

# Hemicelluloses: Effects, Types and Their Applications as Dry Strength Polymers of Paper

Ali Asghar Tatari\* and Farhad Zeynali

Department of Pulp and Paper industry, Faculty of Wood and Paper Engineering,  
University of Agriculture Science & Natural Resources, Gorgan, Iran

Received: 6 September 2013 , Accepted: 25 January 2014

## Abstract

Hemicelluloses are the second major compounds in the chemical structure of wooden fibers. The same with cellulose, hemicelluloses are carbohydrates, but unlike cellulose, which is a homopolysaccharide, hemicelluloses are heteropolysaccharides. The use of strength additives in papermaking process is important to ensure that the products are suitable for their specific purpose. Nowadays, strength additives are developed to produce papers with specific strength and surface properties, by minimum quantity of cellulosic fibers. More reasons in using hemicelluloses, as dry strength additives, are due to many free hydrogen and hydroxyl groups available in their chemical structure. When a hemicellulose is adsorbed onto the cellulose fibers, these free hydrogen and hydroxyl groups provide more hydrogen bonding sites. The more hydrogen bonding sites available on the cellulose fibers, the more tightly bonded the paper web is obtained. Hemicelluloses are naturally interwoven in woods' micromolecular structure, which indicates a strong relationship between them and cellulose. Xyloglucans and galactomannans are examples of hemicelluloses that can be accumulated in seeds of many plants. Guar gum and starch are polysaccharides currently used as wet-end additives in papermaking. In this study, the hemicelluloses: their effects, types and their applications in papermaking are investigated.

## Key Words

strength additives,  
hemicellulose,  
starch,  
dry strength,  
chemical structure

(\*) To whom correspondence should be addressed.  
E-mail: asghar.tatari2007@yahoo.com

## همی سلولوزها: آثار، انواع و کاربردهای آنها به عنوان پلیمرهای مقاومت خشک کاغذ

علی اصغر تاتاری\*، فرهاد زینلی

گرگان، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، دانشکده مهندسی چوب و کاغذ، گروه صنایع خمیر و کاغذ

دریافت: ۱۳۹۲/۶/۱۵، پذیرش: ۱۳۹۲/۱۱/۵

دومین عنصر اصلی در ساختار شیمیایی الیاف چوبی، همی سلولوز است. همی سلولوزها همانند سلولوز کربوهیدرات هستند، اما برخلاف سلولوز که هوموپلی ساکارید است، همی سلولوزها هتروپلی ساکارید به شمار می روند. استفاده از افزودنی‌ها برای افزایش مقاومت کاغذ در فرایند ساخت کاغذ بسیار مهم است، زیرا اطمینان حاصل می شود که محصول تولیدی برای هدف خاص خود مناسب است. امروزه افزایش مقاومت، برای تولید کاغذ با استحکام و خواص سطح مناسب و با استفاده از حداقل مقدار الیاف سلولوزی انجام می شود. دلایل زیادی برای استفاده از همی سلولوزها به عنوان مواد افزودنی مقاومت خشک کاغذ وجود دارد. وجود هیدروژن آزاد و گروه‌های هیدروکسیل در ساختار شیمیایی آنها موجب می شود تا زمانی که همی سلولوزها روی الیاف سلولوزی جذب می شوند، گروه‌های هیدروکسیل و هیدروژن آزاد زیادی در دسترس موقعیت‌های چسبندگی قرار گیرند. در نتیجه این واکنش، کاغذ محکم تر می شود. همی سلولوزها به طور طبیعی در ساختار میکرومولکولی چوب وجود دارند که نشان می دهد، ارتباط قوی بین همی سلولوزها و سلولوز وجود دارد. زایلولوکانها و گالاکتومانانها نمونه‌هایی از همی سلولوزها هستند که می توانند در بذر بسیاری از گیاهان انباشته شوند. در حال حاضر، صمغ گوار و نشاسته پلی ساکاریدهایی هستند که به عنوان مواد افزودنی پایانه تر در کاغذسازی استفاده می شوند. از این رو، در مقاله حاضر به بررسی همی سلولوزها، آثار، انواع و کاربردهای آنها در کاغذسازی پرداخته می شود.

بسیار ش

فصلنامه علمی - ترویجی

سال سوم، شماره ۴،

صفحه ۲۵-۱۳، ۱۳۹۲

ISSN: 2252-0449

### چکیده



علی اصغر تاتاری



فرهاد زینلی

### واژگان کلیدی

افزودنی‌های مقاومت، همی سلولوز، نشاسته، مقاومت خشک، ساختار شیمیایی

## مقدمه

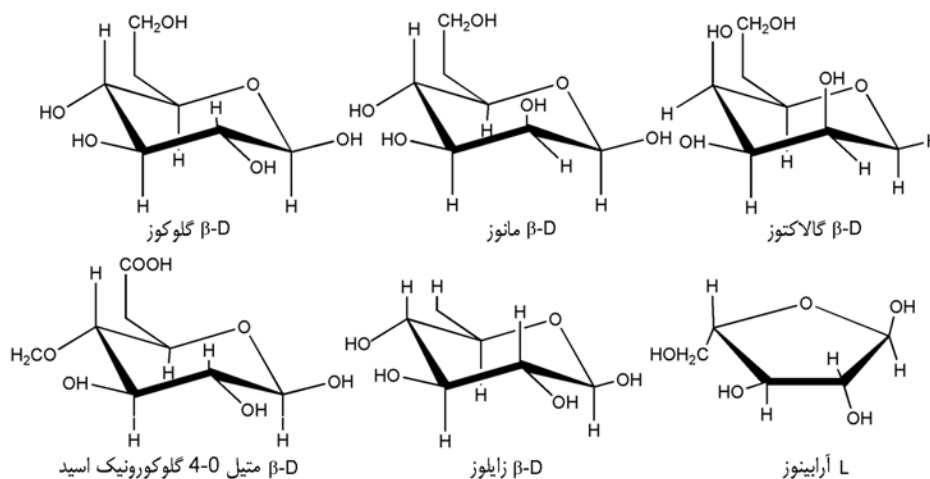
ابتدا عقیده بر این بود که همی سلولوزها ترکیب‌های واسطه‌ای در زیست‌سنتز سلولوز هستند. اما امروزه معلوم شده است، این ترکیبات از جمله پلی‌ساکاریدهای ناهمگن بوده و مسیر زیست‌سنتز آنها با سلولوز متفاوت است. برخلاف سلولوز که هوموپلی‌ساکارید است، همی سلولوزها هتروپلی‌ساکارید به‌شمار می‌روند. همی سلولوزها نیز همچون سلولوز به عنوان ماده ساختمانی در دیواره سلول عمل می‌کنند [۱]. همی سلولوز می‌تواند در تولید محصولات با ارزش افزوده زیاد مثل الکل‌ها، کربوکسیلیک اسیدها، لاکتون‌ها و استرها اقتصادی باشد [۲]. اخیراً فناوری‌های زیادی برای جداسازی همی سلولوز از مواد چوبی مطالعه شده است [۳،۴]. Lyytikainen و همکاران اعلام کردند، جداسازی همی سلولوز از چپیس چوب یا خمیر رنگبری شده می‌تواند اثر معنی‌داری بر ویژگی‌های الیاف سلولوزی داشته باشد [۲].

در دنیای امروز، چوب ماده اولیه سلولوزی اصلی در صنایع خمیر و کاغذ است که تقریباً به‌طور کامل به خمیر کاغذ و کاغذ تبدیل می‌شود. از سلولوز، همی سلولوز، لیگنین و مواد استخراجی پس از عمل‌آوری‌های شیمیایی مختلف، انواع مواد شیمیایی به دست می‌آید که هر کدام کاربردهای متنوع و ویژه خود را دارند یا به عنوان ماده اولیه در خط تولید دیگری به کار گرفته می‌شوند. برای مثال، از سلولوز جدا شده از فرایند اسیدی تهیه خمیر کاغذ برای ساخت مشتقات سلولوز استفاده می‌شود [۵]. با توجه به زیرساخت‌های موجود در صنایع تهیه خمیر شیمیایی، این صنایع در حال تبدیل شدن به زیست‌پالایشگاه‌ها هستند که هم مواد شیمیایی با ارزش افزوده زیاد و هم خمیر کاغذ تولید

می‌کنند. این روش عمدتاً بر مبنای پیش‌استخراج همی سلولوزها پیش از خمیرسازی مواد لیگنوسلولوزی است. با توجه به نقش همی سلولوزها در خمیر کاغذسازی و خواص کاغذ، استخراج آنها از مواد اولیه لیگنوسلولوزی و استفاده از این ترکیبات برای تولید محصولات جانبی، آثار زیادی بر پارامترهای فنی فرایند تولید و محصول نهایی خواهد داشت [۶]. بنابراین زیست‌پالایش، استفاده از فناوری‌های پیشرفته برای تبدیل موثر بخش غیرسلولوزی (لیگنین و همی سلولوز)، زیست‌توده چوبی به سوخت‌های مایع و مواد شیمیایی ارزشمند است. زیست‌پالایش امکان تقویت جنبه اقتصادی در صنایع چوب و کاغذ را فراهم کرده است [۵]. شکل ۱ واحدهای مونومری همی سلولوز را نشان می‌دهد [۷].

## روش‌های استخراج همی سلولوزها

همی سلولوزها را به‌وسیله استخراج می‌توان از چوب، هولوسلولوز یا خمیر کاغذ جدا کرد. دی‌متیل سولفوکسید، به‌ویژه برای استخراج زایلان از یک هولوسلولوز، حلال مناسب و مفیدی است. اگرچه با این روش فقط قسمتی از زایلان را می‌توان استخراج کرد، اما مزیت آن در این است که هیچ‌گونه تغییر شیمیایی روی نمی‌دهد. با استفاده از محلول بازها (هیدروکسید سدیم یا پتاسیم هیدروکسید)، مقدار بیشتری زایلان می‌توان استخراج کرد. افزودن سدیم بورات به محلول قلبایی، انحلال گالاکتوگلوکومانان‌ها و گلوکومانان‌ها را تسهیل می‌کند. اما عیب روش استخراج قلبایی این است که همی سلولوزها کاملاً استیل‌زدایی می‌شوند و تغییرات شیمیایی در آنها روی می‌دهد. گلوکومانان‌ها در مقایسه با محلول پتاسیم هیدروکسید، به مقدار بیشتر و موثرتری با هیدروکسید سدیم



شکل ۱- واحدهای مونومری همی سلولوز [۷].

استخراج می شوند [۱].

ابيض، از دو روش خود آبکافت با آب داغ در دمای ۱۴۰، ۱۵۵ و ۱۷۰°C به مدت ۱۰، ۲۰ و ۳۰ دقیقه و آبکافت اسیدی با سولفوریک اسید رقیق با غلظت ۱، ۲ و ۴ درصد در دمای ۱۲۰، ۱۴۰ و ۱۶۰°C به مدت ۵، ۱۰ و ۱۵ دقیقه برای استخراج همی سلولوز باگاس استفاده کرد. نتایج نشان داد، استفاده از روش آبکافت در دمای ۱۳۵°C به مدت ۳۰ دقیقه، دمای ۱۷۰°C به مدت ۱۰ دقیقه و روش اسید رقیق با غلظت ۱ درصد در دمای ۱۲۰°C به مدت ۵ و ۱۵ دقیقه بهترین شرایط را از نظر مقدار استخراج همی سلولوزها و بازده کل استخراج دارند [۶].

Qiabi و همکاران، دو فرایند آبکافت همی سلولوز پسماندهای متنوع لیگنوسلولوزی شامل کاه گندم، چوب ذرت، ذرت خوشه‌ای و گل آفتابگردان را با یکدیگر مقایسه کردند. این فرایندها شامل:

۱- آبکافت مستقیم اسیدی و

۲- استخراج قلیایی نرم پس از آبکافت اسیدی بودند.

آنها زایلوز را به عنوان یک قند اصلی در پسماندهای لیگنوسلولوزی مطالعه کردند. نتایج نشان داد، چوب ذرت حاوی بیشترین قند در مقایسه با سایر پسماندهای لیگنوسلولوزی بود. استخراج قلیایی نرم همی سلولوز پس از آبکافت اسیدی منجر به بهترین بازده در مقایسه با بازده حاصل از آبکافت مستقیم اسیدی شد. بدین ترتیب، برای چوب ذرت، بازده زایلوز ۲۷٪ مطابق با نخستین ماده خشک به دست آمده است [۸].

Buchert و همکاران، در بررسی کاربرد زایلانازها در صنعت خمیر و کاغذ به این نتیجه رسیدند، آبکافت آنزیمی همی سلولوزهای زایلان موجب نفوذپذیرتر شدن ساختار الیاف و خروج راحت تر لیگنین باقی مانده از الیاف خمیر کاغذ می شود. آبکافت همی سلولوزهای موجود در لایه‌های داخلی الیاف نیز باعث افزایش و بهبود قابلیت رنگبری می شود [۹].

De Lopez و همکاران، استخراج قلیایی همی سلولوز را به طور جامع پیش از فرایند خمیرسازی سودا - آنتراکینون مجتمع (soda-AQ) انجام دادند. آزمایش‌ها با میانگین‌های مرکزی به طور مرکب طراحی شدند. شناسایی پارامترهای پیش‌استخراج با نسبت‌های هیدروکسید سدیم (بر پایه کاه خشک)، عملیات گرمایی و زمان استخراج برای اهداف مقایسه‌ای انجام شد. همچنین، خمیر سودا- آنتراکینون (soda-AQ pulp) به عنوان نمونه شاهد بود. کاغذهای دست‌ساز از خمیر سودا (soda pulp) ساخته شدند. نتایج حاصل از اندازه‌گیری ویژگی‌های مقاومتی کاغذهای دست‌ساز نشان می‌دهد که امکان بهبود این ویژگی‌ها بواسطه همی سلولوز

گیاهان گندمی وجود دارد [۱۰].

Garcia و همکاران، روشی انتخاب‌پذیر را برای استخراج همی سلولوز از کاه گندم، شامل استخراج قلیایی سرد و جداسازی ثانویه با رسوب دادن با اتانول پیشنهاد کرده‌اند. آنان همی سلولوز را با روش پیشنهادی یاد شده از سلولوز و لیگنین جداسازی کرده و بازده همی سلولوز را با به‌کار بردن دو عامل طراحی شده بهینه سازی کردند. دما بین ۲۰°C تا ۴۰°C، زمان عملیات بین ۳۰ min تا ۶۰ min و غلظت قلیا (بین ۸۰ g/L تا ۱۲۰ g/L) طراحی شد [۱۱]. Obermeier و همکاران، در بررسی انحلال‌پذیری همی سلولوز و لیگنین به وسیله عمل‌آوری قلیایی و ریزموج، موفق به حذف بیش از ۸۰٪ همی سلولوز و ۹۰٪ لیگنین از کاه گندم، بدون تخریب زیاد ساکاریدها و انحلال زیاد سلولوز شدند [۱۲].

### همی سلولوز از زیست توده یا چوب

روش استخراج همی سلولوز از زیست توده چوبی عامل مهمی برای تعیین ساختار شیمیایی همی سلولوزهای استخراج شده است. این ویژگی خواص عملکردی همی سلولوزها استخراج شده را معین می‌کند. برای استفاده کامل از زیست توده، اطلاع از ترکیبات شیمیایی آن ضروری است. ترکیبات شیمیایی زیست توده چوبی را می‌توان با استفاده از استانداردهای تحلیلی تهیه شده توسط آزمایشگاه ملی انرژی‌های تجدیدپذیر (National Renewable Energy Laboratory, NREL) و انجمن فنی صنعت خمیر و کاغذ آمریکا (Technical Association of the Pulp and Paper Industry, TAPPI) اندازه‌گیری کرد. جداسازی همی سلولوزها مطابق با انحلال‌های متفاوت در اسید، قلیا، حلال آب و الکل است. برخی از روش‌های استخراج همی سلولوز که در سال‌های اخیر توسعه یافته‌اند عبارتند از:

- استخراج قلیایی نرم،
- استخراج اسیدی نرم،
- استخراج با حلال (خمیرسازی ارگانوسلو)،
- روش‌های وابسته به آب گرم و
- حلال‌های مایع یونی [۷].

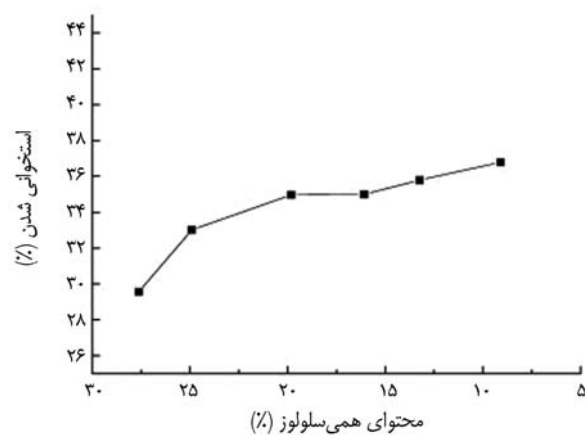
### آثار همی سلولوزها بر ویژگی‌های مکانیکی کاغذ

دومین عنصر ساختاری شیمیایی اصلی در الیاف چوبی، همی سلولوز است. همی سلولوزها همانند سلولوز کربوهیدرات هستند. اما هنگامی که تجزیه شیمیایی می‌شوند، انواع مختلفی از قندها حاصل می‌شود. بسیاری از همی سلولوزها با یک عمل‌آوری

کاغذ مسئله‌ای کاملاً پذیرفته شده است. اگر چه دلایل این مسئله به خوبی شناخته شده نیست. برای مثال، مقاومت کششی کاغذ با مقدار همی سلولوزهای آن ارتباط مستقیم دارد. نظریه‌هایی وجود دارد که بر مبنای آنها، همی سلولوزها در حین عملیات تهیه خمیر و پالایش مکانیکی روی سطوح الیاف جذب شده و به نظر می‌رسد که به پیوند بین الیاف کمک می‌کنند. همچنین، به دلیل ماهیت غیربلوری و آبدوست همی سلولوزها، ممکن است در افزایش واکنش‌پذیری و نیز انعطاف‌پذیری الیاف در حین شکل‌پذیری ورق کاغذ نقش داشته باشند. الیاف پهن‌برگان کوتاه‌تر و دیواره آن ضخیم‌تر از الیاف سوزنی‌برگان بوده و دارای مقادیر بیشتری همی سلولوز نسبت به تراکئیدهای سوزنی‌برگان هستند [۱۴].

### آثار همی سلولوزها بر تولید کاغذ

- بهبود خواص مکانیکی کاغذ،
  - کاهش مصرف افزودنی‌های مقاومت خشک (نظیر نشاسته کاتیونی)،
  - کاهش زمان پخت ماده اولیه و تولید کاغذ،
  - کاهش افت ویژگی‌های کاغذ،
  - کاهش استخوانی شدن الیاف و
  - افزایش بازده تولید خمیر کاغذ [۱۵].
- Wan و همکاران، در بررسی اثر حذف همی سلولوز بر ساختار الیاف سلولوز و ویژگی‌های بازیافت خمیر اکالیپتوس به این نتیجه رسیدند که کاهش همی سلولوز موجود در الیاف باعث افزایش پدیده استخوانی شدن آنها می‌شود که در شکل‌های ۲ و ۳ کاملاً مشهود است [۱۶].

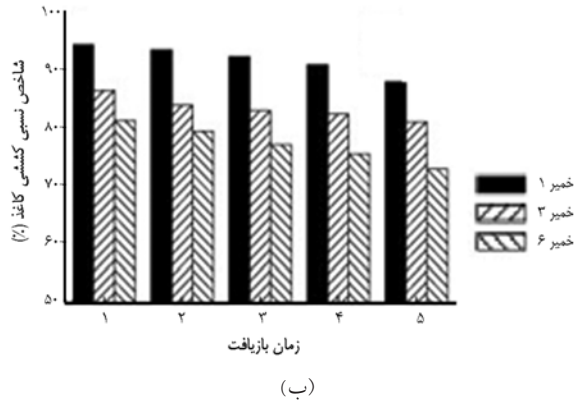


شکل ۲- اثر همی سلولوز بر استخوانی شدن خمیر کرافت اکالیپتوس پس از یک مرحله خشک شدن [۱۶].

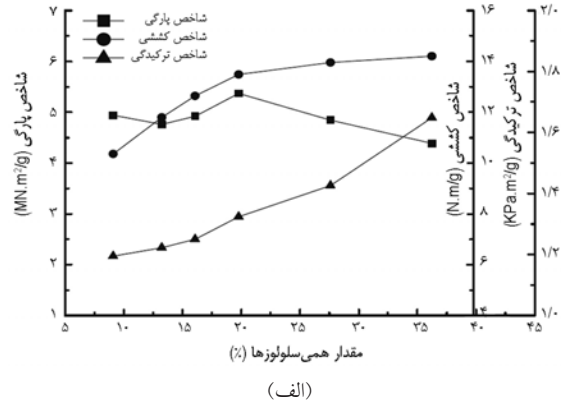
شیمیایی ملایم حذف می‌شوند. همی سلولوزها در چوب با سلولوز پیوسته در ارتباط‌اند. آنها در تولید کاغذ بسیار حائز اهمیت هستند، زیرا توسعه پیوند لیف با لیف را هم از راه تاثیر روی قابلیت جذب آب الیاف طی عملیات تولید کاغذ و هم با مشارکت و مداخله مستقیم در پیوند، افزایش می‌دهند. کربوهیدرات الیاف چوب، عمدتاً شامل سلولوز و همی سلولوز است. عمده‌ترین اثر فرایندهای خمیرسازی روی سلولوز، کاهش طول متوسط زنجیرهای پلیمر آن است. به نظر می‌رسد، این کاهش تدریجی، ویژگی‌های مقاومتی را تا رسیدن به مقدار حداقل طول پلیمر تحت تاثیر قرار نمی‌دهد. اما پس از آن، مقاومت الیاف به سرعت کاهش می‌یابد. وسعت آسیب حاصل به‌طور عمده با فرایندهای خمیرسازی مختلف تغییر می‌یابد. این مسئله در خمیرهای مکانیکی کمتر و در خمیرهای سولفیت اسیدی بیشتر است. توجه بیشتر به همی سلولوز به عنوان جزئی از کربوهیدرات، که به‌راحتی مورد حمله عوامل فرایند خمیرسازی قرار می‌گیرد و به‌طور هم‌زمان، نقش مهمی در پیوند درون‌لیفی و تورم الیاف بازی می‌کند، معطوف شده است.

اعتقاد بر این است که همی سلولوزهای موجود، به‌طور عمده در پاسخ به عمل پالایش خمیر سهیم‌اند. هنگامی که شرایط متغیر است، محتوای همی سلولوز و توزیع آن در خمیرها به‌طور وسیعی در میان فرایندهای خمیرسازی و همچنین در یکی از آنها تغییر می‌کند. در کل می‌توان گفت، آنها اتصال درون‌لیفی همی سلولوزها و ویژگی‌های مقاومتی وابسته به آن را مانند مقاومت به کشش و ترکیب‌پذیری بهبود می‌بخشند. مقاومت به پارگی با افزایش در محتوای همی سلولوز کاهش یافته و در همین زمینه حذف مقداری از همی سلولوزها برای حصول انواعی از کاغذ با مقاومت به پارگی زیاد، سختی و خواص نوری مورد نیاز، مطلوب است. پهن‌برگانی که به‌وسیله یک فرایند نیمه‌شیمیایی سولفیت خنثی تبدیل به خمیر می‌شوند، محتوای همی سلولوز زیادی دارند. آنها ویژگی‌های سختی را طوری فراهم می‌آورند که مورد نیاز کاغذهای موج لایه میانی کارتن است. از طرفی، سایر خمیرهای آلفای تولید شده به‌وسیله خالص‌سازی با قلیای داغ خمیرهای سولفیت یا پخت سولفیت اسیدی بلندمدت، عاری از همی سلولوز است و کاغذهای مات سبکی را تولید می‌کنند. نتیجه اینکه ویژگی‌های کاغذ بر پایه خواص شکل‌شناسی، فیزیکی و شیمیایی الیاف بوده و تغییرات این خواص در فرایندهای خمیرسازی، مختلف است.

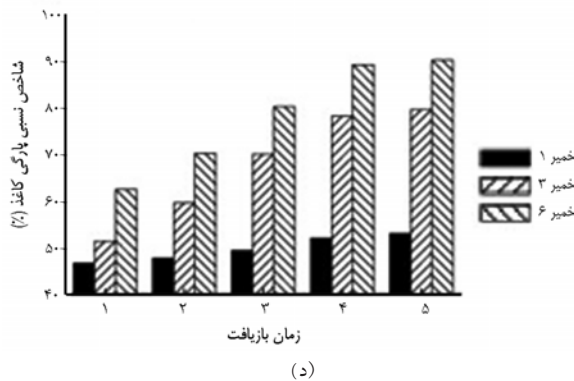
از این عوامل طول، ضخامت دیواره و مقاومت الیاف، شرایط همی سلولوز و محتوای لیگنین باقی‌مانده ضروری‌ترین موارد قابل ذکر هستند [۱۳]. آثار مثبت همی سلولوزها بر خواص خمیر و



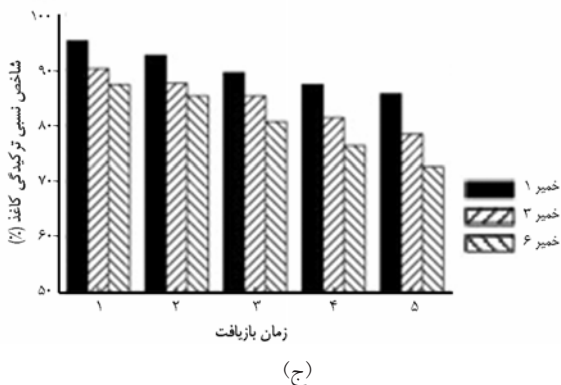
(ب)



(الف)



(د)



(ج)

شکل ۳- اثر همی سلولوز بر ویژگی‌های مقاومتی خمیرهای کرافت اکالیپتوس: (الف) بازیافت نشده، (ب) مقاومت کششی، (ج) مقاومت ترکیب و (د) مقاومت پارگی در طول بازیافت خمیر کرافت اکالیپتوس با محتوای همی سلولوز مختلف [۱۶].

بین الیاف و شاخص مقاومت کششی کاغذ را نتیجه می‌دهد [۱۹]. افزایش مقدار قلیا از مقدار همی سلولوزها در یک عدد کاپای ثابت کم کرده و ترکیب سلولوز باقی مانده را نیز دچار تغییر می‌کند، به نحوی که قلیای بیشتر خمیری با روشنی بیشتر و باقی مانده‌های غربال کمتری تولید می‌کند [۲۰].

Simao و همکاران اعلام کردند، در مایع پخت قلیایی در مراحل اولیه پخت به علت واکنش سریع، گروه‌های استیل همی سلولوزها و مواد استخراجی به مقدار زیادی از مقدار قلیای موجود در مایع پخت کاسته می‌شود. بازده قابل دستیابی در کاپاهای برابر با افزایش مقدار قلیا کاهش می‌یابد. به نحوی که با افزایش مقدار قلیا در مایع پخت، انحلال همی سلولوزها و سلولوز افزایش یافته و گزینش پذیری لیگنین زدایی کاهش می‌یابد. این موضوع سرانجام منجر به کاهش بازده قابل دستیابی در کاپای برابر، با افزایش قلیائیت می‌شود [۲۱].

Sixta بیان داشته که همواره مقداری از قلیا به شکل یون‌های سدیم طی فرایند خمیرسازی جذب مکان‌های هیدروکسیلی الیاف می‌شود. حال با توجه به کاهش شدید همی سلولوزها که گروه‌های

### اثر آبکافت آنزیمی و قلیایی همی سلولوزها بر تولید کاغذ

آبکافت آنزیمی همی سلولوزهای زایلان موجب نفوذپذیرتر شدن ساختار الیاف و خروج راحت‌تر لیگنین باقی مانده از الیاف خمیر کاغذ می‌شود. آبکافت همی سلولوزهای موجود در لایه‌های داخلی الیاف نیز باعث افزایش و بهبود قابلیت رنگبری می‌شود [۹]. عمل آوری آنزیمی باعث افزایش ماتی می‌شود. از دلایل مهم افزایش ماتی در عمل آوری‌های آنزیمی، آبکافت همی سلولوز زایلان است که موجب کاهش واکنشیدگی الیاف می‌شود. کاهش واکنشیدگی الیاف باعث کاهش انعطاف پذیری الیاف و افزایش کوتاه شدن آنها نسبت به لیفچه‌ای شدن الیاف در پالایش می‌شود [۱۷]. اثر آبکافت قلیایی، به ویژه برای الیاف غیرچوبی و پهن‌برگان، کاهش بازده است. زیرا همی سلولوزها نسبت به آبکافت قلیایی بسیار آسیب پذیراند و کاهش بازده را سبب می‌شوند [۱۸]. در رنگبری پراکسید قلیایی، قلیا بیشتر به وسیله پروکسید هیدروژن مصرف می‌شود. بنابراین، قلیای کمتری برای حمله به همی سلولوزها باقی می‌ماند و در نتیجه مقدار بیشتری از آنها حفظ می‌شود. با ابقای همی سلولوزها در خمیر کاغذ، پالایش پذیری الیاف بیشتر می‌شود که افزایش اتصال



Al-Dajani و Tschirner (۲۰۰۸)، به منظور استخراج همی سلولوزها، خرده چوب‌های سپیدار را پیش از فرایند خمیرسازی کرافت عمل‌آوری ملایم قلیایی کردند. فرایند استخراج در دمای  $90^{\circ}\text{C}$  -  $50^{\circ}\text{C}$  انجام شد. بنابراین، نیازی به ظروف واکنش تحت فشار و پرهزینه نبود. فرایند پیش‌استخراج منجر به بازیابی  $40$  -  $50$  kg همی سلولوز در یک تن خرده چوب شد. بازده خمیر کاغذ حاصل از خرده چوب‌های استخراج شده مشابه با خمیر کاغذ شاهد بود. آنها به این نتیجه رسیدند، خمیرهای کرافت به دست آمده از خرده چوب‌های پیش‌استخراج شده، نسبت سلولوز به همی سلولوز نسبتاً بیشتری دارند و کاهش کمی را در شاخص کششی (تقریباً ۱۰ درصد) نشان می‌دهند، اما مقدار انبوهه الیاف و درجه روشنی بهبود می‌یابد [۳].

Spiegelberg به این نتیجه رسید که حذف قند در دو استخراج اولیه، کاهش مقاومت را در الیاف نشان می‌دهد. با علم بر داده‌ها حذف مانان و زایلان در مراحل اولیه و ثانویه کاهش مقاومت را به دنبال دارد، اما حذف گلوکومانان بدون سه مرحله استخراج بدون کاهش قابل ملاحظه در مقاومت الیاف همراه بوده است [۲۶].

Dasilva Perez و همکاران، در بررسی استخراج همی سلولوز از خرده چوب‌های کاج، غان (توس)، اکالیپتوس، گونه‌های ساحلی و اضافه کردن مجدد همی سلولوز گونه غان (توس) و کاج را بر برخی خواص مکانیکی کاغذ، شامل شاخص ترکیدگی و شاخص کشش مثبت و شاخص پارگی منفی ارزیابی کردند. همچنین، آنان اثر همی سلولوز استخراجی را پس از اضافه کردن بر خواص مکانیکی کاغذ با نشاسته کاتیونی مقایسه کردند. به طور کلی، نتایج حاصل نشان می‌دهد که همی سلولوز کاج آثار مثبتی بر شاخص ترکیدگی، شاخص کشش و مقاومت خشک کاغذ داشته است [۱۵].

### مواد افزودنی فرایند کاغذسازی

مهم‌ترین پارامتر مهم در فرایند ساخت کاغذ، ایجاد ویژگی‌های مقاومتی در طول شکل‌دهی ورقه کاغذ، تثبیت و خشک کردن در ماشین فوردینیر است. منشا مقاومت کاغذ از پیوندهای لیف به لیف (پیوند هیدروژنی)، در بخش شکل‌دهی ورقه کاغذ (پایانه تر) است. استفاده از افزودنی‌های مقاومت برای فرایند ساخت کاغذ بسیار مهم است تا اطمینان حاصل شود که محصول تولیدی برای هدف خاص خود مناسب است. به کارگیری افزودنی‌های مقاومت، برای تولید کاغذ با استحکام و خواص سطح، با استفاده از حداقل مقدار الیاف سلولوزی، توسعه یافت. از این بابت، این افزودنی‌ها بسیار اقتصادی‌تر از سایر انواع مواد افزودنی هستند که در اکثر موارد، تولید نسبت به تولید الیاف سلولوزی دست اول ارزان‌تر است.

هیدروکسبیلی آزاد فراوانی دارند، در غلظت‌های بیشتر قلیا در مایع پخت و اعداد کاپای کم، مقدار جذب یون سدیم روی الیاف کاهش می‌یابد و مقدار قلیای مصرفی مطابق با انتظار خواهد بود. در حالی که در کاپاهای بیشتر با توجه به مقدار زیادتر همی سلولوزها در خمیر و به ویژه در غلظت‌های کمتر، که گزینش‌پذیری بیشتری دارند، مصرف قلیا به دلیل جذب بیشتر یون‌های سدیم خلاف انتظار است [۲۲].

### نقش همی سلولوزها در انعطاف‌پذیری الیاف

پالایش از مهم‌ترین عمل‌آوری‌های فیزیکی انجام شده روی خمیرکاغذ پیش از کاغذسازی است. پالایش به طور مؤثری روی خواص فیزیکی ورقه‌های کاغذ تهیه شده اثرگذار است. هدف از پالایش افزایش سطح تماس بین الیاف با عمل لیفچه‌ای شدن الیاف است. عمل‌آوری‌های آنزیمی با حذف همی سلولوزهای زایلان موجود در خمیرکاغذ برای رسیدن به درجه روانی مورد نظر نیاز به دوره پالایش کمتری دارند. بنابراین، از مزایای عمل‌آوری‌های آنزیمی کاهش انرژی پالایشگراهاست [۲۳]. همی سلولوزها نقش مهمی در انعطاف‌پذیری الیاف دارند. تمایل به جذب آب در همی سلولوزها به سبب ساختار بی‌شکل آنها زیاد است. این تمایل به جذب آب، باعث افزایش واکنشیدگی الیاف و در نتیجه ازدیاد انعطاف‌پذیری آنها می‌شود. در پالایش خمیرهایی که دارای همی سلولوز بیشتری هستند، عمل لیفچه‌ای شدن نسبت به کوتاه شدن الیاف بیشتر انجام می‌گیرد که علت آن انعطاف‌پذیری بیشتر الیاف است. در عمل‌آوری‌های آنزیمی به دلیل حذف همی سلولوز زایلان، واکنشیدگی و انعطاف‌پذیری کمتری در آنها اتفاق می‌افتد و عمل کوتاه شدن الیاف و ایجاد نرمه بیشتر می‌شود [۲۴].

### اثر استخراج همی سلولوزها پیش از خمیرسازی بر تولید کاغذ

Van Walsum (۲۰۰۹)، با استخراج همی سلولوزهای مخلوط پهن‌برگان شمال ایالات متحده پیش از خمیرسازی به وسیله پیش‌عمل‌آوری قلیایی (مایع سبز)، در دمای  $160^{\circ}\text{C}$  و زمان ۱۱۰ دقیقه، به این نتیجه رسید که مایع استخراج شده به لحاظ اسیدی بودن خنثی و حاوی الیگومرهای مشتق شده از همی سلولوزهاست. وزن چوب استخراج شده در استخراج مایع سبز تقریباً  $11/4$  درصد وزن چوب پوست‌کنی شده بود که به محلول رقیق قندهای الیگومری همی سلولوزها انجامید. سپس، همی سلولوزهای استخراج شده با سولفوریک اسید رقیق شده و در شرایط متغیر دمایی، زمانی و غلظتی آبکافت شدند [۲۵].

مقاومت‌های کاغذ ایفا می‌کند. اثبات شده است، همی سلولوزهای با وزن مولکولی بیشتر موثرتر از مواد افزودنی با وزن مولکولی کم هستند. تحقیقات نشان داده است، وجود همی سلولوزها در بافت کاغذ باعث افزایش ویژگی‌های مقاومتی می‌شود. به‌طور کلی، همی سلولوز می‌تواند با اصلاح شیمیایی، فیزیکی یا اصلاح آنزیمی همی سلولوزها بهبود یابد.

ویژگی‌های مقاومتی کاغذ تهیه شده از همی سلولوز اصلاح شده بیشتر از همی سلولوزهای اصلاح نشده است. در گلوکوروزایلان، زمانی که زنجیرهای گلوکورونیک اسید حذف می‌شود، حلالیت همی سلولوز کاهش می‌یابد. از روش‌های اصلاح گلوکوروزایلان جایگزین کردن زنجیر گلوکورونیک اسید با زنجیرهای جانبی بیشتر واکنشی یا متفاوت است. پژوهش‌ها نشان می‌دهد، جذب همی سلولوزها در کاغذهای تولید شده با پخت کرافت مورد توجه است. همه پژوهش‌های موجود در باره زیست‌توده‌هایی مانند باگاس نیشکر، سیوس جو و توس (غان) انجام شده است. با این حال پژوهش‌های بسیار اندکی در باره استخراج همی سلولوزها از چوب پهن‌برگانی مانند اکالیپتوس و سوزنی‌برگانی مانند کاج وجود دارد که این گونه چوب‌ها از فراوان‌ترین مواد اولیه برای صنایع خمیر و کاغذ هستند [۷].

Bhaduri و همکاران، در بررسی اثر استفاده از همی سلولوز رامی یا علف چینی، به عنوان افزودنی در کاغذسازی از خمیر کرافت کف هندی به این نتیجه رسیدند، مقدار همی سلولوز استخراج شده از لیکور بدون صمغ الیاف علف چینی به‌کار برده شده به عنوان ماده افزودنی در طول عملیات خمیرسازی کف هندی و افزودن همی سلولوز علف چینی به فرایند اثر معنی‌داری را در کاهش مصرف انرژی در طول عملیات و در بهبود ویژگی‌های مقاومتی کاغذهای دست‌ساز ساخته شده از این خمیرها داشته است [۲۷].

Hackney و Atalla، در پژوهشی تحت عنوان همی سلولوزها

افزون بر این، از مواد افزودنی می‌توان پیش از شکل‌دهی کاغذ، یعنی در پایانه‌تر یا پس از خشک کردن مثل افزودن به سطح کاغذ استفاده کرد. مواد افزودنی مصرفی در صنعت کاغذ به عنوان مواد افزودنی فرایندی یا عاملی طبقه‌بندی شده‌اند:

مواد افزودنی بهبود فرایند حرکت‌پذیری ماشین کاغذ که این کار به‌وسیله مواد افزودنی مثل نگه‌دارنده‌ها، حفظ و زه‌کشی، پراکنده‌سازها و ضدکف انجام می‌شود. این افزودنی‌ها عمدتاً در پایانه تر ماشین کاغذ اضافه می‌شوند.

کاربرد مواد افزودنی عملیاتی، برای تغییر ویژگی‌های خاص تولید کاغذ است. موادی مانند پرکننده‌ها، عوامل آهارزنی، رنگ، درخشان‌کننده‌های نوری و مواد افزودنی مقاومت تر و خشک، به عنوان افزودنی‌های عملیاتی طبقه‌بندی شده‌اند. برخی از افزودنی‌ها که منجر به تغییراتی در استحکام کششی و ترکیب‌دهی، استحکام پارگی، روشنی، زبری، مقدار جذب آب و نفوذناپذیری آب و هوا می‌شوند، را می‌توان در پایانه تر و خشک ماشین کاغذ اضافه کرد [۷]. جدول ۱، مواد افزودنی مقاومت تر و خشک قابل استفاده در پایانه تر و خشک کاغذسازی را نشان می‌دهد.

#### همی سلولوز به عنوان پلیمر مقاومت خشک کاغذ

دلایلی برای استفاده از همی سلولوزها به عنوان مواد افزودنی مقاومت وجود دارد. بسیاری از هیدروژن‌های آزاد و گروه‌های هیدروکسیل در ساختار شیمیایی آنها موجود است. وقتی همی سلولوزها روی الیاف سلولوز جذب می‌شوند، گروه‌های هیدروکسیل و هیدروژن آزاد زیادی در دسترس موقعیت‌های چسبندگی قرار می‌دهند. در نتیجه، کاغذ محکم‌تر می‌شود. همی سلولوزها به‌طور طبیعی در ساختار میکرومولکولی چوب وجود دارد. این مسئله نشان می‌دهد، ارتباط قوی بین همی سلولوزها و سلولوز وجود دارد. توزیع وزن مولکولی همی سلولوزها نیز نقش مهمی را در بهبود

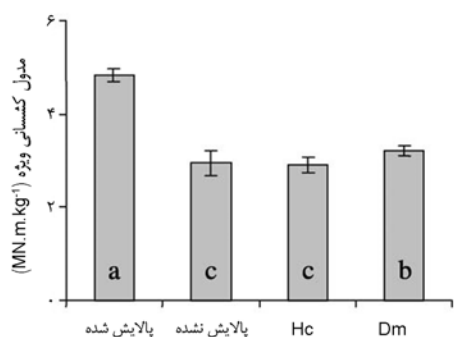
جدول ۱- فهرست مواد افزودنی مقاومت تر و خشک قابل استفاده [۷].

مواد افزودنی مقاومت خشک	مواد افزودنی مقاومت تر
نشاسته‌های طبیعی، آنیونی، کاتیونی و آمفوتری	استیرن کاتیونی - رزین آمید (SMA آمید)
کربوکسی متیل سلولوز (CMC)	رزین اوره فرمالدهید (UF)
صمغ‌های طبیعی	رزین ملامین فرمالدهید (MF)
مشتقات صمغ گوار - کاتیونی و آمفوتری	آمینوپلی‌آمید - رزین اپی‌کلروهیدرین
زایلوگلوکان	آمین پلیمری - رزین اپی‌کلروهیدرین
پلی‌آکریل آمید آنیونی و کاتیونی	رزین اصلاح شده آلدهید

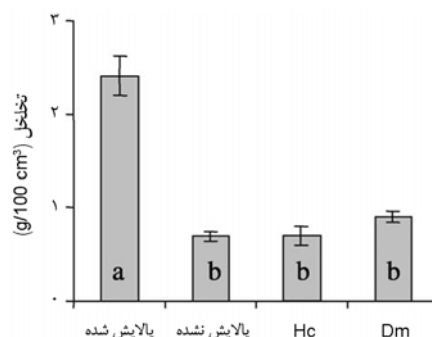


زایلوگلوکان‌ها و گلاکتومانان‌ها نمونه‌های همی سلولوزهایی هستند که می‌تواند در بذر بسیاری از گیاهان انباشته شوند. در حال حاضر، صمغ گوار و نشاسته پلی ساکاریدهایی هستند که به عنوان مواد افزودنی پایانه تر در کاغذسازی استفاده می‌شوند. در حالی که گزارشی مبنی بر بهبود کیفیت کاغذ به وسیله زایلوگلوکان‌ها وجود ندارد. در این مطالعه، اثر انواع مختلفی از زایلوگلوکان‌ها را بر بهبود خواص مکانیکی کاغذ بدون تاثیر بر خواص نوری نشان داده می‌شود. بذرهای چند گونه به عنوان منبع برای تولید مواد افزودنی

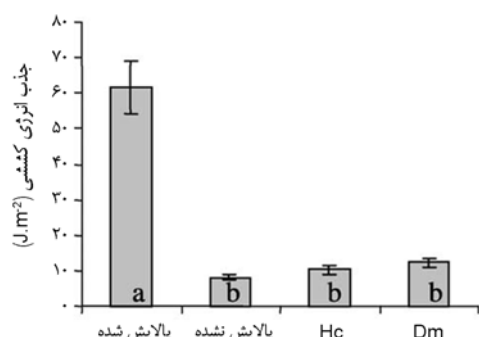
به عنوان تنظیم کننده‌های ساختار در تراکم سلولوز اولیه، اثر همی سلولوز را بر تراکم سلولوز در دیواره سلولی گیاهان بلند مدل‌سازی کردند. با افزودن همی سلولوز به سلولوز کشت شده توسط باکتری *Acetobacter xylinum* انجام دادند. ویژگی‌های سلولوزها را به وسیله پراش سنجی پرتو ایکس نمایش دادند. پیشنهاد نویسنده این است که همی سلولوزها امکان اولیه واسطه‌ای سومین ساختار سلولوزهای دیواره سلولی هستند و اجازه رشد آنها را در دامنه زیاد ویژگی‌ها می‌دهد [۲۸].



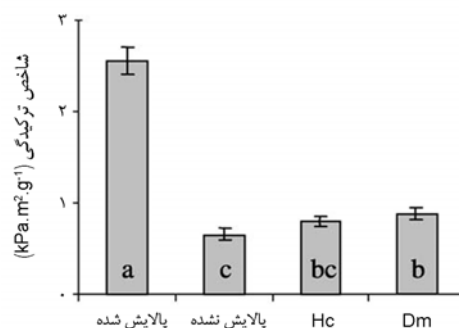
(ب)



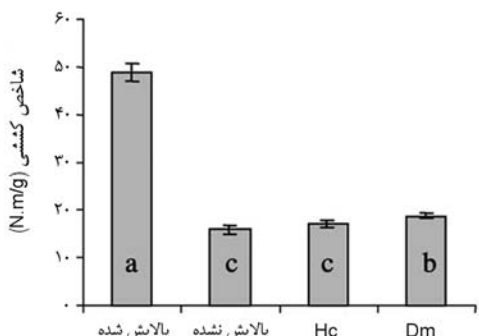
(الف)



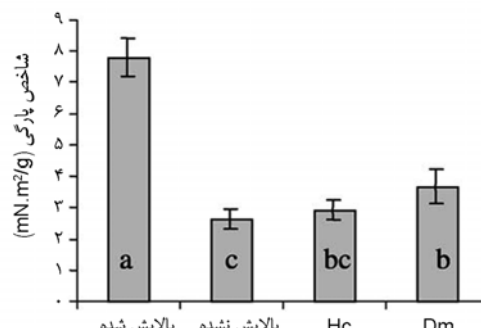
(د)



(ج)



(ز)



(ر)

شکل ۴- اثر همی سلولوز بر خواص خمیر پالایش نشده: (الف) مقدار تخلخل، (ب) مدول کشسانی ویژه، (ج) شاخص ترکیبگی، (د) جذب انرژی کششی، (ر) شاخص پارگی و (ز) شاخص کششی [۲۹].

اگر این افزودنی در افشانه خشک اعمال شود، تنها بر سطح بیرونی این کاغذ اثر دارد. از متداول‌ترین روش‌ها، افزون بر همی سلولوزها در مقالات به آماده‌سازی یک راه حل یا افزودنی همی سلولوز و اضافه کردن آن در هداکس (پایانه تر) یا به شکل پوششی (لایه‌ای) کاغذ (خشک) با افشاندن پوشش از آنجا که همی سلولوزها افزودنی مقاومت متعارف به فرایند کاغذسازی است نیاز به توسعه یک پروتکل برای این افزودنی‌های جدید وجود دارد [۷].

#### امکان تولید محصولات جدید از همی سلولوزهای تجزیه شده

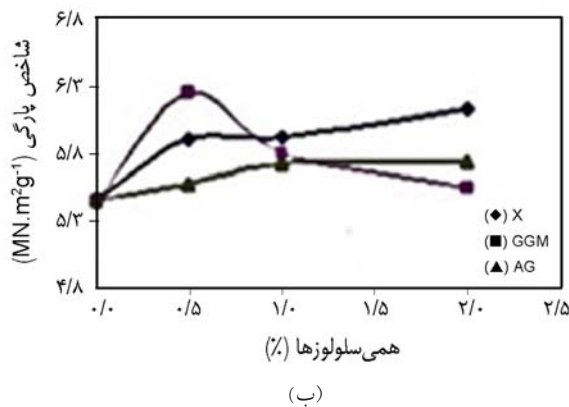
به منظور جلوگیری از تخلیه پساب واحد خمیرسازی به اراضی و در نتیجه حفاظت از محیط زیست و همچنین برای بازیابی انرژی، مایع پخت سیاه ابتدا تغلیظ و سپس سوزانده می‌شود. اما از آن جا که ارزش گرمایی همی سلولوزها تنها نصف لیگنین است (۱۳/۶ MJ/kg در برابر ۲۷ MJ/kg)، بنابراین سوزاندن آنها در کوره بازیابی مقرون به صرفه نیست. افزون بر این، همی سلولوزها

پایانه تر استفاده شد. اضافه کردن ۱٪ وزنی همی سلولوز به خمیر سلولوزی می‌تواند باعث افزایش تقریباً ۳۰٪ خواص مکانیکی مثل شاخص ترکیبگی و پارگی شود، شکل ۴، [۲۹].

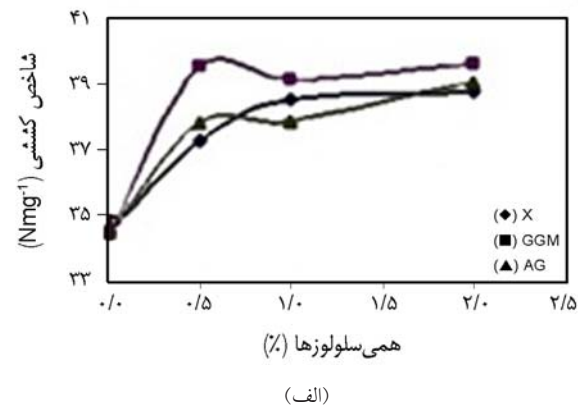
Bai و همکاران، در بررسی اثر پیکربندی و وزن مولکولی همی سلولوزها بر تقویت کاغذ به این نتیجه رسیدند که به لحاظ مواد افزودنی، پایانه تر گالاکتومانان بهترین اثر را داشته است. در ادامه نیز آرابینوگالاکتان اثر مثبت داشته است. به عنوان عوامل آهارزنی سطحی، زایلان در مقایسه با نشاسته اثر آهار بهتری را نشان داد. آنها همچنین نشان دادند، همی سلولوزها به ویژه می‌توانند در خمیرهای پربازده جایگزین نشاسته شوند، شکل ۵ [۳۰].

#### روش‌های به کار بردن همی سلولوز به عنوان مواد افزودنی

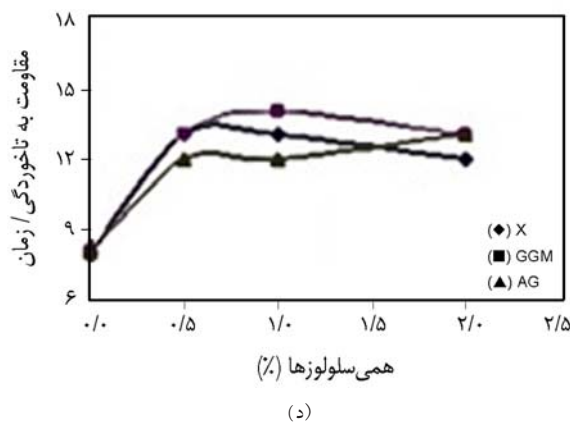
این روش، افزون بر مواد افزودنی فرایند ساخت کاغذ یک پارامتر مهم در طول فرایند است. ماده افزودنی که در ماشین‌آلات پایانه تر ساخت کاغذ اضافه می‌شود، بر پیوند الیاف کاغذ اثرگذار می‌شود.



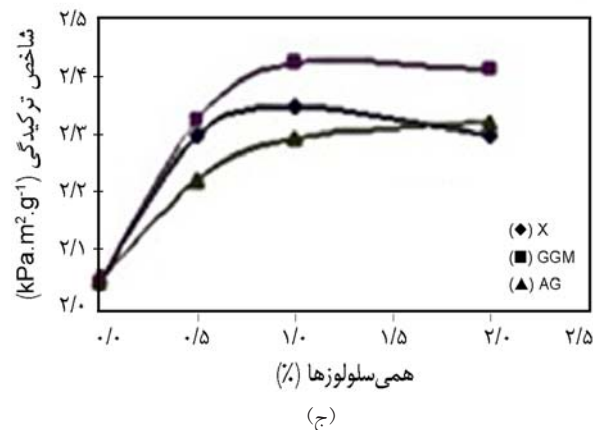
(ب)



(الف)



(د)



(ج)

شکل ۵- آثار زایلان، آرابینوگالاکتان و گالاکتوگلوکومانان بر ویژگی‌های مقاومتی خمیر کرافت صنوبر: (الف) شاخص کششی، (ب) شاخص پارگی، (ج) شاخص ترکیبگی و (د) مقاومت به تاخوردگی [۳۰].

تولید فراورده‌های جدید و ارزشمندتر استفاده شود. مقداری استیک اسید طی فرایند استخراج شکل می‌گیرد که این ماده باید از محلول قند جدا شود. قندها سپس می‌توانند با استفاده از تخمیر به اتانول یا دیگر مواد شیمیایی با ارزش که تولید بخار مازاد می‌کنند، تبدیل شوند. حذف بخشی از همی سلولوزها پیش از دایجستر، قابلیت عملیاتی فرایند خمیر را افزایش می‌دهد. کاربرد بعضی از همی سلولوزها به عنوان ماده خام قندی باعث کاهش مقدار انرژی لیکور سیاه تولیدی خمیر می‌شود که منبع مهم انرژی تجدیدشدنی برای کارخانه‌های تولید کرافت است [۵].

### نتیجه‌گیری

آثار مثبت همی سلولوزها بر ویژگی‌های مقاومتی کاغذ امری کاملاً پذیرفته شده است. می‌توان گفت، همی سلولوزها اتصال درونی فی و ویژگی‌های مقاومتی وابسته به آن، نظیر مقاومت به کشش و ترکیب‌رانی را بهبود می‌بخشند. مقاومت به پارگی با افزایش محتوای همی سلولوز کاهش یافته و در همین زمینه حذف مقداری از همی سلولوزها برای حصول انواعی از کاغذ با مقاومت به پارگی زیاد و سختی و خواص نوری مورد نیاز مطلوب است. در اثر پیش‌عمل‌آوری مواد لیگنوسلولوزی پیش از پخت، همی سلولوزها به طور جزئی به شکل الیگومرها و مونومرها استخراج می‌شوند که با تخمیر مونوساکاریدهای استخراج شده می‌توان اتانول تهیه کرد و به مصرف سوخت رساند. همی سلولوزها می‌توانند مستقیماً به شکل پلیمر برای کاربردهای صنعتی جدیدی از قبیل زیست‌پلیمرها، هیدروژل‌ها یا مشتقات گرمانرم زایلان استفاده شوند یا به عنوان منبعی از قندها برای تولید مواد شیمیایی دیگری از قبیل فورفورال، ۱، ۲ و ۴-یوتانتتریول که نسبت به نیتروگلیسرین خطر کمتری دارد، به کار گرفته شوند.

همی سلولوزها نقش مهمی در انعطاف‌پذیری الیاف دارند، تمایل به جذب آب در همی سلولوزها به دلیل ساختار بی‌شکل آنها زیاد است. این تمایل به جذب آب، باعث افزایش واکنش‌پذیری الیاف و در نتیجه افزایش انعطاف‌پذیری آنها می‌شود. در پالایش خمیرهایی که دارای همی سلولوز بیشتری هستند، عمل لیفچه‌ای شدن در آنها نسبت به کوتاه شدن الیاف بیشتر انجام می‌شود که دلیل آن انعطاف‌پذیری بیشتر الیاف است. در هر حالت، همی سلولوز قابلیت پتانسیل بیشتری را به عنوان ماده خام قندی برای تولید مواد شیمیایی و سوخت‌ها دارد. قندهای همی سلولوز استخراج شده سبب

می‌توانند به عنوان یک ماده اولیه مناسب برای تولید محصولات با ارزش افزوده زیاد از قبیل اتانول و برخی از پلیمرها و مواد شیمیایی به کار روند. در نتیجه، استخراج همی سلولوزها پیش از خمیرسازی و استفاده از آنها به منظور تولید فراورده‌های با ارزش، منجر به افزایش سود دهی در صنایع خمیر و کاغذ می‌شود [۳، ۴]. در اثر پیش‌تیمار مواد لیگنوسلولوزی پیش از پخت، همی سلولوزها به طور جزئی به شکل الیگومرها و مونومرها استخراج می‌شوند که با تخمیر مونوساکاریدهای استخراج شده می‌توان اتانول تهیه کرد و به مصرف سوخت رساند [۳۲].

همی سلولوزها می‌توانند مستقیماً به شکل پلیمری برای کاربردهای صنعتی جدیدی از قبیل زیست‌پلیمرها، هیدروژل‌ها یا مشتقات گرمانرم زایلان استفاده شوند یا به عنوان منبعی از قندها برای تولید مواد شیمیایی دیگری به کار گرفته شوند از قبیل فورفورال و ۱، ۲، ۴-یوتانتتریول که نسبت به نیتروگلیسرین خطر کمتری دارد. در واقع فرایندهای تبدیل زیست‌توده به منظور تولید سوخت، انرژی و مواد شیمیایی را زیست‌پالایشگاه می‌نامند که اخیراً در کشورهای صنعتی و پیشرفته، زیست‌پالایشگاه به عنوان بخشی از فرایند تولید خمیر کاغذ محسوب می‌شود [۳].

روش‌های مختلفی برای استخراج همی سلولوزها از مواد لیگنوسلولوزی آغشته شده در آب، که آبکافت اولیه یا پیش‌آبکافت نامیده می‌شود، شامل:

- ۱- تنها با گرما (خودآبکافت)،
- ۲- کاتالیز شده با یک اسید معدنی (آبکافت اسیدی) و
- ۳- کاتالیز شده با محلول‌های قلیایی (آبکافت قلیایی) [۳۱].

اما اثر همه این فناوری‌های استخراج روی شرایط تولید و کیفیت خمیر کاغذ هنوز به خوبی ارزیابی نشده است. به طور کلی، تحقیقات کمی روی استخراج و کاربرد همی سلولوزها پیش از فرایند خمیرسازی انجام شده است. به هر حال هم‌اکنون حذف همی سلولوزها از چوب به شکل یک مرحله پیش‌عمل‌آوری، در مقیاس تجاری برای تولید خمیرهای حل‌شونده انجام می‌شود [۳۲]. لیگنین و همی سلولوز در ابتدا به عنوان منابع انرژی کم ارزش تلقی می‌شدند. لیگنین و همی سلولوز طی فرایند شیمیایی خمیر از الیاف سلولوز جدا شده و برای تولید الکتروسیسته و بخار مصرفی در کارخانه سوزانده می‌شوند. در هر حال، همی سلولوز قابلیت پتانسیل بیشتری را به عنوان ماده خام قندی برای تولید مواد شیمیایی و سوخت‌ها دارد. قندهای همی سلولوز استخراج شده سبب ارزشمندتر شدن تولیدات کارخانه می‌شوند. در زیست‌پالایش مناسب بخشی از همی سلولوز که سوزانده می‌شود، می‌تواند برای

از موارد اهمیت و کاربرد همی سلولوزها در کاغذسازی می توان به مواردی نظیر بهبود خواص مکانیکی کاغذ، کاهش مصرف افزودنی های مقاومت خشک (نظیر نشاسته کاتیونی)، کاهش زمان پخت ماده اولیه و تولید کاغذ و افزایش بازده تولید خمیر کاغذ اشاره کرد.

افزایش ارزش افزوده تولیدات کارخانه می شود. حذف بخشی از همی سلولوزها پیش از دیگ پخت، قابلیت عملیاتی فرایند خمیر را افزایش می دهد. کاربرد بعضی از همی سلولوزها به عنوان ماده خام قندی باعث کاهش مقدار انرژی لیکور سیاه تولیدی خمیر می شود که منبع مهم تجدیدشدنی انرژی برای کارخانه های کرافت است.

## مراجع

1. شوستروم ا.، شیمی چوب (مبانی و کاربردها)، میرشکرایی سید احمد (مترجم)، انتشارات آبیژ، ۱۹۸، ۱۳۸۱.
2. Lyytikainen K., Saukkonen E., Kajanto I., and Kayhko J., The Effect of Hemicellulose Extraction on Fiber Charge Properties and Retention Behavior of Kraft Pulp Fibers, *Bioresource*, **6**, 219-231, 2011.
3. Al-Dajani W.W. and Tschirner U.W., Pre-extraction of Hemicelluloses and Subsequent Kraft Pulping , Part I: Alkaline Extraction, *TAPPI J.*, **7**, 3-8, 2008.
4. Yoon S., Macewan K., and Van Heiningen A., Hot-water Pre-extraction from Loblolly Pine, (*Pinus taeda*) in an Integrated Forest Products Biorefinery, *TAPPI J.*, **7**, 27-32, 2008.
5. Ghasemian A., Ghaffari M., Akbarpour I., and Mahmmodkia M., Biorefinery in Pulp and Paper Industry, *The Second International Congress on Climate Change & Dendrochronology in Caspian Ecosystems*, Sari City, Iran, 12-14 May, 1-12, 2010.
6. Abyaz A., *Effect of Pre-extraction on Pulping Mill and Paper Mill Properties in Biorefinery*, MSc Thesis, University of Tehran, Faculty of Natural Resources, 2011.
7. Postma D., *Chemical and Physical Modification of Wood Based Hemicelluloses for Use in the Pulp and Paper Industry*, MSc Thesis, Faculty of Engineering, Stellenbosch University, 2012.
8. Qiabi A., Rigal L., and Gaset A., Comparative Studies of Hemicellulose Hydrolysis Processes: Application to Various Lignocellulosic Wastes, *J. Indust. Crop. Product.*, **3**, 95-102, 1994.
9. Buchert J., Tenkanen M., Kantelinen A., and Viikari L., Application of Xylanases in the Pulp and Paper Industry, *J. Bioresource Technol.*, **50**, 65-72, 1994.
10. De Lopez S., Tissot M., and Delmas M., Integrated Cereal Straw Valorization by an Alkaline Pre-extraction of Hemicellulose Prior to Soda-anthraquinone Pulping, Case Study of Barley Straw, *J. Biomass Bioenergy*, **10**, 201-211, 1996.
11. Garcia J.C., Diaz M.J., Garcia M.T., Feria M.J., Gómez D.M., and Lopez F., Search for Optimum Conditions of Wheat Straw Hemicelluloses Cold Alkaline Extraction Process, *J. Biochem. Eng.*, **71**, 127-133, 2013.
12. Obermeier I.J., Sieber V., Faulstich M., and Schieder D., Solubilization of Hemicellulose and Lignin from Wheat Straw through Microwave-assisted Alkali Treatment, *J. Indust. Crop. Product.*, **39**, 198-203, 2012.
13. اسکات و.، مبانی ویژگی های کاغذ، ساختاری، مکانیکی، اپتیکی، افرا بندپی الیاس (مترجم)، انتشارات آبیژ، ۳۶۰، ۱۳۸۵.
14. میرشکرایی س.ا. و صادقی فرح.، شیمی کاغذ، انتشارات آبیژ، ۱۹۴، ۱۳۸۱.
15. Da Silva Perez D., Huber P., and Petit-Conil M., Extraction of Hemicelluloses from Wood Chips and Some Examples of Usage in the Papermaking Process, *Colloque Inter. Fib.*, 2011.
16. Wan J., Wang Y., and Xiao Q., Effects of Hemicellulose Removal on Cellulose Fiber Structure and Recycling Characteristics of Eucalyptus Pulp, *J. Bioresource Technol.*, **101**, 4577-4583, 2010.
17. Mansfield D., Xylanase Pre-bleaching of Fraction of Douglas-fir Kraft Pulp of Different Fiber Length Application, *Microbiol. Biotechnol.*, **46**, 319-326, 1996.
18. Mahdavi M., *Investigation and Evaluation Alkaline Peroxide Mechanical Pulp (APMP) from Populous Alba Wood for Printing and Scribal Paper Production*, MSc Thesis, Gorgan University of Agriculture Sciences and Natural Resources, 2003.
19. شوب چاری ح.، سرائین ا.ر.، قاسمیان ع.، بررسی ویژگی های خمیر کاغذ حاصل از ساقه پنبه با فرایند پروکسید قلبایی، فصلنامه تحقیقات علوم چوب و کاغذ ایران، ۲۶، ۹۸-۱۱۶، ۱۳۹۰.
20. Smook F.A., *Handbook for Pulp and Paper Technologists*, Joint Text Book Committee of the Paper Industry, USA, 1982.

21. Simao P.F., Egas A., Carvalho M.G., and Baptista C., Heterogeneous Studies in Pulping of Wood: Modeling Mass Transfer of Alkali, *Chem. Eng. J.*, 1-7, 2007.
22. Sixta H., *Handbook of Pulp*, **1**, John Wiley and Sons, New York, 2006.
23. Jeffreis T.W., Davis M., Rosin B., and Landucci L.L., Mechanism for Kappa Reduction and Color Removal by Xylanases, *The 7th International Conference on Biotechnology in the Pulp and Paper Industry (ICBPPI)*, June 16-19, Vancouver, BC, Canada, Abstract-book, 41-43, 1998.
24. عبدالله بیگ مرندی م.، رسالتی ح.، سرائیان ا.ر.، آریایی منفرد م.، بررسی تاثیر پیش‌رنگبری آنزیمی در خواص نوری خمیر کرافت باگاس در رنگبری ECF، *مجله پژوهش‌های علوم و فناوری چوب و جنگل*، **۱۸**، ۷۹-۹۱، ۱۳۹۰.
25. Van Walsum G.P., Acid Hydrolysis of Hemicellulose in Green Liquor Pre-pulping Extract of Mixed Northern Hardwoods, *APPI Biochemical. Biotechnol.*, **153**, 127-138, 2009.
26. Spiegelberg H., *The Effect of Hemicelluloses on the Mechanical Properties of Individual Pulp Fibers*, PhD Thesis, Lawrence University, 1966.
27. Bhaduri S.K., Ghosh I.N., and Deb Sarkar N.L., Ramie Hemicellulose as Beater Additive in Paper Making from Jute-stick Kraft Pulp, *J. Indust. Crop. Product.*, **4**, 79-84, 1995.
28. Atalla R.H. and Hackney J.M., Hemicelluloses as Structure Regulators in the Aggregation of native Cellulose, *Inter. J. Biolog. Macromol.*, **15**, 109-112, 1993.
29. Ulma D., Oliveira R.C., and Buckeridge M.S., Seed Storage Hemicelluloses as Wet-end Additives in Papermaking, *J. Carbohydrate Polym.*, **52**, 367-373, 2003.
30. Bai L., Hu H., and Xu J., Influences of Configuration and Molecular Weight of Hemicelluloses on their Paper-strengthening Effects, *J. Carbohyd. Polym.*, **88**, 1258-1263, 2012.
31. Mendes C.V.T., Carvalho M.G.V.S., Baptista C. M.S.G., Rocha J.M.S., Soares B.I.G., and Sousa G.D.A., Valorisation of Hardwood Hemicelluloses in the Kraft Pulping Process by Using an Integrated Biorefinery Concept, *Food Bioprod. Process.*, **94**, 1-11, 2009.
32. Testova L., *Hemicelluloses Extraction from Birch Wood prior to Kraft Cooking: Extraction Optimization and Pulp Properties Investigation*, MSc Thesis, Lulea University of Technology, Sweden, 2006.