

## مطالعه تأثیر پیش‌استخراج قلیایی همی سلولزها بر ویژگی‌های خمیر کاغذ تهیه‌شده به روش سودا-آنتراکینون از ساقه برنج

- ❖ هادی حسن‌جان‌زاده؛ کارشناس ارشد رشته علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران
- ❖ سحاب حجازی\*؛ استادیار گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران
- ❖ لعلیا جمالی‌راد؛ استادیار گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه گنبدکاووس

### چکیده

در این مطالعه تأثیر پیش‌استخراج همی سلولزها بر ویژگی‌های خمیر کاغذ سودا - آنتراکینون تهیه‌شده از ساقه برنج به‌منظور کاربری در تهیه فرآورده‌های با ارزش افزوده بالا بررسی شد. فرایند پیش‌عمل‌آوری با قلیایی ۱۰ درصد، دمای ۵۰ درجه سلسیوس، و مدت‌زمان ۹۰ دقیقه انجام شد. در این شرایط، مقدار استخراج همی سلولزهای ۴۸/۱ درصد اندازه‌گیری شد. عملیات پخت سودا - آنتراکینون در شرایط مختلف و با ثابت در نظر گرفتن زمان و نسبت مایع پخت به ماده اولیه انجام شد. شرایط پخت بهینه به‌صورت قلیایی فعال ۱۴ درصد، دمای ۱۶۰ درجه سلسیوس، و زمان ۴۵ دقیقه تعیین شد. مقایسه نمونه‌های پیش‌استخراج‌شده و شاهد نشان داد که به‌منظور رسیدن به یک عدد کاپا و بازده معین، نمونه‌های پیش‌استخراج‌شده به مقدار قلیا و زمان کمتری نیاز دارند. مقایسه خمیر کاغذهای تهیه‌شده نشان داد نمونه‌های پیش‌استخراج‌شده مقاومت کششی کمتری در مقایسه با نمونه‌های شاهد دارند، ولی این کاهش از لحاظ آماری معنی‌دار نیست. شاخص مقاومت به ترکیب‌گی نمونه‌های پیش‌تیمارشده در حد خمیرهای شاهد بود.

واژگان کلیدی: پالایشگاه زیستی، پیش‌استخراج قلیایی، خمیر کاغذ، ساقه برنج، فرایند سودا، همی سلولزها.

## مقدمه

کارخانه خمیر کاغذ پالایشگاهی زیستی شیمیایی / گرمایی شیمیایی است که از فناوری نهادینه شده‌ای برای جداسازی شیمیایی و تبدیل زیست توده لیگنوسلولزی به فرآورده‌هایی نظیر خمیر کاغذ، مشتقات سلولزی، و محصولات جزئی دیگر استفاده می‌کند. اجزای بدون استفاده زیست توده شامل لیگنین و همی سلولزهای حل شده در حین فرایند خمیر کاغذسازی، در این پالایشگاه زیستی به حرارت و برق تبدیل می‌شوند [۱]. ارزش گرمایی همی سلولزها به طور چشمگیری پایین تر از لیگنین است؛ بنابراین، استخراج همی سلولزها قبل از فرایند خمیر کاغذسازی پتانسیل تولید فرآورده‌هایی با ارزش اقتصادی زیادتر را فراهم می‌کند [۱، ۲]. متداول ترین روش‌های تجاری استخراج همی سلولزها پیش بخارزنی برای آزادسازی اسیدهای طبیعی چوب (اتوهیدرولیز)، پیش استخراج با آب داغ، یا استخراج اسیدی با مقدار کمی از اسیدهای معدنی مانند اسید سولفوریک و اسید هیدروکلریدریک است. روش دیگری که امروزه بسیار به آن توجه شده، استخراج همی سلولزها با هیدروکسید سدیم یا به عبارت دیگر، پیش استخراج قلیایی است. پساب حاصل از مرحله پیش استخراج قلیایی را می‌توان به راحتی به سیستم بازیابی یک کارخانه خمیر کاغذسازی قلیایی وارد کرد و در مقایسه با پیش استخراج اسیدی، تطابق بسیار بیشتری با سیستم‌های غالب تهیه خمیر کاغذسازی جهانی، یعنی سیستم‌های قلیایی دارد.

در کل، تحقیقاتی درباره استخراج همی سلولزها قبل از فرایند خمیر کاغذسازی انجام شده است. لویز و همکاران (۱۹۹۶) تحقیقی را بر روی پیش استخراج قلیایی همی سلولزها پیش از خمیر کاغذسازی سودا - آنتراکینون کاه جو انجام دادند. شرایط بهینه

پیش استخراج قلیایی همی سلولزها، ۱۳ درصد هیدروکسید سدیم، دمای ۶۰ درجه سلسیوس، و زمان ۲ ساعت تعیین شد. تحت این شرایط، ۵۷ درصد همی سلولزهای کاه جو بازیابی شد. ویژگی‌های مقاومتی خمیر کاغذ سودا-آنتراکینون حاصل از کاه جو پیش استخراج شده با درجه روانی SR ۴۰ در سطح خیلی خوبی ماند و تفاوت ناچیزی بین این خمیر کاغذ با خمیر کاغذ شاهد مشاهده شد [۳].

الدجانی و چرینر (۲۰۰۸) در تحقیقی به بررسی تیمار قلیایی ملایم پیش از خمیر کاغذسازی کرافت برای استخراج همی سلولزها برای استفاده به عنوان سوخت‌های زیستی بر روی خرده چوب‌های صنوبر پرداختند. استخراج قلیایی در دمای بین ۳۲-۹۰ درجه سلسیوس، نسبت ۴ به ۱ مایع پخت به خرده چوب و به مدت ۴ ساعت انجام شد. غلظت قلیا برابر با ۱۶/۷، ۲۶/۷، و ۳۳/۳ درصد بود. میزان بازیابی همی سلولزها ۴۰-۵۰ کیلوگرم به ازای هر تن خرده چوب تعیین شد. خمیر کاغذهای کرافت به دست آمده از خرده چوب‌های پیش استخراج شده نسبت سلولز/همی سلولز کمی بالاتری را داشتند و کاهش کمی را در شاخص کشش (حدود ۱۰ درصد) نشان می‌دهند، اما مقدار وازده و درجه روشنی آن‌ها بهبود می‌یابد [۴].

سرور جهان و همکاران (۲۰۰۹) اثر پیش استخراج با آب داغ بر میزان استخراج همی سلولزهای باگاس و خمیر کاغذسازی سودا-آنتراکینون باگاس‌های پیش استخراج شده را بررسی کردند. نتایج نشان داد پیش استخراج در دمای ۱۵۰ درجه سلسیوس به مدت ۱ ساعت موجب تولید ۱۶۰ کیلوگرم همی سلولز از هر تن باگاس می‌شود. در حالی که بازده خمیر کاغذ باگاس پیش استخراج شده با فرایند سودا-آنتراکینون، ۴/۳ درصد کمتر از خمیر کاغذ باگاس استخراج نشده بود. خمیر کاغذ تولید شده از باگاس استخراج شده مقدار

در این پژوهش، با انجام پیش‌استخراج قلیایی و خروج بخشی از همی سلولزها از ساقه برنج، به بررسی آثار این پیش‌استخراج بر ویژگی‌های خمیر کاغذ سودا - آنتراکینون به منظور کسب داده‌های بنیادی برای تولید هم‌زمان خمیر کاغذ و مواد زیستی در یک پالایشگاه زیستی تلفیقی پرداخته شده است.

## روش‌شناسی

### ماده اولیه

ساقه برنج موردنیاز از مزارع استان مازندران تهیه شد. نمونه‌های ساقه برای انجام آزمایش‌های پیش‌استخراج و انجام عملیات پخت به قطعاتی به طول ۵ تا ۷ سانتی‌متر به کمک دستگاه برش تبدیل و برای رسیدن به رطوبت تعادل در محیط آزمایشگاه قرار داده شدند. نمونه‌ها پس از رسیدن به رطوبت تعادل برای جلوگیری از تبادل رطوبتی و تغییر میزان رطوبت داخل کیسه‌های پلی‌اتیلنی بسته‌بندی شدند.

### پیش‌استخراج قلیایی

آزمایش‌های پیش‌استخراج قلیایی در حمام آب گرم انجام شد. عوامل متغیر شامل میزان مصرف قلیا (۱۰، ۱۲، و ۱۸ درصد)، دما (۵۰، ۶۰، و ۷۰ درجه سلسیوس)، و زمان (۶۰، ۷۰، و ۹۰ دقیقه) بودند. برای تمام تیمارها نسبت مایع پخت به ماده اولیه ۴ به ۱، و وزن خشک ماده اولیه ۵۰ گرم در نظر گرفته شده است. بعد از انجام هر تیمار برای جمع‌آوری مایع استخراجی، ساقه برنج با ۶۰۰ میلی‌لیتر آب مقطر با دمای ۶۰ درجه سلسیوس شست‌وشو و این کار ۳ بار تکرار شد. برای جداسازی الیاف سلولزی، مایع شست‌وشو از غربال با مش ۲۰۰ عبور داده شد و سپس به‌منظور حذف قلیای باقی‌مانده، ساقه پیش‌استخراج‌شده با آب بیشتری شسته شد و برای خمیر کاغذسازی به‌کار رفت. با افزودن اسید

نرمه‌های کمتری دارد و مقاومت پارگی آن بیشتر و مقاومت کششی آن کمتر از خمیر کاغذ شاهد بود [۵]. ژانگ و همکاران (۲۰۱۱) در تحقیقی ویژگی‌های خمیر کاغذسازی قلیایی کاه گندم را، که همی سلولزهای آن با آب داغ پیش‌استخراج شده بودند، بررسی کردند. فرایند پیش‌استخراج با آب داغ در دماهای مختلف، زمان واکنش، و دیگر شرایط انجام شد. کاه‌های پیش‌استخراج‌شده و شاهد با هیدروکسید سدیم - آنتراکینون در شرایط مشابه به خمیر کاغذ تبدیل شدند. سپس، پیش‌استخراج بر روی ویژگی‌های خمیر کاغذ کاه بررسی شد. نتایج نشان داد بازده، عدد کاپا، و گرانیوی خمیر کاغذ به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر فرایند پیش‌استخراج همی سلولزها قرار گرفتند. میزان مصرف مواد شیمیایی کاه پیش‌استخراج‌شده در فرایند خمیر کاغذسازی کمتر، و زمان پخت آن کوتاه‌تر است. همچنین، حداکثر دمای خمیر کاغذسازی کاهش می‌یابد. این نتایج نشان می‌دهند پیش‌استخراج با آب داغ قبل از تهیه خمیر کاغذسازی قلیایی قادر به کاهش بار پساب و نیاز به مواد شیمیایی برای فرایند خمیر کاغذسازی است که این امر می‌تواند منجر به صرفه‌جویی در مصرف انرژی و هزینه کارخانه شود [۶].

بر اساس آخرین آمار و ارقام سازمان خواربار جهانی (۲۰۱۰)، از نظر میزان تولید جهانی، برنج بعد از ذرت با میزان ۶۷۲ میلیون تن در مقام دوم قرار دارد. در ایران نیز، تولید برنج بعد از گندم با ۲/۲۸۸ میلیون تن در جایگاه دوم است. نسبت دانه برنج به ساقه برنج ۱/۴ است. به‌عبارت دیگر، به‌ازای هر کیلوگرم دانه، حدود ۱/۴ کیلوگرم ساقه برنج تولید می‌شود [۷]. به این ترتیب، میزان تولید سالانه ساقه برنج در سطح جهان در حدود ۹۳۸ میلیون تن، و در ایران ۳/۲۰۳ میلیون تن است. بنابراین، ساقه برنج یک ماده اولیه مهم مدنظر قرار می‌گیرد.

CA08F (Mitsubishi) بود که در ستون Omnifit با ابعاد ۱۱/۵×۱۵ میلی متر (درجه حرارت ۶۵ درجه سلسیوس) قرار گرفته بود. فاز متحرک مشتمل بر شویش گرادپانی ۰/۷ میلی لیتر بر دقیقه به صورت الف) ۰/۳ مولار با بافر بورات، ب) ۰/۹ مولار با بافر بورات بود. مشتق‌سازی بعدی در ستون با اضافه کردن محلول CU-bicinchoninat (۰/۳۵ میلی لیتر بر دقیقه) در درجه حرارت ۱۰۵ درجه سلسیوس انجام شد. شناسایی قندها با استفاده از شناساگر UV در طول موج ۵۶۰ نانومتر انجام شد و تجزیه و تحلیل نتایج با نرم‌افزار Dionex Chromeleon ویرایش ۶/۸ صورت گرفت.

### خمیر کاغذسازی سودا - آنتراکینون از ساقه

#### برنج شاهد و پیش‌استخراج شده

خمیر کاغذسازی سودا - آنتراکینون با شرایط ثابت درجه حرارت ۱۶۰ درجه سلسیوس، میزان آنتراکینون ۰/۱ درصد، و نسبت مایع پخت به ساقه ۴ به ۱ انجام شد. عوامل متغیر پخت سودا - آنتراکینون برای ساقه شاهد شامل قلیابیت در چهار سطح (۱۲، ۱۴، ۱۶، و ۱۸ درصد) و برای ساقه پیش‌استخراج شده شامل پنج سطح (۸، ۱۰، ۱۲، ۱۴، و ۱۶ درصد) بوده و زمان برای هر دو نوع ساقه در سه سطح (۳۰، ۴۵، و ۶۰ دقیقه) تغییر یافته است. بعد از پایان هر پخت الیاف سلولزی و مایع پخت با مش ۲۰۰ از هم جدا و الیاف برای ساخت کاغذ و انجام آزمون‌های موردنظر بعد از شست‌وشو جمع‌آوری شدند.

#### اندازه‌گیری ویژگی‌های خمیر کاغذ

بعد از اتمام پخت، محتویات سیلندر بر روی الک ۲۰۰ مش ریخته شد و خمیر کاغذ ساقه برنج به خوبی با آب شست‌وشو داده شد و سپس با مخلوط‌کن آزمایشگاهی عمل جداسازی انجام شد. درصد بازده

سولفوریک، pH مایع استخراجی به ۲ کاهش یافت و به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۴ درجه سلسیوس نگهداری و بعد از ته‌نشین شدن، لیگنین با عمل سانتریفوژ جداسازی شد. برای ته‌نشین‌سازی همی سلولزها، پس از خروج لیگنین ۴ برابر حجمی اتانول ۹۶ درصد به مایع استخراجی اضافه شد و بعد از ۲۴ ساعت نگهداری در یخچال در درجه حرارت ۴ درجه سلسیوس مجدداً عمل سانتریفوژ (۲ دقیقه، ۷۵۰۰ rpm) صورت گرفت. محاسبه میزان بازیابی همی سلولزها طبق فرمول‌های زیر انجام شده است.

$$\text{درصد همی سلولز ته‌نشین شده} = 100 \times \frac{\text{وزن همی سلولزها}}{\text{وزن خشک ساقه برنج}}$$

$$\text{درصد همی سلولزهای بازیابی شده} = 100 \times \frac{\text{درصد همی سلولزهای ته‌نشین شده}}{\text{درصد همی سلولز ساقه برنج}}$$

#### اندازه‌گیری قندهای کلش برنج

برای تجزیه و تحلیل ترکیبات قندی از روش هیدرولیز دومارحله‌ای استفاده شد. در مرحله اول، ۲ میلی لیتر اسید سولفوریک ۷۲ درصد به ۲۰۰ میلی گرم نمونه خشک اضافه شد و نمونه به مدت ۱ ساعت در درجه حرارت ۳۰ درجه سلسیوس در داخل حمام آبی هیدرولیز شد. بعد از ۱ ساعت، واکنش با افزودن ۶ میلی لیتر آب متوقف شد. در مرحله دوم، نمونه‌ها تحت فشار ۱/۲ بار در اتوکلاو به مدت ۴۰ دقیقه در درجه حرارت ۱۲۰ درجه سلسیوس هیدرولیز شدند و سپس نمونه‌ها تا درجه حرارت اتاق خنک شدند و ۱ میلی لیتر از مایع هیدرولیزی برای تجزیه و تحلیل با سیستم بورات به ویال نمونه منتقل شد. تجزیه و تحلیل کمی قندها با دستگاه HPLC و روش کروماتوگرافی تبادل آنیونی بورات صورت گرفت. فاز ثابت مشتمل بر رزین تبادل آنیونی MCI Gel

یک طرفه انجام شد. گروه‌بندی میانگین‌های آثار مستقل و متقابل با آزمون چنددامنه‌ای دانکن صورت گرفت. برای کلیه بررسی‌های آماری از نرم‌افزار SPSS استفاده شد.

## نتایج

### ترکیبات قندی ساقه برنج

همان‌طور که در جدول ۱ آمده، گلوکز فراوان‌ترین قند شش‌کربنه موجود در ساقه برنج بررسی شده بوده است. اساساً گلوکز هم در ساختار سلولز و هم در ساختار همی سلولزهای مواد لیگنوسلولزی موجود است. سلولز، به‌عنوان یک پلیمر همگن، فقط از واحدهای گلوکز تشکیل شده است، ولی همی سلولزها به‌عنوان یک پلیمر ناهمگن علاوه بر واحدهای گلوکزی از واحدهای قندی دیگر ذکر شده در جدول ۱ نیز تشکیل شده‌اند. بنابراین، بخش عمده میزان گلوکز گزارش شده مربوط به سلولز، و بخش ناچیزی از آن مربوط به همی سلولزهاست. به‌علاوه، جدول ۱ نشان می‌دهد که زایلوز فراوان‌ترین قند پنج‌کربنه موجود در ساقه برنج است. زایلوز اسکلت اصلی تشکیل‌دهنده همی سلولز زایلان است. میزان زایلوز معادل ۲۱/۷۲ درصد به‌طور مطلق حد بسیار مطلوبی برای ساقه برنج محسوب می‌شود و نشان‌دهنده پتانسیل همی سلولزی خوب این ماده لیگنوسلولزی است.

خمیر شاهد و پیش‌استخراج‌شده براساس رابطه زیر محاسبه شد:

$$Y (\%) = \frac{OD_p}{OD_w} \times 100$$

(درصد) Y. درصد بازده خمیر کاغذ

OD<sub>w</sub>: وزن خشک ساق I برنج (گرم)

OD<sub>p</sub>: وزن خشک خمیر کاغذ (گرم)

عدد کاپای خمیر کاغذ هر پخت طبق استاندارد TAPPI آیین‌نامه ۸۵-۲۳۶ om اندازه‌گیری شد. دو نمونه خمیر شاهد و پیش‌استخراج‌شده طبق دستورالعمل TAPPI تا درجه روانی SR ۴۰ (۳۰۰CSF) پالایش شدند. برای انجام آزمون‌های مقاومتی ابتدا کاغذهای دست‌ساز نمونه‌ها طبق دستورالعمل TAPPI به شماره ۰۱-۲۲۰ Sp تهیه شد. شاخص مقاومت کششی، شاخص مقاومت به ترکیب برای هر دو نمونه شاهد و پیش‌استخراج‌شده به ترتیب مطابق استاندارد ۹۲-۴۰۴ cm TAPPI و ۸۸-۲۲۰ om TAPPI اندازه‌گیری شده است.

### تحلیل و بررسی نتایج

تحلیل و بررسی آثار مستقل و متقابل عوامل متغیر خمیر کاغذسازی با استفاده از آزمون فاکتوریل در قالب بلوک‌های کاملاً تصادفی و با روش تجزیه واریانس صورت گرفت. تحلیل نتایج مربوط به ویژگی‌های مقاومتی با روش تجزیه واریانس

جدول ۱. ترکیب قندهای ساده ساقه برنج

نوع قند	گلوکز	زایلوز	مانوز	گالاکتوز	آرابینوز	رامنوز	سلوبیوز
درصد (میانگین سه تکرار)	۴۶/۶۵	۲۱/۷۲	۰/۲۱	۱/۰۵	۲/۹۸	۰/۱۳	۰/۶۴

## استخراج قلیایی و بازیابی بهینه همی سلولزها

خروج بخشی از همی سلولزها از ماده اولیه پیش از عملیات خمیر کاغذسازی می‌تواند ویژگی‌های خمیر کاغذ را به صورت منفی تحت تأثیر قرار دهد. به منظور کاهش حداقلی ویژگی‌های خمیر کاغذ با آزمایش‌های متعدد، تغییر عوامل دما، زمان، و قلیا، شرایط بهینه پیش‌استخراج تعیین شد. هدف این مطالعه خروج بخشی از همی سلولزها (۴۸/۱ درصد) بدون کاهش شدید بازده ساقه برنج با ملایم‌ترین شرایط پیش‌تیمار بود. بنابراین، دمای کم ۵۰ درجه سلسیوس، زمان ۹۰ دقیقه، و میزان مصرف قلیای کم ۱۰ درصد به حصول هدف مورد نظر منجر شده است.

## اثر پیش‌استخراج قلیایی بر ویژگی‌های

### خمیر کاغذسازی سودا - آنتراکینون

جدول ۲ اثر شرایط پخت را بر روی ویژگی‌های خمیر کاغذ سودا-آنتراکینون در مورد ساقه برنج شاهد و پیش‌استخراج‌شده نشان می‌دهد و در جدول ۳، تجزیه واریانس عوامل متغیر مؤثر بر ویژگی‌های خمیر کاغذ سودا - آنتراکینون در مورد ساقه برنج شاهد و پیش‌استخراج‌شده ارائه شده است.

### بازده

جدول ۳ نشان می‌دهد اثر مستقل و متقابل عوامل متغیر پخت در هر دو مورد ساقه برنج شاهد و پیش‌استخراج‌شده بر بازده بعد از غربال خمیر کاغذ سودا-آنتراکینون در سطح ۹۹ درصد معنی‌دار بوده است. نتایج مربوط به مقایسه میانگین‌های اثر مستقل زمان به‌روش دانکن نشان داد که زمان ۶۰ دقیقه به بازده بعد از غربال بیشتری (۴۶/۵۲ درصد) در مورد ساقه برنج شاهد منجر شده است؛ در حالی که بین بازده بعد از غربال زمان‌های پخت ۳۰ دقیقه (۴۲/۵ درصد) و ۴۵ دقیقه (۴۲/۹ درصد) تفاوتی مشاهده

نشد و هر دو در یک گروه قرار می‌گیرند. مقایسه میانگین اثر مستقل میزان قلیا بر بازده بعد از غربال ساقه برنج شاهد نشان می‌دهد که بیشترین بازده بعد از غربال در قلیابیت ۱۸ درصد (۴۵/۴ درصد) و ۱۴ درصد (۴۵/۵ درصد) حاصل شده است که در یک گروه قرار گرفته‌اند. کمترین بازده مربوط به قلیابیت ۱۲ درصد (۴۱/۹ درصد) بوده است و قبل از آن قلیابیت ۱۶ درصد با میزان ۴۲/۳ درصد قرار داشته که در دو گروه متفاوت قرار گرفته‌اند. در مورد ساقه برنج پیش‌استخراج‌شده مقایسه میانگین اثر مستقل زمان به‌روش دانکن نشان می‌دهد بیشترین بازده بعد از غربال (۴۳/۶ درصد) مربوط به زمان ۴۵ دقیقه است و در یک گروه قرار می‌گیرد و بازده بعد از غربال دو زمان ۳۰ دقیقه (۴۰/۸ درصد) و ۶۰ دقیقه (۴۰/۶ درصد) نیز در یک گروه قرار می‌گیرند. مقایسه میانگین‌های اثر مستقل میزان قلیا نشان می‌دهد میزان بازده بعد از غربال قلیابیت‌های ۶ و ۸ درصد به ترتیب ۴۳/۰۷ و ۴۳/۳ درصد در یک گروه، قلیابیت ۱۰ درصد ۴۱/۰۹۲ در یک گروه جداگانه، و قلیابیت‌های ۱۲ درصد (۳۹/۳۲ درصد)، ۱۶ درصد (۳۹/۹۸ درصد) در ۱۴ درصد (۴۰/۶ درصد) بدون تفاوت در یک گروه قرار می‌گیرند. شکل ۱ تأثیر دما در قلیابیت ۱۶ درصد بر بازده بعد از غربال خمیر کاغذ سودا - آنتراکینون حاصل از ساقه برنج شاهد و پیش‌استخراج‌شده را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود، در کلیه زمان‌ها، بازده بعد از غربال خمیر کاغذ شاهد بیش از پیش‌استخراج‌شده است. با افزایش زمان بازده بعد از غربال خمیر کاغذ شاهد افزایش می‌یابد. در مورد خمیر کاغذ ساقه برنج پیش‌استخراج‌شده با افزایش زمان از ۳۰ به ۴۵ دقیقه بازده بعد از غربال افزایش، و سپس تا ۶۰ دقیقه کمی کاهش می‌یابد و معادل ۳۰ دقیقه می‌شود.

جدول ۲. شرایط پخت و ویژگی‌های خمیر کاغذ سودا-آنتراکینون حاصل از ساقهٔ برنج شاهد و پیش‌استخراج‌شده

عدد کاپا	بازدهٔ بعد از غربال (درصد)	قلیابیت (درصد)	زمان (دقیقه)	شمارهٔ تیمار	نمونه
۱۴/۵ <sup>bc</sup>	۴۴/۷۷	۱۸		۱	شاهد
۲۷/۵۰ <sup>f</sup>	۴۳/۲۴	۱۴	۶۰	۲	
۲۷/۴۰ <sup>f</sup>	۴۲/۶۹	۱۲		۳	
۱۲/۸۰ <sup>ab</sup>	۴۳/۹۰	۱۸		۴	
۱۸/۹۰ <sup>d</sup>	۴۳/۶۰	۱۴	۴۵	۵	
۲۷/۳۷ <sup>f</sup>	۴۵/۰۱	۱۲		۶	
۱۱/۹۰ <sup>a</sup>	۴۷/۷۰	۱۸		۷	
۲۲/۲۱ <sup>e</sup>	۴۲/۳۵	۱۴	۳۰	۸	
۲۸/۹۰ <sup>f</sup>	۴۰/۶۴	۱۲		۹	
۶/۸۰ <sup>a</sup>	۳۷/۲۲	۱۴		۱	
۱۰ <sup>bc</sup>	۳۶/۸۷	۱۲		۲	
۱۳/۳۰ <sup>d</sup>	۴۰/۰۹	۱۰	۶۰	۳	
۲۲/۸۰ <sup>f</sup>	۴۵/۲۹	۸		۴	
۲۳/۴۶ <sup>f</sup>	۴۲/۳۵	۶		۵	
۸/۵۰ <sup>b</sup>	۴۴/۳۶	۱۴		۶	
۹/۵۰ <sup>bc</sup>	۴۰/۹۸	۱۲		۷	
۱۳/۵۰ <sup>d</sup>	۴۴/۵۰	۱۰	۴۵	۸	
۱۸/۶۱ <sup>e</sup>	۴۴/۵۷	۸		۹	
۲۵/۱۶ <sup>g</sup>	۴۲/۶۷	۶		۱۰	
۷/۴ <sup>a</sup>	۴۰/۲۴	۱۴		۱۱	
۸/۸۰ <sup>b</sup>	۴۰/۱۶	۱۲		۱۲	
۱۰/۸۰ <sup>c</sup>	۴۱/۱۷	۱۰	۳۰	۱۳	
۲۰/۶۰ <sup>f</sup>	۴۱/۳۲	۸		۱۴	
۲۶/۳ <sup>g</sup>	۴۴/۹۷	۶		۱۵	

\* در تمام آزمایش‌ها درجهٔ حرارت به‌میزان ۱۶۰ درجهٔ سلسیوس و آنتراکینون به‌میزان ۰/۱ درصد و نسبت مایع پخت به ساقه معادل ۴ به ۱ ثابت بوده است.

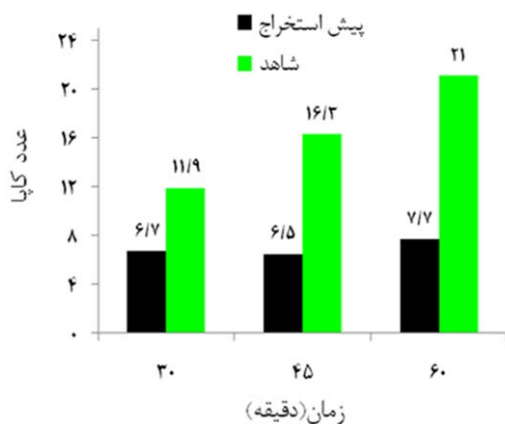
جدول ۳. تجزیهٔ واریانس آثار مستقل و متقابل عوامل متغیر در مورد خمیر کاغذسازی شاهد و پیش‌استخراج‌شده

معنی‌داری	F	میانگین مربعات	درجهٔ آزادی	مجموع مربعات	متغیر وابسته	متغیر	نمونه
	۲۷/۱۰۱	۲۷/۱۰۱	۳	۸۱/۳۰۳	بازده	قلیا	شاهد
۰/۰۰	۳۰۰/۸۶۱	۳۰۰/۸۶۱	۳	۹۰۲/۵۸۳	کاپا		
	۵۷/۵۹۰	۵۷/۵۹۰	۲	۱۱۵/۱۸۰	بازده	زمان	
۰/۰۰	۷۸/۱۵۵	۷۸/۱۵۵	۲	۱۵۶/۳۱۰	کاپا		
	۲۵/۱۲۱	۲۵/۱۲۱	۶	۱۵۰/۷۲۴	بازده	قلیا و زمان	
۰/۰۰	۱۶/۴۱۰	۱۶/۴۱۰	۶	۹۸/۴۶۰	کاپا		
	۲۹/۲۵۰	۲۹/۲۵۰	۵	۱۴۶/۲۵۱	بازده	قلیا	پیش‌استخراج قلیایی
۰/۰۰	۸۹۱/۱۴۰	۳۶۸/۹۹۸	۵	۱۸۴۴/۹۹۰	کاپا		
	۶۱/۶۴۹	۶۱/۶۴۹	۲	۱۲۳/۲۹۷	بازده	زمان	
۰/۰۰	۱۵۷/۹۷۶	۶۵/۴۱۴	۲	۱۳۰/۸۲۸	کاپا		
	۱۴/۳۲۹	۱۴/۳۲۹	۱۰	۱۴۳/۲۹۰	بازده	قلیا و زمان	
۰/۰۰	۱۰۲/۴۹۷	۴۲/۴۴۱	۱۰	۴۲۴/۴۱۴	کاپا		

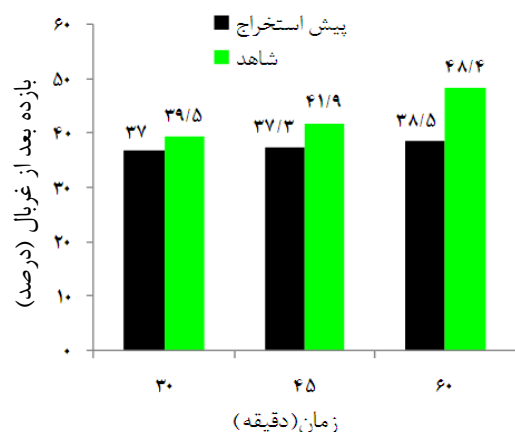
## عدد کاپا

جدول ۳ نشان می‌دهد اثر مستقل و متقابل عوامل متغیر پخت در مورد عدد کاپای خمیرکاغذ سودا-آنتراکینون ساقه‌برنج شاهد و پیش‌استخراج‌شده در سطح ۹۹ درصد معنی‌دار بوده است. مقایسه میانگین‌های اثر مستقل زمان به‌روش دانکن نشان می‌دهد در مورد خمیرکاغذ سودا-آنتراکینون حاصل از ساقه‌برنج شاهد، کمترین عدد کاپا در زمان پخت ۴۵ دقیقه (۱۷/۵۵) به‌دست آمده است. بعد از زمان ۴۵ دقیقه، زمان ۳۰ دقیقه در گروه دیگر قرار می‌گیرد (۱۹/۵۱). بیشترین عدد کاپا مربوط به زمان پخت ۶۰ دقیقه بوده (۲۲/۶۲) و در گروه جداگانه‌ای قرار گرفته است. میانگین‌های اثر مستقل میزان قلیا بر روی عدد کاپا نشان می‌دهد کمترین عدد کاپا مربوط به قلیابیت ۱۸ درصد (۱۳/۰۶) و سپس به‌ترتیب قلیابیت ۱۶ درصد (۱۷/۵۶) و قلیابیت ۱۴ درصد (۲۲/۸۷) و در نهایت بیشترین عدد کاپا مربوط به قلیابیت ۱۲ درصد (۲۶/۱۷) بوده است و همه قلیابیت‌ها از نظر آماری با یکدیگر تفاوت داشته و در گروه‌های جداگانه‌ای قرار می‌گیرند. در مورد ساقه‌پیش‌استخراج‌شده مقایسه میانگین‌های اثر مستقل زمان پخت نشان می‌دهد کمترین عدد کاپا در زمان پخت ۴۵ دقیقه (۱۳/۶۸) حاصل آمده است. البته بین

زمان ۴۵ و ۶۰ دقیقه (عدد کاپای ۱۴) تفاوت معنی‌داری وجود ندارد و هر دو در یک گروه قرار گرفته‌اند. بیشترین عدد کاپا مربوط به زمان پخت ۳۰ دقیقه بوده (۱۷/۱) که در گروه جداگانه‌ای قرار گرفته است. میانگین‌های اثر مستقل میزان قلیابیت بر روی عدد کاپای خمیرکاغذ سودا - آنتراکینون حاصل از ساقه‌پیش‌استخراج‌شده نشان می‌دهد کمترین عدد کاپا مربوط به قلیابیت ۱۲ درصد (۹/۴۲) و ۱۶ درصد (۹/۶۴) بوده که در یک گروه قرار می‌گیرند و سپس مربوط به قلیابیت ۱۴ درصد (۱۲/۲۳) و ۱۰ درصد (۱۲/۵۳) بوده که این دو قلیابیت نیز در یک گروه قرار گرفته و در نهایت قلیابیت ۸ درصد (۲۰/۶۵) قرار داشته و بیشترین مربوط به قلیابیت ۶ درصد (۲۴/۹۷) است که در گروه جداگانه‌ای قرار می‌گیرد. شکل ۲ تأثیر زمان پخت بر روی عدد کاپای خمیرکاغذ سودا - آنتراکینون حاصل از ساقه‌پیش‌استخراج‌شده در قلیابیت ۱۶ درصد را نشان می‌دهد. همان‌طور که ملاحظه می‌شود، در کلیه زمان‌های پخت عدد کاپای خمیرکاغذ حاصل از ساقه‌پیش‌استخراج‌شده بسیار کمتر از خمیرکاغذ حاصل از ساقه‌شاهد است. با افزایش زمان پخت این تفاوت بین اعداد کاپا بارزتر می‌شود.



شکل ۲. تأثیر زمان بر عدد کاپای خمیرکاغذ سودا-آنتراکینون حاصل از ساقه‌برنج شاهد و پیش‌استخراج‌شده با قلیابیت یکسان ۱۶ درصد



شکل ۱. تأثیر زمان بر روی بازده بعد از غربال خمیرکاغذ سودا-آنتراکینون حاصل از ساقه‌برنج شاهد و پیش‌استخراج‌شده با قلیابیت یکسان ۱۶ درصد



## بحث و نتیجه‌گیری

### ترکیب قندی ساقه برنج

نتایج مربوط به تجزیه و تحلیل ترکیب قندی ساقه برنج نشان می‌دهد همی سلولز ساقه برنج از نوع آرابینو گلوکورونوزایلان است. این نوع همی سلولز برخلاف گالاکتوگلوکومانان، که همی سلولز غالب سوزنی برگان است، همی سلولز اصلی پهن‌برگان و منابع لیگنوسولوزی غیرچوبی می‌باشد. به عبارت دیگر، همی سلولز اصلی سوزنی برگان از قندهای شش‌کربنه و پهن‌برگان و منابع لیگنوسولوزی غیرچوبی از نوع قند پنج‌کربنه است. با توجه به جدول ۱ میزان این همی سلولزها در حدود ۲۴/۷ درصد گزارش شده است. حجازی (۲۰۰۵) میزان گلوکز کاه گندم، باگاس، و ساقه برنج را به ترتیب ۶۴/۱، ۷۵/۸، و ۶۶ درصد، مقدار زایلوز این مواد اولیه را به ترتیب ۳۲/۱، ۱۵/۲، و ۲۷/۹ درصد، و مقدار گالاکتوز را به ترتیب ۰/۷، صفر، و ۲ درصد، میزان آرابینوز را به ترتیب ۱/۷، صفر، و ۲/۱ درصد، و مقدار مانوز را صفر، ۰/۲، و ۴ درصد گزارش کرده است [۸]. همچنین محمدی (۲۰۱۲) میزان گلوکز، زایلوز، گالاکتوز، آرابینوز، و مانوز کاه جو را به ترتیب معادل ۴۵/۶، ۲۲/۶، ۰/۶۲، ۲/۴۹، و ۰/۱۸ درصد گزارش کرده است [۹]. همان‌طور که ملاحظه می‌شود، میزان گلوکز ساقه برنج بیشتر از کاه گندم و کاه جو و کمتر از باگاس، و مقدار زایلوز آن کمتر از کاه گندم و بیشتر از باگاس و معادل کاه جو است.

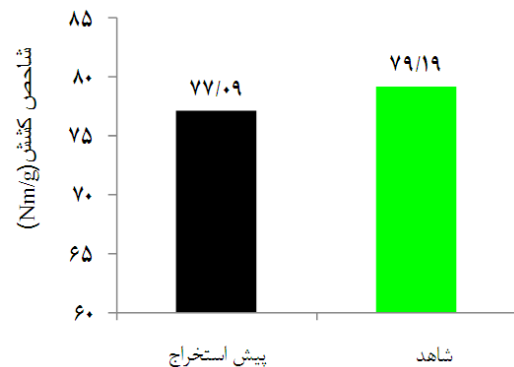
### پیش‌استخراج قلیایی و بازیابی بهینه همی سلولزها

روش پیش‌استخراج قلیایی از روش‌هایی است که اخیراً توجه زیادی به آن می‌شود. اساساً استخراج همی سلولزها قبل از فرایند خمیر کاغذسازی - چنانچه با روش‌های متداول آب داغ، بخار، یا هیدرولیز

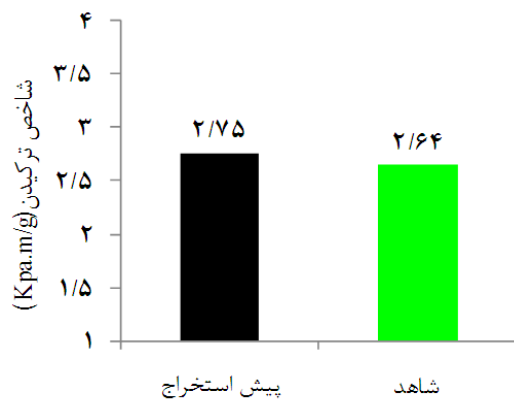
## ویژگی‌های مکانیکی خمیر کاغذ سودا -

### آنتراکینون

شکل‌های ۳ و ۴ به ترتیب ویژگی‌های مقاومتی مربوط به شاخص‌های کشش و ترکیدن خمیر کاغذ سودا - آنتراکینون حاصل از ساقه شاهد و پیش‌استخراج‌شده را نشان می‌دهند. همان‌طور که مشاهده می‌شود، شاخص کشش خمیر کاغذ حاصل از ساقه پیش‌استخراج‌شده اندکی کمتر از خمیر کاغذ شاهد است، اما تحلیل آماری نشان می‌دهد این تفاوت معنی‌دار نبوده و هر دو خمیر کاغذ در یک گروه قرار می‌گیرند. در مورد شاخص ترکیدن تفاوتی بین دو خمیر کاغذ مشاهده نشده و اساساً شاخص ترکیدن خمیر کاغذ حاصل از ساقه پیش‌استخراج‌شده معادل خمیر کاغذ شاهد است.



شکل ۳. مقایسه شاخص کشش خمیر کاغذهای سودا-آنتراکینون حاصل از ساقه شاهد و پیش‌استخراج‌شده



شکل ۴. مقایسه شاخص ترکیدن خمیر کاغذهای سودا-آنتراکینون حاصل از ساقه شاهد و پیش‌استخراج‌شده

ساعت، و قلیای مؤثر ۱۶/۷، ۲۶/۷، و ۳۳/۳ درصد صورت گرفته است و میزان بازیابی همی سلولزها ۴۰-۵۰ کیلوگرم به ازای هر تن خرده‌چوب بود [۴].

یون (۲۰۰۸) اثر پیش‌استخراج قلیایی را بر روی مخلوط بین پهن برگان جنوبی با خمیرکاغذسازی کرافت تلفیقی بررسی کرد. در این تحقیق اثر مقدار قلیا به شکل هیدروکسید سدیم، کربنات سدیم، یا مایع پخت سبز و زمان و دمای پیش‌تیمار روی بازده و ترکیب استخراج بررسی شد. استخراج قلیایی ملایم با ۳ درصد هیدروکسید سدیم یا کربنات سدیم در دمای ۱۴۰ درجه سلسیوس و زمان ۹۰ دقیقه منجر به حذف حدود ۸۶ درصد ماده چوبی شد [۱۰]. ژانگ و همکاران (۲۰۰۹) پیش‌استخراج زایلوز و خمیرسازی کرافت صنوبر را بررسی کردند. در این تحقیق از سیستم فرمیک/استیک اسید/آب در نسبت‌های ۳۰/۶۰/۱۰، ۲۰/۶۰/۲۰، ۳۰/۵۰/۲۰ برای هیدرولیز مؤثر و تبدیل زیستی خرده‌چوب‌های صنوبر، تحت نسبت مایع پخت/چوب، ۱/۱۲ در ۱۰۵ درجه سلسیوس در زمان‌های ۳۰، ۴۵، ۶۰، ۷۵، و ۹۰ دقیقه استفاده شد. بیشترین بازده ۶۹/۸۹ درصد در نسبت اسید فرمیک/اسید استیک/آب ۳۰/۵۰/۲۰ در زمان ۹۰ دقیقه حاصل آمد [۱۱]. چنگ و همکاران (۲۰۱۰) استخراج قلیایی همی سلولزها از ذرت غلوفه‌ای مغززدایی‌شده و آثار آن بر خمیرکاغذسازی سودا-آنتراکینون را بررسی کردند. نتایج تحقیق آنان نشان داد بیشتر از ۹۰ درصد زایلان می‌تواند تحت شرایط بهینه غلظت هیدروکسید سدیم ۱۰ درصد، دمای ۷۵ درجه سلسیوس، و زمان ۲ ساعت خارج شود [۱۲].

### بازده

بررسی نتایج مربوط به بازده خمیرکاغذ سودا-آنتراکینون حاصل از نمونه‌های ساقه برنج شاهد

اسیدی صورت گیرد - نیازمند انجام عملیات در درجه حرارت‌های زیاد است. به‌خصوص در مورد پیش‌تیمار با آب داغ و بخار، درجه حرارت در حدود ۱۸۰ - ۲۰۰ درجه سلسیوس تنظیم می‌شود. اما همان‌طور که در این تحقیق ملاحظه می‌شود، درجه حرارت مورد استفاده برای استخراج قلیایی بسیار کم و در حد ۵۰ درجه سلسیوس بوده و این بدین معناست که علاوه بر صرفه‌جویی در منابع انرژی در یک کارخانه، به تجهیزات و رآکتورهای تحت فشار نیاز نیست و بنابراین، این نوع پیش‌استخراج نقش بسزایی در کارایی اقتصادی یک کارخانه دارد؛ علاوه بر اینکه پساب این مرحله به‌خوبی قابلیت انتقال به پساب سیستم بازیابی یک کارخانه خمیرکاغذسازی قلیایی را دارد. با توجه به محاسبات انجام‌شده در شرایط ۵۰ درجه سلسیوس، قلیای ۱۰ درصد، و زمان ۹۰ دقیقه، در حدود ۴۸/۱ درصد همی سلولزهای ساقه برنج بازیابی شده است. بازده پیش‌استخراج بین ۷۳ تا ۷۵ درصد بوده است. لوپز و همکاران (۱۹۹۶) در تحقیقی همی سلولزهای کاه جو را با روش قلیایی استخراج کردند. تحت شرایط بهینه (۱۳ درصد قلیا، زمان ۲ ساعت، و درجه حرارت ۶۰ درجه سلسیوس) ۵۷ درصد از همی سلولزهای کاه جو بازیابی شدند [۳]. با توجه به اینکه شرایط مورد استفاده در مرحله پیش‌استخراج در این تحقیق بسیار ملایم‌تر از تحقیق لوپز و همکاران بوده است، می‌توان سهولت خروج همی سلولزهای ساقه برنج را در مقایسه با کاه جو گزارش کرد. الدجانی و چرینر (۲۰۰۸) در تحقیقی تیمار قلیایی ملایم پیش از خمیرکاغذسازی کرافت برای استخراج همی سلولزها را برای استفاده به‌عنوان سوخت‌های زیستی بر روی خرده‌چوب‌های صنوبر بررسی کرده‌اند. استخراج قلیایی در درجه حرارت بین ۳۲ تا ۹۰ درجه سلسیوس، نسبت مایع پخت به ماده ۴ به ۱، زمان ۴

کمتر از خمیر کاغذ باگاس استخراج‌نشده است [۵]. چنگ و همکاران (۲۰۱۰) پس از استخراج قلیایی همی سلولزهای ذرت علوفه‌ای و سپس خمیر کاغذسازی سودا - آنتراکینون افت اندکی در بازده خمیر کاغذهای حاصل از نمونه‌های پیش‌استخراج‌شده گزارش کردند [۱۲]. لو و همکاران (۲۰۱۲) در تحقیقی استخراج با آب داغ و آثار آن را بر روی خمیر کاغذسازی سودای خرده‌چوب‌های صنوبر مطالعه کردند. در تحقیق آن‌ها درجه حرارت مرحله پیش‌استخراج در ۱۶۰ درجه سلسیوس و زمان از ۱۵ تا ۲۱۰ دقیقه و نسبت آب به چوب ۴ به ۱ متغیر بوده است. خرده‌چوب‌های پیش‌استخراج‌شده در معرض خمیر کاغذسازی سودا در دمای ۱۵۰ درجه سلسیوس به مدت ۳ ساعت با قلیابیت مؤثر ۲۰ درصد و نسبت مایع پخت به چوب ۴/۵ به ۱ قرار گرفتند. در مقایسه با نمونه شاهد، بازده کل خمیر کاغذ برای خرده‌چوب‌های استخراج‌شده اندکی کاهش یافت؛ در حالی که وزده‌ها به شدت کاهش یافتند.

در کل، در مرحله پیش‌استخراج قلیایی افت بازده در صورت به‌کارگیری شرایط ملایم کمتر از افت بازده مشاهده شده در مرحله پیش‌هیدرولیز با آب داغ یا هیدرولیز اسیدی است. مهم‌ترین علت افت بازده در مرحله پیش‌هیدرولیز قلیایی لیگنین‌زدایی جزئی و تخریب پلی ساکاریدها به علت واکنش تخریب تدریجی است. در این تحقیق، به علت اینکه مرحله پیش‌استخراج قلیایی به تسهیل فرایند لیگنین‌زدایی منجر شده و قلیابیت مؤثر مورد استفاده در پخت سودا-آنتراکینون ساقه برنج پیش‌استخراج‌شده کمتر بوده است، حتی بازده بعد از غربال نهایی خمیر کاغذ بهینه از نمونه‌های پیش‌استخراج‌شده در حدود ۱ درصد بالاتر از خمیر کاغذ شاهد بوده است [۱۴].

و استخراج‌شده نشان می‌دهد در کل بازده نمونه‌های شاهد کمی بالاتر از بازده نمونه‌های پیش‌استخراج‌شده قرار می‌گیرد. علت این مسئله خروج بخشی از همی سلولزها و لیگنین در مرحله پیش‌استخراج از ساقه برنج بوده است.

حجازی و همکاران (۲۰۰۹) در تحقیق خود درباره خمیر کاغذسازی سولفیت قلیایی آنتراکینون از ساقه برنج و رنگبری TCF خمیر کاغذهای حاصل، به عنوان پخت مرجع خمیر کاغذسازی سودا و سودا-آنتراکینون ساقه برنج را نیز بررسی کرده‌اند. تحت شرایط بهینه پخت سودا - آنتراکینون (قلیابیت ۱۴ درصد، درجه حرارت ۱۶۰ درجه سلسیوس، زمان رسیدن به درجه حرارت ۶۰ دقیقه، و زمان پخت ۶۰ دقیقه) خمیر کاغذ با بازده بعد از غربال ۴۷/۲ درصد تولید شده است که با شرایط قلیابیت و درجه حرارت مشابه این تحقیق ولی زمان متفاوت بازده خمیر کاغذ زیادتر از خمیر کاغذ تولیدشده در این تحقیق است که علت می‌تواند به تفاوت ماده اولیه مربوط باشد [۱۳].

یون و همکاران (۲۰۰۹) پیش‌استخراج آب داغ بر روی چوب کاج لوبلولی و تأثیر آن بر روی ویژگی‌های خمیر کاغذسازی کرافت را بررسی کردند. نتایج تحقیق آن‌ها نشان داد بازده خمیر کاغذسازی در یک عدد کاپای به دست آمده ۳ تا ۶ درصد کمتر از نمونه شاهد است [۱۰]. سرور جهان و همکاران (۲۰۰۹) اثر پیش‌هیدرولیز به روش خودهیدرولیزی را بر میزان استخراج همی سلولزهای باگاس و سپس تأثیر آن را بر ویژگی‌های خمیر کاغذسازی سودا-آنتراکینون بررسی کردند. نتایج نشان داد پیش‌هیدرولیز در شرایط بهینه در دمای ۱۵۰ درجه سلسیوس به مدت ۱ ساعت موجب تولید خمیر کاغذ سودا - آنتراکینونی می‌شود که بازده آن ۴/۳ درصد

## عدد کاپا

اندازه‌گیری عدد کاپا مقدار لیگنین باقی مانده در خمیر کاغذ و تخمینی از درجه لیگنین‌زدایی فرایند خمیر کاغذسازی را بیان می‌کند. عدد کاپا اصولاً رابطه خطی با مقدار لیگنین خمیر کاغذ در بازده زیر ۷۰ درصد دارد. نتایج این تحقیق (جدول ۲) نشان می‌دهد در شرایط یکسان فرایند پخت (از نظر زمان و میزان قلیابیت)، خمیر کاغذهای تولیدشده از ساقه برنج پیش‌استخراج‌شده منجر به عدد کاپای بسیار کمتری در مقایسه با نمونه‌های شاهد شده‌اند و این تفاوت اعداد کاپای بسیار زیاد است. به‌طور مثال، پخت سودا-آنتراکینون ساقه برنج شاهد در زمان ۳۰ دقیقه و قلیابیت ۱۲ درصد منجر به خمیر کاغذی با عدد کاپای ۲۸/۹ شده است؛ در صورتی که تحت همین شرایط خمیر کاغذ تولیدشده از ساقه برنج پیش‌استخراج‌شده دارای عدد کاپای ۸/۸ بوده است. به‌عبارت دیگر، میزان لیگنین‌زدایی آن معادل ۶۹/۵ درصد بیشتر بوده است. در کلیه زمان‌ها و قلیابیت‌ها این تسهیل عمل لیگنین‌زدایی مشهود است. اصولاً این سهولت در فرایند لیگنین‌زدایی بخشی مربوط به خروج لیگنین در مرحله پیش‌استخراج قلیابیتی است که در نتیجه آن، ساقه برنج پیش‌استخراج‌شده در هنگام ورود به فرایند پخت دارای لیگنین کمتر از ساقه برنج شاهد است. بخش دیگر مربوط به این مسئله است که لیگنین در ماده لیگنوسلولزی به همی سلولزها متصل است؛ به‌عبارت دیگر، کمپلکس LCC در یک ماده لیگنوسلولزی موجود است و بر اثر خروج همی سلولزها، از جمله زایلوز و آرابینوز که در این کمپلکس حضور دارند، هم بخشی از لیگنین خارج می‌شود و هم با شکست این اتصال، لیگنین در مرحله پخت بهتر در معرض عوامل واکنش‌گر قرار می‌گیرد.

حجازی و همکاران (۲۰۰۹) در تحقیق ذکرشده

عدد کاپای خمیر سودا - آنتراکینون را ۱۰/۷ گزارش کرده‌اند [۱۳]. یون و همکاران (۲۰۰۸) در مطالعه خود نشان دادند که استخراج همی سلولزها در شرایط یکسان پخت منجر به افزایش سینتیک لیگنین‌زدایی تا حد ۴۰ تا ۶۰ درصد می‌شود [۱۰]. سایر محققان نتایج مشابهی را گزارش کرده‌اند [۱۱، ۱۲، ۱۴، ۱۵].

## ویژگی‌های مکانیکی خمیر کاغذ

### سودا-آنتراکینون ساقه برنج

میزان شاخص کشش خمیر کاغذ سودا-آنتراکینون حاصل از ساقه برنج شاهد در این تحقیق ۷۹/۱۹ نیوتن متر بر گرم اندازه‌گیری شده است که در حد بسیار مطلوبی قرار دارد. شاخص کشش خمیر کاغذ تولیدشده از ساقه برنج پیش‌استخراج قلیابیتی شده نیز فقط ۲/۶ درصد در مقایسه با شاهد از خود کاهش نشان می‌دهد و بنابراین در حد بسیار مقبولی قرار دارد. این امر بدین معناست که شرایط مرحله پیش‌استخراج قلیابیتی بسیار ملایم و بهینه بوده و به ساختار سلولزی ساقه برنج آسیب جدی وارد نشده است. عدم تفاوت در مورد شاخص ترکیدن دو خمیر کاغذ نیز تأییدکننده این فرضیه است. حجازی و همکاران (۲۰۰۹) در درجه روانی کانادایی یکسان ۳۰۰ میلی‌لیتر، میزان شاخص کشش و شاخص ترکیدن خمیر کاغذ سودا-آنتراکینون ساقه برنج را به ترتیب ۶۵ نیوتن متر بر گرم و ۳/۵ کیلو پاسکال متر مربع بر گرم گزارش کرده‌اند [۱۳].

لوپز و همکاران [۳] گزارش کرده‌اند که پس از پیش‌استخراج قلیابیتی همی سلولزهای کاه جو، ویژگی‌های مقاومتی خمیر کاغذ سودا-آنتراکینون در درجه روانی SR ۴۰ (CSF ۳۰۰) در سطح خیلی خوبی باقی ماند و تفاوت ناچیزی بین خمیر کاغذ تلفیقی سودا-آنتراکینون و خمیر کاغذ شاهد سودا-آنتراکینون دیده می‌شود. اما الدجانی و چرینر

قلیایی بدون هیچ تأثیر مخربی بر روی ویژگی‌های خمیر کاغذ تولیدی است. این امر بدان معناست که چنانچه یک کارخانه خمیر کاغذ برمبنای تولید فقط ۱۰۰ تن خمیر کاغذ هوا خشک در کشور برمبنای ساقه برنج احداث شود، روزانه، با توجه به بازده خمیر کاغذ تولیدی نیازمند ۲۴۶ تن ماده اولیه ساقه برنج است که میزان زایلوز آن ۵۴۷۰۰ کیلوگرم است. با توجه به نتایج این تحقیق، روزانه ۲۶۲۹۶ کیلوگرم (۲۶ تن) زایلوز می‌تواند با پیش‌استخراج قلبایی بازیابی شود که پتانسیل تولید ۴۰۳۰ لیتر اتانول زیستی در روز و حدوداً یک میلیون لیتر در سال را دارد.

از نظر ویژگی‌های خمیر کاغذسازی خروج همی سلولزها منجر به ملایم شدن شرایط پخت در فرایند سودا-آنتراکینون شده است. نتایج نشان داده است که با میزان قلبیابیت بسیار کم می‌توان به عدد کاپای معادل عدد کاپای خمیر کاغذ شاهد رسید و در هزینه کارخانه صرفه‌جویی زیادی کرد. همچنین، نتایج نشان‌دهنده افزایش میزان لیگنین‌زدایی و تسهیل لیگنین‌زدایی با مرحله پیش‌استخراج است. علاوه بر این، هیچ کاهش چشمگیر و معنی‌داری در مقاومت‌های مکانیکی خمیر کاغذ تولیدشده از ساقه برنج پیش‌استخراج‌شده دیده نشد. در کل، نتایج، حاکی از موفقیت به کارگیری مرحله پیش‌استخراج قلبایی قبل از خمیر کاغذسازی سودا-آنتراکینون در مورد ساقه برنج است.

(۲۰۰۸) گزارش کرده‌اند که پیش‌استخراج قلبایی خرده‌چوب‌های صنوبر منجر به کاهش اندک (۱۰ درصد) شاخص کشش خمیر کاغذ کرافت تولیدی شده است [۴]. یون و همکاران (۲۰۰۸) هیچ تغییر معنی‌داری در مقاومت‌های مکانیکی خمیر کاغذ کرافت تولیدشده از خرده‌چوب‌های مخلوط پهن‌برگان جنوبی - که تحت پیش‌استخراج قلبایی قرار گرفته بودند - گزارش نکرده‌اند [۱۰]. یون و همکاران (۲۰۰۸) در تحقیق دیگر گزارش کرده‌اند که پیش‌استخراج با آب داغ چوب‌های کاج لوبلولی منجر به کاهش پالایش‌پذیری الیاف و شاخص کشش خمیر کاغذ کرافت شده؛ در حالی که شاخص کشش دهانه صفر، پارگی و کشش تر بدون تغییر باقی می‌ماند [۱۰].

کاهش شاخص کشش و ترکیدن بر اثر پیش‌استخراج - که عمدتاً مربوط به پیش‌استخراج با آب داغ و هیدرولیز اسیدی بوده است، در مطالعات سرور جهان و همکاران [۵]، دارت و همکاران [۱۵]، و لی و همکاران [۱۶] گزارش شده است؛ در حالی که این گزارش‌ها اکثراً حاکی از افزایش شاخص پارگی، بهبود درجه روشنایی، و سهولت رنگبری بر اثر مرحله پیش‌استخراج است.

### نتیجه‌گیری

این تحقیق با هدف ارزیابی پتانسیل ساقه برنج در یک پالایشگاه زیستی تلفیقی صورت گرفته است. نتایج حاکی از موفقیت در خروج حدود ۴۸/۱ درصد همی سلولز (زایلان) ساقه برنج با شرایط بسیار ملایم

## References

- [1]. Helmerius, J., Vinblad, J., Rova, U., Berglund, K.A., and Hodge, D. B. (2010). Impact of hemicellulose pre-extraction for bioconversion on birch Kraft pulp properties, *Bioresource Technology*, 101: 5996–6005.
- [2]. Huang, H.J., Ramaswamy, S., Al-Dajani, W.W., and Tschirner, U. (2010). Process modeling and analysis of pulp mill-based integrated biorefinery with hemicellulose pre- extraction for ethanol production: a comparative study. *Bioresources Technology*, 101: 624–631.
- [3]. Lopez, S., Tissot, M., and Dela, M. (1996). Integrated cereal straw valorization by an alkaline pre-extraction of hemicelluloses prior to soda-antraquinone pulping. Case study of barley straw. *Biomass and Bioenergy*, 10: (4) 201-211.
- [4]. AL-Djani, W.W., and Teschirner, U. (2008). Alkaline extraction of hemicelluloses from aspen chips and its impact on subsequent kraft pulping. University of Minnesota, Dept. of Bioproduct and Bio Systems Engineering, Sant Paul, MN 55108, USA
- [5]. Sarwar Jahan, M., Saeed, Abrar, Ni, Yonghao, and He, Zhibin. (2009). Pre-extraction and its impact on the alkaline pulping of bagasse. *Journal of Biobased Materials and Bioenergy*, 3: (4) 380-385.
- [6]. Zhang, H., and Yung, R.A. (2011). Effect of hot water pre-extraction on alkaline pulping and properties of wheat straw. *Advance Material Research*, 236-238: 1174-1177.
- [7]. Binod, P., Sindhu, R., and Singhanian, R.R. (2010). Bioethanol production from rice straw: An overview. *Bioresource Technology*, 101: 4767–4774.
- [8]. Hedjazi, S. (2005). Investigation on alkaline sulfite-anthraquinone (AS/AQ) pulping and total chlorine free (TCF) bleaching of most important iranian agriculture residues, Ph.D.Thesis, University of Tehran.
- [9]. Mohammadi, N. (2012). Investigation on the potential of barley straw in an integrated biorefinery system, MSc. Thesis, University of Tehran.
- [10]. Yoon, S.H., and Heiningen, A.R.P. (2008). Kraft pulping and papermaking properties of hot-water pre-extracted loblolly pine in an integrated forest products biorefinery. *TAPPI Journal*, 7: 22-27
- [11]. Zhuang, J., Lin, L., Liu, J., Luo, X., Pang, C., and Ouyang, P. (2009). Preparation of xylose and kraft pulp from poplar based on formic/acetic acid/ water system hydrolysis. *BioResource*, 4(3): 1147-1157.
- [12]. Cheng, H., Zhang, H., Fu, S., and Lusia, L. A. (2010). Alkaline extraction of hemicelluloses from depithed corn stover and effects on soda-AQ pulping. *Bioresources*, 11(1): 196-206.
- [13]. Hedjazi, S., Kordsachia, O., Jahan Latibari, A., and Tschirner, U. (2009). Alkaline sulphite/anthraquinone (AS/AQ) pulping of rice straw and TCF bleaching of pulps, *APPITA Journal*, 62: (2).137-145.
- [14]. Lu, H., Hu, R., Ward, A., Amidon, T.E., Liang, B., and Liu, Sh. (2012). Hot-water extraction and its effect on soda pulping of aspen wood chips. *Biomass and Bioenergy*, 39: 5-13.
- [15]. Duarte, G. V., Ramarao, B. V., Amidon, T. E., and Ferreira, P. T. (2011). Effect of hot water extraction on hardwood kraft pulp fibers. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 50: 9949–9959.
- [16]. 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.