

## تأثیر زمان کوبش بر ویژگی‌های خمیر کاغذ سودا و مونواتانول آمین حاصل از کاه گندم

محمد احمدی<sup>۱\*</sup>، سحاب حجازی<sup>۲</sup> و کامیار صالحی<sup>۳</sup>

\* نویسنده مسئول، استادیار، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، پست الکترونیک: m.ahmadi@uma.ac.ir

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

<sup>۳</sup> کارشناس ارشد، بخش تحقیقات علوم چوب و فراورده‌های آن، مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج

کشاورزی، تهران، ایران

تاریخ پذیرش: دی ۱۳۹۵

تاریخ دریافت: آبان ۱۳۹۵

### چکیده

در این تحقیق به بررسی تأثیر زمان کوبش بر ویژگی‌های مرفولوژی، فیزیکی و مقاومتی خمیر کاغذ سودا و مونواتانول آمین حاصل از کاه گندم، برای دستیابی به زمان بهینه کوبش پرداخته شده است. برای کوبش خمیر کاغذها از کوبنده آزمایشگاهی یوکرومیل در زمان‌های مختلف استفاده شد. نتایج نشان داد که با افزایش زمان کوبش درجه روانی (SR) خمیر کاغذها افزایش یافت و در این بین خمیر کاغذ مونواتانول آمین در زمان کمتری نسبت به خمیر کاغذ سودا، به میزان بیشینه درجه روانی (SR) رسید. همچنین مشاهده شد، افزایش زمان کوبش باعث کاهش طول الیاف، ضخامت، زبری، تخلخل و افزایش دانسیته و میزان نرمه در هر دو نوع خمیر کاغذ می‌گردد. همچنین مشخص شد، خمیر کاغذ مونواتانول آمین پس از مدت زمان ۳۰ دقیقه، به بیشترین میزان شاخص کشش خود ( $91/3 \text{ N.m/g}$ ) می‌رسد و پس از آن افزایش زمان کوبش تأثیر معنی‌داری بر افزایش این ویژگی نخواهد داشت. در مورد خمیر کاغذ سودا مشاهده شد که با افزایش زمان کوبش شاخص کشش به‌طور معنی‌داری افزایش می‌یابد و در زمان ۵۰ دقیقه بیشترین میزان شاخص کشش ( $87/7 \text{ N.m/g}$ ) برای این نوع خمیر کاغذ حاصل می‌شود. بیشترین میزان شاخص ترکیدن در خمیر کاغذ سودا برابر با  $5 \text{ kp.m}^2/\text{g}$  می‌باشد که در مدت زمان ۵۰ دقیقه کوبش حاصل می‌گردد. در مورد خمیر کاغذ مونواتانول آمین با افزایش مدت زمان کوبش تا ۴۰ دقیقه شاخص ترکیدن افزایش یافته و به میزان بیشینه خود ( $5/6 \text{ kp.m}^2/\text{g}$ ) می‌رسد و پس از آن، میزان آن کاهش می‌یابد. افزایش زمان کوبش باعث کاهش شاخص پارگی در هر دو نوع خمیر کاغذ مونواتانول آمین و سودا شد. با بررسی نتایج مشاهده شد که خمیر کاغذ مونواتانول آمین، نسبت به خمیر کاغذ سودا، بازده بالاتر و قابلیت کوبش بهتری دارد که این می‌تواند به دلیل قابلیت بهتر مونواتانول آمین در حفظ کربوهیدرات‌ها و ترکیبات معدنی باشد.

واژه‌های کلیدی: کوبش، کاه گندم، مونواتانول آمین، یوکرومیل، ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی.

### مقدمه

هستند افزایش چشمگیری پیدا کرده است و پیش‌بینی می‌شود که مصرف جهانی کاغذ از ۳۰۰ میلیون تن در سال ۱۹۹۸ به حدود ۴۲۵ میلیون تن در سال ۲۰۱۶ خواهد

در سال‌های اخیر تقاضا برای خمیر کاغذ و کاغذ در بسیاری از کشورهایی که حتی با کمبود منابع جنگلی مواجه

رسید (FAO, 2009). از سوی دیگر با افزایش جمعیت، فشار بر روی جنگل‌ها و سایر منابع افزایش خواهد یافت و باعث تخریب این مناطق حیاتی می‌شود. از این رو به دلیل منابع محدود جنگلی و رو به تحلیل رفتن این منابع، وابسته بودن به منابع موجود برای تولید کاغذ و خمیرکاغذ منطقی به نظر نمی‌رسد. با توجه به تقاضای بازار و فشارهای زیست‌محیطی، منابع تأمین ماده اولیه صنایع خمیرکاغذ از چوب به مواد غیرچوبی و پسماندهای کشاورزی گرایش پیدا کرده است (Atchinson, 1995, 1996, 1998). به طوری که از انواع منابع فیبری مثل جنگل‌های دست کاشت سریع‌الرشد، افزایش بازیافت و الیاف منابع لیگنوسلولزی غیرچوبی از پسماندهای کشاورزی برای تأمین ماده اولیه کاغذسازی استفاده خواهد شد (Capelleto, 2011; Gominho, 1997; Ali, 1999). گندم به‌عنوان غذای اصلی اغلب جوامع از جمله ایران یک کالای راهبردی بوده و به دلیل سازگاری گسترده کشت با شرایط مختلف آب و هوایی، سهولت کشت، امکان نگهداری طولانی‌مدت، ارزش غذایی بالا و قابلیت مصرف در شکلهای مختلف از جایگاه ویژه‌ای برخوردار است. به همین دلیل تلاش دولتمردان، افزایش سطح زیر کشت و تولید آن می‌باشد.

سازمان جهانی خواروبار و کشاورزی (FAO)، در جدیدترین برآورد خود از میزان تولید گندم جهان اعلام کرد، در سال ۲۰۱۴ میلادی کل تولید گندم در جهان به ۷۰۱ میلیون تن رسیده است که ۱۳/۴ میلیون تن نسبت به سال گذشته کاهش داشته‌است. براساس برآورد فائو، اتحادیه اروپا با تولید ۱۴۳/۷ میلیون تن گندم رتبه نخست جهان را به خود اختصاص داده، چین با ۱۲۲ میلیون تن و هند با ۹۶ میلیون تن به ترتیب در رتبه‌های دوم و سوم قرار گرفته‌اند. بر اساس این گزارش، تولید گندم ایران در سال ۲۰۱۴ نسبت به سال گذشته ۳/۵ درصد کاهش یافته و به ۱۳/۵ میلیون تن می‌رسد. ایران در سال گذشته ۱۴ میلیون تن گندم تولید کرده بود. این گزارش، ایران را در سال ۲۰۱۴ همانند سال گذشته، دوازدهمین تولیدکننده بزرگ گندم جهان معرفی کرده است (FAO, 2014).

به‌طورکلی فرایندهای سودا، سولفیت و کرافت می‌توانند برای تولید خمیرکاغذ از منابع لیگنوسلولزی غیرچوبی مورد استفاده قرار گیرند. برخلاف چوب، خمیرکاغذهای تولیدشده از منابع لیگنوسلولزی غیرچوبی توسط فرایند سودا و کرافت از نظر خواص بسیار شبیه هم بوده و اختلاف معنی‌داری بین آنها وجود ندارد (Hedjazi, 2009). بنابراین بسیاری از منابع لیگنوسلولزی غیرچوبی را می‌توان توسط فرایند سودا به خمیرکاغذ تبدیل کرد ولی با توجه به کیفیت و بازده خمیرکاغذ تولیدی و همچنین آلودگی‌های محیط‌زیست و هزینه‌های بالای فرایند کرافت، تهیه خمیرکاغذ به روش سودا، برای منابع لیگنوسلولزی غیرچوبی ترجیح داده می‌شود. به‌علاوه شرایط پخت ملایم‌تر، لیگنین کمتر و همچنین بافت متخلخل این مواد امکان استفاده از دیگ‌های پخت پیوسته را فراهم می‌سازد. یکی از مهمترین چالش‌های تولید خمیرکاغذ با استفاده از فرایند سودا از پسماندهای کشاورزی، عدم وجود سیستم بازیابی مناسب می‌باشد که علاوه بر هدر رفتن مواد شیمیایی و بروز مشکلات زیست‌محیطی، امکان رقابت این فرایندها با فرایندهای پیشرفته خمیرکاغذسازی از چوب و پیشرفت‌های حاصل در این صنعت از نظر اقتصادی و فناوری را دشوار کرده است. علت عدم وجود سیستم بازیابی مناسب در کارخانه‌های خمیرکاغذ بر مبنای پسماند کشاورزی، وجود سیلیس زیاد در این مواد خام می‌باشد. یکی از جایگزین‌های جدی فرایندهای متداول خمیرکاغذ سازی، فرایند خمیرکاغذسازی مونواتانول آمین می‌باشد.

از ویژگی‌های منحصر به فرد این ماده، لیگنین‌زدایی زیاد از ماده لیگنوسلولزی با حفظ بازده بالا می‌باشد. علت اصلی این افزایش بازده حفظ همی‌سلولزها در خمیرکاغذ مونواتانول آمین می‌باشد. همچنین مونواتانول آمین، با استفاده از تقطیر بازیابی شده و مشکلات مربوط به سیلیس در کارخانه‌ها بر پایه مونواتانول آمین را به حداقل می‌رساند (Hedjazi et al., 2009). در صنعت کاغذسازی به‌منظور بهبود و یکنواختی خواص فیزیکی و نیز افزایش مقاومت‌های مکانیکی کاغذ و همچنین شکل‌گیری مطلوب‌تر

## مواد و روش‌ها

تهیه و آماده‌سازی مواد اولیه

نمونه‌های کاه گندم مورد آزمایش از مزارع ایالت هامبورگ در شمال کشور آلمان تهیه گردید. سپس برای انجام آزمایش‌ها و انجام عملیات پخت به قطعات کوتاه‌تری توسط دستگاه برش<sup>۱</sup> تبدیل گردیدند و برای رسیدن به رطوبت تعادل در محیط آزمایشگاه قرار داده شدند. هیدروکسید سدیم (NaOH) از شرکت مرک<sup>۲</sup> آلمان تهیه گردید. مونواتانول آمین نیز از شرکت BASF<sup>۳</sup> آلمان و در ظروف دربسته و تیره رنگ به مقدار ۱۰۰ لیتر تهیه گردید و در شرایط ایزوله برای انجام آزمایش‌ها به بخش شیمی چوب و فناوری شیمیایی چوب مرکز علوم چوب دانشگاه هامبورگ (ZHW)<sup>۴</sup> منتقل شد.

### روش‌ها

اندازه‌گیری خواص آناتومی الیاف کاه گندم

برای اندازه‌گیری طول الیاف، تراشه‌هایی به ضخامت ۱ میلی‌متر و طول ۲ سانتیمتر تهیه شد. آماده‌سازی الیاف به روش محلول آب اکسیژنه و اسید استیک انجام شد. برای اندازه‌گیری طول الیاف از عدسی چشمی با بزرگ‌نمایی X ۱۰ استفاده شد. متوسط ابعاد الیاف با اندازه‌گیری ۳۰ عدد فیبر سالم به دست آمد. پس از اندازه‌گیری ابعاد الیاف، ضرایب بیومتری آنها شامل ضریب لاغری، ضریب رانکل و ضریب انعطاف‌پذیری محاسبه شد.

اندازه‌گیری ترکیبات شیمیایی الیاف کاه گندم

ترکیبات شیمیایی اندازه‌گیری شده در مورد کاه گندم و روش‌های استاندارد بکار رفته برای اندازه‌گیری این ترکیبات به شرح زیر بوده است: تهیه پودر طبق استاندارد شماره ۸۵ om ۲۶۷-T، تعیین درصد رطوبت پودر از استاندارد

ورقه تر کاغذ، از عملیات پالایش استفاده می‌گردد. میزان پالایش به نوع خمیرکاغذ و کاربرد نهایی آن بستگی دارد (Talaeipour, 2009). برای انجام عملیات پالایش در مقیاس آزمایشگاهی از دستگاه‌های PFI mill، Valley Beater و jokro mill استفاده می‌شود که مکانیزم عمل این دستگاه‌ها با یکدیگر تفاوت‌هایی دارد. عمومی‌ترین نوع پالایشگر، پالایشگر PFI mill می‌باشد که دستگاهی با مصرف انرژی بالا و شدت عمل کم می‌باشد. دستگاه Valley Beater نسبت به PFI mill به مدت زمان بیشتری برای انجام عملیات پالایش نیازمند است اما حجم بیشتری از خمیرکاغذ را نیز می‌تواند پالایش کند. مکانیزم عمل دستگاه jokro mill تقریباً مشابه با دستگاه PFI mill می‌باشد. این دستگاه همانند PFI یک پالایشگر صفحه‌ای می‌باشد که نمونه‌های خمیرکاغذ برای انجام پالایش درون ظرف‌های استوانه‌ای شکلی که در داخل دستگاه قرار دارند ریخته می‌شوند. ابعاد دستگاه، مخصوصاً عمق شیار در کوبنده jokromill نسبت به دستگاه PFI mill کوچک‌تر است و تنظیم عملیات پالایش در این دستگاه بر مبنای زمان می‌باشد (Phichit, 2011). مهمترین تأثیری که این نوع از دستگاه‌ها بر روی خمیرکاغذ می‌گذارند، کوبیدن الیاف می‌باشد. کوبش باهدف افزایش منطقه تماس بین الیاف از طریق رشته‌ای کردن داخلی و خارجی الیاف و افزایش انعطاف‌پذیری الیاف انجام می‌شود. بر اثر کوبش بیشتر ویژگی‌های مقاومتی کاغذ بهبود می‌یابد که علت آن افزایش قابلیت اتصال بین الیاف می‌باشد (liu jie, 2011). لازم به ذکر است که فرایند کوبش به‌منظور ایجاد چنین ویژگی‌هایی نیازمند صرف زمان و به تبع آن افزایش هزینه می‌باشد. از این رو در این تحقیق، به بررسی بهینه‌سازی زمان کوبش برای خمیرکاغذهای سودا و مونواتانول آمین حاصل از کاه گندم پرداخته شده است. همچنین ویژگی‌های آناتومیکی، فیزیکی و مکانیکی خمیرکاغذهای حاصل بعد از هر مرحله کوبش مورد ارزیابی قرار گرفته است.

1- cutter

2- Merck

3- Baden Alkaline and Soda Factory

4- Zentrum Holzwirtschaft-Holzchemie und chemische technologie des Holzes

آزمون درجه روشنی تحت استاندارد T 425 om-98 انجام شده است.

#### کوبش خمیر کاغذ با کوبنده یوکرومیل<sup>۲</sup>

خمیر کاغذهای سودا و مونواتانول آمین با کوبنده یوکرومیل طبق استاندارد ۳-۵۲۶۴ ISO، به طور جداگانه و در ۹ سطح زمان (۱۰، ۲۰، ۳۰، ۴۰، ۵۰، ۶۰، ۷۰، ۸۰، ۹۰) دقیقه توسط دستگاه یوکرومیل کوبیده شدند. درجه روانی تمام خمیر کاغذهای پالایش شده توسط کوبنده آزمایشگاهی یوکرومیل بر مبنای SR طبق استاندارد ۱-۵۲۶۷ DIN ISO EN اندازه گیری گردید.

#### اندازه گیری ابعاد لیاف خمیر کاغذ

طول، قطر، مقدار نرمه و درصد فیبر پاره شدن لیاف، قبل و بعد از عملیات کوبش، به وسیله دستگاه<sup>۳</sup> FQA شرکت متسو<sup>۴</sup> انجام شد. این دستگاه لیاف را از طریق پمپاژ کردن از طریق یک لوله موئین نازک با غلظت کم مورد تجزیه و تحلیل قرار می دهد. لیاف به طور مجزا در این لوله موئین توسط دو دوربین با وضوح ۱۵ و ۱/۵ میکرومتر اندازه گیری می شوند.

#### ساخت کاغذ

تهیه کاغذ دست ساز با گراماژ ۸۰ گرم بر متر مربع طبق استاندارد 2-ISO 5269 انجام شد. اندازه گیری شاخص مقاومت به کشش طبق استاندارد شماره 96 om-494 T، اندازه گیری مقاومت در برابر ترکیدن طبق استاندارد شماره 01 om-403 T و اندازه گیری شاخص مقاومت در برابر پار شدن طبق استاندارد شماره 98 om-414 T آیین نامه TAPPI انجام گردید. اندازه گیری دانسیته کاغذ طبق استاندارد ۵۳۴ ISO، اندازه گیری ضخامت کاغذ طبق استاندارد شماره 97 om-411 T، اندازه گیری زبری سطح کاغذ طبق استاندارد شماره 01 om-538 T و اندازه گیری مقاومت به عبور هوا

شماره ۸۸ om-۲۶۴ T، اندازه گیری مقدار خاکستر بر اساس استاندارد شماره ۹۳ om-۲۱۱ T، تعیین مواد استخراجی محلول در حلال آلی طبق استاندارد شماره ۹۷ om-۲۰۷ T، اندازه گیری سلولز طبق استاندارد شماره ۸۸ om-۲۶۴ T و اندازه گیری لیگنین طبق استاندارد شماره ۹۷ om-۲۲۲ T آیین نامه TAPPI انجام شد.

در این تحقیق، از دو فرایند سودا و مونواتانول آمین (MEA) برای پخت کاه گندم استفاده شد. در روش سودا، میزان قلیابیت ۱۶٪، زمان پخت ۳۰ دقیقه، دمای پخت ۱۶۰ درجه سانتی گراد 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 سانتی گراد و نسبت مایع پخت به کاه گندم ۴ به ۱ تعیین شد. برای انجام پخت از دیگ پخت پاندیا<sup>۱</sup> ۸۰ لیتری بخش شیمی و فناوری های شیمیایی چوب دانشگاه هامبورگ استفاده گردید. برای هر پخت از ۲۵۰۰ گرم ماده اولیه بر مبنای وزن خشک استفاده شد.

#### ارزیابی 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 شده و در نهایت توسط یک غربال آزمایشگاهی با اندازه حفره ۰/۱۵ میلی متر، خمیر کاغذ و لیاف قابل قبول از تراشه ها و وازده های الک جدا شدند. بعد از این مرحله، خمیر کاغذ آبدگیری شده و پس از محاسبه رطوبت خمیر کاغذ، میزان بازده کل، بازده قابل قبول و میزان وازده آن اندازه گیری گردید. اندازه گیری ترکیب کربوهیدرات ها و قندهای ساده بعد از یک هیدرولیز کامل توسط اسیدسولفوریک ۷۲٪، با دستگاه HPLC انجام شد. برای اندازه گیری عدد کاپا از استاندارد شماره ۰۶ om-۲۳۶ T آیین نامه TAPPI استفاده شد. اندازه گیری میزان گرانیروی بر اساس استاندارد ۱۳۶/۶۱ Zellcheming-Vorschrift IV انجام گردید و

2- Jokro mill

3- Fiber Quality Analyzer

4- Metso

1- Pandia digester

شیمیایی کاه گندم به ترتیب در جدولهای ۱ و ۲ ارائه شده است.

پخت خمیرکاغذهای سودا و مونواتانول آمین در جدول ۳ نتایج مربوط به میزان بازده قابل قبول، وازده و عدد کاپای دو فرایند سودا و مونواتانول آمین نشان داده شده است. همان‌طور که در جدول مشخص است، خمیرکاغذ MEA دارای بازده قابل قبول بیشتری (۵۷/۲٪) نسبت به خمیرکاغذ سودا (۴۳٪) می‌باشد. همچنین میزان وازده در خمیرکاغذ MEA (۲/۸٪) نسبت به خمیرکاغذ سودا (۵٪) کمتر می‌باشد. خمیرکاغذ مونواتانول آمین نسبت به خمیرکاغذ سودا میزان مواد استخراجی، سیلیس و خاکستر بیشتری دارد.

طبق استاندارد شماره T460-om 02 آیین‌نامه TAPPI انجام شد. 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 درصد انجام گردید.

## نتایج

اندازه‌گیری ابعاد الیاف، ضرایب آناتومی و ترکیبات شیمیایی کاه گندم یکی از فاکتورهای مهم و مؤثر در خصوصیات فرآورده‌های کاغذی حاصل از مواد لیگنوسلولزی تفاوت‌هایی است که در ابعاد الیاف تشکیل‌دهنده آنها وجود دارد. نتایج حاصل از اندازه‌گیری ابعاد الیاف و ترکیبات

جدول ۱- ابعاد و ضرایب آناتومی الیاف کاه گندم

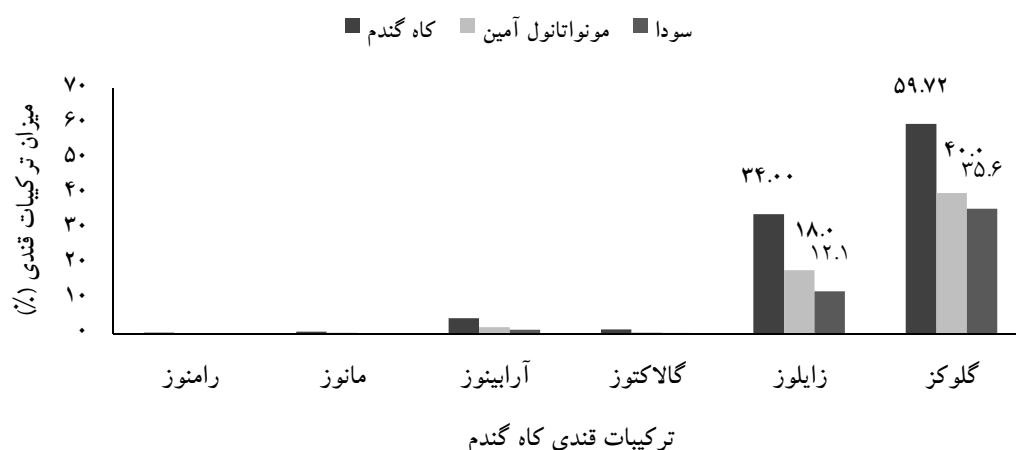
طول الیاف (میلی‌متر)	قطر الیاف (میکرون)	قطر حفره (میکرون)	ضخامت دیواره		ضرایب بیومتری
			الیاف (میکرون)	ضریب لاغری	
۱/۱۴	۱۹/۵۲	۱۰/۵۴	۴/۳۹	۵۹	۵۵/۵۴
					ضریب رانکل (%)
					۸۳

جدول ۲- ترکیبات شیمیایی کاه گندم

ماده	مقدار (%)
سلولز	۴۹/۷۸
لیگنین	۱۹/۶۴
همی سلولزها	۲۰/۳۷
مواد استخراجی محلول در حلال آلی	۴/۹۳
خاکستر	۵/۲۸

جدول ۳- ویژگی خمیر کاغذهای سودا و MEA

نوع فرایند	قابل قبول (%)	وازده (%)	بازده کل (%)	عدد کاپا	روشنی (ISO%)	گرانروی (ml/g)	درجه روانی (SR)	مواد استخراجی (%)	سیلیس (%)	خاکستر (%)
سودا	۴۳	۵	۴۸	۱۸	۲۴/۱	۸۰۵	۲۱	۰/۵	۰/۵۴	۱/۸۲
مونواتانول آمین	۵۷/۲	۲/۸	۶۰	۱۶/۵	۳۶/۳	۹۱۵	۳۰	۱/۴۵	۱	۲/۹۵



شکل ۱- ترکیبات قندی تشکیل دهنده کاه گندم و خمیر کاغذهای سودا و مونواتانول آمین

MEA بعد از گذشت ۵۰ دقیقه از زمان کوبش، درجه روانی خمیر به میزان حداکثر خود (۹۰SR) می‌رسد. در صورتی که در مورد خمیر کاغذ سودا برای رسیدن به این درجه روانی به ۹۰ دقیقه زمان برای کوبیدن خمیر کاغذ نیاز است.

#### ابعاد الیاف خمیر کاغذ

جدول ۴ نشان می‌دهد که افزایش زمان کوبش به طور معنی داری باعث کاهش طول الیاف و افزایش میزان نرمه در هر دو نوع خمیر کاغذ می‌گردد، اما این افزایش مصرف انرژی تأثیر معنی داری بر قطر الیاف خمیر کاغذها ندارد. از مقایسه دو خمیر کاغذ سودا و مونواتانول آمین مشخص می‌گردد که در سطوح زمانی یکسان کوبش در یوکرومیل، خمیر کاغذ سودا دارای طول الیاف بیشتر و میزان نرمه کمتری نسبت به خمیر کاغذ مونواتانول آمین می‌باشد.

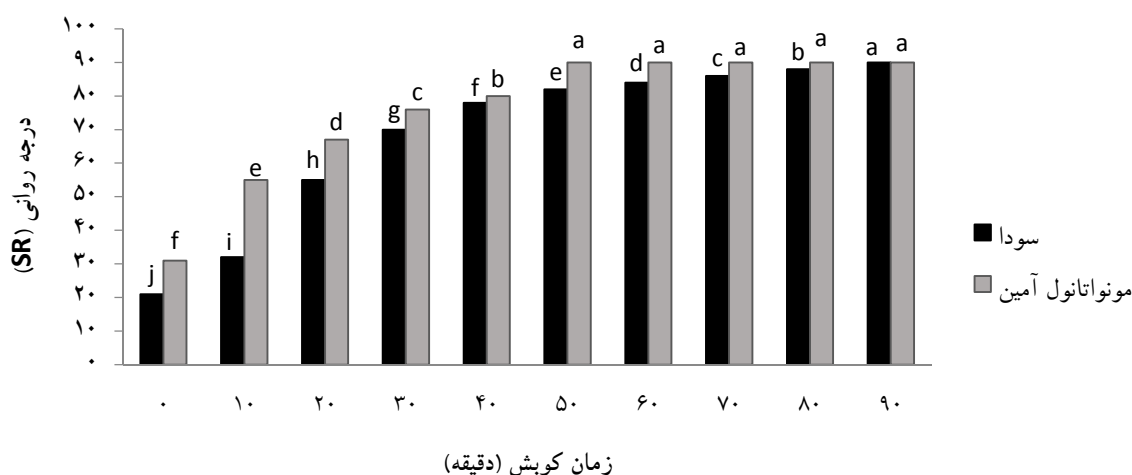
#### ترکیبات قندی

شکل ۱ درصد مونومرهای قندی تشکیل دهنده بخش کربوهیدراتی کاه گندم و خمیر کاغذهای سودا و مونواتانول آمین را نشان می‌دهد.

همان طور که در شکل بالا 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 به خمیر کاغذ سودا حدود ۱۲٪ بیشتر است.

#### درجه روانی

شکل ۲ رابطه بین زمان پالایش در کوبنده یوکرومیل و درجه روانی خمیر کاغذ را نشان می‌دهد. با افزایش زمان کوبش درجه روانی بر مبنای SR افزایش می‌یابد که در مورد خمیر کاغذ



شکل ۲- تأثیر زمان کوبش بر درجه روانی خمیر کاغذ سودا و MEA

جدول ۴- ویژگی‌های ابعادی خمیر کاغذ سودا و MEA بعد از کوبش توسط یوکرومیل

فرایند	زمان پالایش (دقیقه)	۰	۱۰	۲۰	۳۰	۴۰	۵۰	۶۰	۷۰	۸۰	۹۰
سودا	طول الیاف (mm)	۰/۶۷ <sup>a</sup>	۰/۶۳ <sup>b</sup>	۰/۶۲ <sup>b</sup>	۰/۵۸ <sup>c</sup>	۰/۵۵ <sup>d</sup>	۰/۵۴ <sup>d</sup>	۰/۵۲ <sup>e</sup>	۰/۵۱ <sup>e</sup>	۰/۴۶ <sup>f</sup>	۰/۴۱ <sup>g</sup>
	قطر الیاف (μm)	۱۸/۵ <sup>b</sup>	۱۸/۱ <sup>ab</sup>	۱۸ <sup>ab</sup>	۱۸/۱ <sup>ab</sup>	۱۷/۹ <sup>ab</sup>	۱۷/۹ <sup>ab</sup>	۱۸ <sup>ab</sup>	۱۷/۴ <sup>a</sup>	۱۷/۴ <sup>a</sup>	۱۷/۸ <sup>ab</sup>
	نرمه (%)	۱۱/۳ <sup>a</sup>	۱۷/۱۲ <sup>b</sup>	۱۷/۷ <sup>b</sup>	۱۸/۶ <sup>c</sup>	۱۹/۴ <sup>d</sup>	۱۹/۷ <sup>d</sup>	۲۱/۴ <sup>e</sup>	۲۱/۲۹ <sup>e</sup>	۲۱/۶ <sup>e</sup>	۲۵/۹ <sup>f</sup>
مونواتانول آمین	طول الیاف (mm)	۰/۶۷ <sup>a</sup>	۰/۵۸ <sup>b</sup>	۰/۵۵ <sup>c</sup>	۰/۵۳ <sup>d</sup>	۰/۴۷ <sup>e</sup>	۰/۴۱ <sup>f</sup>	۰/۳۶ <sup>g</sup>	۰/۳۲ <sup>h</sup>	۰/۲۵ <sup>i</sup>	۰/۱۸ <sup>j</sup>
	قطر الیاف (μm)	۱۹/۱ <sup>a</sup>	۱۹/۸ <sup>a</sup>	۱۹/۵ <sup>a</sup>	۱۹/۳ <sup>a</sup>	۱۹/۵ <sup>a</sup>	۱۹/۶ <sup>a</sup>	۱۹/۲ <sup>a</sup>	۱۹/۱ <sup>a</sup>	۱۹/۱ <sup>a</sup>	۱۹/۳ <sup>a</sup>
آمین	نرمه (%)	۱۶/۹ <sup>a</sup>	۲۰/۶ <sup>b</sup>	۲۰/۷ <sup>b</sup>	۲۲ <sup>bc</sup>	۲۳/۱۷ <sup>c</sup>	۲۶ <sup>d</sup>	۳۰ <sup>e</sup>	۴۲ <sup>f</sup>	۵۸/۷ <sup>g</sup>	۶۹/۱۶ <sup>h</sup>

### ویژگی‌های مکانیکی کاغذ دست‌ساز

#### شاخص کشش

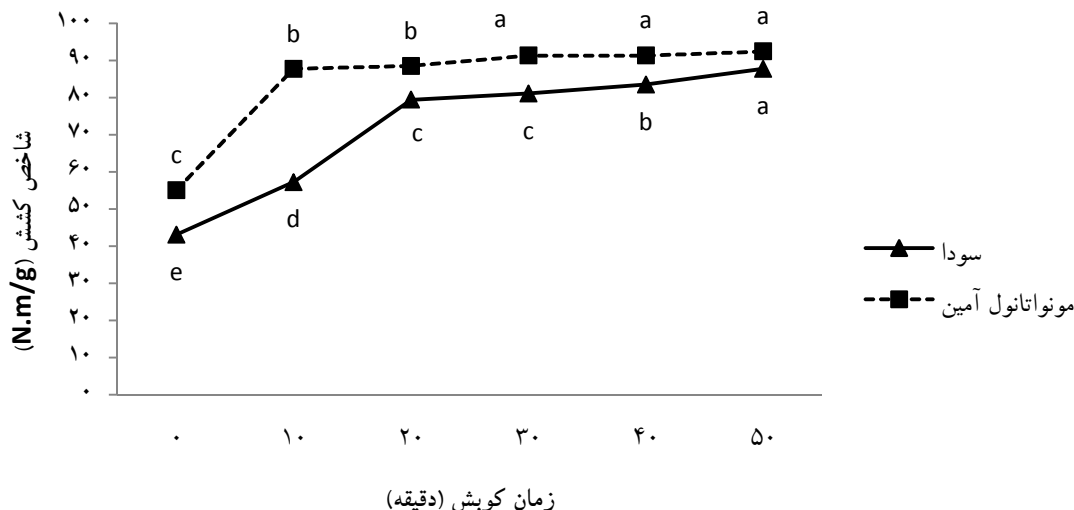
در شکل ۳ مشاهده می‌شود با افزایش زمان کوبش در کوبنده یوکرومیل، میزان شاخص کشش هر دو نوع خمیر کاغذ افزایش می‌یابد، به طوری که در نمودار مشهود است خمیر کاغذ MEA پس از مدت زمان ۳۰ دقیقه، به بیشترین میزان شاخص کشش خود (۹۱/۳ N.m/g) می‌رسد و پس از آن افزایش زمان کوبش تأثیر معنی‌داری بر افزایش این ویژگی نخواهد داشت. در مورد خمیر کاغذ سودا مشاهده گردید که با افزایش زمان کوبش شاخص

کشش به طور معنی‌داری افزایش می‌یابد و در زمان ۵۰ دقیقه بیشترین میزان شاخص کشش (۸۷/۷ N.m/g) برای این نوع خمیر کاغذ حاصل می‌شود.

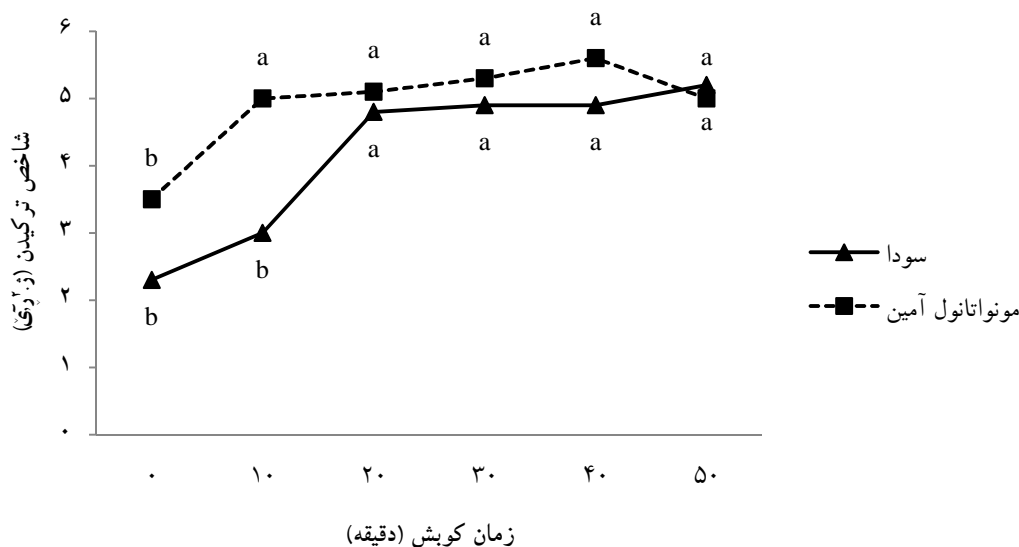
#### شاخص ترکیدن

شکل ۴ نشان می‌دهد که با افزایش زمان کوبش در دستگاه کوبنده یوکرومیل شاخص ترکیدن در خمیر کاغذ سودا افزایش می‌یابد، به طوری که حداکثر مقدار آن (۵ kPa.m<sup>2</sup>/g) در مدت زمان کوبش ۵۰ دقیقه مشاهده می‌شود. در مورد خمیر کاغذ MEA با افزایش مدت زمان

کوبش تا ۴۰ دقیقه شاخص ترکیب افزایش یافته و به میزان آن کاهش می‌یابد. بیشینه خود (۵/۶ kPa.m<sup>2</sup>/g) می‌رسد و پس از آن، میزان



شکل ۳- تأثیر زمان کوبش بر شاخص کشش خمیر کاغذ سودا و MEA



شکل ۴- تأثیر زمان کوبش بر شاخص ترکیب خمیر کاغذ سودا و MEA

### ویژگی‌های فیزیکی کاغذ دست‌ساز

نتایج جدول ۵ نشان می‌دهد که افزایش زمان کوبش در کوبنده یوکرومیل تأثیر معنی‌داری بر ضخامت، زبری و تخلخل کاغذهای دست‌ساز ساخته‌شده از خمیر کاغذ سودا و MEA دارد. در صورتی‌که این افزایش زمان تأثیر

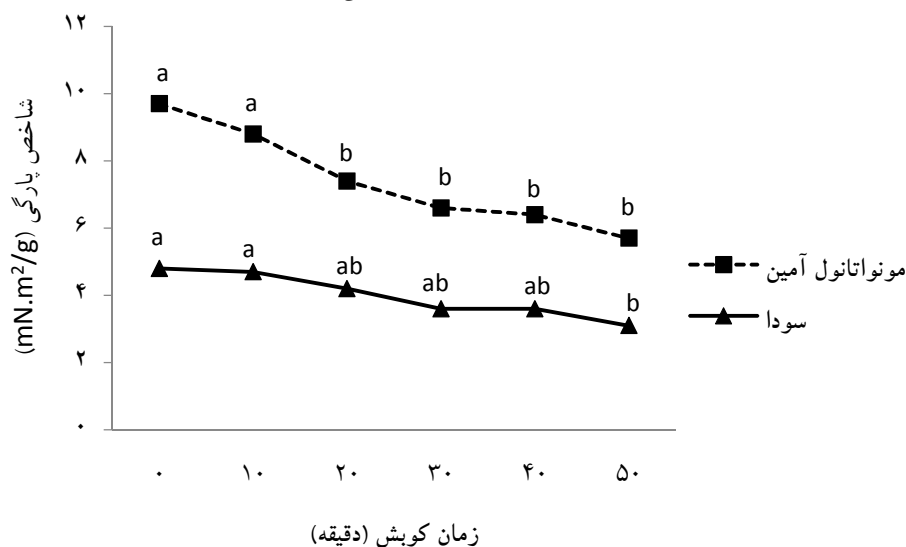
### شاخص پارگی

همان‌طور که در شکل ۴ مشاهده می‌شود، با افزایش زمان کوبش شاخص پارگی در هر دو نوع خمیر کاغذ سودا و MEA به شکل معنی‌داری کاهش می‌یابد.



سودا میسر نمی‌باشد؛ اما در مورد خمیرکاغذهای MEA این مورد پس از افزایش مدت زمان کوبش به ۲۰ دقیقه اتفاق می‌افتد.

معنی‌داری بر دانسیته کاغذها ندارد. همان‌طور که مشاهده می‌شود پس از افزایش مدت زمان کوبش به ۳۰ دقیقه دیگر امکان اندازه‌گیری زبری و تخلخل خمیرکاغذهای



شکل ۵- تأثیر زمان کوبش بر شاخص پارگی خمیرکاغذ سودا و MEA

جدول ۵- ویژگی‌های فیزیکی کاغذ دست‌ساز کوبیده شده

فرایند	زمان کوبش (min)						ویژگی‌ها
	۵۰	۴۰	۳۰	۲۰	۱۰	۰	
سودا	۷۹ <sup>f</sup>	۸۱ <sup>e</sup>	۸۵ <sup>d</sup>	۹۷ <sup>c</sup>	۱۱۹ <sup>b</sup>	۱۲۶ <sup>a</sup>	ضخامت (μm)
	۰/۹۱ <sup>a</sup>	۰/۸۷ <sup>b</sup>	۰/۸۷ <sup>b</sup>	۰/۸۲ <sup>c</sup>	۰/۶۷ <sup>d</sup>	۰/۶۲ <sup>e</sup>	دانسیته (g/cm <sup>3</sup> )
	-	-	-	۲۱۱۰ <sup>c</sup>	۲۷۷۱ <sup>b</sup>	۲۹۷۵ <sup>a</sup>	زبری (ml/min)
	-	-	-	۱۳ <sup>c</sup>	۱۷۷ <sup>b</sup>	۵۷۹ <sup>a</sup>	تخلخل (ml/min)
MEA	۶۹ <sup>f</sup>	۷۱ <sup>e</sup>	۷۵ <sup>d</sup>	۸۴ <sup>c</sup>	۹۰ <sup>b</sup>	۱۰۵ <sup>a</sup>	ضخامت (μm)
	۰/۹۷ <sup>a</sup>	۰/۹۳ <sup>b</sup>	۰/۹۲ <sup>b</sup>	۰/۸۴ <sup>c</sup>	۰/۸۰ <sup>d</sup>	۰/۶۲ <sup>e</sup>	دانسیته (g/cm <sup>3</sup> )
	-	۳۰۶۶ <sup>e</sup>	۳۴۱۹ <sup>d</sup>	۳۴۶۱ <sup>c</sup>	۳۵۳۷ <sup>b</sup>	۳۵۵۳ <sup>a</sup>	زبری (ml/min)
	-	-	-	-	۴۰	۹۰	تخلخل (ml/min)

## بحث

(Heidari, 2009)، مقدار کمتری را نشان می‌دهد؛ اما در مقایسه با طول فیبر کاه گندم که برابر با ۱/۱۳ میلی‌متر می‌باشد (Hoseini, 2009) و طول الیاف ساقه گندم که ۱/۱ میلی‌متر است (Mahdavi, 1999) بیشتر می‌باشد. Hosseini

طول الیاف کاه گندم مورد بررسی در این تحقیق، در مقایسه با طول الیاف باگاس به مقدار ۱/۵۹ میلی‌متر (Samaraha, 2004) و طول الیاف کلش برنج ۱/۲۳ میلی‌متر

افزایش تعداد و قدرت این پیوندها، مقاومت کششی کاغذهای ساخته شده نیز بیشتر خواهد شد. در خمیرکاغذ مونواتانول آمین با صرف زمان ۱۰ دقیقه در یوکرومیل برای کوبش، مقدار بیشینه شاخص کشش به دست می آید اما در مورد خمیرکاغذ سودا برای رسیدن به میزان بیشینه شاخص کشش، به زمان ۵۰ دقیقه کوبش در یوکرومیل نیاز است. این نشان می دهد که خمیرکاغذ مونواتانول آمین برای رسیدن به شاخص کشش بهینه، قابلیت صرفه جویی در زمان کوبش را نسبت به خمیرکاغذ سودا دارد ( Bhardwaj, 2007; Andalibian, 2013; talaeipour, 2013).

با افزایش زمان کوبش در خمیرکاغذ سودا، شاخص ترکیدن کاغذ افزایش می یابد که این امر به دلیل افزایش انعطاف پذیری الیاف و ایجاد اتصالات هیدروژنی بیشتر در بین الیاف می باشد. در مورد خمیرکاغذ MEA، با ادامه افزایش زمان کوبش به بیش از ۴۰ دقیقه، شاخص ترکیدن کاغذ به دلیل پالایش بیش از حد و شکست الیاف کاهش می یابد. تحقیقات انجام شده، نتایج این تحقیق را تأیید کرده اند (Andalibian, 2013; Kord, 2009).

مقاومت به پارگی به صورت نیروی لازم برای پاره کردن یک قطعه کاغذ در شرایط مشخص تعریف می گردد. این مقاومت با طول الیاف رابطه مستقیم دارد، به طوری که هرچه قدر الیاف سالم تر باشند مقاومت در برابر پاره شدن کاغذ بهتر خواهد بود. در واقع یکی از آثار عملیات پالایش روی خمیرکاغذ، بریدگی و کوتاه شدن الیاف است. از آنجاکه مقاومت به پاره شدن کاغذ رابطه مستقیم با طول الیاف خمیرکاغذ دارد، بنابراین با افزایش زمان کوبش و کوتاه شدن الیاف، مقاومت به پاره شدن کاغذ به دست آمده کاهش می یابد. نتایج تحقیقات Andalibian (۲۰۱۳) و Talaeipour (۲۰۰۹)، در تأیید نتایج این تحقیق می باشد.

دانشیته یکی از مهمترین ویژگی های کاغذ می باشد که نشان دهنده میزان تراکم و فشردگی الیاف در بافت کاغذ است. به طور کلی با افزایش زمان کوبش، دانشیته افزایش و ضخامت و زبری کاهش می یابد. در تحقیقی که به بررسی تأثیر پالایش بر خواص فیزیکی و مکانیکی خمیرکاغذ

(۲۰۰۹) میزان سلولز، لیگنین، مواد استخراجی محلول در حلال آلی و خاکستر کاه گندم را به ترتیب ۴۲/۵، ۱۹، ۴/۳۷ و ۶/۹۶ گزارش کرده است که تفاوت چندانی با ترکیبات شیمیایی کاه گندم استفاده شده در این تحقیق ندارد. ارزیابی خمیرکاغذهای سودا و مونواتانول آمین نشان می دهد که یکی از ویژگی های بارز مونواتانول آمین، حفظ همی سلولزهای ماده لیگنوسلولزی در جریان فرایند خمیرکاغذسازی می باشد که این امر منجر به افزایش بازدهی خمیرکاغذ تولیدی می گردد. البته نتایج به دست آمده توسط محققان دیگر نیز تأیید شده است (Latibari, 2006; Heidari, 2008; Hedjazi et al., 2011; Shiralizadeh, 2015).

سازوکار پایدارسازی کربوهیدرات ها 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 واکنش های تخریب تدریجی است. طبق نظر این محققان، MEA به صورت یک عامل کاهنده عمل می کند. گروهی دیگر نیز حدس می زنند که مونواتانول آمین، پلی ساکاریدها را از طریق واکنش تراکمی با گروه های انتهایی آلدئیدی و تشکیل ایمین ها پایدار می نماید. این عده پایدارسازی کربوهیدرات ها را به کاهش رادیکالی در حضور MEA نسبت می دهند (Chuiiko et al., 1974; Green, 1982; Sarwarjahan, 2008). در رابطه با درجه روانی نیز مشاهده شد که خمیرکاغذ مونواتانول آمین در زمان کوبش کمتری نسبت به خمیرکاغذ سودا به بیشترین میزان درجه روانی (SR ۹۰) می رسد. کوبش، الیاف را فیبریله و پرزدار می کند و باعث می شود که گروه های هیدروکسیلی بیشتری در سطح الیاف آزاد شوند. این گروه های هیدروکسیلی قادر به جذب آب بیشتری بوده و به همین دلیل باعث افزایش درجه روانی SR می شوند.

شاخص کشش نشان دهنده میزان و قدرت پیوند هیدروژنی تشکیل شده بین الیاف در بافت کاغذ است. با

- 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 Journal*, 98(8): 1647-1654.
- Chuiko, V., Chupka, L. and Nnikitin, V., 1974. Change in lignin during cooking with monoethanolamine. *Khimiya I tekhnol. Tsellyulozy*, 13(1): 34-36.
- Green, J. and Sanyer, N., 1982. Alkaline pulping in aqueous alcohols and amines. *TAPPI J*, 5: 133-137.
- Hedjazi, S., Kordsachia, O., R. Patt. and Kriepel, A., 2009. MEA/water/AQ-pulping of wheat straw. *Holzforchung*, 63(5): 505-512.
- Hedjazi, S., Heidari Adli, A., Jahan Latibari, A., Hmazel, Y., O. Kordsachia. and Ahmadi, M., 2011. Ethanolamine Pulping- As A Novel Opportunity to Overcome Rice Straw Pulping Challenges. *Proceedings of the 16th ISWFPC. China, Beijing*, 4-6 May: 78-83.
- 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, Montreal, Canada*, 31 March: 493-502.
- 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.
- Reme, A.P., 2000. Fiber dimension during defibration and fiber development, In: *Proceedings of International Conference of Paptac, Canada, Montreal*, 31 March: 480-486.
- Sarwar Jahan M., 2008. Process for production of dissolving pulp from *terma orientalis* by prehydrolysis kraft. *Bio resources Journal*, 3: 33-38.
- 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.
- 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 Research*, 2 :34-36.
- 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 (Kevin, 2000). 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 می باشد (Reme, 2000).
- نتایج این تحقیق نشان می دهد که فرایند خمیر کاغذسازی MEA نسبت به فرایند سودا پالایش پذیرتر می باشد و می توان با استفاده از فرایند خمیر کاغذسازی MEA از کاه گندم، با صرف زمان کمتر در کوبنده یوکرومیل به مقاومت های مکانیکی بهتری نسبت به فرایند خمیر کاغذسازی سودا رسید.

#### منابع مورد استفاده

- Atchinson, J.E., 1995. Non-wood fiber could play major role in future US papermaking furnishes. *Journal of Pulp and Paper*, 70 (7): 125-131.
- Atchinson, J.E., 1996. Twenty-five years of global progress in nonwood plant fiber repulping. *TAPPI J*, 79 (10): 87-97.
- Atchison, J., 1998. Update on global use of non-wood plant fibers and some prospects for their greater use in the United States, In: *Proceedings of the North American Non-wood Fiber Symposium, atlanta, Georgia*, 4-6 September, Tappi Press.
- 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.

## Effect of beating time on the properties of soda and monoethanolamine pulp from wheat straw

M. Ahmadi<sup>1\*</sup>, S. Hedjazi<sup>2</sup> and K. Salehi<sup>3</sup>

1\*-Corresponding author, Assistant Prof, Wood and paper science and technology, College of Natural Resources, University of MohagheghArdabili Iran, Email: m.ahmadi@uma.ac.ir,

2-Associate Professor, Faculty of Natural Resources, University of Tehran .Iran

3- M.Sc., Wood and forest products division, Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran

Received: Oct., 2016

Accepted: Jan., 2017

### Abstract:

In this study, the effect of beating time on morphologic, physical and strength properties of soda and monoethanolamine pulps obtained from wheat straw was studied, in order to optimize the time for beating operation. Beating of the pulps was applied in different time by laboratory Jokro mill beater. The results showed that rising time of beating leads to increase the freeness (SR) of pulps and monoethanolamine pulp reached to maximum freeness (SR) in lesser time as compared to soda pulp. In addition, it is found that monoethanolamin pulp reached the maximum tensile index (91.3 N.m/g) after 30 minute beating time and longer time of beating process had no significant effect on increasing the tensile index. Soda pulp tensile index was increased significantly at longer time of beating process and for this kind of pulp, maximum value of tensile index (87.7N.m/g) was reached in 50 minute beating. The highest burst index for soda pulp was 5 kPa.m<sup>2</sup>/g which was reached after 50 minute beating process. The burst strength index of mono ethanolamine pulp increased by rising time of beating process and reached to its maximum value of 5.6 kPa.m<sup>2</sup>/g and at prolonged time after it was decreased. Rising the time of beating process led to decreasing the tear strength index of both pulps identically. The results showed that mono ethanolamine pulp had the higher yield and better beating ability in comparison with soda pulp which can be due to hgiher carbohydrates and minerals retaining in monoethanolamin pulp.

**Keywords:** Beating process, wheat straw, monoethanolamine, jokromill, physical and mechanical properties.