

## بررسی مقایسه‌ای ویژگی‌های خمیر کاغذهای سودا،

### سودا- آنتراکینون، و مونواتانول آمین از ساقه سویا

- ❖ پیمان علی‌زاده؛ کارشناس ارشد علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج، ایران
- ❖ سحاب حجازی\*؛ دانشیار گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج، ایران
- ❖ علی عبدالخانی؛ دانشیار گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج، ایران
- ❖ سید مجید ذبیح‌زاده؛ گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران

#### چکیده

در این تحقیق خصوصیات کاغذسازی ساقه سویا، به منزله ماده اولیه لیگنوسلولزی، مطالعه شد. بیومتری الیاف و ترکیبات شیمیایی ساقه سویا تعیین شده است. ویژگی‌های خمیر کاغذهای تولیدشده با فرایندهای سودا، سودا- آنتراکینون، و مونواتانول آمین مقایسه شدند. طول الیاف (۱ میلی‌متر)، قطر الیاف (۲۶/۴ میکرون)، قطر حفره (۱۵/۶۷ میکرون)، و ضخامت دیواره الیاف (۵/۳۵ میکرون) برای ساقه سویا به دست آمد. میزان سلولز، لیگنین، مواد استخراجی قابل حل در استون، و خاکستر ساقه سویا به ترتیب ۴۱، ۱۹، ۴/۹، و ۳/۱ درصد تعیین شد. پخت‌های بهینه فرایندهای سودا، سودا- آنتراکینون، و مونواتانول آمین- آنتراکینون به ترتیب منجر به بازده بعد از غربال ۴۰/۵، ۳۵/۵، و ۴۹/۵ درصد و اعداد کاپای ۳۰، ۲۰، و ۲۰ شد. خمیر کاغذهای بهینه تا درجه روانی CSF ۳۰۰ پالایش و ویژگی‌های مکانیکی و نوری آنها اندازه‌گیری شد. بیشترین مقاومت به کشش ۵۴/۹۴ Nm/g و بیشترین مقاومت به ترکیدن  $۲/۶۵ \text{ kpm}^2/\text{g}$  در خمیر کاغذ سودا، بالاترین درجه ماتی ۹۷ درصد در خمیر کاغذ سودا- آنتراکینون، بیشترین مقاومت به پارگی  $۶/۵۲ \text{ mN.m}^2/\text{g}$  و بالاترین درجه روشنی ۳۰ درصد ایزو در خمیر کاغذ مونواتانول آمین- آنتراکینون مشاهده شد.

واژگان کلیدی: بازده، ساقه سویا، سودا- آنتراکینون، عدد کاپا، مونواتانول آمین، ویژگی‌های مقاومتی.

## مقدمه

استفاده روزافزون از منابع چوبی، به منظور تولید فرآورده‌های سلولزی، منابع جنگلی را با خطر نابودی مواجه کرده است. محققان فناوری خمیر کاغذ و طرفداران محیط زیست در چند دهه اخیر، در جست‌وجوی راهی برای حل این مشکل، پژوهش‌های گسترده‌ای در سراسر جهان آغاز کرده‌اند. اغلب افراد بر این باورند که چوب مناسب‌ترین ماده لیگنوسلولزی تولید خمیر کاغذ و کاغذ است. ولی منابع الیاف لیگنوسلولزی غیر چوبی، مانند پسماندهای لیگنوسلولزی کشاورزی، نیز از ویژگی‌های کاربردی مهمی جهت استفاده در صنایع تولید خمیر کاغذ برخوردارند. پسماندهای لیگنوسلولزی زراعی اصلی در جهان عبارت‌اند از باگاس، ذرت، برنج، گندم، جو، کلزا، و سورگوم (ذرت خوشه‌ای) که تولید سالانه آن‌ها به ترتیب ۱۷۷۳، ۸۷۵، ۷۱۸، ۶۷۴، ۱۳۲، ۶۴، و ۵۸ میلیون تن است [۱]. این بدان معنی است که حداقل ۴۲۹۴ میلیون تن پسماند لیگنوسلولزی در دسترس در مقیاس جهانی وجود دارد که برای تولید الیاف مناسب‌اند. کشور ایران، با توجه به کمبود منابع جنگلی و همچنین طرح‌های صیانت از جنگل‌ها، با مشکل جدی تأمین مواد اولیه جهت تولید فرآورده‌های سلولزی مواجه است. اما، با توجه به تولید ۲۵/۴۴۷ میلیون تن [۲] پسماند لیگنوسلولزی در سال، پشتوانه‌ای قابل اطمینان جهت تأمین بخشی از مواد اولیه واحدهای تولیدی محصولات چوب و کاغذ در کشور وجود دارد. علاوه بر این، جمع‌آوری و کاهش سوزاندن بی‌رویه پسماندهای لیگنوسلولزی، علاوه بر مزایای زیست‌محیطی و کمک به اقتصاد روستاییان و کشاورزان، گامی بلند و باارزش در راه

پیشرفت صنعت چوب و کاغذ و رسیدن به توسعه پایدار تلقی می‌شود. سودا مهم‌ترین فرایند تبدیل مواد لیگنوسلولزی به خمیر کاغذ است. اما این فرایند معایبی هم دارد. پروفیل قوی قلیای استفاده‌شده در این فرایند باعث تخریب گسترده کربوهیدرات‌های ماده لیگنوسلولزی از طریق واکنش‌های تخریب تدریجی و هیدرولیز قلیایی می‌شود. اغلب پسماندهای لیگنوسلولزی مقادیر زیادی سیلیس دارند که در محیط قلیایی فرایند سودا حل می‌شود و مشکلاتی در بازیابی مایع پخت سودا به‌ویژه در تبخیرکننده‌ها، کوره بازیابی، و سیستم سودسازی ایجاد می‌کند. به همین علت کارخانه‌های خمیر کاغذ بر مبنای پسماندهای لیگنوسلولزی کشاورزی استفاده‌کننده از فرایند سودا فاقد سیستم بازیابی اند. با افزودن آنتراکینون به فرایند سودا تا حدودی این مشکلات برطرف شده است. اما مشکلات بازیابی مایع پخت هنوز پابرجاست. مونواتانول آمین می‌تواند به منزله یک فرایند خمیر کاغذسازی تا حد زیادی بر این مشکلات غلبه کند. مونواتانول آمین ویژگی مهم حفظ کربوهیدرات‌ها، به‌ویژه همی سلولزها، را دارد. این وضعیت می‌تواند به تولید خمیر کاغذی با بازده بیشتر در مقایسه با فرایند سودا منجر شود. نکته حائز اهمیت درباره مونواتانول آمین امکان بازیابی آن از طریق تقطیر است. به این ترتیب، مشکلات بازیابی مایع باقی‌مانده پس از پخت مرتفع می‌شود و کارخانه‌های خمیر کاغذ بر مبنای پسماندهای لیگنوسلولزی می‌توانند از سیستم بازیابی مناسب بهره‌مند شوند. گرچه سایر حلال‌های آلی نیز می‌توانند بازیابی شوند، کار در محیط قلیایی، خواص خوب حفاظت از کربوهیدرات‌ها و فشار کم برج

تولید خمیرکاغذ با فرایند سودا-آنتراکینون و ارزیابی ویژگی‌های کاغذسازی آن را مطالعه کردند. مشخصات خمیرکاغذ سودا-آنتراکینون انتخاب شده برای تهیه کاغذ دست‌ساز شامل قلیای فعال ۲۰ درصد، حرارت پخت ۱۷۵ درجه سانتی‌گراد، و زمان پخت ۷۰ دقیقه بود. بازده بعد از غربال و عدد کاپا به ترتیب برابر ۳۶/۷ درصد و ۲۴/۳ با این شرایط گزارش شد. حجازی و همکاران [۷] فرایندهای سودا و سودا-آنتراکینون را با مونواتانول آمین از کاه گندم مقایسه کردند. نتیجه نشان داد مونواتانول آمین می‌تواند با داشتن بازده بالا و حفظ همی‌سلولزها مقاومت‌هایی مشابه خمیرکاغذهای حاصل از پخت‌های رایج منابع لیگنوسلولزی به دست دهد. ملایسی و همکاران [۸] امکان تهیه خمیرکاغذ سودای قابل رنگ‌بری را از ساقه کلزا بررسی کردند. نتایج نشان داد ساقه کلزا برای تولید خمیرکاغذ قابل رنگ‌بری با بازده پایین به مواد شیمیایی بیشتری نیاز دارد. حسین و همکاران [۹] در پژوهشی خمیرکاغذسازی سودا و سودا-آنتراکینون از ساقه ذرت را با اعمال مقادیر مختلف قلیا و زمان پخت متفاوت مطالعه کردند. بررسی کاغذهای دست‌ساز نشان داد خمیرکاغذ تولیدشده با ۱۸ درصد قلیابیت، ۰/۱ درصد آنتراکینون، ۱۵ دقیقه زمان پخت، و دمای پخت ثابت ۱۴۵ درجه سلسیوس نسبت به دیگر شرایط خمیرکاغذسازی مقاومت بهتری دارد.

به‌رغم مطالعات صورت‌گرفته در زمینه پسماندهای لیگنوسلولزی مختلف، تاکنون تحقیقی درباره استفاده از ساقه سودا در تولید خمیرکاغذ انجام

پخت برابر با فرایندهای متداول خمیرکاغذسازی مونواتانول آمین را از سایر حلال‌های آلی متمایز می‌کند. در سال‌های اخیر مطالعاتی بر برخی از پسماندهای مهم لیگنوسلولزی کشاورزی صورت گرفته است. امیری [۳] به منظور تعیین خصوصیات الیاف، خواص شیمیایی، و خمیرکاغذدهی ساقه پنبه بررسی‌هایی انجام داد. او از حرارت پخت ۱۴۰، ۱۶۰، و ۱۸۰ درجه سلسیوس و زمان پخت ۳۰، ۴۰، و ۵۰ دقیقه و روش سودا استفاده کرد. نسبت مایع پخت به ساقه ۵ به ۱ و قلیابیت فعال ۲۰ درصد به طور ثابت در همه مراحل تهیه خمیرکاغذ در نظر گرفته شد. خمیرکاغذ بهینه از شرایط پخت دمای ۱۶۰ درجه سلسیوس و زمان پخت ۴۰ دقیقه حاصل آمد. در این شرایط میزان بازده و عدد کاپای خمیرکاغذ سودا، به ترتیب ۵۰/۴ درصد و ۱۵/۸۹ است. رودریگوز و همکاران [۴] تولید خمیرکاغذ از کلش برنج را، با استفاده از روش‌های سودا و سودا-آنتراکینون و کرافت، بررسی کردند. نتایج نشان داد طول پارگی، کشش، و شاخص مقاومت به ترکیدن کاغذ دست‌ساز تهیه‌شده از خمیرکاغذ سودا-آنتراکینون نسبت به روش سودا و کرافت بالاتر است. حجازی و همکاران [۵] در یک بررسی فرایند خمیرکاغذسازی سودا و سودا-آنتراکینون بر کاه گندم را مطالعه کردند. شاخص ترکیدن، شاخص کشش، طول پارگی، و درجه ماتی خمیرکاغذ سودا بالاتر از خمیرکاغذ سودا-آنتراکینون به دست آمد؛ در حالی که شاخص پارگی هر دو خمیرکاغذ برابر و درجه روشنی خمیرکاغذ سودا-آنتراکینون بیشتر از خمیرکاغذ سودا گزارش شد. موسوی و همکاران [۶] امکان استفاده از پسماند ساقه کلزا برای

### تعیین ابعاد الیاف

با استفاده از روش فرانکلین طول، قطر کلی الیاف، قطر حفره سلول، و ضخامت جداره سلولی صد رشتۀ فیبر اندازه‌گیری و سپس میانگین آن‌ها محاسبه شد.

### تعیین ترکیبات شیمیایی

تهیهٔ آرد سویا طبق استاندارد ۸۵ om ۲۶۷ T، اندازه‌گیری مقدار خاکستر بر اساس دستورالعمل شماره ۹۳ om ۲۱۱ T، تعیین مواد استخراجی محلول در حلال آلی طبق دستورالعمل ۹۳ om ۲۰۷ T، تهیه آرد عاری از مواد استخراجی مطابق دستورالعمل شماره ۹۷ om ۲۶۴ T، و اندازه‌گیری مقدار لیگنین بر مبنای دستورالعمل شماره ۹۷ om ۲۲۲ T آیین‌نامهٔ تاپی انجام شد. اندازه‌گیری سلولز طبق روش اسید نیتریک صورت گرفت.

### تهیهٔ خمیر کاغذ

انواع مختلف خمیر کاغذ از ساقهٔ سویا طبق جدول ۱ تهیه شد.

### تعیین ویژگی‌های خمیر کاغذ

خمیر کاغذ باقی‌مانده روی الک ۲۰ مش، تحت عنوان خمیر کاغذ وازده، و خمیر کاغذ عبور کرده از الک ۲۰ مش و باقی‌مانده روی الک ۲۰۰ مش خمیر کاغذ مناسب است که با تقسیم بر مقدار وزن خشک اولیهٔ ساقهٔ سویا بازده پذیرفتنی به دست می‌آید. عدد کاپای خمیر کاغذهای حاصله، طبق دستورالعمل شماره ۰۶ om ۲۳۶ T آیین‌نامهٔ تاپی، اندازه‌گیری شد. خمیر کاغذهای بهینه جهت ساخت کاغذ دست‌ساز با توجه به معیارهای بازده بالا و عدد کاپای پایین انتخاب شدند.

نگرفته است و این در حالی است که کشت سویا<sup>۱</sup> در سطح ایران و جهان رو به افزایش است. در سال ۱۳۹۱ میزان تولید سویا در ایران و جهان به ترتیب برابر دویست هزار و دویست و پنجاه و سه میلیون تن بود. بنابراین، می‌توان تخمین زد که حدود دویست و بیست میلیون تن مادهٔ لیگنوسلولزی به صورت بالقوه برای تولید خمیر کاغذ از ساقهٔ سویا در جهان موجود است. از این رو، این تحقیق بر خمیر کاغذسازی ساقهٔ سویا، با استفاده از فرایندهای مهم و رایج برای منابع لیگنوسلولزی غیر چوبی، جهت حصول داده‌های بنیادین متمرکز شد.

### روش شناسی

#### مادهٔ اولیه

ساقهٔ سویای مورد نیاز از مزرعه‌ای در استان گلستان (گرگان) تهیه و پس از جداسازی غلاف‌های حاوی دانه‌های روغنی و ساقه‌های بسیار ریز و ناخالصی‌ها آماده شد. جهت حذف مغز، ساقه‌های خشک‌شدهٔ سویا توسط خردکن استوانه‌ای چرخان خرد و سپس محتوای مغز به کمک یک جداکنندهٔ دمشی، با استفاده از جریان هوا، جدا شد. کارایی مغززدایی با این روش بیش از ۹۵ درصد تعیین شد. ساقه‌ها، پس از جداسازی مغز، به قطعاتی به طول تقریبی ۲ تا ۳ سانتی‌متر تبدیل و پس از شست‌وشو با آب تا رسیدن به رطوبت حدود ۶ تا ۷ درصد در محیط آزمایشگاه قرار داده شدند. سپس، به‌منظور جلوگیری از تبادل رطوبتی داخل کیسه‌های پلاستیکی نگهداری شدند.

1. *Glycine max*

جدول ۱. شرایط پخت‌های سودا، سودا-آنتراکینون، و مونواتانول آمین از ساقه سویا

زمان آغشتگی (دقیقه)	زمان پخت (دقیقه)	درجه حرارت (سلسیوس)	آنتراکینون (%)	مونواتانول آمین (%)	قلیابیت (%)	خمیر کاغذ
۸۰	۱۸۰	۱۷۰	-	-	۲۶، ۲۴، ۲۲	سودا
۸۰ و ۰	۱۵۰ و ۱۸۰	۱۶۵ و ۱۷۰	۰٫۱	-	۲۴، ۲۲، ۲۰	سودا- آنتراکینون
۸۰ و ۰	۶۰	۱۶۵	۰٫۱ و ۰	۱۰۰، ۷۵، ۵۰	-	مونواتانول آمین

اساس دستورالعمل‌های شماره ۹۸ om ۴۲۵ T و ۹۶ om ۴۲۵ T آیین‌نامه تاپی انجام شد. داده‌های گزارش شده هر ویژگی میانگین اندازه‌گیری سه نمونه است.

### یافته‌ها و بحث

#### ویژگی‌های الیاف

جدول ۲ ابعاد الیاف و ضرایب بیومتری اندازه‌گیری شده ساقه سویا و مقایسه آن با ابعاد الیاف برخی منابع لیگنوسلولزی را نشان می‌دهد. همان‌طور که جدول ۱ نشان می‌دهد، ساقه سویا الیافی مناسب، با میانگین طول ۱٫۰۰۷ میلی‌متر، دارد. طول این الیاف تقریباً مشابه کلزا [۶] و پهن‌پرگی مانند صنوبر [۱۳] است. با وجود این، بلندتر از الیاف کلش برنج [۱۲] است. قطر الیاف و قطر حفره الیاف ساقه سویا مشابه پهن‌برگان و منابع لیگنوسلولزی غیر چوبی با الیاف کوتاه است. از طرف دیگر، ضخامت دیواره الیاف ساقه سویا ضخیم‌تر از گونه پهن‌برگان یادشده و الیاف لیگنوسلولزی غیر چوبی است. ضریب رانکل اندازه‌گیری شده الیاف ساقه سویا حدود ۰٫۷۲ است که بالاتر از صنوبر [۱۳]، کلزا [۶]، و باگاس [۱۱] است.

#### تهیه کاغذ دست‌ساز

عمل پالایش بر تیمارهای منتخب به منظور دستیابی به درجه روانی (ml,CSF)  $300 \pm 25$  انجام شد. از خمیر کاغذهای پالایش شده کاغذهای دست‌ساز ۶۰ گرمی تهیه و خواص مکانیکی و نوری آنها اندازه‌گیری شد. کاغذهای دست‌ساز بر اساس دستورالعمل شماره ۰۶ sp ۲۲۰ T آیین‌نامه تاپی ساخته و سپس در دمای ۲۳ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۵۰ درصد به مدت ۲۴ ساعت بر اساس دستورالعمل شماره ۹۵ sp ۲۲۵ T آیین‌نامه تاپی کلیماتیزه شدند.

#### اندازه‌گیری ویژگی‌های مقاومتی

شاخص‌های ترکیدن، پارگی، و کشش کاغذهای دست‌ساز به ترتیب بر اساس دستورالعمل‌های شماره ۹۶ om ۴۰۳ T و ۹۷ om ۴۱۴ T و ۹۸ om ۴۹۴ T آیین‌نامه تاپی اندازه‌گیری شد.

#### اندازه‌گیری ویژگی‌های نوری

درجه روشنی و ماتی کاغذهای دست‌ساز به ترتیب بر

جدول ۲. میانگین ابعاد الیاف و ضرایب بیومتری ساقه سویا و مقایسه آن با الیاف مهم‌ترین منابع لیگنوسلولزی استفاده شده در کاغذسازی

خصوصیات الیاف	ساقه سویا	کلزا <sup>[۶]</sup>	کاه گندم <sup>[۱۰]</sup>	باگاس <sup>[۱۱]</sup>	کلش برنج <sup>[۱۲]</sup>	صنوبر <sup>[۱۳]</sup>
طول (mm)	۱,۰۰۷	۱,۰۴	۱,۳	۱,۱۳	۰,۸	۱,۰۲
قطر ( $\mu\text{m}$ )	۲۶,۴	۲۸	۱۵,۸	۲۰,۰	۱۰,۱۸	۲۱
قطر حفره ( $\mu\text{m}$ )	۱۵,۶۷۵	۱۹,۰۹	۷,۹	۱۲,۰	۳,۸	۱۴
ضخامت دیواره سلول ( $\mu\text{m}$ )	۵,۳۵	۴,۹۱	۳,۹۳	۴,۰	۳,۱۹	۳,۵
ضریب لاغری	۳۹	۳۷,۱	۷۱,۵	۵۶,۵	۷۸,۶	۴۸,۵
ضریب رانکل	۰,۷۲	۰,۵۱	۴,۹۹	۰,۶۷	۱,۶۸	۰,۵
انعطاف پذیری	۵۹	۶۸,۱۷	۵۰	۶۰	۳۷	۷۰

با وجود این، برای کاغذسازی که حد پذیرفتنی آن کمتر از ۱ است، مناسب به شمار می‌رود. طبق داده‌های ریخت‌شناسی این نتیجه حاصل می‌شود که الیاف ساقه سویا در گروه الیاف کوتاه ولی مناسب برای استفاده در کاغذسازی است.

### ترکیبات شیمیایی

جدول ۳ میانگین ترکیبات شیمیایی ساقه سویا و مقایسه آن با ترکیبات شیمیایی سایر منابع لیگنوسلولزی را نشان می‌دهد. با میزان بیشتر همی سلولزها، میزان سلولز ساقه سویا کمتر از دیگر منابع لیگنوسلولزی است. میزان سلولز ساقه سویا ۴۱ درصد است که جهت استفاده در خمیر کاغذسازی شیمیایی مناسب است (<40%). میزان لیگنین ساقه سویا در حد متعارف منابع لیگنوسلولزی غیر چوبی و قابل مقایسه با صنوبر و باگاس است. میزان مواد

استخراجی محلول در استن ساقه سویا بالاتر از کلزا و گونه‌های چوبی و به میزانی قابل توجه کمتر از سایر منابع لیگنوسلولزی غیر چوبی است. همان‌گونه که جدول ۲ نشان می‌دهد، میزان خاکستر ساقه سویا نسبت به گیاهان چوبی و باگاس بیشتر ولی از کلزا و کاه گندم و کلش برنج کمتر است. خاکستر یکی از عوامل مشکل‌ساز در فرایندهای خمیر کاغذسازی قلیایی از پسماندهای لیگنوسلولزی کشاورزی است که معضلات فراوانی در بازیابی مایع پس از پخت، به‌ویژه در تبخیرکننده‌ها و کوره بازیابی و سیستم سودسازی، ایجاد می‌کند و کارایی و مؤلفه‌های اقتصادی کارخانه خمیر کاغذسازی را به شدت تحت تأثیر قرار می‌دهد. این عامل در مورد ساقه سویا به طور نسبی در حد مطلوب قرار دارد.

جدول ۳. ترکیبات شیمیایی ساقه سودا و مقایسه آن با منابع چوبی و لیگنوسولولزی غیر چوبی معمول مورد استفاده در کاغذسازی

ترکیبات	ساقه سودا (%)	کلزا <sup>[۶]</sup> (%)	کاه گندم <sup>[۴]</sup> (%)	کلش برنج <sup>[۱۲]</sup> (%)	باگاس <sup>[۱۱]</sup> (%)	صنوبر <sup>[۱۳]</sup> (%)	نوئل <sup>[۱۵]</sup> (%)
سلولز	۴۱	۴۴	۴۷٫۵	۵۱٫۴۵	۴۹٫۴	۵۲	۴۶٫۹
همی سلولزها	۳۲٫۰۹	۲۶	۲۷	۱۱٫۸۵	۲۷٫۶	۲۳	۲۵٫۳
لیگنین	۱۹	۱۷٫۳	۱۵٫۳	۱۹	۱۷٫۸	۱۸٫۱	۲۷٫۱
خاکستر	۳٫۰۵	۸٫۲	۶	۱۵٫۵۶	۱٫۸	۰٫۵۴	۰٫۳۶
مواد استخراجی محلول در استون	۴٫۸۶	۲٫۵	۷٫۸	۳٫۱۳	۸	۲٫۵	۲٫۱

### ویژگی‌های خمیرکاغذسازی

#### فرایندهای سودا، سودا-آنتراکینون، و

#### مونواتانول آمین

جدول ۴ ویژگی‌های خمیرکاغذهای حاصله از پخت‌های سودا و سودا-آنتراکینون را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود فرایند سودا قادر به خمیرکاغذسازی مطلوب از ساقه سودا در قلیابیت‌های پایین نیست. حتی با به کار بردن شرایط شدید با حداکثر دما و زمان پخت عدد کاپای در محدوده ۲۰ تا ۲۵، که بتوان این خمیرکاغذ را رنگ‌بری کرد، حاصل نمی‌شود. این وضعیت نشان می‌دهد برخلاف ساقه گندم [۵] و باگاس [۱۶] و کلش برنج [۱۷]، که به‌سهولت و در قلیابیت‌های پایین با فرایند سودا لیگنین‌زدایی می‌شوند، ساقه سودا، مانند ساقه کلزا [۶ و ۸]، در زمره منابعی قرار می‌گیرد که لیگنین‌زدایی از آن‌ها سخت است. با اضافه کردن آنتراکینون قابلیت فرایند سودا جهت خمیرکاغذسازی از ساقه سودا به‌طور چشمگیری بهبود می‌یابد. در شرایط مشابه فرایند سودا-آنتراکینون منجر به ۳۳ درصد لیگنین‌زدایی بیشتر با کاهش اندک در میزان بازده شد (خمیرکاغذهای

شماره ۱ و ۶). حداقل درجه حرارت پخت ساقه سودا با فرایند سودا-آنتراکینون ۱۷۰ درجه سانتی‌گراد است و کمتر از این درجه حرارت عدد کاپای خمیرکاغذ به سمت عدد ۳۰ متمایل می‌شود (خمیرکاغذهای شماره ۵ و ۹). چنان که جدول ۴ نشان می‌دهد، به علت ساختار ویژه لیگنین سودا، مانند کلزا، مرز حداقلی زمان پخت در فرایند سودا-آنتراکینون ۱۸۰ دقیقه است و کمتر از این زمان خمیرکاغذ با ویژگی‌های مطلوب تولید نمی‌شود (خمیرکاغذهای شماره ۷ و ۱۱). نتایج جدول ۴ نشان می‌دهد قلیابیت کمتر از ۲۲ درصد جهت خمیرکاغذسازی از ساقه سودا مطلوب نیست (خمیرکاغذ شماره ۳). قلیابیت ۲۴ درصد نیز با توجه به حداقل زمان و درجه حرارت مورد نیاز فرایند سودا-آنتراکینون منجر به تولید خمیرکاغذی با بازده کم می‌شود. بنابراین، قلیابیت ۲۲ درصد می‌تواند حد بهینه در نظر گرفته شود. در هر قلیابیت، آغشتگی نیز تأثیری بسیار بارز بر ویژگی‌های خمیرکاغذ می‌گذارد. به‌طور کلی، آغشتگی به حصول اعداد کاپای بسیار پایین‌تر می‌انجامد. در عین حال، افت بازده نیز، به‌خصوص در قلیابیت ۲۲ درصد، چندان بارز نیست (خمیرکاغذهای شماره ۴، ۶، ۸، ۱۰).

جدول ۴. ویژگی‌های خمیر کاغذهای به‌دست‌آمده از پخت‌های سودا، سودا-آنتراکینون، و مونواتانول آمین ساقه سویا

خمیر کاغذ	شماره خمیر کاغذ	قلیائیت (%)	مونواتانول آمین (%)	درجه حرارت (سلسیوس)	زمان پخت (دقیقه)	زمان آغشتگی (دقیقه)	بازده بعد از الک (%)	بازده وازده (%)	عدد کاپا
سودا	۱	۲۲		۱۷۰	۱۸۰	۸۰	۲۴٫۷	۲٫۷	۴۲
	۲	۲۴					۴۰٫۶	-	۳۳
	۳	۲۰		۱۷۰		۸۰	۳۸٫۱	۵	۵۶
	۴					-	۳۸٫۴	۰	۳۶
سودا-آنتراکینون	۵			۱۶۵	۱۸۰	۸۰	۴۲٫۶	۰	۲۸
	۶	۲۲				۸۰	۳۷٫۳	۰	۲۴
	۷		-	۱۷۰	۱۵۰	-	۳۹٫۸	۰	۳۸
	۸					-	۳۵٫۵	۰	۲۵
	۹			۱۶۵	۱۸۰	۸۰	۳۸٫۱	۰	۲۷
	۱۰	۲۴				۸۰	۳۲٫۶	۰	۲۰
	۱۱			۱۷۰	۱۵۰	-	۳۸	۰	۳۰
	۱۲	۲۶			۱۵۰	-	۳۷٫۳	۰	۲۵
	۱۳		۱۰۰				۵۱٫۵	۳	۲۵
	۱۴		۷۵			۸۰	۳۸٫۶	۱۵٫۵	۲۴
	۱۵		۵۰				۱۵٫۷	۴۴	۳۲
	مونواتانول آمین	۱۶		۱۰۰	۱۶۵	۶۰		۴۲	۱۲٫۲
۱۷			۷۵			-	۲۲	۳۴	۲۴
۱۸			۵۰				۱۱٫۷	۴۸٫۳	۴۲
۱۹*			۱۰۰			۸۰	۵۱٫۵	۰	۲۲
۲۰*			۵۰				۵۲٫۲	۰	۲۶

\* میزان آنتراکینون برابر ۰٫۱ درصد

۱۳). در شرایطی که از آنتراکینون استفاده نمی‌شود، اضافه شدن آب یا عدم آغشتگی به تولید خمیر کاغذهایی با بازده بعد از غربال بسیار پایین و میزان وازده بسیار زیاد و اعداد کاپای نامناسب می‌انجامد. در مورد سایر منابع لیگنوسولولزی پخت مونواتانول آمین بدون آنتراکینون و با اضافه کردن تا

جدول ۴ نتایج پخت‌های صورت گرفته با مونواتانول آمین را نمایش می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود، در حالت عدم استفاده از آنتراکینون فقط در صورت استفاده از مونواتانول آمین به صورت خالص همراه آغشتگی می‌توان به خمیر کاغذ با ویژگی‌های مطلوب دست یافت (خمیر کاغذ شماره



وجود دارد. درصد بازده و عدد کاپا و همچنین گروه‌بندی دانکن (در سطح ۰/۹۵) بین خمیرکاه‌های مختلف ساقه سویا و نیز با سایر منابع لیگنوسلولزی—مانند کاه گندم [۵ و ۷]، باگاس [۱۶]، کلش برنج [۱۷]، کلزا [۶]—در شکل‌های ۱ و ۲ مقایسه می‌شوند. درصد بازده ساقه سویا در فرایند سودا، به علت اعمال شرایط شدیدتر در پخت، جهت حصول لیگنین‌زدایی مناسب، فقط توانسته بالاتر از کلزا قرار بگیرد و در فرایند سودا-آنتراکینون نیز از سایر منابع لیگنوسلولزی پایین‌تر است. البته باید این نکته را نیز در نظر داشت که شرایط پخت سایر منابع لیگنوسلولزی، غیر از کلزا، نسبت به ساقه سویا بسیار ملایم‌تر است. بازده خمیرکاه‌های مونواتانول آمین سویا کمتر از کاه گندم است؛ اما در حد مطلوبی قرار دارد. عدد کاپای ساقه سویا در هر دو فرایند سودا و سودا-آنتراکینون فقط کمتر از ساقه کلزا [۶] است. نکته مهم اعداد کاپای سایر منابع لیگنوسلولزی است که تقریباً ۵۰ درصد کمتر از ساقه سویا با شرایط بسیار ملایم‌تر پخت است. چنان که شکل‌های ۱ و ۲ نشان می‌دهند فرایند مونواتانول آمین در خمیرکاه‌سازی از ساقه سویا در مقایسه با فرایندهای سودا و سودا-آنتراکینون بسیار موفق است و خمیرکاه‌سازی با عدد کاپای مناسب در یک بازده مطلوب در مدت زمان بسیار کوتاه‌تر، با توجه به سخت بودن لیگنین‌زدایی از ساقه سویا، تولید می‌کند. خمیرکاه‌های مونواتانول آمین به دلیل حفظ بیشتر همی‌سلولزها و تخریب کمتر سلولز نسبت به خمیرکاه‌های سودا و سودا-آنتراکینون بازدهی بالاتر، در حد ۱۰ تا ۱۲ درصد، دارد و لیگنین‌زدایی آن نیز در حد فرایند سودا-آنتراکینون است. در کل می‌توان نتایج

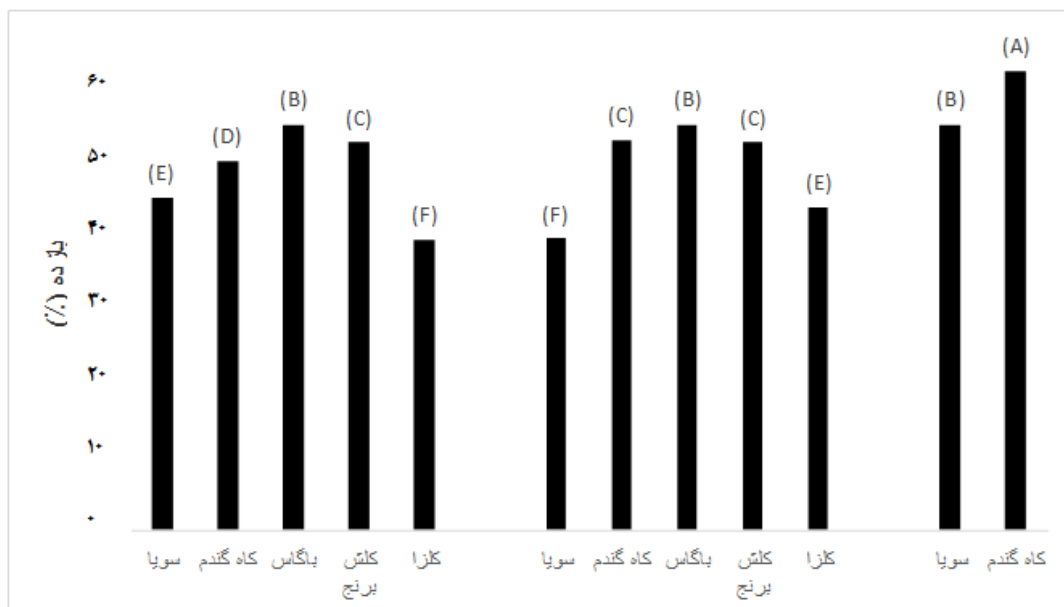
۵۰ درصد آب نیز بسیار موفق بوده است [۷]. اما در مورد ساقه سویا لیگنین‌زدایی سخت‌تر است. افزودن آنتراکینون به مایع پخت مونواتانول آمین تأثیر بسیار چشمگیری بر کاهش وارده دارد (خمیرکاه‌های شماره ۱۹ و ۲۰). با اضافه شدن آنتراکینون امکان جایگزینی ۵۰ درصد مونواتانول آمین با آب فراهم می‌شود. درجه حرارت پخت مونواتانول آمین کمتر از فرایندهای سودا و سودا-آنتراکینون است و با در نظر گرفتن نقطه جوش مونواتانول آمین به منظور عدم تجزیه آن باید در حرارت کمتر از ۱۷۰ درجه سلسیوس اقدام به پخت کرد. نکته گفتنی دیگر زمان پخت فرایند مونواتانول آمین است که بسیار کمتر و حدود یک‌سوم زمان مورد نیاز برای فرایندهای سودا و سودا-آنتراکینون است. این نشان می‌دهد مونواتانول آمین بسیار سریع‌تر و گزینش‌پذیرتر با ترکیبات شیمیایی ساختاری ساقه سویا وارد واکنش می‌شود.

برای مقایسه خمیرکاه‌های مختلف از ساقه سویا حد نهایی شرایط ممکن جهت خمیرکاه‌سازی در فرایند سودا و سودا-آنتراکینون شامل قلیابیت (۲۶٪)، زمان پخت ۱۸۰ دقیقه، زمان آغستگی ۸۰ دقیقه، حرارت ۱۷۰ درجه سلسیوس و در فرایند سودا-آنتراکینون آنتراکینون به میزان ۰/۱ درصد اعمال شد. شرایط بهینه فرایند مونواتانول آمین-آنتراکینون نیز شامل نسبت مونواتانول آمین/آب (۲۵/۷۵٪)، حرارت ۱۶۵ درجه، آغستگی ۸۰ دقیقه، و زمان پخت ۶۰ دقیقه در نظر گرفته شد.

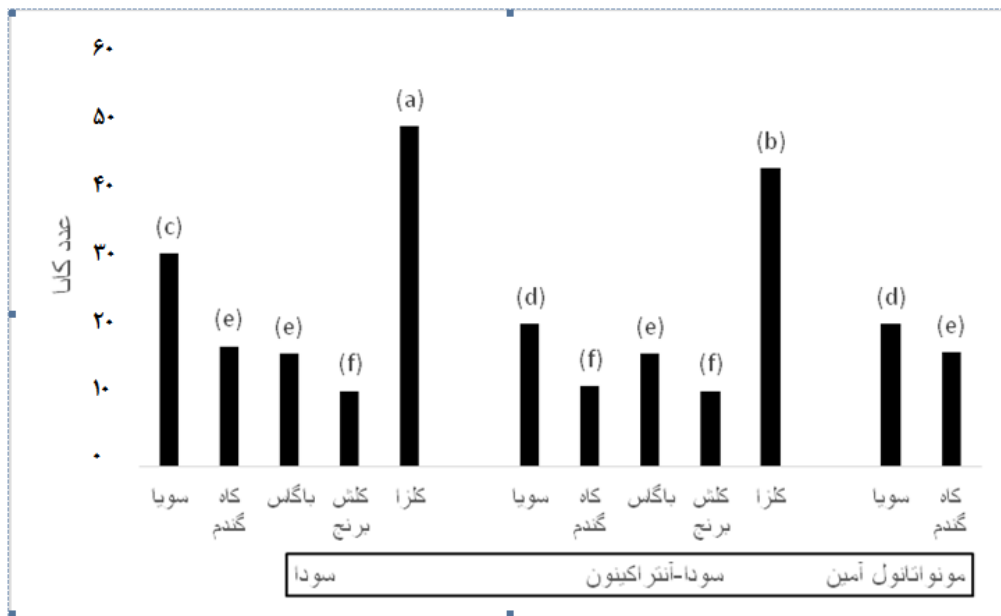
با توجه به نتایج تجزیه واریانس بین خمیرکاه‌های مختلف، هم از لحاظ درصد بازده و هم عدد کاپا، در سطح ۹۵ درصد اختلاف معنادار

تبخیرکننده‌ها، بویلر بازیابی، و سودسازی مشکل ایجاد می‌کند. با افزودن آنتراکینون به فرایند سودا مشکلات تخریب کربوهیدرات‌ها و لیگنین‌زدایی محدود تا حد زیادی برطرف می‌شود؛ اما مشکلات بازیابی مایع پخت به قوت خود باقی می‌ماند. مونواتانول آمین حلالی آلی با نقطه جوش زیاد است که یک عامل لیگنین‌زدا معرفی شده است. مونواتانول آمین بسیار گزینش‌پذیر است و امکان لیگنین‌زدایی گسترده با حفظ کربوهیدرات‌ها، به‌ویژه همی سلولزها، را فراهم می‌آورد. مزیت قابل توجه مونواتانول آمین امکان بازیابی آن از طریق تقطیر است که شیوه‌ای مناسب جهت غلبه بر مشکلات بازیابی در کارخانه‌ها بر پایه منابع لیگنوسلولزی است.

خمیرکاغذسازی را به این صورت تحلیل کرد که فرایند سودا فرایندی ساده است که اصول آن به‌خوبی درک شده است. اما کاربرد این فرایند برای منابع لیگنوسلولزی با چالش‌هایی مواجه است. پروفیل قلیای قوی استفاده‌شده در این فرایند موجب تخریب گسترده کربوهیدرات‌ها از طریق واکنش تخریب تدریجی و هیدرولیز قلیایی و در نتیجه کاهش بازده خمیرکاغذ می‌شود. توانایی گروه هیدروکسیل برای لیگنین‌زدایی به برخی ساختارهای مشخص لیگنینی محدود می‌شود و این به معنای تحمل لیگنین باقی‌مانده بیشتر در خمیرکاغذ قبل از رنگ‌بری است (شکل‌های ۱ و ۲). قلیابیت قوی فرایند سودا موجب انحلال سیلیس موجود در منابع لیگنوسلولزی می‌شود. بنابراین، در بازیابی مایع پخت سیاه،



شکل ۱. نمودار مقایسه بازده خمیرکاغذهای مختلف ساقه سویا با کاه گندم [۵ و ۷]، باگاس [۱۶]، کلش برنج [۱۷]، کلزا [۶]



شکل ۲. مقایسه عدد کاپای خمیرکاغذهای مختلف ساقه سویا با کاه گندم [۵ و ۷]، باگاس [۱۶]، کلش برنج [۱۷]، کلزا [۶]

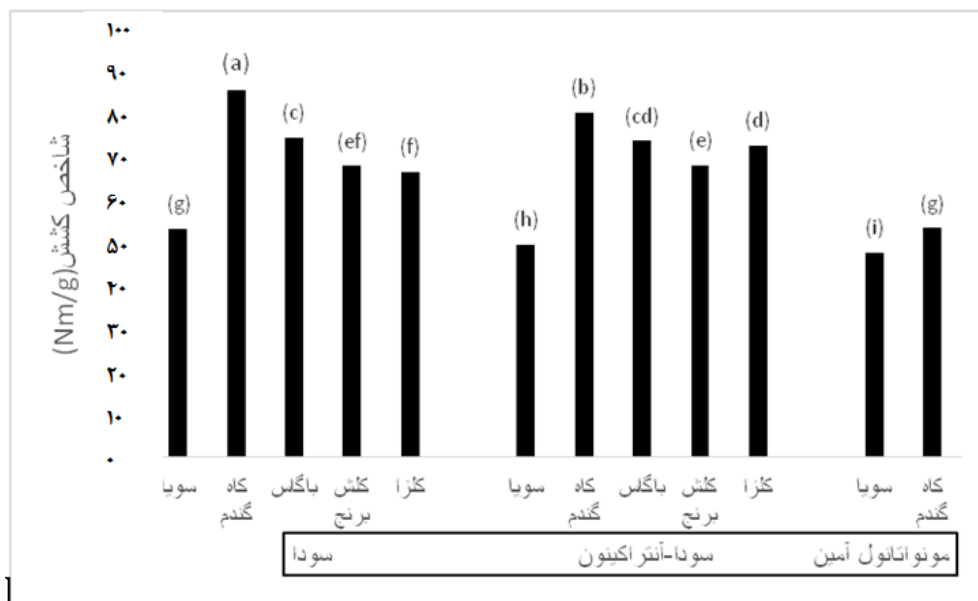
خمیرکاغذهای مختلف، هم از نظر شاخص پارگی و هم شاخص ترکیدن، در سطح ۹۵ درصد اختلاف معنادار وجود دارد. بیشترین شاخص پارگی بین فرایندهای سودا، سودا-آنتراکینون، و مونواتانول آمین مربوط به خمیرکاغذ مونواتانول آمین است. فرایند مونواتانول آمین با شرایط پخت ملایم‌تر و بسیار گزینش‌پذیرتر منجر به خروج لیگنین از ساقه سویا می‌شود. بنابراین، آسیب وارده به الیاف بسیار کمتر از فرایند سودا و سودا-آنتراکینون بود. همان‌طور که شکل ۴ نشان می‌دهد از نظر شاخص پارگی خمیرکاغذهای به‌دست‌آمده از ساقه سویا بین خمیرکاغذهای سایر منابع لیگنوسلولزی در حد برترین‌هاست. گروه‌بندی دانکن خمیرکاغذهای مختلف نیز در شکل ۴ می‌آید.

## مقایسه ویژگی‌های مکانیکی خمیرکاغذهای

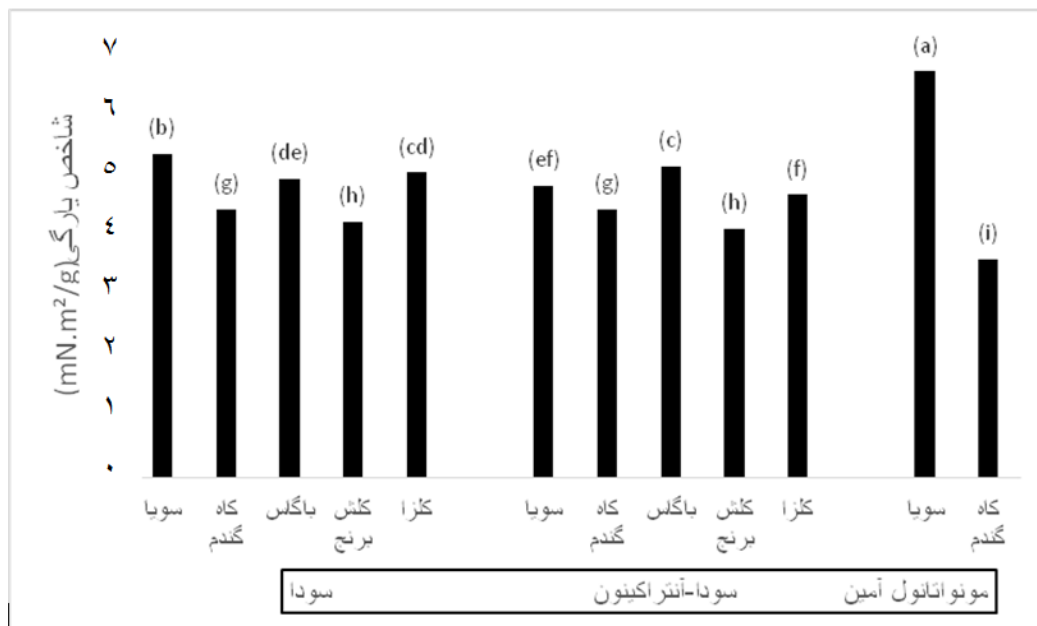
### سودا، سودا-آنتراکینون، و مونواتانول آمین

با توجه به نتایج تجزیه واریانس بین خمیرکاغذهای مختلف از لحاظ شاخص کشش در سطح ۹۵ درصد اختلاف معنادار وجود دارد. شکل ۳ نشان می‌دهد شاخص کشش خمیرکاغذ سویا در مقایسه با سایر منابع لیگنوسلولزی بسیار کمتر است. همچنین بیشترین شاخص کشش بین فرایندهای سودا، سودا-آنتراکینون، و مونواتانول آمین به خمیرکاغذ سودا اختصاص دارد. در عدد کاپای برابر شاخص کشش فرایندهای سودا-آنتراکینون و مونواتانول آمین تقریباً به یک‌دیگر نزدیک‌اند و اصولاً بر اساس مطالعات قبلی پذیرفته شده که شاخص کشش فرایند سودا-آنتراکینون برتر از فرایند مونواتانول آمین باشد.

با توجه به نتایج تجزیه واریانس بین



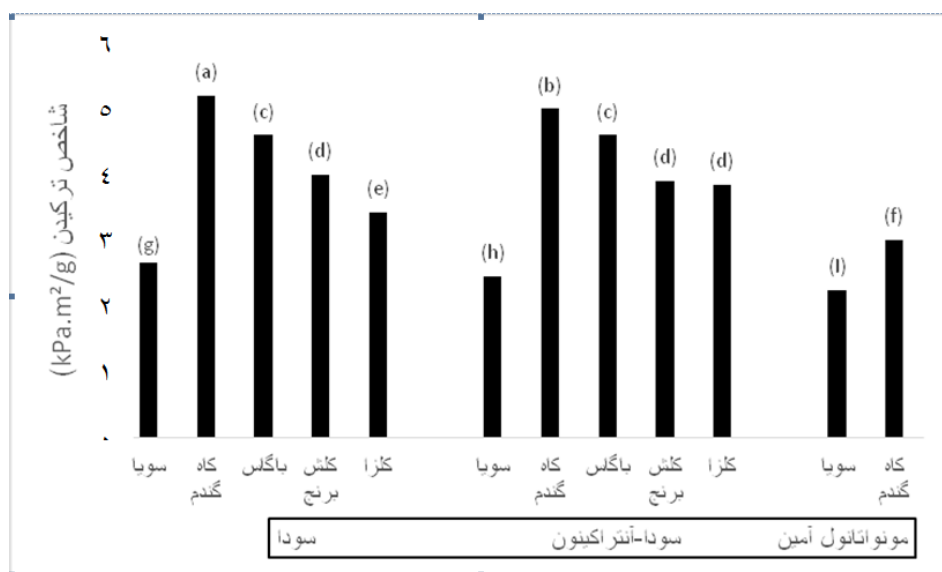
شکل ۳. نمودار مقایسه شاخص کشش خمیر کاغذهای ساقه سویا با کاه گندم [۵ و ۷]، باگاس [۱۶]، کش برنج [۱۷]، کلزا [۶]



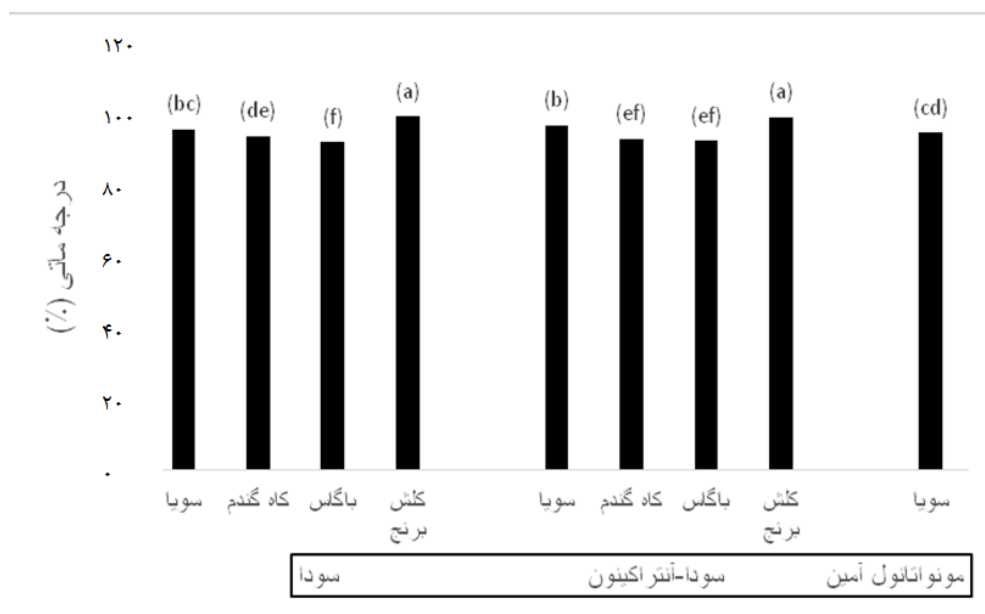
شکل ۴. نمودار مقایسه شاخص پارگی خمیر کاغذهای ساقه سویا با کاه گندم [۵ و ۷]، باگاس [۱۶]، کش برنج [۱۷]، کلزا [۶]

لیگنوسلولزی از نظر شاخص ترکیب روندی مشابه با شاخص کشش از خود نشان می‌دهند (شکل ۵).

خمیر کاغذهای مختلف به دست آمده از ساقه سویا و مقایسه آنها با خمیر کاغذهای به دست آمده از سایر منابع



شکل ۵. نمودار مقایسه شاخص ترکیب خمیرکاه‌های ساقه سویا با کاه گندم [۵ و ۷]، باگاس [۱۶]، کلش برنج [۱۷]، کلزا [۶] (اعداد اشکال به صورت فارسی)



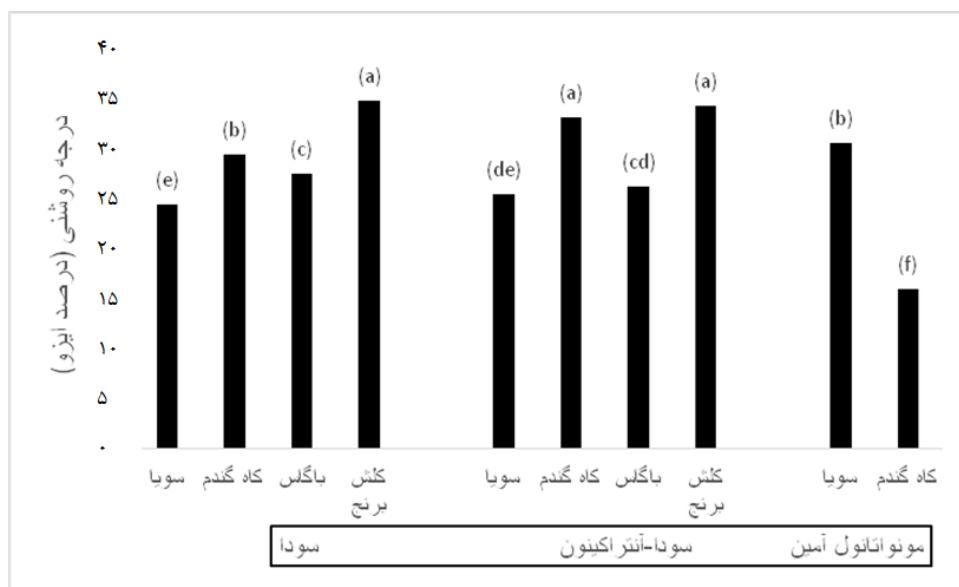
شکل ۶. نمودار مقایسه میزان ماتی خمیرکاه‌های ساقه سویا با کاه گندم [۵ و ۷]، باگاس [۱۶]، کلش برنج [۱۷]، کلزا [۶]

یک‌دیگر و سایر منابع لیگنوسولولزی نشان می‌دهد. با توجه به نتایج تجزیه واریانس بین خمیرکاه‌های مختلف، هم از نظر میزان ماتی و هم درجه روشنایی، در سطح ۹۵ درصد اختلاف

مقایسه ویژگی‌های نوری خمیرکاه‌های سودا، سودا-آنتراکینون، و مونواتانول آمین شکل‌های ۶ و ۷ میزان ماتی و درجه روشنایی خمیرکاه‌های مختلف سویا را در مقایسه با

عکس این حالت مشاهده می‌شود. درجه روشنایی خمیرکاغذهای سودا و سودا- آنتراکینون ساقه سویا کمتر از درجه روشنایی خمیرکاغذهای سایر منابع لیگنوسلولزی است. خمیرکاغذ مونواتانول آمین در مقایسه با خمیرکاغذهای سودا و سودا- آنتراکینون ساقه سویا ماتی کمتر اما درجه روشنایی بیشتری دارد.

معنادار وجود دارد. بنابراین، در گروه‌بندی‌های مختلف قرار می‌گیرند. در فرایندهای سودا و سودا- آنتراکینون میزان ماتی خمیرکاغذهای به دست آمده از سایر منابع لیگنوسلولزی، به استثنای کلش برنج، برتر است. البته، علت بالاتر بودن میزان ماتی خمیرکاغذهای کلش برنج می‌تواند سیلیس موجود در این خمیرکاغذها باشد. در زمینه درجه روشنایی



شکل ۷. نمودار مقایسه درجه روشنایی خمیر کاغذهای ساقه سویا با گندم [۵ و ۷]، باگاس [۱۶]، کلش برنج [۱۷]، کلزا [۶]

آمین موفق شد خمیرکاغذی با عدد کاپای مشابه خمیرکاغذ سودا- آنتراکینون، در بازدهی بسیار بیشتر از فرایند سودا- آنتراکینون و در زمانی بسیار کوتاه‌تر، تولید کند. نتایج ویژگی‌های مقاومتی و نوری نیز نشان می‌دهد ویژگی‌های مکانیکی و نوری خمیرکاغذ مونواتانول آمین در حد مطلوب و قابل مقایسه با خمیرکاغذهای سودا و سودا- آنتراکینون و در برخی موارد، مانند شاخص پارگی و درجه روشنایی، از آن‌ها برتر است. با توجه به برتری‌های یادشده و مزایای سیستم بازیابی

## نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج این تحقیق می‌توان گفت فرایند سودا جهت تولید خمیرکاغذ از ساقه سویا مناسب نیست و با به‌کارگیری شرایط بسیار شدید در پخت نیز خمیرکاغذ با ویژگی‌های مطلوب از نظر بازده و عدد کاپا تولید نمی‌شود. افزودن آنتراکینون به مایع پخت سودا اثری بسیار چشمگیر بر کاهش عدد کاپای خمیرکاغذ دارد؛ اما فرایند سودا- آنتراکینون نیز نمی‌تواند خمیرکاغذ با بازده مطلوب تولید کند. فرایند مونواتانول

فرایند مونواتانول آمین برای خمیرکاغذسازی از ساقه سویا فرایندی بهینه معرفی می‌شود.

مونواتانول آمین برای پسماندهای لیگنوسلولزی کشاورزی نسبت به سیستم‌های متداول بر پایه سودا،

## References

- [1]. FAO Report (2012). [www.fao.org](http://www.fao.org).
- [2]. Statistical report of Iranian Ministry of Agriculture-Jahad (2011). [www.dpe.agri-jahad.ir](http://www.dpe.agri-jahad.ir)
- [3]. Amiri, Sh. (2005). Investigation on the possibility of producing pulp from cotton stalk by Soda. Iranian Journal of Wood and Paper Science Research, 20(2): 185-206.
- [4]. Rodriguez, A., Moral, A., Serrano, L., Labidi, J., and Jimenez, L. (2008). Rice straw pulp obtained by using various methods. Bioresource Technology, 99(1): 2881-2886.
- [5]. Hedjazi, S., Kordsachia, O., Patt, R., Latibari, J., and Tschirner, U. (2009). Alkaline sulfite-anthraquinone (AS/AQ) pulping of wheat straw and totally chlorine free (TCF) bleaching of pulps. Industrial Crops and Products, 29(1): 27-36.
- [6]. Mousavi, S. M., Hosseini, S. Z., Resalati, H., Mahdavi, S., and Garmaroody, E. (2013). Papermaking potential of rapeseed straw, a new agricultural-based fiber source. Journal of Cleaner Production, 52(1): 420-424.
- [7]. Hedjazi, S., Kordsachia, O., Patt, R., and Andreas Kreipl. (2010). MEA<sub>2</sub>/water/AQ-pulping of wheat straw. Holzforschung, 63(1):505-512.
- [8]. Mullaee, M., Enayati, A., Hamzeh, Y., and Roostae, M. (2010). Preparation of bleached soda pulp from canola stalks. Iranian Journal of Wood and Paper Science Research, 25(1): 80-90.
- [9]. Hosein, M., Sepidehdam, M. J., Jahan-Latibari, A., and Tajdini, A. (2011). Investigation on properties of soda and Soda/AQ pulps from corn stalk. Journal of Wood and Forest Science and Technology, 18(2): 57-72.
- [10]. Kamrani, S., Saraiian, A. R., Resalati, H., and Ghasemian, A. (2012). Study of variation trends of fiber dimensions in longitudinal direction of Zagross wheat straw in Golestan province for papermaking. Iranian Journal of Wood and Paper Science Research, 27(3):545-555.
- [11]. Sanjuan, R., Anzaldo, J., Vargas, J., Turrado, J., and Patt, R. (2001). Morphological and chemical composition of pith and fibers from Mexican sugarcane bagasse. Holz als Rohund Werkstoff, 59 (1): 447-450.
- [12]. Fakhrian, A., Latibari, A., Hosein zadeh, A., Golbabaee, F., and Mahdavi, S. (1989). Potential of rice straw in paper industry. Iranian Journal of Wood and Paper Science Research, 6:1-77
- [13]. Patt, R., Kordsachia, O., and Fehr, J. (2006). European hardwoods versus Eucalyptus globulus as a raw material for pulping. Wood Science and Technology, 40(1): 39-48.
- [14]. Deniz, I., Kirci, H., and Ates, S. (2004). Optimisation of wheat straw Triticum drums kraft pulping. Industrial Crops and Products, 19(1): 237-243.
- [15]. Law, K. N., Kokta, B. V., and Mao, C. B. (2001). Fibre morphology and soda-sulphite pulping of switchgrass. Bioresource Technology, 77(1): 1-7.
- [16]. Hedjazi, S., Kordsachia, O., Patt, R., Jahan Latibari, A., and Tschirner, U. (2008). Bagasse alkaline sulphite-anthraquinone (AS/AQ) pulping and totally chlorine free (TCF) bleaching. Holzforschung, 62 (2):505-512.
- [17]. Hedjazi, S., Kordsachia, O., Latibari, J., and U. Tschirner. (2009). Alkaline sulphite,anthraquinone (AS/AQ) pulping of rice straw and TCF bleaching of pulps. Appita Journal. 62 (2):137-145.