

# اثر نشاسته کاتیونی و کیتوسان بر مقاومت خشک خمیرکاغذ رنگبری شده حاصل از باگاس پیش‌استخراج شده و پیش‌استخراج نشده

مجله علوم و تکنولوژی پلیمر،  
سال بیست و پنجم، شماره ۵،  
صفحه ۳۹۲-۳۸۳، ۱۳۹۱  
ISSN: 1016-3255  
Online ISSN: 2008-0883

زینب خراسانی<sup>۱</sup>، یحیی همزه<sup>۱\*</sup>، علیرضا عشوری<sup>۲</sup>، محمد آزادفلاح<sup>۱</sup>

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

صندوق پستی ۳۱۵۸۵-۴۳۱۴

۲- تهران، سازمان پژوهش‌های علمی و صنعتی ایران، پژوهشکده فناوری‌های شیمیایی،

صندوق پستی ۱۵۸۱۵-۳۵۳۸

دریافت: ۹۱/۱/۱۴، پذیرش: ۹۱/۹/۲۷

## چکیده

با توجه به مفهوم زیست‌پالایشگاه، واحدهای تهیه خمیرکاغذ قابلیت تبدیل به یک زیست‌پالایشگاه تولیدکننده خمیر کاغذ و سایر محصولات شیمیایی را با ارزش افزوده زیاد دارند. بنابراین، در پژوهش حاضر اثر استخراج همی سلولوزهای باگاس با آب داغ (دمای  $125^{\circ}\text{C}$  به مدت ۳۵ min) بر خواص خمیر کاغذ رنگبری شده باگاس بررسی شد. در ادامه، اثر مقادیر مختلف نشاسته کاتیونی و کیتوسان به عنوان پلیمرهای مقاومت خشک برای جبران و بهبود خواص مقاومتی خمیر کاغذهای تهیه شده آزمون شد. نتایج نشان داد، استخراج حدود ۵۰٪ از همی سلولوزهای باگاس سبب کاهش بازده کلی خمیر کاغذ، عدد کاپا، افزایش قابلیت رنگبری و کاهش مقاومت‌های کششی و ترکیبگی کاغذ تولیدی در مقایسه با خمیر کاغذ تولید شده از باگاس پیش‌استخراج نشده می‌شود. اثر تقویتی پلیمرهای مقاومت خشک نشان داد، در شرایط یکسان کاربرد، افزایش مقاومت‌های کاغذهای ساخته شده از باگاس استخراج شده بیشتر از باگاس عمل‌آوری نشده است. همچنین، در حالت استفاده از ۱/۵ درصد نشاسته کاتیونی و ۱ درصد کیتوسان، کاهش مقاومت‌های کاغذ ناشی از پیش‌استخراج بخشی از همی سلولوزها جبران‌شدنی است. بنابراین، در حالت تبدیل واحدهای تهیه‌کننده خمیر کاغذ شیمیایی از باگاس به یک واحد زیست‌پالایشگاه، ضعف مقاومت‌های کاغذ با استفاده از مقادیر و نوع مناسب پلیمرهای مقاومت خشک جبران‌شدنی است و مانعی بر این تغییر فناوری نیست.

## واژه‌های کلیدی

باگاس،  
خمیر کاغذ سودا،  
پلیمرهای مقاومت خشک،  
نشاسته کاتیونی،  
کیتوسان

\* مسئول مکاتبات، پیام‌نگار:

hamzeh@ut.ac.ir

## مقدمه

افزایش مقاومت‌های کاغذ تهیه‌شده در سامانه زیست‌پالایشگاه در حد کاغذهای حاصل از مواد اولیه بدون پیش‌عمل‌آوری است [۱۱]. با توجه به اهمیت تولید کاغذ با ویژگی‌ها و خواص مقاومتی مناسب از مواد اولیه لیگنوسلولوزی که بخشی از همی سلولوزهای آن خارج شده است، در این پژوهش، ابتدا اثر پیش‌استخراج بخشی از همی سلولوزهای باگاس بر خواص خمیر کاغذ رنگ‌بری شده بررسی شده است و در ادامه رفتار پلیمرهای مقاومت خشک برای بهبود خواص مقاومت‌های خمیر کاغذهای حاصل از باگاس پیش‌استخراج شده و باگاس پیش‌استخراج نشده بررسی و مقایسه شده است. انتخاب نشاسته کاتیونی به علت رایج بودن کاربرد آن به عنوان پلیمر مقاومت خشک و کیتوسان به علت جذب شدن آن بر سطح الیاف لیگنوسلولوزی حتی در شرایط بدون جاذبه الکتروستاتیکی ناشی از حذف همی سلولوزها بود [۱۲].

## تجربی

### مواد

باگاس استفاده شده در این پژوهش از منطقه خوزستان و با همکاری کارخانه کاغذسازی پارس تهیه شد که پس از شست‌وشو و جداسازی مغز باگاس و سایر ناخالصی‌ها (مانند سنگ ریزه و...) به وسیله غربال در هوای آزاد خشک و سپس مقدار رطوبت آن اندازه‌گیری شد.

### روش‌ها

#### استخراج همی سلولوزها

از روش خودآبکافت در آب داغ به دلیل بازده زیاد، کارایی مناسب و سهولت اجرای صنعتی آن استفاده شد [۵]. فرایند پیش‌استخراج باگاس با توجه به نتایج پیش‌عمل‌آوری انجام شده، در دمای  $135^{\circ}\text{C}$  به مدت 30 min، مقدار خشکی 10 درصد و با استفاده از دستگاه پخت خمیر کاغذ در گلیسرین انجام شد. مقدار هولوسلولوز باقی‌مانده در مواد لیگنوسلولوزی با استفاده از انحلال لیگنین در محلول بافر سدیم کلریت - استیک اسید در pH برابر 4 معین شد [7].

#### تولید خمیر کاغذ، ساخت کاغذ دست‌ساز و اندازه‌گیری خواص آنها

برای تهیه خمیر کاغذ به روش سودا از سودای با قلیابیت فعال 15 درصد بر مبنای وزن خشک باگاس، به مدت 60 min و دمای  $165^{\circ}\text{C}$  استفاده شد. پس از شست‌وشوی خمیر، بازده و عدد کاپای خمیرهای تهیه‌شده

امروزه استفاده از مواد لیگنوسلولوزی به عنوان یکی از مهم‌ترین منابع زیست‌توده در جهان و پتانسیلی عظیم و دردسترس برای تولید محصولات با ارزش افزوده زیاد مانند سوخت‌های زیستی، مواد شیمیایی زیستی متنوع و زیست‌پلاستیک‌ها به عنوان راه حل دوست‌دار محیط زیست و جایگزین نفت و سایر منابع فسیلی به‌طور جدی مطرح است و پژوهش‌های زیادی در این زمینه‌ها در حال انجام است [۱،۲]. با توجه به وجود زیرساخت‌های اساسی، صنایع خمیر کاغذ می‌توانند به عنوان زیست‌پالایشگاه محسوب شوند. بدین شکل که بخشی از همی سلولوزهای مواد لیگنوسلولوزی پیش از فرایند تهیه خمیر کاغذ از مواد لیگنوسلولوزی جدا شده و به عنوان ماده اولیه صنایع شیمیایی یا تهیه سوخت زیستی مصرف شوند و سلولوز و لیگنین باقی‌مانده در مواد لیگنوسلولوزی برای تهیه خمیر کاغذ استفاده شوند [۳].

از سوی دیگر، با توجه به نقش همی سلولوزها در افزایش آب‌دوستی الیاف، انعطاف‌پذیری و پیوندهای هیدروژنی بین الیاف، استخراج همی سلولوزها از مواد اولیه لیگنوسلولوزی و استفاده از آنها برای تولید محصولات جانبی، آثار زیادی بر تمام جنبه‌های صنعت خمیر کاغذ نظیر خواص مواد اولیه، فرایند تولید خمیر کاغذسازی و خواص کاغذ تولیدی دارد [۴،۵].

مشخص شده است، پیش‌استخراج همی سلولوزها سبب کاهش مقاومت‌های مکانیکی کاغذهای حاصل از مواد اولیه پیش‌استخراج شده در مقایسه با کاغذهای حاصل از مواد اولیه بدون پیش‌عمل‌آوری می‌شود [۶،۷]. به عبارت دیگر، مقاومت‌های کاغذ به‌ویژه مقاومت پارگی آن به‌طور مستقیم به مقدار همی سلولوزهای موجود در الیاف بستگی دارد [۸].

برای افزایش مقاومت کاغذ، پلیمرهایی مانند نشاسته و پلی‌آکریل‌آمید که آب‌دوست هستند و قابلیت تشکیل پیوند هیدروژنی را به خوبی دارند به تعلیق خمیر کاغذ اضافه می‌شوند که با عنوان پلیمرهای مقاومت خشک شناخته می‌شوند.

استفاده از همی سلولوزهای استخراج شده و ترکیبات مشابه آنها به عنوان پلیمر مقاومت خشک کاغذ بر مقاومت‌های کاغذ بررسی شده است. نتایج نشان‌دهنده اثر زیاد و مثبت این مواد بر مقاومت‌های کاغذ است [۹،۱۰]. همچنین در پژوهش‌های اخیر، کاربرد پلی‌لاکتیک اسید به عنوان یکی از محصولات زیست‌پالایشگاه به همراه نشاسته کاتیونی برای افزایش مقاومت‌های کاغذ تهیه شده در فرایند پالایشگاه زیستی (همراه با پیش‌استخراج همی سلولوزها) و کاغذ تهیه‌شده از مواد اولیه بدون عمل‌آوری بررسی شده است. نتایج نشان‌دهنده

جدول ۱- مشخصات نشاسته کاتیونی و کیتوسان استفاده شده در این پژوهش.

نام تجاری	شرکت عرضه‌کننده	منشا	درصد استخلاف	نوع گروه عاملی
نشاسته کاتیونی	Lyckeby Amylex	نشاسته سیب‌زمینی	۰/۰۶۵	آمونیم نوع ۴
کیتوسان	Sigma Aldrich	پوسته میگو	-	NH <sub>2</sub>

مطابق با شرایط استاندارد معین شد. پس از خمیرسازی، رنگ‌بری خمیرهای منتخب به روش ECF (elementary chlorine free) براساس شرایط ارائه شده توسط همزه و همکاران انجام شد [۱۳]. ساخت کاغذ دست‌ساز و اندازه‌گیری خواص آن با توجه به آیین‌نامه T 205 sp-95 استاندارد TAPPI انجام شد. همچنین، مقاومت کششی بر اساس استاندارد ISO 1924-2 و مقاومت به ترکیدن بر اساس آیین‌نامه T403 om-02 استاندارد TAPPI اندازه‌گیری شدند. پس از رنگ‌بری، روشنی کاغذها بر اساس آیین‌نامه T452 om-98 استاندارد TAPPI و زردی آنها بر اساس سامانه CIE-Lab اندازه‌گیری شد.

### روش تجزیه و تحلیل آماری

برای به‌دست آوردن نمونه مناسب با سطوح مختلف نشاسته و کیتوسان، از روش نمونه‌گیری کاملاً تصادفی استفاده شد. برای این کار، پس از نرمال کردن داده‌ها، به کمک آزمون‌های فاکتوریل بررسی‌های آماری انجام شد. بررسی و تحلیل عوامل اثرگذار با استفاده از نرم‌افزار Minitab 14 از راه رگرسیون چندگانه انجام شد. با استفاده از معادلات رگرسیونی به‌دست آمده، آثار مستقل و متقابل عوامل مستقل روی پاسخ‌های به‌دست آمده (مقادیر متغیرهای وابسته اندازه‌گیری شده خمیر و کاغذ) بررسی شد. در ادامه با توجه به نتایج حاصل از هر نوع خمیر، معادلات رگرسیونی معین‌کننده آثار مستقل و متقابل برای خواص اندازه‌گیری شده هریک از خمیرهای مطالعه شده مشخص شد. نمونه‌ای از مدل رگرسیونی در زیر ارائه شده است:

$$z = a + bx_1 + cx_2 + dx_1x_2 \quad (1)$$

Z مشخص‌کننده نوع متغیرهای وابسته خمیر کاغذ (مقاومت کششی، مقاومت به ترکیدن یا درصد کشش‌پذیری پیش از پارگی)، X<sub>1</sub> مقدار نرمال‌شده نشاسته کاتیونی، X<sub>2</sub> مقدار نرمال‌شده کیتوسان و حروف a، b، c و d مقادیر به‌دست آمده دو مدل فرضی‌اند.

جدول ۲- نتایج حاصل از پیش‌استخراج همی سلولوزها به روش خودآبکافت (دما ۱۳۵°C، زمان ۳۰ min و مقدار خشکی ۱۰ درصد).

تکرار	بازده استخراج (%)	هولوسلولوز (%)
۱	۸۶/۶۹	۶۶/۸
۲	۸۸/۲۱	۶۷/۴
۳	۸۶/۱۴	۶۶/۳
میانگین	۸۷/۰۱	۶۶/۸۳

آماده‌سازی و کاربرد پلیمرهای مقاومت خشک مشخصات نشاسته کاتیونی و کیتوسان استفاده شده در این پژوهش در جدول ۱ ارائه شده است. مقدار نشاسته کاتیونی در چهار سطح ۰، ۰/۵، ۱ و ۱/۵ درصد و مقدار کیتوسان در ۵ سطح ۰، ۰/۲۵، ۰/۵، ۰/۷۵ و ۱ درصد بر مبنای وزن خشک خمیر استفاده شد. برای آماده‌سازی نشاسته کاتیونی، محلول ۱ درصد آن روی اجاق الکتریکی به مدت ۳۰ min به آرامی گرما داده شد تا به دمای ۹۵°C برسد. سپس، در این دما به مدت ۳۰ min دیگر نگهداری شده و در نهایت پس از خنک‌شدن تا دمای محیط، در طول مدت همان روز استفاده شد. شایان ذکر است در تمام مدت، محلول مدنظر با کاربرد یک همزن مغناطیسی به‌طور دائم هم زده شد تا مانع از ته‌نشینی نشاسته کاتیونی شود.

### آماده‌سازی و کاربرد پلیمرهای مقاومت خشک

برای تهیه محلول کیتوسان استفاده شده که تا بیش از ۹۵ درصد استیل‌زدایی شده بود، مقدار ۱ g از پودر کیتوسان در ۱۰۰ mL اسید استیک ۰/۱ مولار ریخته شد و سپس به کمک دستگاه تکان‌دهنده انکوباتور به مدت ۸ h در دمای ۲۲°C با سرعت ۱۸۰ rpm به هم خورد تا تمام کیتوسان حل شده و محلول گرانبو، شفاف و طلایی رنگ کیتوسان به‌دست آید. با توجه به غلظت مواد موجود در محلول‌های تهیه‌شده، مقدار مناسب و مورد نیاز برای هر کاغذ دست‌ساز با روش حجم‌سنجی معین و به حالت محلول به تعلیق خمیرکاغذ با مقدار خشکی ۴ درصد اضافه شد. پس از افزودن محلول پلیمرها به تعلیق خمیرکاغذ و سپری‌شدن زمان ۵ min، تعلیق

جدول ۳- نتایج حاصل از خمیرسازی باگاس استخراج‌نشده و پیش‌استخراج‌شده در شرایط مختلف.

شاخص مقاومت ترکیدگی (kPa.m <sup>2</sup> /g)	شاخص مقاومت کششی (N.m/g)	خواص نوری پس از توالی DED		بازده (%)	عدد کاپا	بازده غربال (%)	قلیابیت فعال (%)	نوع ماده اولیه
		روشنی (ISO%)	زردشدگی					
۲/۸۷	۴۹/۲۸	۸۳/۶۵	۱/۴۹	۰/۸۳	۲۱/۵۳	۵۳/۸۳	۱۵*	باگاس استخراج‌نشده
۲/۶۳	۴۲/۴۶	۸۵/۳۱	۱/۱۶	۰/۵۸	۱۹/۶۸	۵۵/۹۹	۱۵**	باگاس استخراج‌شده
						(۴۸/۷۲)***		

\* میانگین ۲ تکرار، \*\* میانگین ۳ تکرار و \*\*\* بازده نسبت به باگاس اولیه استخراج‌نشده است.

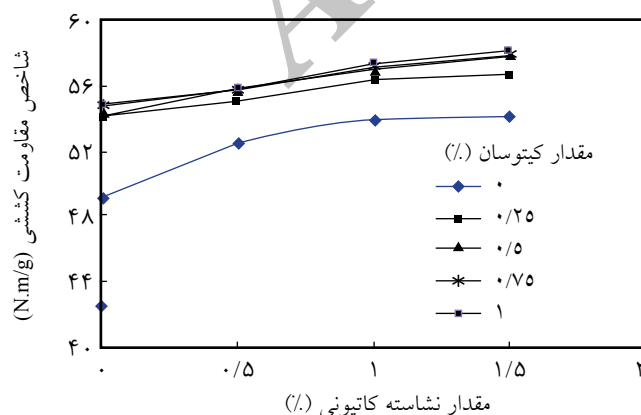
## نتایج و بحث

سریع‌تر می‌کند که نتیجه آن تخریب کمتر کربوهیدرات‌ها و بازده بیشتر است [۵]. بازده کلی (محاسبه شده بر مبنای باگاس اولیه - اعداد بازده داخل پرانتز) حاصل از باگاس استخراج‌شده کمتر از بازده تهیه خمیر کاغذ از باگاس استخراج‌نشده است. این بدان معنی است، استخراج همی سلولوزها سبب کاهش مقدار تولید خمیر کاغذ از یک مقدار مشخص باگاس می‌شود. از سوی دیگر، روشنی خمیر کاغذ رنگ‌بری شده حاصل از باگاس استخراج‌شده بیشتر است. ولی، شاخص زردی خمیرهای رنگ‌بری شده حاصل از باگاس استخراج‌شده کمتر است که می‌تواند به علت لیگنین کمتر در خمیر قهوه‌ای و رنگ‌بری کارآمدتر خمیر کاغذ اولیه باشد. مقاومت کششی و ترکیدگی کاغذهای حاصل از باگاس استخراج‌شده کمتر از کاغذهای حاصل از باگاس استخراج‌نشده است. اختلاف مقاومت‌ها در حد ۱۵-۱۰ درصد است که علت آن حذف بخشی از همی سلولوزها در جریان استخراج است که اثر نامطلوبی بر مقاومت‌های کاغذ حاصل داشته است. نتایج مشابهی که نشان‌دهنده کاهش مقاومت‌های کاغذ در اثر استخراج همی سلولوزها در حد ۱۵-۱۰ درصد در سایر مطالعات روی باگاس [۱۴، ۱۵]، چوب صنوبر [۵] و کاه گندم [۷] نیز گزارش شده است.

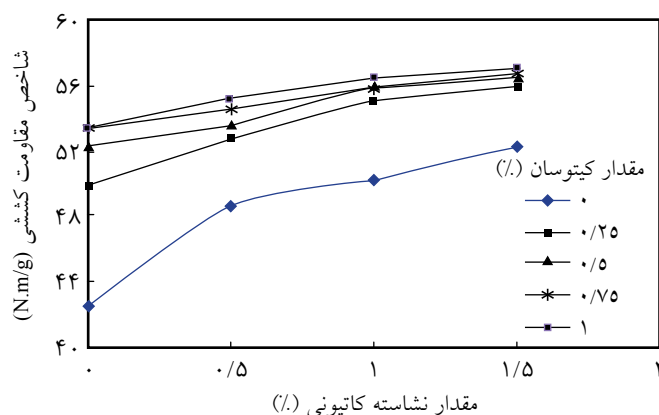
نتایج حاصل از تکرارهای مختلف استخراج همی سلولوزهای باگاس در شرایط استفاده شده در جدول ۲ آمده است. نتایج استخراج نشان می‌دهد، تکرارپذیری فرایند استخراج مطلوب است و نتایج مشابهی در تکرارهای مختلف حاصل شده است. با توجه به بازده استخراج و مقدار همی سلولوزهای باگاس اولیه که حدود ۳۰ درصد وزنی باگاس را تشکیل می‌دهد [۴]، می‌توان گفت که حدود ۵۰-۴۰٪ از همی سلولوزهای باگاس با این عمل‌آوری استخراج شده‌اند.

## نتایج تهیه خمیر کاغذسازی

برای تعیین شرایط بهینه در مرحله تولید خمیر کاغذ، تهیه خمیر کاغذ با قلیابیت ۱۵ درصد انجام شد که نتایج تهیه خمیر کاغذسازی در جدول ۳ آمده است. نتایج نشان می‌دهد، پیش‌استخراج همی سلولوزها سبب تولید خمیر کاغذی با عدد کاپای کمتر و بازده بیشتری می‌شود. بازده بیشتر و عدد کاپای کمتر به دلیل حذف بخشی از لیگنین و همی سلولوزها در فرایند پیش‌استخراج است که سبب تغییراتی در واکنش‌پذیری و تخلخل باگاس شده و لیگنین‌زدایی را آسان‌تر و

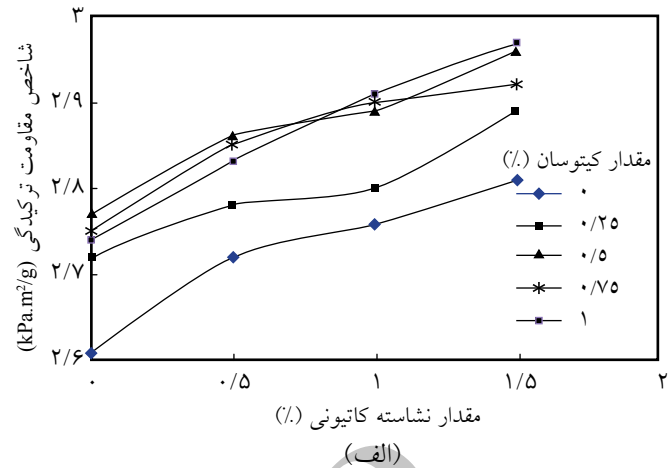
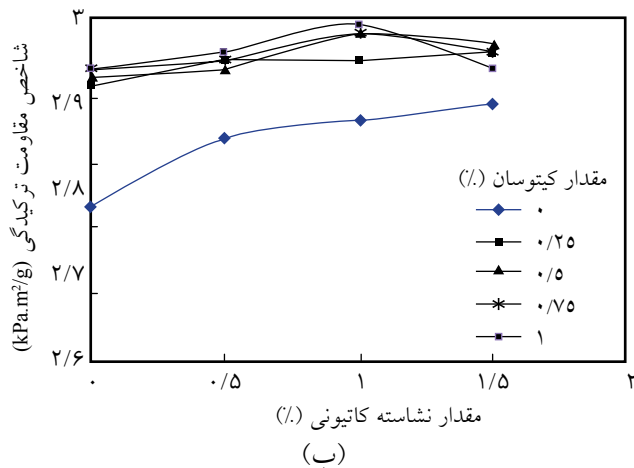


(ب)



(الف)

شکل ۱- اثر نشاسته کاتیونی و کیتوسان بر شاخص مقاومت کششی کاغذ حاصل از باگاس: (الف) پیش‌استخراج‌شده و (ب) عمل‌آوری نشده.

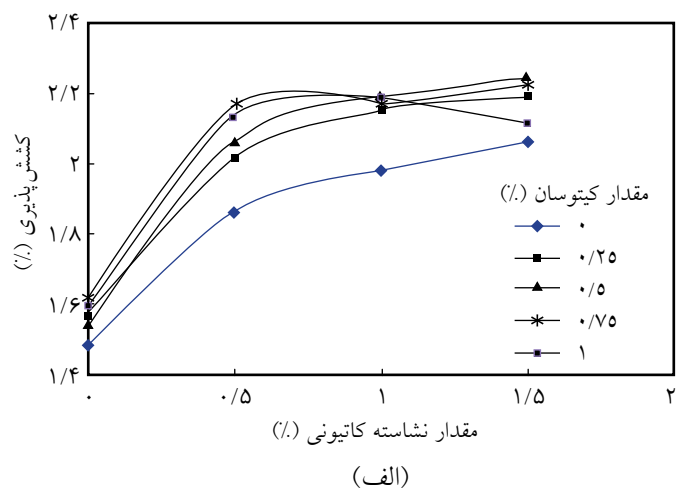
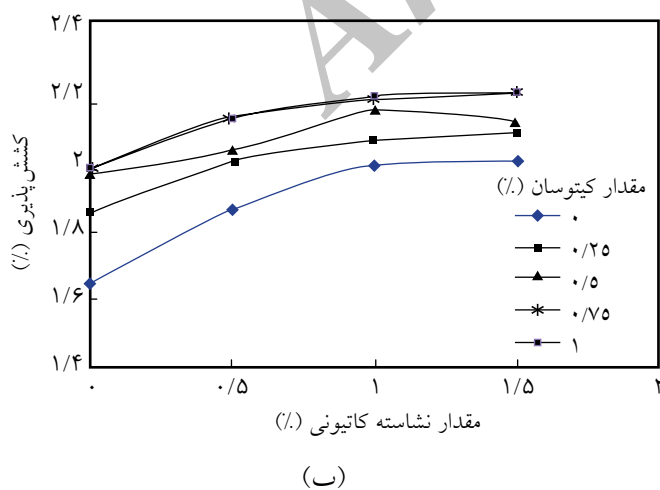


شکل ۲- اثر نشاسته کاتیونی و کیتوسان بر شاخص مقاومت ترکیبگی کاغذ حاصل از باگاس: (الف) پیش‌استخراج شده و (ب) عمل‌آوری نشده.

روند تغییرات مقاومت‌ها در کاغذهای حاصل از باگاس پیش‌استخراج شده و باگاس پیش‌استخراج نشده متفاوت است. در خمیر کاغذهای حاصل از باگاس پیش‌استخراج شده، مقاومت اولیه به دلیل حذف همی سلولوزها کمتر است و روند افزایش مقاومت کششی در اثر افزایش مقدار نشاسته کاتیونی و کیتوسان شدیدتر از خمیر کاغذهای حاصل از باگاس پیش‌استخراج نشده است و با کاربرد بیشتر پلیمر مقاومت خشک، مقاومت کششی یکسانی در هر دو نوع کاغذ به دست می‌آید. به عبارت دیگر، در اثر افزودن پلیمرهای مقاومت خشک، کاهش مقاومت ناشی از استخراج همی سلولوزها جبران شده و کاغذهای حاصل تفاوت معنی‌داری در مقاومت کششی ندارند. مطالعات پیشین نشان داده‌اند، حذف همی سلولوزها اثر معنی‌داری بر شارژ سطحی (پتانسیل زتا) الیاف خمیر کاغذ حاصل ندارد [۱۶، ۱۷]. این موضوع می‌تواند به این دلیل باشد که غلظت همی سلولوزها در

### اثر پلیمرهای مقاومت خشک بر مقاومت‌های کاغذ

نتایج حاصل از کاربرد نشاسته کاتیونی بر مقاومت کششی کاغذهای حاصل از باگاس استخراج‌نشده و باگاس استخراج‌شده در شکل ۱ نشان داده شده است. مشاهده می‌شود، با افزایش مقدار کاربرد نشاسته کاتیونی، مقاومت کششی بیشتر می‌شود و مقدار افزایش در مقادیر کمتر نشاسته کاتیونی بیشتر است. با توجه به اینکه بهبود مقاومت‌های کاغذ در اثر پلیمرهای مقاومت خشک با مقدار پلیمر جذب شده متناسب است [۱۵]، افزایش شدیدتر مقاومت کاغذ در مقادیر کمتر به این دلیل است که در مقادیر کمتر نشاسته، تمام یا بخش زیادی از نشاسته افزوده شده جذب سطح الیاف می‌شود. ولی، با افزایش مقدار نشاسته، به علت اشباع شدن سطح الیاف، نسبت کمتری از پلیمر استفاده شده جذب الیاف می‌شود. همچنین، روند مشابهی با افزایش کاربرد مقدار کیتوسان دیده می‌شود. همان‌طور که مشاهده می‌شود،



شکل ۳- اثر نشاسته کاتیونی و کیتوسان بر کشش‌پذیری کاغذ حاصل از باگاس: (الف) پیش‌استخراج شده و (ب) عمل‌آوری نشده.

جدول ۴- معادلات رگرسیونی اثر مقدار نشاسته کاتیونی و کیتوسان بر مقاومت‌های کاغذ (Z) پارامتر شاخص، X درصد نشاسته و Y درصد کیتوسان).

خمیر کاغذ		ویژگی بررسی شده
پیش‌استخراج نشده	پیش‌استخراج شده	
$Z = 52.0 + 2.53X + 3.41Y$	$Z = 48.1 + 3.07X + 6.19Y$	شاخص مقاومت کششی
$Z = 2.86 + 0.0377X + 0.0857Y$	$Z = 2.66 + 0.127X + 0.131Y$	شاخص مقاومت ترکیب‌دگی
$Z = 1.79 + 0.155X + 0.251Y$	$Z = 1.62 + 0.385X + 0.144Y$	درصد کشش‌پذیری

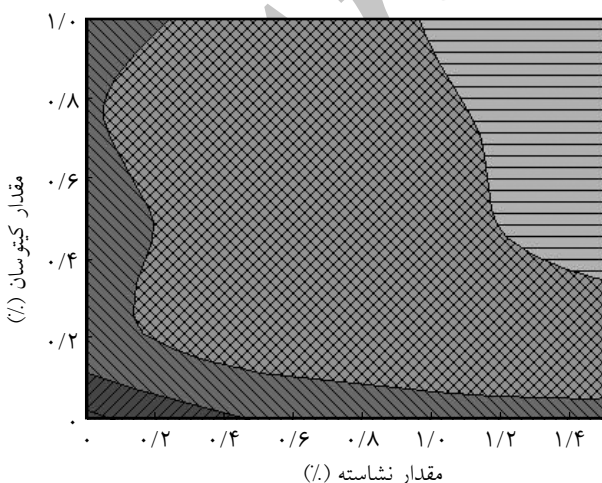
بیشتری دارند. در کاغذهایی که در شرایط مشابه خشک می‌شوند (مانند کاغذ دست‌ساز آزمایشگاهی)، کشش‌پذیری به مقاومت ذاتی الیاف و مقاومت اتصال بین آنها بستگی دارد. هرچه اتصال بهتری ایجاد شود، امکان بهره‌مندی از مقاومت ذاتی الیاف که بیشتر از کشش‌پذیری کاغذ است، بیشتر می‌شود [۱۹]. به‌طور کلی، عواملی مانند بهبود اتصال الیاف ناشی از کاربرد الیاف بلند و الیاف بکر، پرس تر و پلیمرهای مقاومت خشک سبب بهبود مقاومت کششی و کشش‌پذیری کاغذ می‌شوند.

در شکل ۳، اثر پلیمرهای مقاومت خشک مطالعه شده بر کشش‌پذیری کاغذهای تهیه‌شده نشان داده شده است. ملاحظه می‌شود، کشش‌پذیری کاغذهای تهیه‌شده در اثر استفاده از این پلیمرها افزایش یافته است و با کشش‌پذیری کاغذهای تهیه‌شده از باگاس عمل‌آوری نشده برابر شده است. این موضوع ناشی از بهبود اتصالات در اثر پلیمرهای مقاومت خشک است.

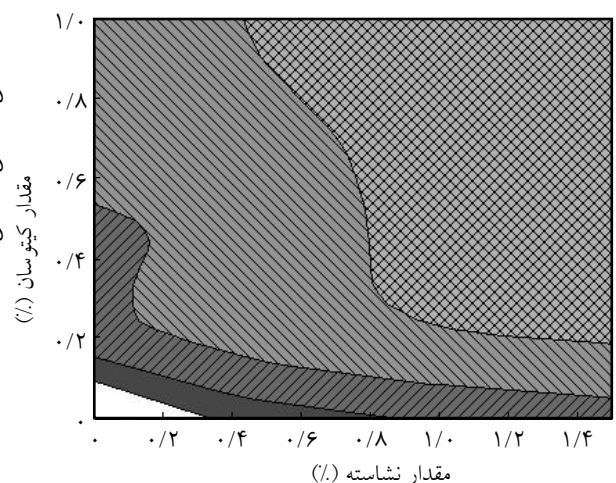
معادلات رگرسیونی اثر مقدار نشاسته کاتیونی و کیتوسان بر مقاومت‌های کاغذ در جدول ۴ آمده است. با توجه به این

سطح الیاف کم است و بخش زیادی از همی سلولوز استخراج شده از توده داخلی الیاف خارج می‌شود. بنابراین شارژ سطحی الیاف استخراج‌شده و در نتیجه قابلیت جذب الکتروستاتیکی آنها همانند شارژ و جذب سطحی الیاف استخراج‌نشده خواهد بود. حذف کلی یا جزئی همی سلولوزها از مواد لیگنوسلولوزی نیز سبب می‌شود که الیاف خمیر کاغذ حاصل از مواد اولیه پیش‌استخراج‌شده تخلخل بیشتری داشته باشند. بنابراین، پلیمرهای مقاومت خشک مانند نشاسته کاتیونی می‌توانند به مقدار بیشتری در خلل و فرج این الیاف نفوذ کنند و ماندگار شوند [۱۸]. اتصال و ماندگاری بیشتر پلیمرهای مقاومت خشک سبب افزایش بیشتر مقاومت کششی کاغذ در حد کاغذهای حاوی همی سلولوزها می‌شود. روند مشابهی درباره مقاومت ترکیب‌دگی کاغذهای حاصل دیده می‌شود (شکل ۲).

درصد کشش‌پذیری که معیاری از مقدار کشش کاغذ پیش از گسیختگی است، برای کاغذهای ساخته‌شده در ماشین کاغذ، به مقدار زیادی به مهار کاغذ در جریان خشک‌شدن بستگی دارد. به‌طوری که کاغذهایی که بدون مهار خشک می‌شوند، کشش‌پذیری

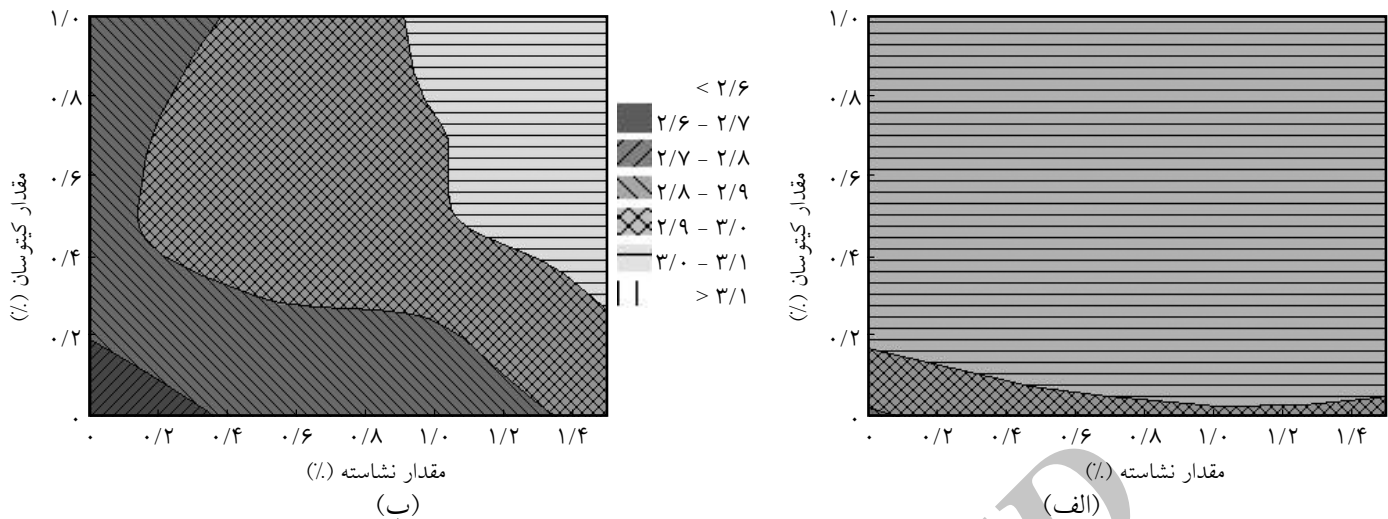


(ب)



(الف)

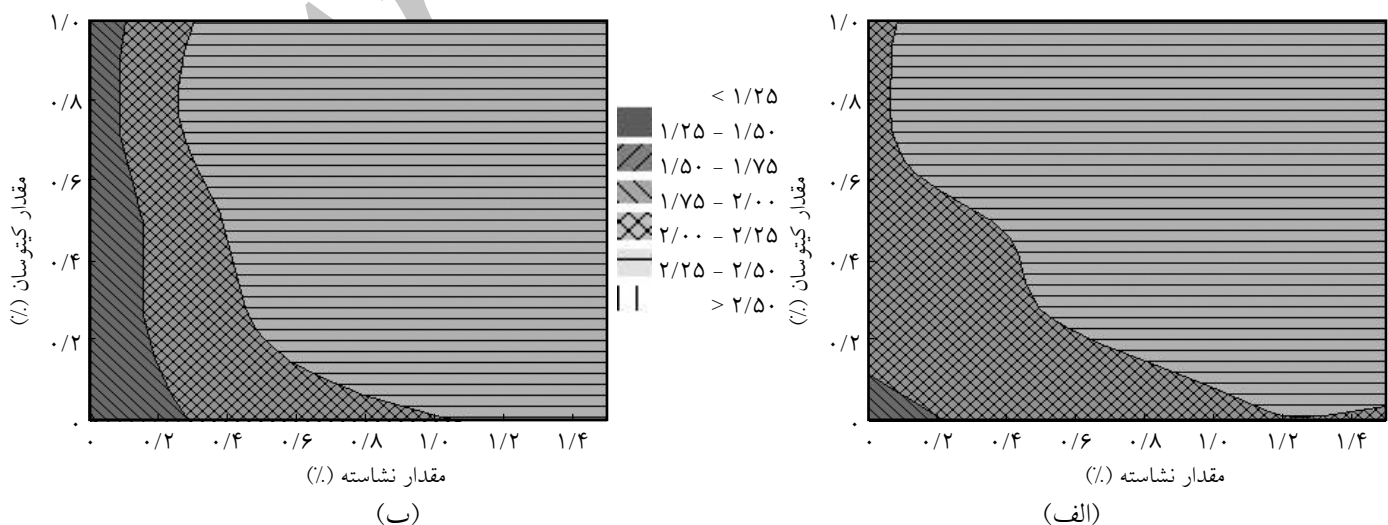
شکل ۴- اثر متقابل نشاسته کاتیونی و کیتوسان بر شاخص مقاومت کششی کاغذ حاصل از باگاس: (الف) پیش‌استخراج‌شده و (ب) عمل‌آوری نشده.



شکل ۵- اثر متقابل نشاسته کاتیونی و کیتوسان بر شاخص مقاومت ترکیدیگی حاصل از باگاس: (الف) پیش‌استخراج شده و (ب) عمل‌آوری نشده.

درباره مقاومت کششی (شکل ۴) ملاحظه می‌شود، در مقداری مشخص از کاربرد پلیمرها، مقاومت کششی کاغذهای حاصل از باگاس عمل‌آوری نشده بیشتر است که به دلیل بیشتر بودن مقدار اولیه مقاومت کششی در این کاغذهاست. برای رسیدن به سطح یکسان مقاومت کششی در هر دو کاغذ، باید مقدار پلیمر مقاومت خشک بیشتری در کاغذهای حاصل از باگاس پیش‌استخراج شده استفاده شود. این بدان معنی است که جبران کاهش مقاومت کششی کاغذهای ساخته شده در سامانه زیست‌پالایشگاه با استفاده از مقدار بیشتری افزودنی‌های مقاومت خشک امکان‌پذیر است. این موضوع مانعی برای تبدیل واحدهای تولیدکننده خمیر کاغذ به یک واحد زیست‌پالایشگاه نیست. درباره مقاومت ترکیدیگی (شکل ۵) نیز مشاهده می‌شود، برای رسیدن به مقاومت ترکیدیگی برابر، باید

معادلات مشاهده می‌شود، مقاومت کششی کاغذ حاصل از باگاس پیش‌استخراج شده کمتر از کاغذ حاصل از باگاس عمل‌آوری نشده است (عدد ثابت معادله). همچنین، اثر کیتوسان بر افزایش مقاومت کاغذها بیشتر از نشاسته کاتیونی است که این موضوع می‌تواند به دلیل ماندگاری بیشتر کیتوسان باشد، چرا که کیتوسان در شرایط استفاده شده (حدود pH ۷-۶/۵) کاتیونی بوده و جاذبه الکتروستاتیکی زیادی برای ماندگاری در سطح الیاف دارد. درصد افزایش مقاومت کششی ناشی از کاربرد هر دو پلیمر مقاومت خشک نیز در کاغذهای حاصل از باگاس استخراج شده بیشتر است. نتایج مشابهی برای مقاومت ترکیدیگی و کشش‌پذیری هم مشاهده می‌شود. اثر متقابل نشاسته کاتیونی و کیتوسان بر خواص مقاومتی مورد مطالعه در شکل‌های ۴ تا ۶ نشان داده شده است.



شکل ۶- اثر متقابل نشاسته کاتیونی و کیتوسان بر کششی‌پذیری کاغذ حاصل از باگاس: (الف) پیش‌استخراج شده و (ب) عمل‌آوری نشده.

از باگاس پیش‌استخراج نشده می‌شود. اثر پلیمرهای مقاومت خشک نشاسته کاتیونی و کیتوسان نشان داد، در مقادیر یکسان کاربرد، درصد افزایش مقاومت‌های کاغذهای ساخته شده از باگاس استخراج شده بیشتر از باگاس عمل‌آوری نشده است. این موضوع سبب می‌شود تا در حالت استفاده از مقادیر مناسب نشاسته کاتیونی و کیتوسان، کاهش مقاومت‌های کاغذ ناشی از استخراج همی سلولوزها جبران شود. بنابراین، در صورت تبدیل واحدهای تهیه‌کننده خمیر کاغذ شیمیایی از باگاس به یک واحد زیست‌پالایشگاه، کاهش مقاومت‌های کاغذ ناشی از پیش‌استخراج همی سلولوزها، با استفاده از مقادیر و نوع مناسب پلیمرهای مقاومت خشک جبران شدنی است و مانعی بر این تغییر فناوری نیست.

### قدردانی

از صندوق حمایت از پژوهشگران و فناوران کشور که شرایط انجام این پژوهش را در قالب طرح با قرارداد به شماره ۸۹۰۰۰۸۷۳ فراهم کردند قدردانی می‌شود.

### مراجع

- Enayati A.A., Hosseinaei O., Wang S., Mirshokraie S.A., and Tajvidi M., Thermal Properties of Wood-Plastic Composites Prepared from Hemicellulose-Extracted Wood Flour, *Iran. J. Polym. Sci. Technol. (In Persian)*, **23**, 171-181, 2009.
- Hamzeh Y., Ashori A., Mirzaei B., Abdulkhani A., and Molaei M., Current and Potential Capabilities of Biomass for Green Energy in Iran, *Renew. Sustainable Energy Rev.*, **15**, 4934-4938, 2011.
- Yoon S.H. and van Heiningen A., Kraft Pulping and Papermaking Properties of Hot-Water Pre-Extracted Loblolly Pine in an Integrated Forest Products Biorefinery, *Tappi J.*, **7**, 22-27, 2008.
- Lei Y, Liu S., Li J., and Sun R., Effect of Hot-Water Extraction on Alkaline Pulping of Bagasse, *Biotechnol. Adv.*, **10**, 10-16, 2010.
- Lu H., Hu R., Ward A., Amidon T.E., Liang B., and Liu S., Hot-water Extraction Its Effect on Soda Pulping of Aspen Wood Chips, *Biomass Bioenergy*, **39**, 5-13, 2012.
- Hasan A., Bujanovic B., and Amidon, T.E., Strength Properties of Kraft Pulp Produced from Hot-Water Extracted Wood Chips within the Biorefinery, *J. Biobased Mater. Bioenergy*, **4**, 46-52, 2010.
- Sarwar Jahan M., Shamsuzzaman M., Mostafizur Rahman M., Iqbal Moeiz S.M., and Ni Y., Effect of Pre-extraction on Soda-anthraquinone (AQ) Pulping of Rice Straw, *Ind. Crop. Product.*, **37**, 164-169, 2012.
- Hubbe M. and Lucia L., Love, Hate, and Biomaterials, *BioResources*, **2**, 534-535, 2007.
- Ren J-L., Peng F., Sun R-C., and Kennedy J.F., Influence of Hemicellulosic Derivatives on the Sulfate Kraft Pulp Strength, *Carbohydr. Polym.*, **75**, 338-342, 2009.
- Jalali Torshizi H., Mirshokraie S.A., Faezipour M., Hamzeh Y., and Resalati H., Application of Galbanum Gum Polysaccharide as a Natural Polymer to Improve Dry Strength Properties of Recycled Papers Obtained from Old Corrugated Cartons, *Iran. J. Polym. Sci. Technol. (In Persian)*, **23**, 345-353, 2010.
- Gong Ch., Hasan A., Bujanovic B.M., and Amidon T.E., Novel Blend of Biorenewable Wet-end Paper Agents, *Tappi J.*, **11**, 40-48, 2012.
- Myllytie P., Salmi J., and Laine J., The Influence of pH on the Adsorption and Interaction of Chitosan with Cellulose, *BioResources*, **4**, 1647-1662, 2009.
- Hamzeh Y., Abyaz A., Mirfatahi M., and Abdokhani, A., Appli-

از سطوح بیشتر پلیمر استفاده کرد، طوری که حداقل کاربرد ۰/۲۵ درصد کیتوسان به همراه ۱/۵ درصد نشاسته کاتیونی ضروری است. در اثر کاربرد پلیمرهای مورد استفاده، کشش‌پذیری کاغذهای تهیه شده از هر دو نوع باگاس تقریباً یکسان شده و اختلاف بین آنها در مقادیر یکسان پلیمرها ناچیز است (شکل ۶).

### نتیجه‌گیری

در این پژوهش، اثر پیش‌استخراج بخشی از همی سلولوزهای باگاس با آب داغ (دمای ۱۳۵°C به مدت ۳۵ min) بر خواص خمیر کاغذ قلیایی حاصل از باگاس بررسی شد. در ادامه، اثر مقادیر مختلف نشاسته کاتیونی و کیتوسان به عنوان پلیمرهای مقاومت خشک برای جبران و بهبود خواص مقاومتی خمیر کاغذهای تهیه شده آزمون شد. نتایج نشان داد، استخراج بخشی از همی سلولوزهای باگاس سبب کاهش بازده کلی خمیر کاغذ در حد ۵ درصد و مقاومت‌های کاغذ تولیدی در حد ۱۵-۱۰ درصد در مقایسه با خمیر کاغذ تولید شده



- cation of Surfactants for Improving Soda Pulping of Bagasse, *J. Chem. Chem. Eng. Iran (In Persian)*, **29**, 85-90, 2011.
14. Sarwar Jahan M., Saeed A., Ni Y., and He Z., Pre-extraction and Its Impact on the Alkaline Pulping of Bagasse, *J. Biobased Mater. Bioenergy*, **3**, 380-385, 2009.
15. Rudi H., Ebrahimi Gh., Hamzeh Y., Behrooz R., and Mohammad Nazhad M., The Effect of Degree of Substitution of Cationic Starch on Multi-layer Formation of Ionic Starches in Recycled Fibers, *Iran. J. Polym. Sci. Technol. (In Persian)*, **25**, 11-18, 2012.
16. Duarte G.V., Ramarao B.V., Amidon T.E., and Ferreira P.T., Effect of Hot Water Extraction on Hardwood Kraft Pulp Fibers (Acer Saccharum, Sugar Maple), *Ind. Eng. Chem. Res.*, **50**, 9949-9959, 2011.
17. Lyytikäinen K., Saukkonen E., Kajanto I., and Käyhkö J., The Effect of Hemicellulose Extraction on Fiber Properties and Retention Behavior of Kraft Pulp Fibers, *BioResources*, **6**, 219-231, 2011.
18. Kontturi K.S., Tammelin T., Johansson L-S., and Stenius P., Adsorption of Cationic Starch on Cellulose Studied by QCM-D, *Langmuir*, **24**, 4743-4749, 2008.
19. Seth R.S., Understanding Sheet Extensibility, *Pul. Pap. Can.*, **106**, T31-T38, 2005.

Archive of SID