ ٪ کاهش درجه روشنی داشته است. این امر به این دلیل است که بر اثر پالایش، دانسیته خمیر کاغذ افزایش می‌یابد و در نتیجه تخلخل آن کاهش می‌یابد. این کاهش تخلخل کاغذ منجر به کاهش ضریب پخش نور می‌شود و در نتیجه با افزایش شدت پالایش درجه روشنی خمیر کاغذ کاهش می‌یابد.

پالایش الیاف باعث انعطاف‌پذیری بیشتر آن‌ها می‌شود، علاوه بر آن در اثر پالایش طول الیاف کاهش یافته و ذرات ریز لیفی (نرمه) بیشتری ایجاد می‌گردد. در این شرایط، امکان تولید کاغذ مترکم‌تر و فشرده‌تر فراهم می‌شود و در نتیجه ضخامت کاغذ کاهش می‌یابد. از طرف دیگر همین عوامل باعث می‌شوند تا زبری سطح کاغذ کاهش یابد و کاغذی با سطح صاف‌تر و همچنین تخلخل کمتری حاصل گردد. در تحقیقی که به بررسی تأثیر پالایش بر خواص فیزیکی و مکانیکی خمیر کاغذ پرداخته شده بود، نتایج مشابهی به دست آمد. به طوری که کمترین میزان ضخامت، در شدیدترین مرحله پالایش و بیشترین میزان زبری، در کمترین شدت پالایش گزارش شد [۱۳]. همچنین در تحقیقی دیگر مشخص شد که با اعمال پالایش بر روی خمیر کاغذ، میزان دانسیته کاغذ تا حدود ۱۱ درصد افزایش خواهد داشت. این امر در نتیجه فیبره شدن الیاف و افزایش قابلیت پیوند بین الیاف است [۸].

### ویژگی‌های نوری درجه روشنی

همان‌طور که در شکل ۷ مشاهده می‌شود درجه روشنی خمیر کاغذ سودا بیشتر از خمیر کاغذ MEA است.

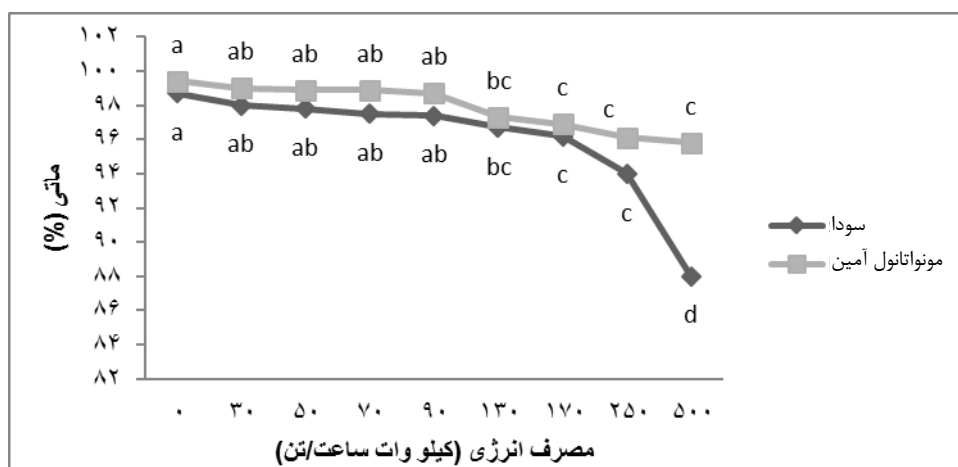


شکل ۷- تأثیر میزان مصرف انرژی در پالایشگر بر میزان درجه روشنی

بیشترین میزان ماتی مربوط به تیمارهای بدون پالایش و کمترین میزان آن مربوط به تیمار با حداکثر شدت پالایش است.

### درجه ماتی

با توجه به شکل ۸ مشاهده می‌شود که با افزایش شدت پالایش، ماتی کاغذ کاهش می‌یابد، به طوری که



شکل ۸- تأثیر میزان مصرف انرژی در پالایشگر بر میزان درجه ماتی

ایجاد شود که از آن جمله شکسته شدن و کوتاه شدن الیاف در اثر نیروی برشی است. در اثر این فعل و انفعالات، دانسیته، شاخص کشش و شاخص ترکیدن کاغذ افزایش می‌یابد و از طرف دیگر زبری، تخلخل، ضخامت، ماتی و شاخص پاره شدن کاغذ کاهش می‌یابد.

نتایج این تحقیق نشان داد که در فرآیند خمیر کاغذسازی MEA از کاه گندم با صرف ۷۰ kWh/t انرژی در پالایشگر نیمه صنعتی، مقاومت در برابر کشش و مقاومت در برابر ترکیدن به حداکثر میزان خود می‌رسند و افزایش انرژی بیش از این مقدار نه تنها باعث افزایش این مقاومت‌ها نمی‌شود بلکه باعث کاهش این مقاومت‌ها نیز می‌گردد؛ اما در خمیر کاغذسازی سودا از کاه گندم مشاهده گردید که افزایش مصرف انرژی تا ۵۰۰ kWh/t رابطه مستقیمی با مقاومت در برابر کشش و مقاومت در برابر ترکیدن دارد.

نتایج مقایسه دو فرآیند خمیر کاغذسازی سودا و MEA نشان می‌دهد که فرآیند خمیر کاغذسازی با MEA، در سطح لیگنین زدایی یکسان، دارای بازده بالاتری نسبت به خمیر کاغذ سودا است. از طرف دیگر، نتایج نشان می‌دهد که فرآیند خمیر کاغذسازی MEA نسبت به فرآیند سودا پالایش پذیرتر است و می‌توان با استفاده از فرآیند خمیر کاغذسازی MEA از کاه گندم، با مصرف انرژی کمتر در پالایشگر به مقامت‌های مکانیکی بهتری نسبت به فرآیند خمیر کاغذسازی سودا رسید.

در سطح صرف انرژی ۵۰۰ kWh/t توسط پالایشگر، میزان ماتی در خمیر کاغذ سودا تا ۸۸ و در خمیر کاغذ MEA تا ۹۵/۸ کاهش می‌یابد. از آنجاکه ماتی کاغذ رابطه مستقیم با چگونگی شکست نور تابیده به کاغذ دارد می‌توان نتیجه گرفت که با افزایش پالایش میزان شکست نور کاهش یافته است. علت این پدیده کاهش میزان تخلخل کاغذ و در نتیجه افزایش دانسیته‌ی آن است؛ بنابراین کاهش تخلخل کاغذ باعث کاهش ماتی گردیده است. نتایج سایر محققان در تأیید تأثیر پالایش بر کاهش ماتی کاغذ است [۱۳].

### نتیجه‌گیری

پالایش فرآیندی است که برای تغییر ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی خمیر کاغذ از هر دو نوع نیروی مکانیکی و هیدرولیکی استفاده می‌کند. در اثر پالایش دیواره اولیه الیاف تا حدی فشرده و در نتیجه دیواره ثانویه در تماس مستقیم با آب قرار گرفته و آب را به راحتی جذب می‌کند و واکنشیده می‌شود که این امر انعطاف پذیری الیاف را بهبود می‌بخشد. از طرف دیگر ادامه فرآیند پالایش منجر به پدیدار شدن میکروفیبریل‌ها در سطح الیاف می‌شود. این پدیده موجب افزایش سطح کل الیاف پالایش گردیده که در نتیجه پیوندها بین الیاف افزایش یافته و شکل پذیری ورقه کاغذ و استحکام آن افزایش می‌یابد؛ اما در کنار اثرات مثبت ممکن است اثرات نامناسب نیز به وسیله پالایش

## منابع

- [1] Hedjazi, S., Kordsachia, O., R. Patt. and Kreipl, A., 2009. MEA/water/AQ-pulping of wheat straw. *Holzforschung*, 63(5): 505–512.
- [2] Hedjazi, S., Heidari 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*.
- [3] Shiralizadeh, F., Hedjazi, S. and Ahmadi, M., 2015. Evaluation of pulp properties produced from rice straw by combination of the monoethanolamine and potassium hydroxide . *Iranian Journal of Wood and Paper Science Research*, 30: (1).
- [4] Gharehkhani, S., Sadeghinezhad, E., Newaz Kazi, S. and Yarmand, H., 2015. Basic effects of pulp refining on fiber properties. *Carbohydrate Polymers*, 115 : 785–803.
- [5] Banavath, H. N., Bhardwaj, N. K. and Ray, A., 2011. A comparative study of the effect of refining on charge of various pulps. *Bioresource Technology*, 102(6): 4544–4551.
- [6] Batchelor, W., Kjell-Arve, K. and Ouellet, D., 1999. Refining and the development of fibre properties. *Nordic Pulp and Paper Research Journal*, 14(4): 285–291.
- [7] Bhardwaj, N. K., Hoang, V. and Nguyen, K. L., 2007. A comparative study of the effect of refining on physical and electrokinetic properties of various cellulosic fibres. *Bioresource Technology*, 98(8): 1647–1654.
- [8] Andalibian, M.A., Mahdavi, S., Kermanian, H. and Ramezani, O., 2013. The influence of OCC pulp refining to improve the properties of test liner board. *Iranian Journal of Wood and Paper Science Research*, 28: (1): 139-152.
- [9] Kord, B., 2009. Effect of Refining Intensity on Pulp and Paper Properties Made of *Eucalyptus Camaldulensis* Wood. *Iranian Journal of Wood and Paper Science Research*, 24:(1): 125\_133.
- [10] Kubes, G., Fleming, B., MacLeod, J. and Bolker, H., 1978. Sulphide-free alkaline delignification, IV, extension of soda-ethylenediamine pulping to various species. *New Orleans*, 24:(1): 27-31.
- [11] Kevin, A., Truner, P. and Malier, R., 2000. The impact of refining index on the wood, pulp and paper properties of *Eucalyptus Grandis* clone., In: *Proceedings Of International Conference of Paptac, Canada March.31 Montreal, canada*, p 493–502.
- [12] Reme, A.P., 2000. Fiber dimension during defibration and fiber development, In: *Proceedings Of International Conference of Paptac, Canada March.31 Montreal, canada*, p 480\_486.
- [13] Talaiepour, M., 2009. Effect of refining of deinked pulp on the optical, physical and mechanical properties of paper. *Iranian Journal of Wood and Paper Science Researc*, 2 pp 34-36. (In Persian).
- [14] Chuiko, V., Chupka, L. and Nnikitin, V., 1974. change in lignin during cooking with monoethanolamine. *Khimiya I tekhnol. Tsellyulozy*, 13(1): 34-36.
- [15] Green, J. and Sanyer, N., 1982. Alkaline pulping in aqueous alcohols and amines. *Tappi*, 5: 133-137.
- [16] Sarwar Jahan, M., 2008. Process for production of dissolving pulp from *terma orientalis* by prehydrolysis kraft. *Bio resources*, 3: 33-38.
- [17] Wallis, A., 1978. Monoethanolamine Pulping: *Res Rev.- Aust., CSIRO, Div. Chem. Technol*, 5: 56-61.
- [18] Aspinall, G., 1980. chemistry of cell wall polysaccharides. *carbohydrates: structure and function .academic press, new York* , 3:473-541.

## The beatability of wheat straw soda and monoethanolamine pulps

### Abstract

In this study, the beatability of soda and monoethanolamine pulps was compared. The refining of pulps was done in pilot scale Voith refiner Model LR 40. The results showed that the maximum tensile and burst indices of monoethanolamine pulp can be reached with consumption of 70 kWh energy in pilot scale Voith refiner and the increasing of energy more than this level has the adverse effect on these indices. In the case of soda pulp, increasing the energy up to 500 kWh has the linear relationship with tensile and burst indices. In comparison to the monoethanolamine pulp, the refining of soda pulp is more difficult and needs more energy. Using monoethanolamine pulp resulted in saving of energy by 70-80 % to reach the optimum strength indices.

**Key words:** wheat straw, pulping, monoethanolamine, soda, refining.

**M. Ahmadi**<sup>1</sup>  
**S. Hedjazi**<sup>2\*</sup>  
**B. Saake**<sup>3</sup>  
**O. Kordsachia**<sup>4</sup>  
**H. Yousefi**<sup>5</sup>

<sup>1</sup> Assistant Professor, Wood and paper science and technology, College of Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili Iran

<sup>2</sup> Associate Professor, Faculty of Natural Resources, University of Tehran

<sup>3</sup> Professor, Wood Chemistry and Chemical Technology of Wood Division, University of Hamburg

<sup>4</sup> Professor, Institute for Wood and Paper Research, Johan Heinrich von Thuenen Center (vTI), Hamburg

<sup>5</sup> Assistance Professor, Faculty of Wood and Paper Engineering, Gorgan University of Agriculture and Natural Resources

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

Received: 2015/04/06  
Accepted: 2015/06/10