

## اثر پیش استخراج‌های هیدرولیز با آب داغ و قلیا بر ویژگی‌های خمیر کاغذهای تولید شده با فرایند موناتانول آمین - آنتراکینون از باگاس

کژال مرادیان گیلان<sup>۱</sup>، سحاب حجازی<sup>۲\*</sup>، علی عبدالخانی<sup>۳</sup> و هربرت سیکستا<sup>۴</sup>

۱- دکترای گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران

۲- نویسنده مسئول، دانشیار، گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران، پست الکترونیک: shedjazi@ut.ac.ir

۳- دانشیار، گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران

۴- استاد، گروه محصولات و سیستم‌های زیستی، دانشگاه آلتو، اسپو، فنلاند

تاریخ دریافت: بهمن ۱۳۹۷ تاریخ پذیرش: اردیبهشت ۱۳۹۸

### چکیده

در این تحقیق، تأثیر پیش‌استخراج‌های آب داغ و قلیا بر روی ویژگی‌های خمیر کاغذهای موناتانول آمین-آنتراکینون باگاس بررسی گردید و نتایج با خمیر کاغذسازی سودا مقایسه شد. پیش‌استخراج قلیای ۱۰٪ در مدت زمان ۳۰ دقیقه با میزان بازده کل ۹۴/۷ درصد و بازده هولوسلولز برابر با ۷۱/۶ درصد و پیش‌استخراج آب داغ، با نسبت مایع به باگاس ۱۰ به ۱ در مدت زمان ۴۵ دقیقه با میزان بازده کل ۹۴ درصد و بازده هولوسلولز ۶۹/۴ درصد، به‌عنوان تیمارهای بهینه انتخاب گردیدند. موناتانول آمین به‌صورت خالص و در نسبت‌های مختلف همراه با آب استفاده شد. عامل متغیر، نسبت موناتانول آمین به آب در سه نسبت ۱۰۰ به ۰، ۷۵ به ۲۵ و ۵۰ به ۵۰ بود و عوامل ثابت شامل نسبت مایع پخت به باگاس ۶ به ۱، زمان پخت در دمای بیشینه ۶۰ دقیقه، دمای پخت ۱۶۵°C و ۱/۱٪ آنتراکینون در نظر گرفته شدند. بر اساس نتایج به‌دست آمده، خمیر کاغذهای تولید شده با نسبت موناتانول آمین به آب ۷۵ به ۲۵ (از باگاس پیش‌استخراج نشده)، دارای بیشترین بازده کل (۶۱/۹) و عدد کاپای قابل قبول (۱۹/۵) بودند. مرحله پیش‌استخراج سبب بهبود بازده خمیر کاغذ در هر دو فرایند موناتانول آمین-آنتراکینون و سودا شد. بعد از پیش‌استخراج، شاخص مقاومت به کشش و طول پارگی خمیر کاغذهای حاصل افت کرد. برخلاف این دو عامل، شاخص مقاومت به پارگی خمیر کاغذهای حاصل از باگاس پیش‌استخراج شده افزایش پیدا کرد. درجه روشنی خمیر کاغذهای سودا حاصل از باگاس استخراج شده و نشده در مقایسه با خمیر کاغذهای موناتانول آمین بیشتر بود. ماتی خمیر کاغذها بعد از مرحله پیش‌استخراج تقریباً بدون تغییر باقی ماند.

واژه‌های کلیدی: پیش‌استخراج، آب داغ، قلیا، باگاس، خمیر کاغذسازی موناتانول آمین

### مقدمه

Colodette, 2014; Al-Sulaimani & Brat Dwivedi,

2017). باگاس نیشکر (SCB)<sup>۱</sup>، یکی از دسترس‌پذیرترین مواد لیگنوسلولزی است و به‌طور وسیعی در صنایع خمیر کاغذ و کاغذسازی در بخش‌های مختلف جهان استفاده می‌شود. در

در دهه‌های اخیر، تمایل روزافزونی به تولید خمیر کاغذ از پسماندهای لیگنوسلولزی کشاورزی مانند باگاس نیشکر به وجود آمده است (Sun et al., 2004; Andrade & )

استخراج می‌تواند لیگنین‌زدایی را نیز بهبود بخشیده و الیاف سلولز را در طی فرایند خمیرکاغذسازی بعدی آزادتر کند، از این رو مقدار همی‌سلولزها و در برخی موارد میزان خاکستر به‌طور قابل‌ملاحظه‌ای کاهش می‌یابد (Behin *et al.*, 2008).

در بین روش‌های پیش‌استخراج، پیش‌استخراج‌های آب داغ (خود هیدرولیز) و قلیا، بنابر ملاحظات اقتصادی و محیط‌زیستی اهمیت بیشتری دارند. خود هیدرولیز روشی جذاب و دوستدار محیط‌زیست می‌باشد، چون آب تنها واکنش‌دهنده آن است (Sefik Tunc *et al.*, 2008). از سوی دیگر، روش‌های پیش‌استخراج قلیایی (به‌ویژه با هیدروکسید سدیم)، با انحلال جزئی لیگنین، همراه با استخراج قابل‌ملاحظه همی‌سلولزها همراه هستند (Vena *et al.*, 2012). علاوه بر این تطابق هیدروکسید سدیم با مواد شیمیایی موجود در چرخه بازیابی کارخانه‌های دارای فرایندهای قلیایی بسیار زیاد می‌باشد.

با این حال، در توسعه یک روش مناسب پیش‌استخراج همی‌سلولزها، نه تنها باید بازده و ترکیب همی‌سلولزهای استخراج‌شده ملاحظه شود، بلکه ویژگی‌های خمیرکاغذ ساخته شده از الیاف پیش‌استخراج شده هم باید در نظر گرفته شود. این امر به این علت است که ویژگی‌های فیزیکی، مکانیکی و شیمیایی تعریف شده خمیرکاغذ، با استخراج همی‌سلولزها تغییر می‌کنند و حضور همی‌سلولزها در ماتریکس الیاف برای کاغذسازی تا حدودی لازم است (Vena *et al.*, 2012).

در یک مطالعه، اثر پیش‌استخراج‌های آب داغ و قلیای کاه برنج بر روی خمیرسازی سودا - آنتراکینون ارزیابی شد. نتیجه نشان داد که پیش‌استخراج قلیا، بازده خمیرکاغذ و ویژگی‌های مقاومتی را در مقایسه با خمیرکاغذ تولید شده با پیش‌استخراج آب داغ بهبود داده است (Jahan *et al.*, 2012). در مطالعه دیگری نیز اثر پیش‌استخراج آب داغ بر روی ویژگی‌های خمیرکاغذ سودا- آنتراکینون کاه گندم بررسی شد. نتایج نشان داد که پاسخ رنگ‌بری خمیرکاغذ پیش‌استخراج شده با آب داغ، به دلیل کندانس لیگنین مشکل‌تر بوده و ویژگی‌های مقاومتی آنها به دلیل بدتر شدن ساختار الیاف و افت قابلیت پیوند درونی الیاف، کمتر از خمیرکاغذ استخراج نشده است (Rudi *et al.*, 2016).

حال حاضر، بیش از ۲ میلیون تن باگاس در استان خوزستان تولید می‌شود که بخش اندکی در حدود ۳۰۰ هزار تن به مصرف صنعت می‌رسد و بقیه آن بدون کمترین بازده اقتصادی از بین می‌رود (Chavooshi, 2012).

به علت منافع اقتصادی و محیط‌زیستی مهم است که فرایندهای خمیرکاغذسازی بتوانند از تمامی ترکیبات منابع لیگنوسلولزی استفاده نمایند؛ بنابراین توسعه روش‌های شیمیایی که اجزای مواد لیگنوسلولزی را تا حد ممکن جدا و آنها را برای فرایندهای با ارزش افزوده بعدی قابل استفاده می‌سازند باید در نقطه تمرکز و کانون تحقیقات آینده قرار گیرد (Schild *et al.*, 2010). بعد از سلولز، همی‌سلولزها دومین جزء اصلی قندی در مواد لیگنوسلولزی هستند که متأسفانه در صنعت خمیرکاغذ به درستی استفاده نشده و معمولاً در طی فرایندهای خمیرکاغذسازی تخریب می‌شوند (Sefik Tunc *et al.*, 2008).

در حالی که افزایش تقاضا برای خمیرکاغذ همچنان ادامه دارد، به نظر می‌رسد استخراج همی‌سلولزها قبل از خمیرکاغذسازی و بعد تبدیل آن به محصولات با ارزش افزوده به‌عنوان بخشی از مفهوم پالایشگاه زیستی، روشی امیدوارکننده برای کسب درآمد بیشتر و پایداری بهتر کارخانه‌های خمیرکاغذ باشد (Ragauskas *et al.*, 2006; Heiningen, 2006; Vena *et al.*, 2013). استخراج همی‌سلولزها قبل از فرایندهای خمیرکاغذسازی از زیست‌توده لیگنوسلولزی، می‌تواند به‌وسیله تعدادی از روش‌های استخراج مؤثر مانند انفجار بخار، استخراج با اسید معدنی رقیق، استخراج با آب داغ (خود هیدرولیز)، تیمار آنزیمی و استخراج قلیایی انجام شود (Sefik Tunc *et al.*, 2008; Vena *et al.*, 2012). قرارگیری پیش‌استخراج قبل از فرایندهای خمیرکاغذسازی، تولید خمیرکاغذی با مقدار سلولز بالا و مقدار همی‌سلولزهای اندک را تسهیل می‌کند (Behin *et al.*, 2008). مقدار پیش‌استخراج با توجه به کیفیت و بازده خمیرکاغذ محدود می‌شود، بنابراین پیش‌استخراج باید برای استخراج گزینشی همی‌سلولزها با حداقل تأثیر بر روی مقدار سلولز، بهینه شود (Vena *et al.*, 2012). علاوه بر این، پیش

بر روی سایر مواد اولیه لیگنوسولوزی به‌غیر از باگاس نیز مطالعاتی بر روی اثر پیش استخراج ماده اولیه بر روی ویژگی‌های خمیرکاغذهای مونواتانول آمین آنها همان‌طور که در بالا اشاره شد، انجام شده است. از این رو با توجه به اهمیت باگاس به‌عنوان یک پسماند لیگنوسولوزی در ایران و نظر به اینکه تاکنون مطالعه‌ای پیرامون پیش استخراج و اثر آن بر روی خمیرکاغذسازی مونواتانول آمین باگاس انجام نشده و همچنین با توجه به اینکه رفتار فرایند مونواتانول آمین به پیش استخراج، در مورد پسماندهای لیگنوسولوزی مختلف متفاوت است؛ از این رو در این مطالعه تهیه خمیرکاغذ باگاس پیش استخراج شده با آب داغ و قلیا با فرایند MEA-AQ بررسی و اثر پیش استخراج همی سلولزها بر بازده و کیفیت این خمیرکاغذ با خمیرکاغذ سودا به‌عنوان مرجع مقایسه شده است.

### مواد

باگاس نیشکر مغززدایی شده از کارخانه کاغذسازی پارس واقع در هفت تپه خوزستان جمع‌آوری شد. باگاس هواخشک شده و قبل از استفاده در شرایط دمایی  $23^{\circ}\text{C}$  و رطوبت نسبی ۵۵٪ نگهداری گردید. مونواتانول آمین نیز از پالایشگاه اراک و در ظروف دربسته و تیره رنگ تهیه گردید و در شرایط ایزوله به آزمایشگاه منتقل شد.

### روش‌ها

اندازه‌گیری ترکیبات شیمیایی باگاس استخراج نشده مقدار خاکستر بر اساس دستورالعمل شماره (۹۳-om) (T۲۱۱)، مقدار لیگنین کلزون بر اساس دستورالعمل شماره (۸۸-om) (T۲۲۲) و مقدار مواد استخراجی محلول در استون بر اساس دستورالعمل شماره (۰۷-۲۰۴ cm) (T) استاندارد تاپی اندازه‌گیری شد. استخراج هولوسولوز نیز با استفاده از یک گرم هیپوکلیت سدیم و ۰/۵ ml اسید استیک به مدت ۶-۸ ساعت در  $70^{\circ}\text{C}$  انجام شد. بعد از فیلتراسیون، ماده جامد باقی‌مانده کاملاً با آب یون‌زدایی شده، شسته و در یک آون با دمای  $103^{\circ}\text{C}$  به مدت ۲۴ ساعت خشک شد (Browning, 1967).

Hasanjanzadeh و همکاران (۲۰۱۴) در بررسی خود، تأثیر پیش استخراج قلیایی را بر ویژگی‌های خمیرکاغذ سودا-آنتراکینون تهیه شده از ساقه برنج بررسی کردند. نتایج آنان نشان‌دهنده افزایش میزان لیگنین‌زدایی و تسهیل لیگنین‌زدایی با مرحله پیش استخراج است. علاوه بر این، آنان هیچ کاهش چشمگیری در مقاومت‌های مکانیکی خمیرکاغذ مشاهده نکردند. Mohammadi و همکاران (۲۰۱۹) نیز در مطالعه‌ای به بررسی تأثیر پیش استخراج قلیایی کاه جو بر ویژگی‌های خمیرکاغذهای سودا و مونواتانول آمین پرداختند. بنابر گزارش آنان، نتایج خمیرکاغذسازی نشان داد که مرحله پیش استخراج، سبب افت بازده در هر دو فرایند خمیرکاغذسازی شده است. در حالی که کاهش عدد کاپا فقط در فرایند پخت سودا تحت تأثیر مرحله پیش استخراج قرار گرفته است، البته در فرایند مونواتانول آمین عدد کاپا یا تغییری نکرده است و یا اینکه افزایش یافته است. در گزارش آنان، به علت پیش استخراج قلیایی، شاخص‌های مقاومت به کشش و مقاومت به ترکیدن خمیرکاغذها افت پیدا کرده و در مقابل شاخص مقاومت به پارگی افزایش یافت. Seydnaseredin و همکاران (۲۰۱۹) به بررسی پیش استخراج کاه گندم با آب داغ و بعد خمیرکاغذسازی مونواتانول آمین-آنتراکینون و سودا-آنتراکینون پرداختند. آنان گزارش کردند که بیشترین بازده مربوط به خمیرکاغذ مونواتانول آمین-آنتراکینون از کاه پیش استخراج شده است. بنابر نتایج آنان، شاخص مقاومت به کشش در خمیرکاغذهای حاصل از کاه گندم پیش استخراج شده افت معنی‌داری پیدا کرد، در حالی که شاخص مقاومت به پارگی در خمیرکاغذهای مونواتانول آمین-آنتراکینون از کاه گندم پیش استخراج شده افزایش یافت.

در مورد فرایند خمیرسازی مونواتانول آمین بدون انجام پیش استخراج ماده اولیه، مطالعات مختلفی انجام شده است که در بین آنها می‌توان به Wallis (۱۹۸۰)، Hedjazi و همکاران (۲۰۰۹)، Heidari (۲۰۱۰)، Hedjazi و همکاران (۲۰۱۱)، Salehi و همکاران (۲۰۱۴)، Alizadeh و همکاران (۲۰۱۵)، Shiralizadeh و همکاران (۲۰۱۵)، Salehi و همکاران (۲۰۱۷)، Ahmadi و همکاران (۲۰۱۸) اشاره نمود. همچنین

نسبت ۱۰۰ به ۰، ۷۵ به ۲۵ و ۵۰ به ۵۰، نسبت مایع پخت به باگاس ۶ به ۱، زمان پخت در دمای بیشینه ( $T_{max}$ ) ۶۰ دقیقه و دمای پخت  $165^{\circ}\text{C}$ . آنتراکینون به میزان ۰/۱ درصد وزنی باگاس خشک اضافه شد.

خمیرکاغذسازی سودا (S) با استفاده از شرایط زیر انجام شد: نسبت مایع پخت به باگاس ۶ به ۱، حداکثر دما  $165^{\circ}\text{C}$ ، زمان پخت در دمای بیشینه ۶۰ دقیقه و میزان قلیائیت ۱۸ و ۲۰٪. بعد از پخت، خمیرکاغذهای حاصل شسته شدند و بعد هواخشک گردیدند. از خمیرکاغذها نمونه‌گیری شد و پس از خشک کردن نمونه‌ها در آون بر اساس وزن‌سنجی میزان بازده بعد از غربال، وزده الک و بازده کل تعیین شدند. در مجموع پانزده پخت مختلف مورد بررسی قرار گرفت (جدول ۳).

#### آنالیز خمیرکاغذها

روش‌های زیر برای تجزیه و تحلیل خمیرکاغذهای MEA-AQ و سودا استفاده شدند.

درجه روشنی بر اساس دستورالعمل (ISO 2470)، عدد کاپا مطابق (SCAN-C 1:00)، گرانروی بر اساس (SCAN-CM 15:99) و خاکستر بر اساس دستورالعمل (TAPPI 211 om-93). مقدار کل لیگنین و مونوساکاریدهای خمیرکاغذ طبق NREL/TP-510-42618 با استفاده از یک سیستم Dionex ICS3000 HPAEC-PAD تعیین شدند. سپس ترکیب کربوهیدرات با استفاده از فرمول یانسون محاسبه شد (Janson, 1970). توزیع جرم مولی<sup>۱</sup> خمیرکاغذها با استفاده از کروماتوگرافی نفوذ ژلی (GPC) به صورت آنچه که در تحقیق بورگا و همکاران آمده است، تعیین شد (Borrega *et al.*, 2013).

#### پالایش خمیرکاغذها و ساخت کاغذ دست‌ساز

قبل از ساخت کاغذهای دست‌ساز، پالایش خمیرکاغذها با استفاده از دستگاه PFI mill انجام شد. نمونه‌های خمیرکاغذ در دوره‌های مختلف درون PFI mill کوبیده شدند و درجه روانی به صورت CSF(ml) طبق آیین‌نامه TAPPI استاندارد

#### پیش‌استخراج قلیایی باگاس

پیش‌استخراج در حمام آب با دمای  $70^{\circ}\text{C}$  با غلظت‌های مختلف قلیا (NaOH) شامل ۱۰ و ۱۵٪ بر مبنای وزن خشک باگاس و زمان‌های ۳۰ و ۴۵ دقیقه با نسبت مایع به باگاس ۱۰ به ۱ انجام شد. بعد از اتمام پیش‌تیمارها، مایعات هیدرولیز جدا شده و نمونه‌های باگاس پیش‌استخراج شده شسته شدند (De Lopez *et al.*, 1996). در نهایت بعد از هواخشک کردن نمونه‌ها، بازده مواد جامد از طریق وزن‌سنجی تعیین شد. آنالیز مقدار لیگنین کل‌ازون، خاکستر و هولوسولوز نمونه‌های پیش‌استخراج شده بر اساس دستورالعمل‌های ذکر شده در بالا انجام شد. شرایط اختصاصی پیش‌هیدرولیز در جدول ۲ ارائه شده است.

#### پیش‌استخراج باگاس با آب داغ (خود هیدرولیز)

آزمایش‌های پیش‌استخراج در سیلندرهای دیگ پخت (دایجستر) انجام شد. همی سلولزها با آب داغ با استفاده از زمان استخراج ۴۵ دقیقه در بیشینه دمای  $170^{\circ}\text{C}$  استخراج شدند. نسبت وزنی آب به باگاس در سه سطح ۶، ۸ و ۱۰ به ۱ در نظر گرفته شد. بعد از تیمار، مایعات پیش‌استخراج حاوی همی-سلولزها، جمع‌آوری و باگاس باقیمانده شستشو داده شد و برای خروج هر چه بیشتر مایع شستشو، باگاس با دست فشرده شد و بعد با آب شستشو گردید. در نهایت بعد از هواخشک کردن نمونه‌ها، بازده مواد جامد از طریق وزن‌سنجی تعیین شد. آنالیز مقدار لیگنین کل‌ازون، خاکستر و هولوسولوز نمونه‌های پیش‌استخراج شده بر اساس دستورالعمل‌های ذکر شده در بالا انجام شد. بعد از انجام همه تیمارها، تیمار با شرایط بهینه برای انجام فرایندهای پخت انتخاب گردید. شرایط پیش‌استخراج با آب داغ نیز در جدول ۲ ارائه شده است.

تهیه خمیرکاغذهای مونواتانول آمین- آنتراکینون و سودا عملیات پخت باگاس پیش‌استخراج شده و پیش‌استخراج نشده در دایجستر انجام شد. شرایط خمیرکاغذسازی MEA-AQ عبارت بودند از: نسبت مونواتانول آمین به آب در سه

1-The molar mass distribution (MMD)

سازی شدند. ویژگی‌های مقاومتی پنج کاغذ دست‌ساز طبق استاندارد SCAN ارزیابی گردیدند. شاخص‌های مقاومت کششی و پارگی به ترتیب بر اساس استانداردهای-ISO 1924 (SCAN-P77-95) 2 و ISO 1974 اندازه‌گیری شدند.

شماره T ۲۴۸ sp-۰۸ اندازه‌گیری گردید. کاغذهای دست‌ساز با گراماژ حدود  $60 \text{ g/m}^2$  طبق آیین‌نامه TAPPI استاندارد شماره T ۲۲۰ om-۸۸ ساخته شدند. تمامی کاغذهای دست‌ساز قبل از آزمایش به مدت ۷۲ ساعت در شرایط رطوبت نسبی ۵۵٪ و دمای  $23^\circ\text{C}$  مشروط

جدول ۱- ترکیب شیمیایی باگاس استخراج نشده و مقایسه آن با سایر منابع لیگنوسلولزی

ترکیبات	باگاس	کلزا	کاه گندم	کلش برنج
مواد استخراجی محلول در استون (%)	۱/۱۴	۲/۵	۷/۸	۳/۱۳
خاکستر (%)	۱/۳۳	۸/۲	۶	۱۵/۵۶
لیگنین کلزون (%)	۲۰	۱۷/۳	۱۵/۳	۱۹
هولوسولوز (%)	۷۳/۵	۷۰	۷۴/۵	۶۳/۳۰

## نتایج

مقایسه آن با ترکیبات شیمیایی سایر منابع لیگنوسلولزی ارائه شده در گزارش Alizadeh و همکاران (۲۰۱۵) را نشان می‌دهد.

اندازه‌گیری ترکیبات شیمیایی باگاس پیش استخراج نشده جدول ۱ ترکیب شیمیایی حاصل از باگاس این تحقیق و

جدول ۲- شرایط استخراج و ویژگی‌های باگاس پیش استخراج شده

شرایط پیش استخراج								
پیش استخراج قلیا								
تیمار	L/B	NaOH (%)	$T_{\text{max}}$ ( $^\circ\text{C}$ )	زمان (دقیقه)	بازده (%)	خاکستر (%)	لیگنین کلزون (%)	هولوسولوز (%)
A	۱۰/۱	۱۰	۷۰	۳۰	۹۴/۷	۲	۲۱	۷۱/۶
B	۱۰/۱	۱۵	۷۰	۳۰	۹۳/۷۳	۲	۲۳	۶۹/۷
C	۱۰/۱	۱۰	۷۰	۴۵	۹۰/۷۳	۲	۲۱	۶۷/۷
D	۱۰/۱	۱۵	۷۰	۴۵	۹۰/۲۶	۲	۱۹	۶۸/۵
پیش استخراج آب داغ								
E	۶/۱		۱۷۰	۴۵	۹۳/۶۲	۰/۶۶۷	۲۱/۵	۶۶/۳
F	۸/۱		۱۷۰	۴۵	۹۳/۳	۰/۶۶۷	۲۲/۵	۶۶/۴
G	۱۰/۱		۱۷۰	۴۵	۹۴	۰/۸۸۹	۲۱	۶۹/۴
H	۱۲/۱		۱۷۰	۴۵	۹۵/۸۵	۰/۶۶۷	۲۱	۶۹/۴

## پیش‌استخراج‌ها

G بوده و بیشترین میزان هولوسلولز مربوط به هر دوی این تیمارهاست. باگاس خود هیدرولیز شده با نسبت مایع به باگاس ۱۰ به ۱ (تیمار G) و باگاس پیش‌استخراج شده با قلیا در ۳۰ دقیقه و ۱۰٪ NaOH (تیمار A) برای آماده‌سازی خمیرکاغذهای سودا و MEA-AQ انتخاب شدند.

پخت خمیرکاغذهای سودا و مونواتانول آمین-آنتراکینون علائم اختصاری به‌کار رفته برای پخت‌های سودا و مونواتانول آمین - آنتراکینون در جدول ۳ فهرست شده‌اند.

آنالیز شیمیایی باگاس استخراج شده، به‌منظور بررسی میزان بازده، مقدار هولوسلولز، مقدار لیگنین و مقدار خاکستر ناشی از پیش‌استخراج‌ها انجام شد (جدول ۲). مقدار سلولز موجود در خمیرکاغذ به دلیل کمک به فرایندهای بعدی خمیرکاغذسازی باید تا حد ممکن بالا باشد. با توجه به جدول ۲، در پیش‌استخراج قلیایی، بیشترین بازده مربوط به تیمار A با مقدار ۹۴/۷٪ بوده و مقدار هولوسلولز آن نیز در حد قابل قبول ۷۱/۶٪ می‌باشد. در پیش‌استخراج آب داغ، بیشترین بازده مربوط به تیمار H و بعداز آن مربوط به تیمار

جدول ۳- علائم اختصاری به‌کار رفته برای پخت‌های مورد آزمایش

S18	پخت سودا با باز قلیا ۱۸٪
S20	پخت سودا با باز قلیا ۲۰٪
S18-AP	پخت سودای ۱۸٪ پیش‌هیدرولیز شده با قلیا
S18-HWP	پخت سودای ۱۸٪ پیش‌هیدرولیز شده با آب داغ
S20-HWP	پخت سودای ۲۰٪ پیش‌هیدرولیز شده با آب داغ
S20-AP	پخت سودای ۲۰٪ پیش‌هیدرولیز شده با قلیا
MEA50	۵۰:۵۰ MEA/H <sub>2</sub> O با نسبت AQ پخت مونو اتانول آمین -
MEA75	۷۵:۲۵ MEA/H <sub>2</sub> O با نسبت AQ پخت مونو اتانول آمین -
MEA100	۱۰۰:۰ MEA/H <sub>2</sub> O با نسبت AQ پخت مونو اتانول آمین -
MEA50-AP	۵۰:۵۰ پیش‌هیدرولیز شده با قلیا MEA/H <sub>2</sub> O با نسبت AQ پخت مونو اتانول آمین -
MEA50-HWP	۵۰:۵۰ پیش‌هیدرولیز شده با آب داغ MEA/H <sub>2</sub> O با نسبت AQ پخت مونو اتانول آمین -
MEA75-AP	۷۵:۲۵ پیش‌هیدرولیز شده با قلیا MEA/H <sub>2</sub> O با نسبت AQ پخت مونو اتانول آمین -
MEA75-HWP	۷۵:۲۵ پیش‌هیدرولیز شده با آب داغ MEA/H <sub>2</sub> O با نسبت AQ پخت مونو اتانول آمین -
MEA100-AP	۱۰۰:۰ پیش‌هیدرولیز شده با قلیا MEA/H <sub>2</sub> O با نسبت AQ پخت مونو اتانول آمین -
MEA100-HWP	۱۰۰:۰ پیش‌هیدرولیز شده با آب داغ MEA/H <sub>2</sub> O با نسبت AQ پخت مونو اتانول آمین -

فرایندهای خمیرکاغذسازی سودا و MEA-AQ شده و این افزایش در پیش‌استخراج قلیایی بیشتر از پیش‌استخراج آب داغ است. در جدول ۴، پیش‌استخراج همچنین باعث کاهش عدد کاپا در فرایند خمیرکاغذسازی سودا شده است، به‌طوری‌که کمترین میزان عددکاپا مربوط به فرایند

مقادیر مقایسه‌ای ترکیبات شیمیایی، ویژگی‌های ماکرومولکولی و مقاومتی خمیرکاغذ به‌دست آمده از باگاس استخراج شده و نشده بعد از خمیرسازی سودا و MEA-AQ در جدول‌های ۴ و ۵ به ترتیب نشان داده شده است. با توجه به جدول‌های ۴ و ۵، پیش‌استخراج باعث افزایش بازده در

خمیرکاغذسازی سودای ۱۸ درصد پیش استخراج شده با قلیا (S18-AP) است. کمترین میزان عدد کاپا (۱۲/۵) در فرایند استخراج شده با قلیا (MEA-AQ75-AP) مشاهده شده است. خمیرکاغذسازی MEA-AQ با نسبت ۷۵ به ۲۵ پیش استخراج شده با قلیا

جدول ۴- ترکیب شیمیایی، ویژگی‌های ماکرومولکولی و مقاومتی خمیرکاغذسازی سودا

سودا ۲۰			سودا ۱۸			فرایند خمیرسازی
قلیا	آب داغ	باگاس*	قلیا	آب داغ	باگاس*	پیش استخراج
ویژگی‌های خمیرکاغذ						
۵۸/۲۱	۵۴/۱۵	۵۰/۸۴	۵۹/۹۹	۵۶/۹۷	۵۲/۷۳	بازده (%)
۱۱/۴	۱۱/۹	۱۵	۱۰/۷	۱۲/۵	۱۸/۳	عدد کاپا
۸۵۸	۹۲۵	۸۱۰	۸۲۵	۹۲۸	۸۰۶	گرانروی (mLg <sup>-1</sup> )
اجزای خمیرکاغذ						
۳۸/۱۳	۳۷/۷۳	۳۲/۱۱	۳۸/۲۳	۳۹/۳۴	۳۲/۹۱	سلولز (%)
۱۵/۷۳	۱۴/۰۴	۱۴/۵۹	۱۷/۲۸	۱۵/۳۴	۱۶/۴۴	همی سلولزها (%)
۰/۶۶	۰/۷۶	۱/۱۰	۰/۶۸	۰/۷۹	۰/۹۳	لیگنین (%)
۳/۶۸	۱/۶۲	۳/۰۵	۳/۸۰	۱/۵۲	۲/۴۶	خاکستر (%)
ویژگی‌های ماکرومولکولی						
۸۱۸/۹۷	۸۶۰/۷	۸۱۰/۹	۷۸۸/۵	۸۴/۳۲	۸۹۵/۳۰	(kg/mol) Mw
۱۴/۱۴	۱۷/۲۶	۱۴/۹	۱۴/۶۸	۱۷/۳۲	۱۷/۵۴	PDI
۴۴/۴۸	۴۵/۳۵	۴۳/۷۴	۴۲/۹۱	۴۵/۱۴	۴۳/۹	(wt%)DP>2000
ویژگی‌های مقاومتی کاغذ دست‌ساز						
۲۶۳	۲۶۷	۲۳۳	۲۵۰	۲۵۲	۲۵۱	درجه روانی (ml)
۴۳/۱۱	۴۴/۵	۴۲/۳۵	۴۱/۹۴	۴۴/۴۱	۴۶/۱۵	شاخص کشش (Nm g <sup>-1</sup> )
۷/۰۷	۷/۱۴	۶/۲۷	۶/۷۹	۷/۶۲	۶/۳۴	شاخص پارگی (mNm <sup>2</sup> /g)
۴/۳۹	۴/۵۴	۴/۳۲	۴/۲۸	۴/۵۳	۴/۷	طول پارگی (km)
۲۸/۳۵	۲۵/۲۹	۲۸/۱۱	۲۹/۱۹	۲۳/۷۶	۲۵/۴۳	درجه روشنی (ISO)
۹۰/۵	۸۹/۹	۸۸/۶	۹۰/۴	۹۰/۴	۸۹/۹	ماتی (%)

\*: بدون پیش استخراج

جدول ۵- ترکیب شیمیایی، ویژگی‌های ماکرومولکولی و مقاومتی خمیر کاغذسازی MEA-AQ

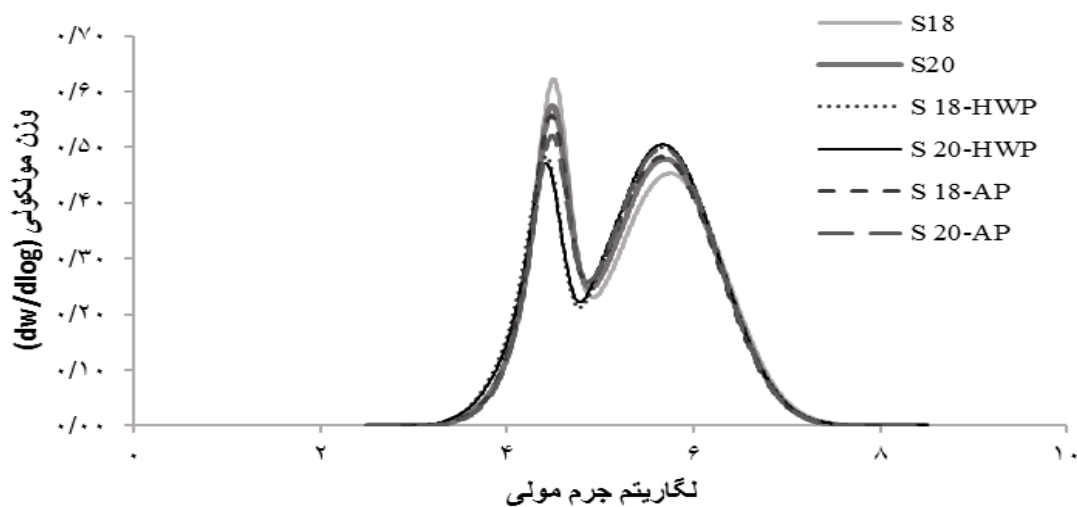
MEA-AQ100			MEA-AQ 75			MEA-AQ 50			فرایند خمیرسازی
قلیا	آب داغ	باگاس*	قلیا	آب داغ	باگاس*	قلیا	آب داغ	باگاس*	پیش‌هیدرولیز
ویژگی‌های خمیر کاغذ									
۷۳/۳	۶۹/۸	۵۷/۶	۷۵/۳	۶۷/۳	۶۱/۹	۷۳/۵	۷۱/۲	۵۹/۳	بازده (%)
۲۲	۲۹/۶	۱۵/۱	۱۲/۵	۱۹/۵	۱۹/۵	۱۴/۳	۳۷/۵	۱۶	عدد کاپا
۸۹۹	۱۰۳۵	۹۵۲	۸۷۴	۹۲۷	۹۲۷	۸۸۰	۸۶۲/۳	۸۹۲	گرانروی (mLg <sup>-1</sup> )
اجزای خمیر کاغذ									
۴۱/۲۹	۴۲/۵۹	۳۳/۳۷	۴۱/۵۲	۴۱/۷۴	۳۴/۷۴	۴۱/۳۱	۴۲/۲۲	۳۴/۲۵	سلولز (%)
۲۵/۲۹	۲۰/۴۴	۲۰/۴۴	۲۵/۵۱	۲۰/۲۳	۲۱/۳۶	۲۴/۷۵	۲۱/۱۵	۲۰/۲۳	همی‌سلولزها (%)
۲/۲۴	۳/۱۹	۱/۸۱	۱/۹۱	۱/۹۰	۱/۵۹	۱/۴۷	۴/۳۸	۱/۱۹	لیگنین (%)
۳/۶۷	۲/۷۹	۱/۳۴	۵/۵۰	۲/۶۹	۳/۵۱	۵/۱۵	۲/۶۱	۲/۹۷	خاکستر (%)
ویژگی‌های ماکرومولکولی									
۹۹۱	۹۴۷/۷	۹۱۲	۸۶۶/۸	۸۶۱/۵	۸۶۱/۵	۹۳۳/۲	۸۹۱/۹	۹۰۱/۵	Mw (kg/mol)
۲۱/۱	۱۹/۸	۱۸/۶	۱۹/۷	۱۶/۰۳	۱۶/۰۳	۱۸/۵	۲۰/۶	۱۷/۳	PDI
۴۴/۱	۴۳/۶	۴۴	۴۳/۸	۴۴/۷	۴۴/۷	۴۴/۷	۴۴/۵	۴۴/۸۴	(wt%)DP>2000
ویژگی‌های مقاومتی کاغذ دست‌ساز									
۴۳۳	۳۴۵	۳۷۹	۳۷۶	۳۵۳	۴۲۳	۳۴۶	۳۸۳	۳۴۳	درجه روانی (ml)
۴۳	۴۱/۳	۵۲/۲	۴۷/۵	۴۱/۱	۵۲/۲	۴۲/۶	۴۱/۲	۵۲/۴	شاخص کشش (Nm g <sup>-1</sup> )
۵/۴۲	۶/۰۳	۴/۳۸	۵/۴	۶/۱۸	۴/۳۹	۵/۲۳	۵/۵۸	۴/۶۶	شاخص پارگی (mNm <sup>2</sup> /g)
۴/۳۹	۴/۲۱	۵/۳۲	۴/۸۴	۴/۱۹	۵/۳۳	۴/۳۴	۴/۲	۵/۳۴	طول پارگی (km)
۱۴/۱۱	۱۱/۸۱	۱۵/۶۸	۲۰/۶۵	۱۷/۵۲	۱۹/۹۹	۲۰/۸۷	۱۳/۷۵	۲۰/۲۳	درجه روشنی (ISO)
۹۶/۵	۹۷/۷	۹۴/۴	۹۲	۹۴/۱	۹۴/۲	۹۰/۹	۹۶/۴	۹۲	ماتی (%)

\*: بدون پیش‌استخراج

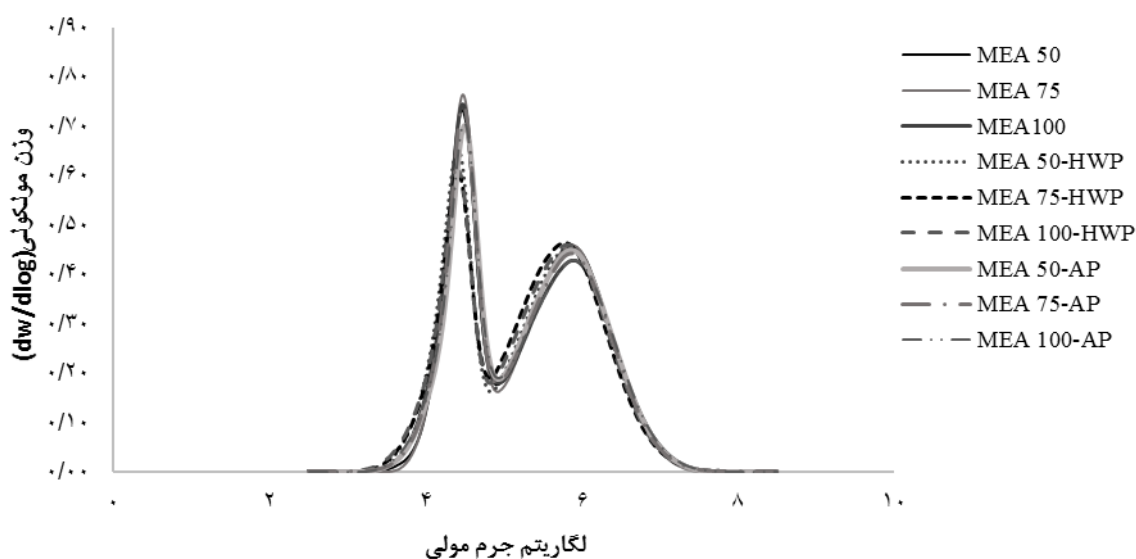
پیش‌استخراج آب داغ تأثیر بیشتری نسبت به پیش‌استخراج با قلایا در حذف همی‌سلولزها داشته است.

توزیع جرم مولی خمیر کاغذهای سودا و MEA-AQ تهیه شده از باگاس پیش‌استخراج شده و نشده به ترتیب در شکل ۱ و ۲ آمده‌اند. همان‌گونه که در شکل ۱ و ۲ مشهود است





شکل ۱- توزیع جرم مولی خمیر کاغذهای سودای پیش استخراج شده و نشده



شکل ۲- توزیع جرم مولی خمیر کاغذهای MEA-AQ استخراج شده و نشده

مقایسه شدند. با توجه به ویژگی‌های مقاومتی کاغذهای دست-ساز، شاخص کششی و طول پارگی خمیر کاغذهای MEA-AQ استخراج نشده به طور قابل توجهی بالاتر و مقاومت به پارگی آنها کمتر از خمیر کاغذ سوداست. از سوی دیگر، پیش استخراج‌ها تا حدودی باعث کاهش مقاومت کششی و طول پارگی

اندازه‌گیری مقاومت‌های مکانیکی و ویژگی‌های نوری ویژگی‌های شاخص کششی، شاخص پارگی، طول پارگی و درجه روشنی کاغذهای دست‌ساز تولید شده از خمیر کاغذسازی سودا (جدول ۴) و MEA-AQ (جدول ۵) باگاس پیش استخراج شده، با خمیر کاغذهای تولید شده از باگاس استخراج نشده

افزایش یافته است. بر اساس نتایج حاصل و در نظر گرفتن افت بازده و مقدار هولوسولوز، باگاس خود هیدرولیز شده با نسبت مایع به باگاس ۱۰ به ۱ (تیمار G) و باگاس پیش استخراج شده با قلیا در ۳۰ دقیقه و ۱۰٪ NaOH (تیمار A) برای آماده‌سازی خمیرکاغذهای سودا و MEA-AQ انتخاب شدند.

#### پخت خمیرکاغذهای سودا و مونواتانول آمین-آنتراکینون

طبق نتایج، پیش استخراج‌ها باعث بهبود بازده فرایند خمیرکاغذسازی شدند. در مقایسه با فرایند سودا، مزیت فرایند خمیرکاغذسازی MEA-AQ از باگاس پیش استخراج شده و پیش استخراج نشده، بازده خیلی بالاتر خمیرکاغذ است. Salehi و همکاران (۲۰۱۴) در بررسی فرایند خمیرکاغذسازی MEA-AQ و چاودار و مقایسه آن با فرایندهای سودا و سودا-AQ، بازده بالاتر خمیرکاغذسازی را مشاهده کردند. Salehi و همکاران (۲۰۱۷) همچنین در مطالعه خود گزارش پذیرای بالای فرایند خمیرکاغذسازی MEA را مشاهده کرده و گزارش کردند که بازده این فرایند در مقایسه با فرایند سودا خیلی بالاتر است. بازده‌های بیشتر فرایند MEA-AQ و گرانیوی بالای خمیرکاغذهای حاصل از این فرایند در مقایسه با فرایند سودا، تأیید می‌کند که در فرایند MEA-AQ همی‌سلولزهای کمتری حذف و استخراج می‌شود (Hedjazi et al., 2009). Green و Sanyer (۱۹۸۲) گزارش کردند که MEA کربوهیدرات‌های خمیرکاغذ را با کاهش گروه‌های انتهایی کاهنده در مقابل واکنش‌های تخریب تدریجی تثبیت می‌کند.

با توجه به نتایج، پیش‌استخراج‌های آب داغ و قلیای باگاس قبل از خمیرکاغذسازی تغییر قابل ملاحظه‌ای در گرانیوی خمیرکاغذ ایجاد نمی‌کنند. اثر خود هیدرولیز بر گرانیوی در مقایسه با خمیرکاغذهای بدست‌آمده از باگاس استخراج شده با قلیا، مؤثرتر بود، در نتیجه تخریب شدید سلولز با این پیش استخراج کمتر مشاهده می‌شود. گرانیوی یک مقیاس سریع و غیرمستقیم تخریب الیاف سلولز در پخت آزمایشگاهی است و به درجه پلیمریزاسیون سلولز مربوط می‌شود (Vena et al., 2013). Aldajani و همکاران (۲۰۰۹) به دلیل پیش استخراج آب داغ،

خمیرکاغذها شده ولی مقاومت به پارگی آنها را افزایش دادند. درجه روشنی خمیرکاغذهای MEA-AQ و سودا با پیش استخراج آب داغ کاهش یافته و با پیش استخراج قلیا در خمیرکاغذهای MEA-AQ تغییر محسوسی مشاهده نشد، در حالی که در خمیرکاغذهای سودا افزایش اندکی مشاهده گردید.

#### بحث

##### آنالیز شیمیایی باگاس پیش‌استخراج نشده

با توجه به جدول ۱، میزان هولوسولوز باگاس ۷۳/۵ درصد است که برای استفاده در خمیرکاغذسازی شیمیایی مناسب است. با وجود اینکه میزان لیگنین باگاس بیشتر از سایر منابع لیگنوسولوزی مورد اشاره در جدول ۱ است ولی همچنان در حد متعارف منابع لیگنوسولوزی غیرچوبی است. میزان مواد استخراجی محلول در استون و خاکستر باگاس به میزان قابل توجهی کمتر از سایر منابع لیگنوسولوزی موجود است. در فرایندهای خمیرکاغذسازی قلیایی حاصل از منابع لیگنوسولوزی غیرچوبی، خاکستر یکی از عوامل مشکل‌ساز محسوب می‌شود که معضلات بسیاری در بازیابی مایع پس از پخت ایجاد می‌کند. نتایج ترکیبات شیمیایی به دست آمده از باگاس همچنین با سایر گزارش‌های موجود به خوبی مطابقت داشت (Vena et al., 2012).

##### پیش‌استخراج‌ها

در جدول ۲، در پیش استخراج قلیایی با افزایش میزان قلیا و زمان، مقادیر بازده کاهش یافته است. این نتایج با نتایج Mohammadi و همکاران (۲۰۱۹) مطابقت دارد. همان‌طور که در جدول ۲ مشاهده می‌شود با افزایش نسبت آب به باگاس، میزان بازده و هولوسولوز تغییر چندانی محسوسی نمی‌کند، به طوری که با افزایش نسبت آب به باگاس از ۶ به ۱ به ۱۲ به ۱، میزان بازده حدود ۲ درصد افزایش می‌یابد. Mohammadi و همکاران (۲۰۱۶) در مطالعه اثر پیش استخراج کاه جو با آب داغ و بعد تهیه خمیرکاغذ سودا و مونواتانول آمین بیان کردند که میزان بازده با افزایش نسبت آب به کاه جو تنها حدود ۲ درصد

(Hasanjanzadeh et al, 2014).

آنالیز ترکیب شیمیایی خمیرکاغذهای سودای حاصل از باگاس پیش استخراج شده با آب داغ و خمیرکاغذهای MEA-AQ حاصل از باگاس خود هیدرولیز شده، مقدار سلولز بیشتر و همی سلولز کمتری در مقایسه با خمیرکاغذهای حاصل از باگاس استخراج نشده نشان داد.

توزیع جرم مولی خمیرکاغذهای سودا و MEA-AQ تولید شده از باگاس پیش استخراج شده و نشده که به ترتیب در شکل‌های ۱ و ۲ ارائه شده، رابطه بین تعداد مول‌های هر جزء پلیمر و جرم مولی آن اجزاء را تعریف می‌کند. خمیرکاغذهای حاصل از باگاس پیش استخراج شده ویژگی‌های MMD مشابهی را ارائه کردند. پیک در ناحیه با جرم مولی کم، مربوط به همی سلولزها، برای خمیرکاغذهای حاصل از باگاس استخراج نشده و شده مشهود بود اما همان‌طور که انتظار می‌رفت خمیرکاغذهای حاصل از باگاس استخراج شده به دلیل حذف همی سلولزها ارتفاع کمتری از جزء با وزن مولکولی کم را نشان دادند. پیک همی سلولزها در ناحیه با جرم مولکولی کم با مقادیر به دست آمده از ترکیب شیمیایی خمیرکاغذها مطابقت داشتند. با توجه به مقادیر سلولز و همی سلولزهای بدست آمده در جدول‌های ۴ و ۵، کمترین میزان همی سلولزها در فرایند خمیرکاغذسازی MEA-AQ مربوط به پخت‌های MEA75 و HWP و MEA50 بوده و در مقابل کمترین میزان همی سلولزها در پخت سودا مربوط به S20-HWP است که نشان می‌دهد پیش استخراج با آب داغ نقش بیشتری در حذف همی سلولزها و حفظ سلولز داشته است.

ویژگی‌های مکانیکی و نوری کاغذ دست‌ساز

طول پارگی و شاخص کشش به شدت به نقاط اتصال الیاف با یکدیگر بستگی دارند، درحالی‌که مقاومت پارگی به مقاومت ذاتی الیاف، طول الیاف و تعداد الیاف نمونه مورد آزمایش مربوط است.

نسبت‌های مختلف MEA هیچ‌گونه تأثیری بر روی مقادیر شاخص کشش و طول پارگی خمیرکاغذ حاصل از باگاس استخراج نشده نداشتند، درحالی‌که با کاهش نسبت MEA به

کاهش گرانیوی خمیرکاغذ را که نشان‌دهنده دپلیمریزاسیون کربوهیدرات بود گزارش کردند. این یافته به دلیل شکل‌گیری کربوهیدرات‌های دارای گروه‌های انتهایی کاهنده زیاد با جرم مولکولی کم، تحت شرایط اسیدی آب داغ بیان شد که نسبت به واکنش تخریب تدریجی تحت فرایند خمیرکاغذسازی قلیایی بعدی حساس تر می‌شود.

به دلیل افزایش گزینش‌پذیری پخت با مونواتانول آمین، مقدار لیگنین‌زدایی با این ماده بسیار بالاست. کمترین مقدار کاپا (۱۵/۱) در پخت MEA-AQ از باگاس پیش استخراج نشده، مربوط به تیمار ۱۰۰ به ۰ است. Hedjazi و همکاران (۲۰۰۹) در بررسی خود بر روی تولید خمیرکاغذ از کاه گندم با مونواتانول آمین ۱۰۰٪، به عدد کاپای ۱۸/۷ رسیده اند.

Mohammadi shirkolae و همکاران (۲۰۱۲) نیز در یک بررسی به تولید خمیرکاغذ کاه جو با استفاده از مونواتانول آمین/آب (۵۰/۵۰) اقدام کرده و به عدد کاپای ۲۱ دست یافته‌اند. در مورد فرایند MEA-AQ می‌توان گفت پیش استخراج تأثیری در کاهش عدد کاپا نداشته و بعضاً نیز اثر منفی داشته است، به‌صورتی که در خمیرکاغذهای حاصل از فرایند مونواتانول آمین با نسبت‌های ۱۰۰ به ۰ و ۵۰ به ۵۰ که از باگاس پیش استخراج شده با روش خود هیدرولیز تولید شدند عدد کاپا به‌طور قابل‌ملاحظه‌ای افزایش یافته است؛ اما عدد کاپای خمیرکاغذهای حاصل از باگاس پیش استخراج شده با آب داغ در فرایند سودا کاهش پیدا کرده است. Mohammadi و همکاران (۲۰۱۶) نیز در بررسی خود گزارش کردند که عدد کاپای خمیرکاغذ حاصل از کاه جو پیش استخراج شده با آب داغ در مقایسه با کاه جو شاهد، تحت شرایط مشابه پخت با فرایند خمیرکاغذسازی سودا بیشتر کاهش می‌یابد، اما این تأثیر با فرایند خمیرکاغذسازی مونواتانول آمین مشاهده نمی‌شود. اصولاً این سهولت در فرایند لیگنین‌زدایی بخشی مربوط به خروج لیگنین در مرحله پیش استخراج است. بخش دیگر هم مربوط به همی سلولزهای متصل به لیگنین در ماده لیگنوسلولزی است که بر اثر خروج همی سلولزها، بخشی از لیگنین خارج می‌شود و با شکست اتصال همی سلولز-لیگنین، در مرحله پخت لیگنین بهتر توسط عوامل شیمیایی پخت تخریب می‌گردد

تحقیقی به بررسی استخراج قلیایی همی سلولزهای ذرت علوفه-ای مغززدایی شده و تأثیر آن بر روی خمیرکاغذسازی سودا-آنتراکینون پرداختند. نتایج آنان بهبود آشکاری را در مقاومت به پارگی نشان داد.

طبق جدول‌های ۴ و ۵ میزان درجه روشنی مربوط به خمیرکاغذهای مونواتانول آمین کمتر از خمیرکاغذهای سودا بود که این امر با تحقیق Mohammadi و همکاران (۲۰۱۶) مطابقت دارد. Hedjazi و همکاران (۲۰۱۰) درجه روشنی خمیرکاغذ حاصل از فرایند MEA ۱۰۰٪ را کمتر از خمیرکاغذهای سودای کاه گندم گزارش کردند. به‌علاوه، درجه روشنی ISO خمیرکاغذهای سودا حاصل از باگاس استخراج شده و نشده در مقایسه با خمیرکاغذهای MEA-AQ بیشتر بود. باوجوداین، فرایند خمیرکاغذسازی سودا با استخراج قلیایی باگاس، به خمیرکاغذهایی روشن‌تر در مقایسه با خمیرکاغذ حاصل از باگاس پیش‌استخراج نشده منجر شد، از سوی دیگر استخراج با آب داغ روشنی را کاهش داد. خمیرکاغذهای تیره‌تر حاصل از خود هیدرولیز ممکن است به دلیل درجه‌کننداس بیشتر لیگنین باگاس باشد. Mohammadi و همکاران (۲۰۱۶) نیز در تحقیق خود گزارش کردند که پیش‌استخراج با آب داغ منجر به افت درجه روشنی خمیرکاغذها شد. آنان بیان کردند که پیش‌استخراج با آب داغ منجر به تشکیل گروه‌های رنگ‌ساز و ساختارهای لیگنین تخریب‌شده خارج نشده در خمیرکاغذ می‌شود. با توجه به جدول‌های ۴ و ۵، تغییر چندانی در میزان ماتی خمیرکاغذهای حاصل از باگاس استخراج نشده و پیش‌استخراج شده مشاهده نمی‌شود. البته در مورد خمیرکاغذهای شاهد MEA-AQ و سودا تفاوت در میزان ماتی اندکی مشهودتر است که بیشترین درجه ماتی به خمیرکاغذهای مونواتانول آمین تعلق دارد و علت آن را می‌توان وجود همی سلولزهای بیشتر در خمیرکاغذ دانست (Mohammadi et al., 2016).

### نتیجه‌گیری

شرایط بهینه پیش‌استخراج براساس مقادیر بازده، مقدار هولوسولوز و با در نظر گرفتن صرفه اقتصادی انتخاب شد. پیش‌استخراج‌های آب داغ و قلیا نشان دادند که اثرهای مهمی بر

آب، درجه روشنی این خمیرکاغذها افزایش یافت. در هر دو فرایند خمیرکاغذسازی، پیش‌استخراج‌های خود هیدرولیز و قلیا، کاهش در شاخص کشش و طول پارگی نشان دادند، درحالی‌که شاخص پارگی در مقایسه با خمیرکاغذهای حاصل از باگاس استخراج نشده زیاد شد. پیش‌ازاین، اهمیت حفظ همی سلولزها برای ایجاد قابلیت پیوند هیدروژنی بیشتر بین الیاف و در نتیجه افزایش ویژگی‌های مقاومتی گزارش شده است. از این‌رو انتظار می‌رود که پیش‌استخراج همی سلولزها بر ویژگی‌های مقاومتی کاغذهای دست‌ساز حاصل از این خمیرکاغذها اثر بگذارد (Vena et al, 2012).

در مطالعات پیشین، در اثر اعمال پیش‌استخراج آب داغ یا قلیا قبل از فرایند خمیرکاغذسازی سودا بر باگاس یا کاه برنج، ویژگی‌های مقاومتی کاغذ دست‌ساز مثل شاخص کشش و شاخص ترکیب‌گی کم شدند (Lei et al., 2010; Jahan & Rahman, 2012). دلایل کمتر بودن شاخص مقاومت به کشش را می‌توان به قابلیت پیوندیابی داخلی کمتر خمیرکاغذهای با مقادیر همی سلولزهای کمتر نسبت داد. در واقع زیلان خمیرکاغذ به دلیل گروه‌های هیدروکسیل اولیه در پیوندیابی مؤثر است. Hasanjanzadeh و همکاران (۲۰۱۴) نیز کاهش شاخص کشش و ترکیب‌گی بر اثر پیش‌استخراج را در مطالعه خود گزارش کردند.

همان‌طور که بیان شد پیش‌استخراج منجر به افزایش شاخص پارگی شده است. شاخص پارگی عاملی است که مقدار آن به‌طور مستقیم به طول الیاف بستگی دارد. پیش‌استخراج موجب تسهیل لیگنین‌زدایی در فرایند خمیرکاغذسازی شده، در نتیجه باعث آزاد شدن الیاف سالم‌تر و با طول بیشتر می‌شود (Mohammadi et al., 2016). خمیرکاغذ سودای ۱۸ درصد حاصل از باگاس پیش‌استخراج شده با آب داغ (S18-HWP) بیشترین شاخص پارگی را نشان می‌دهد. Jahan و همکاران (۲۰۰۹) در مطالعه‌ای به بررسی اثر پیش‌هیدرولیز آب داغ بر میزان استخراج همی سلولزهای باگاس و فرایند خمیرکاغذسازی سودا-آنتراکینون پرداختند. آنان گزارش کردند که مقاومت پارگی خمیرکاغذ حاصل از باگاس پیش‌استخراج شده، بیشتر از خمیرکاغذ شاهد است. Cheng و همکاران (۲۰۱۰) نیز در

- Zabihzadeh, S. M., 2015. Comparative study of soda, soda-AQ and monoethanolamine pulps from soybean straw. *Iranian Journal of Wood and Paper Science Research*, 68(4): 887-902.
- Al-Sulaimani, K., Brat Dwivedi, P., 2017. Production of handmade papers from sugar cane bagasse and banana fibers in Oman. *International Journal of Students' Research in Technology & Management*, 5(3): 16-20.
- Andrade, M. F., Colodette, J. L., 2014. Dissolving pulp production from sugar cane bagasse. *Industrial Crops and Products*, 52: 58-64.
- Al-Dajani, W. W., Tschirner, U. W., and Jensen, T., 2009. Pre-extraction of hemicelluloses and subsequent kraft pulping part II: Acid- And autohydrolysis. *Tappi*, 8(9): 30-37.
- Behin, J., Mikaniki, F. and Fadaei, Z., 2008. Dissolving pulp (alpha-cellulose) from corn stalk by Kraft process. *Iranian Journal of Chemistry Engineering*, 5(3): 14-28.
- Borrega, M.L., Tolonen, K., Bardot, F., Testova, L., and Sixta, H., 2013. Potential of hot water extraction of birch wood to produce high-purity dissolving pulp after alkaline pulping. *Bioresource Technology*, 135: 665.
- Browning, B.L., 1967. *Methods of Wood Chemistry*, 1st ed., John Wiley & Sons., New York, p. 384.
- Cheng, H., Zhan, H., Fu, Sh., and Lucia, L.A., 2010. Alkali extraction of hemicelluloses from depithed corn stover and effects on soda-AQ pulping. *Bioresources*, 11(1): 196-206.
- Chavooshi, A., Bahmani, A. A., Darijani, A., Mootab Saei, A., Mehrabi, E., and Gholipour, M., 2012. The role of wood and paper industries management of Iran in sustainable development. *Journal of Conservation and Utilization of Natural Resources*, 1(3): 79-95.
- De Lopez, S., Tissot, M. and Delmas, M., 1996. Integrated cereal straw valorization by an alkaline pre-extraction of hemicellulose prior to soda-anthraquinone pulping. Case study of barley straw. *Biomass and Bioenergy*, 10(4): 201-211.
- Green, J., Sanyer, N., 1982. Alkaline pulping in aqueous alcohols and amines. *Tappi Journal*, 65(5): 133-137.
- Hasanzadeh, H., Hedjazi, S. and Jamalirad, L., 2014. Investigation on the influence of the alkaline preextraction of hemicelluloses on the properties of rice straw soda-AQ Pulp. *Journal of Forest and Wood Products*, 66(4): 493-506.
- Hedjazi, S., Kordsachia, O., Patt, R. and Kreipl, A., 2009. MEA/water/AQ-pulping of wheat straw. *Holzforchung*, 63(5):505-512.
- Heidari, A., 2010. Investigation on MEA pulping of rice straw and ECF bleaching of the pulps. *College of*
- روی ترکیب و بازده خمیرکاغذهای حاصل دارند. این تغییر ترکیب می‌تواند در ویژگی‌های خمیرکاغذهای تولیدی و ویژگی‌های مکانیکی و نوری آنها انعکاس یابد. در این تحقیق، پیش‌استخراج‌ها در هر دو فرایند- به جز در خمیرکاغذهای MEA-AQ حاصل از پیش‌استخراج آب داغ- منجر به بهبود لیگنین‌زدایی گردیدند که این موضوع می‌تواند تأثیر مهمی در خط تولید خمیرکاغذ به‌ویژه رنگبری آن داشته باشد. از سویی براساس نتایج، بازده زیاد پخت مونواتانول آمین در خمیرکاغذهای حاصل از باگاس پیش‌استخراج نشده و استخراج شده نشان می‌دهد که کربوهیدرات‌ها در این پخت نسبت به پخت سودا کمتر تخریب یا حل شده‌اند و گزینش‌پذیری این فرایند در مقایسه با فرایند سودا بسیار بیشتر است. فرایند خمیرسازی مونواتانول آمین دارای عددکاپای بیشتری نسبت به فرایند سودا بود که این خود نشان‌دهنده حضور مقادیر بیشتر لیگنین در این خمیرکاغذهاست. در مورد خمیرکاغذ حاصل از فرایند MEA-AQ، شاخص مقاومت به کشش نسبت به نمونه‌های شاهد سودا بیشتر مشاهده گردید و پیش‌استخراج در هر دو فرایند سبب کاهش شاخص مقاومت به کشش شد. از سویی، در مورد شاخص مقاومت به پارگی بهبود اندکی در مورد هر دو خمیرکاغذ سودا و MEA-AQ حاصل از باگاس پیش‌استخراج شده مشاهده گردید. درجه روشنی در خمیرکاغذهای MEA-AQ نسبت به سودا کمتر بود و پیش‌استخراج سبب کاهش بیشتر درجه روشنی در هر دو فرایند شد. البته فرایند پیش‌استخراج اثر قابل توجهی روی ماتی هر دو فرایند خمیرکاغذسازی نداشت. مقایسه ویژگی‌های مکانیکی و نوری خمیرکاغذهای موجود در این تحقیق نشان می‌دهد هرچند که خمیرکاغذهای حاصل از فرایند MEA-AQ دارای شاخص‌های مقاومتی و نوری نسبتاً مناسبی هستند ولی فرایند سودا خمیرکاغذهای با خواص مقاومتی و نوری بهتری در مقایسه با آن فرایند به‌دست آمده است.

#### منابع مورد استفاده

- Ahmadi, M., Bayani, S. and Sharari, M., 2018. Organosolv pulping of *calotropis procera* by mono ethanol amin. *Wood Research*. 63(3), 467-478.
- Alizadeh, P., Hedjazi, S., Abdulkhani, A. and

- on the properties of soda-AQ pulp of wheat straw. *Lignocellulose*, 5(1), 66-76.
- Salehi, K., Kordsachia, O. and Patt, R., 2014. Comparison of MEA/AQ, soda and soda/AQ pulping of wheat and rye straw. *Industrial Crops and Products*, 52, 603-610.
- Salehi, K., Kordsachia, O. and Saake, B., 2017. The potential of wheat straw high yield MEA pulp for enhancing strength properties of recycled paper. *BioResources*, 12(4), 8255-8271.
- Schild, G., Sixta, H., and Testova, L., 2010. Multifunctional alkaline pulping, delignification and hemicelluloses extraction. *Cellulose Chemistry and Technology*, 44(1-3), 35-45.
- Sefik Tunc, M., Heiningen, van Adriaan R. P., 2008. Hemicellulose extraction of mixed southern hardwood with water at 150°C: effect of time. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 47(18), 7031-7037.
- Seyednaseredin, Hedjazi, S., M. and Hamzeh, Y., 2019. The influence of hot water pre-extraction of wheat straw hemicelluloses on monoethanolamine-AQ and soda-AQ pulp properties. *Iranian Journal of Wood and Paper Industries*. Articles in press, Accepted Manuscript.
- 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.
- Sun, J. X., Sun, X.F., Zhao, H. and Sun, R. C., 2004. Isolation and characterization of cellulose from sugarcane bagasse. *Polymer Degradation and Stability*, 84(2), 331-339.
- Vena, P.F., García-Aparicio, M.P., Brienzo, M., Görgens, J.F., and Rypstra, T., 2013. Effect of alkaline hemicelluloses pre-extraction on kraft pulp fibres from *Eucalyptus grandis*. *Wood Chemistry and Technology*. 33(3), 157-173.
- Vena, P.F., García-Aparicio, M.P., Brienzo, M., Görgens, J.F., and Rypstra, T., 2012. Impact of hemicelluloses pre-extraction on pulp properties of sugarcane bagasse. *Cellulose Chemistry and Technology*, 47(5), 469-477.
- Wallis, A.F.A., 1980. Wood pulping with monoethanolamine in pressure vessels. *APPITA Journal*, 33(5), 351-355.
- Natural Resources, University of Tehran.
- Hedjazi, S., Latibari, A. j., Hamzeh, Y., Kordsachia, O. and Ahmadi, M., 2011. Ethanolamine pulping-As a novel opportunity to overcome rice straw pulping challenges. *Proceedings of the 16th International Symposium on Wood, Fiber and Pulping Chemistry (Vol. I )*. ISWFPC.
- Heiningen, V. A., 2006. Converting a kraft pulp mill into an integrated forest biorefinery. *Pulp and Paper Canada*, 107(6), 38.
- Jahan, M.S., Saeed, A., Ni Y., and Zhibin, H. 2009. Pre-extraction and its impact on the alkaline pulping of bagasse. *Biobased Material and Bioenergy*, 3(4): 380-385.
- Jahan, M. S., Shamsuzzaman, M., Mostafizur Rahman, M., Iqbal Moeiz, S. M. and Nic, Y., 2012. Effect of pre-extraction on soda-anthraquinone (AQ) pulping of rice straw. *Industrial Crops and Products*, 37(1), 164-169.
- Jahan, M. S., Rahman, M. M., 2012. Effect of pre-hydrolysis on the soda-anthraquinone pulping of corn stalks and *Saccharum spontaneum* (kash). *Carbohydrate Polymer*, 88, 583-588.
- Janson, J., 1970. Calculation of the polysaccharide composition of wood and pulp. *Paperi ja puu*, 52 (5), 323-329.
- Lei, Y., Liu, S., Li, J., and Sun, R., 2010. Effect of hot water extraction on alkaline pulping of bagasse. *Biotechnology Advance*, 28(5), 609-612.
- Mohammadi Shirkolaee, j., 2012. Investigation of MEA/KOH pulping of barely straw and ECF bleaching of the pulp. *MSC thesis, College of Natural Resources, University of Tehran*.
- Mohammadi Yanagh, N., Hedjazi, S., Abdolkhani, A and Hamzeh, Y., 2016. Hot water pre-extraction of barley straw and its effect on soda and monoethanolamine pulps properties. *Journal of Forest and Wood Product*, 69(3):535-549.
- Mohammadi, N., Hedjazi, S., Abdolkhani, A. and Hamzeh, Y., 2019. Investigation on the influence of alkaline pre-extraction of barley straw on soda and monoethanolamine pulps properties. *Iranian Journal of Wood and Paper Industries*, 9(4):485-495.
- Ragauskas, A. J., Nagy, M., Ho Kim, D., Eckert, C. A., Hallett, J. P., and Liotta, C. L., 2006. *Industrial Biotechnology*, 2(1), 5.
- Rudi, H., Keranian, H., Resalati, H. and Teymori Rodi, L., 2016. The effect of hot-water pre-extraction

## The effect of hot water and alkaline pre-extractions on properties of bagasse pulps produced by monoethanolamine-AQ process

K. Moradian Gilan<sup>1</sup>, S. Hedjazi<sup>2\*</sup>, A. Abdolkhani<sup>3</sup> and H. Sixta<sup>4</sup>

1-PhD, Department of wood science & technology, Faculty of natural resources, University of Tehran, Karaj, Iran

2\*-Corresponding author, Associate Prof., Department of wood science & technology, Faculty of natural resources, University of Tehran, Karaj, Iran, Email: shedjazi@ut.ac.ir

3-Associate Prof., Department of wood science & technology, Faculty of natural resources, University of Tehran, Karaj, Iran

4-Professor, Department of Forest Products Technology, School of Chemical Technology, Aalto University, Espoo, Finland

Received: Jan., 2019

Accepted: April, 2019

### Abstract

In this research, the effect of hot water and alkaline pre-extractions on properties of bagasse monoethanolamine-AQ pulps was investigated and the results were compared with that of soda pulping. The pre-extraction with alkaline charge of 10%, time of 30 min. resulted in total yield and holocellulose of 94.7% and 71.6%, respectively. The hot water pre-extraction with L/W of 10/1 and time of 45min. led to total yield and holocellulose of 94% and 69.4%, respectively. These trails were selected as the optimum conditions. Monoethanolamine was used as pure and also in different proportions with water for cooking unextracted and pre-extracted bagasse. Variables in monoethanolamine pulpng were the ratio of monoethanolamine to water at three levels (100/0, 75/25, and 50/50%) and the ratio of the liquor to bagasse of 6 to 1, cooking time of 60 min, the temperature of 165°C and AQ charge of 0.1% were considered as constant. According to the results, the MEA-AQ pulps produced with MEA/H<sub>2</sub>O ratio of 75/25 (from unextracted bagasse) have the highest total yield (61.9 %) and the acceptable kappa number (19.5). Pre-extraction resulted in improving the yield in both MEA-AQ and soda pulping processes. After pre-extraction, the tensile index and breaking length of pulps dropped. In contrast, the tear index of pulps produced from pre-extracted bagasse in both pulping processes was increased. The brightness of soda pulps from un-extracted and pre-extracted bagasse was more than that of MEA-AQ pulps. After pre-extraction, the opacity of pulps remains almost unchanged.

**Keywords:** Pre-extractions, hot water, alkaline, bagasse, monoethanolamine pulping.