

## بررسی پتانسیل استفاده از همی سلولزها به عنوان محصول جانبی کارخانه‌های تولید کاغذ از چوب برای تولید اتانول زیستی

رحیم ابراهیمی بریسا<sup>۱\*</sup>، محرم حضرتی<sup>۲</sup>، مسعود گرامی<sup>۲</sup>

۱- کارشناسی ارشد دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، دانشکده مهندسی چوب و کاغذ، گرگان، ایران

۲- کارشناسی ارشد دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران، تهران، ایران

Ebrahimirahim56@gmail.com

### چکیده

مشکلاتی از قبیل آلودگی محیط زیست و دسترسی محدود به ذخایر فسیلی، متخصصان را بر آن داشته است تا با توجه به پیشرفت‌هایی که در زمینه تکنولوژی آنزیم و مهندسی ژنتیک به وجود آمده است، از مواد اولیه نظیر ضایعات چوبی، پسماند محصولات کشاورزی و همی سلولزهای پیش‌استخراج شده در کارخانه‌های خمیر کاغذ، به صورت اقتصادی اتانول تهیه کنند. در مطالعه حاضر، نحوه تولید اتانول از همی سلولزهای پیش‌استخراج شده در کارخانه‌های صنایع خمیر و کاغذ با استفاده از مطالعات کتابخانه‌ای و تجربی مورد بررسی قرار گرفته است. یافته‌های تحقیق نشان می‌دهد که همی سلولزهای پیش‌استخراج شده در کارخانه‌های خمیر کاغذ، گزینه‌ای مناسب برای تولید اتانول زیستی می‌باشند. پیش‌استخراج همی سلولزها در کارخانه‌های خمیر کاغذ، به علت کاهش نرخ جریان مواد جامد در مایع سیاه پخت، باعث کاهش ۵۵ درصد بخار هدر رفته خواهد شد. استخراج همی سلولزها در کارخانه‌های خمیرسازی علاوه بر تولید اتانول، موجب کاهش برق مصرفی و بهبود کیفیت خمیر حاصله می‌شود. با پیش‌استخراج همی سلولز، مقاومت‌های کاغذ افت می‌کنند. همچنین درجه روشنی کاغذ افزایش و مصرف مواد شیمیایی رنگبری کاهش می‌یابد. پیش‌استخراج همی سلولزها از خرده‌چوب‌ها، باعث کاهش ۱۳ درصد مصرف سوخت در کوره آهک‌پزی خواهد شد. پیش‌استخراج همی سلولزها، ظرفیت خمیرسازی را نسبت به خمیرسازی معمولی تا ۲۲ درصد افزایش می‌دهد.

**کلمات کلیدی:** پیش‌استخراج، خمیر کاغذ، اتانول زیستی، صنایع سلولزی، همی سلولز

### مقدمه

استفاده بهینه، کاهش منابع و خطرات زیست محیطی می‌باشد. نگرانی گازهای گلخانه‌ای، گرم شدن زمین به دلیل استفاده از سوخت‌های فسیلی و افزایش تقاضای انرژی در جهان، به‌ویژه در کشورهای در حال توسعه از قبیل چین و هند، باعث افزایش نیاز به منابع

اخیرا گرایش به زیست توده برای تبدیل به سوخت‌های تجدیدپذیر، به‌طور گسترده‌ای مورد توجه قرار گرفته است که علت آن، رو به اتمام بودن سوخت‌های فسیلی، نگرانی‌های سیاسی، قیمت زیاد،

متفاوت انرژی تجدیدپذیر شده است (۱). همچنین وابستگی کشورهای پیشرفته به نفت و وقوع بحران‌های نفتی در دهه ۱۹۷۰، به دلیل فزونی مصرف بر تولید و نیز افزایش فوق‌العاده قیمت نفت، کشورهای صنعتی را بر آن داشت تا با مساله انرژی، متفاوت برخورد کنند. از سوی دیگر نگرانی‌های زیست محیطی، کاهش منابع فسیلی، بهبود استانداردهای زیست محیطی در قالب کنوانسیون‌ها و پیمان‌نامه‌های متفاوت، نظیر پروتکل کیوتو، منجر شد تا متخصصان با اعمال روش‌های گوناگون و استفاده از مواد جایگزین برای سوخت‌های فسیلی، به اهدافی در زمینه حفظ محیط‌زیست و توسعه پایدار دست یابند (۲ و ۳). در حال حاضر، اتانول به عنوان منبعی قابل اعتماد می‌تواند جایگزین سوخت‌های رایج باشد. اتانول با توجه به منابع هر کشوری قابل تولید است. در ایران از ملاس، در امریکا از ذرت، در اروپا از سیب‌زمینی و ... اتانول تولید می‌شود (۴).

بازده اتانول از مواد لیگنوسلولزی مانند ذرت و نیشکر بالاست و روش تولید آن کامل‌تر است. اما ذرت، نیشکر و دیگر محصولات کشاورزی، برای انسان و جانوران منابع غذایی به حساب می‌آیند. اگر به مرور استفاده از این مواد برای تولید اتانول افزایش یابد، جهان با کمبود مواد غذایی مواجه خواهد شد. برای پیشگیری از این موضوع بهترین راه‌حل این است که از مواد لیگنوسلولزی مانند چوب، علف‌هرز، خاک اره، زباله‌های جامد شهری، کاغذ باطله، ضایعات کارخانجات خمیر و کاغذ، همی‌سلولزهای پیش‌فرآوری شده از کارخانه‌های خمیرکاغذ، باگاس، ملاس چغندر قند و غیره که ارزش غذایی کم و ناچیزی برای انسان و دیگر جانداران دارند، به منظور

تولید اتانول استفاده شود (۵، ۶ و ۷). صنعت خمیر و کاغذ، با وجود سرمایه‌گذاری‌های فراوان، فرصتی مناسب برای گسترش محصولات زیست پالایشگاه جامع جنگلی (IFBR) Integrated forest biorefinery را فراهم می‌کند (۸ و ۹). بنابراین زیست توده چوبی و باقیمانده‌های اضافی جنگلی در زیست پالایشگاه صنایع خمیر و کاغذ، به طور کامل مورد استفاده قرار می‌گیرند. در کارخانه‌های خمیر کرافت، بیشتر همی‌سلولزها همراه با لیگنین در مایع سیاه پخت، طی فرآیند خمیرسازی قلیایی حل می‌شوند. مایع سیاه پخت، حاوی قندهای همی‌سلولز است که به طور معمول برای تولید بخار و الکتریسیته مصرفی کارخانه در کوره بازیابی، سوزانده می‌شود. ارزش حرارتی کم همی‌سلولزها در مقایسه با لیگنین (۱۳/۶ مگا ژول بر کیلوگرم در مقایسه با ۲۷ مگا ژول بر کیلوگرم برای لیگنین) برای تولید حرارت مورد نیاز کارخانه از نظر اقتصادی به صرفه نمی‌باشد (۹). به‌جای سوزاندن همی‌سلولز با مایع سیاه پخت، پیش استخراج همی‌سلولز قبل از خمیرسازی و تبدیل آن‌ها به سوخت زیستی پیشنهاد می‌شود که فرصتی قابل توجه و اقتصادی برای صنعت خمیر و کاغذ می‌باشد (۱۰). در نتیجه استخراج همی‌سلولزها قبل از خمیرسازی و استفاده از آن‌ها به منظور تولید فرآورده‌های با ارزش از قبیل اتانول، نه تنها سودهی صنایع مجتمع خمیر و کاغذ را افزایش می‌دهد، بلکه بخش زیادی از انرژی مورد نیاز این صنایع با انرژی‌های پاک و دوست‌دار محیط زیست تامین می‌شود (۱۰ و ۱۱). بررسی مطالعات گوناگون نشان می‌دهد که همی‌سلولزهای پیش‌استخراج شده در کارخانه‌های

## "ابراهیمی و همکاران، بررسی پتانسیل استفاده از همی سلولزها ..."

تولید خمیر کاغذ، روش خود هیدرولیز نسبت به هیدرولیز اسیدی مناسب‌تر بود (۱۵).

### سوخت‌های پاک و تجدیدپذیر

انرژی تجدیدپذیر به انواعی از انرژی می‌گویند که برخلاف انرژی‌های فسیلی، قابلیت بازگشت مجدد از طبیعت را دارند. در طول دوره‌های مختلف، همه با اصطلاح انرژی و کاربردهای آن آشنا شده‌اند، اما کمتر با بهترین روش‌های کسب انرژی پاک آشنا هستند. بی‌شک، امروزه انرژی از ارکان مهم حیات اقتصادی، صنعتی و علمی کشورهای جهان می‌باشد که بدون آن زندگی صنعتی امکان‌پذیر نیست (۱۶).

آلودگی هوا یک مساله مهم در کلان شهرها می‌باشد که دلیل عمده آن، تعداد زیاد وسایل نقلیه است. وسایل نقلیه آلاینده‌هایی مانند مونواکسیدکربن، اکسیدهای ازت، گاز سولفور و غیره را انتشار می‌دهند. علاوه بر این، مه دودی که در اثر اکسیدهای ازت و بنزین سوخته نشده از خروجی وسایل نقلیه ایجاد می‌شود، باعث آلودگی بیشتر هوا خواهد شد. ترکیب این مواد باعث تولید فرمالدهید، پراکسید و پروکسی استیل نترات شده که باعث تحریک چشم و پوست، از بین رفتن گیاهان و کاهش دید می‌شود. به‌طور متوسط یک وسیله نقلیه سبک، روزانه یک تا دو کیلوگرم آلاینده منتشر می‌کند. برای کاهش آلودگی هوا، تولید گازهای گلخانه‌ای، افزایش درجه اکتان بنزین و همچنین کاهش واردات بنزین، لازم است منابع سوخت پاک، جایگزین درصدی از بنزین شوند. این منابع بایستی تجدیدپذیر و حداقل آلاینده‌گی هوا را داشته باشند. همچنین سوخت جایگزین، بایستی باعث افزایش درجه اکتان بنزین شود. در حال حاضر سوخت زیستی (بیواتانول) به دلیل تولید از گیاهان و

صنایع خمیر و کاغذ، گزینه‌ای مناسب برای تبدیل به سوخت‌های تجدیدپذیر می‌باشند. هوانگ و همکاران (۲۰۱۰) فرآیند زیست پالایشگاه جنگلی همراه با پیش استخراج همی سلولزها و فرآیند خمیرسازی کرافت معمولی را با یکدیگر مقایسه کردند. نتایج نشان داد که در زیست پالایشگاه جنگلی، علاوه بر تولید اتانول، انرژی‌های مصرفی کارخانه نیز کاهش می‌یابد (۱۳). هلمروس و همکاران (۲۰۱۰) تاثیر پیش استخراج همی سلولزهای چوب توس را در فرآیند خمیرسازی کرافت برای تبدیل محصولات زیستی مورد بررسی قرار دادند. نتایج تحقیق نشان داد که استخراج همی سلولزها به وسیله آب باعث کاهش مقاومت‌های کششی، ترکیدن و سفتی کاغذ خواهد شد (۱۴). مندرس و همکاران (۲۰۰۹) به منظور استخراج بخشی از همی سلولزهای چوب اکالیپتوس گلوبولوس (*Eucalyptus globulus*) قبل از مرحله پخت (خمیرسازی)، از تیمار هیدرولیز اولیه (خود کاتالیز شده یا اسید کاتالیز شده) استفاده کردند. سپس از مونوساکارید زایلوز استخراج شده، جهت تولید اتانول استفاده شد. آن‌ها با بررسی تاثیر هر دو روش پیش هیدرولیز بر روی فرآیند پخت کرافت و کیفیت خمیر کاغذ حاصل، به این نتیجه رسیدند که بازده کل خمیر کاغذ برای خرده چوب‌های پیش تیمار شده به روش خود هیدرولیز، ۱۰ درصد و روش اسیدی، ۱۵ درصد کاهش پیدا کرده است. اما، سرعت لیگنین‌زدایی خرده‌چوب‌های پیش‌هیدرولیز شده با هر دو روش افزایش یافت و در مقایسه با خمیر کاغذ شاهد، فاکتور H برای رسیدن به عدد کاپای معین کاهش یافت. به‌علاوه، گرانروی خمیر کاغذ حاصل از روش خود هیدرولیز بهبود پیدا کرد. در مجموع، از نقطه نظر

ضایعات کارخانه‌های سلولزی، جزء سوخت‌های تجدیدپذیر می‌باشد. مخلوط کردن اتانول با بنزین (۵ تا ۸۵ درصد) آلودگی هوا را کاهش می‌دهد. استفاده از سوخت‌های پاک و تجدیدپذیر، واردات و مصرف بنزین را کاهش داده که در نتیجه گازهای گلخانه‌ای نیز کاهش می‌یابند. با مخلوط کردن اتانول با بنزین می‌توان انتشار گاز سولفور را ۸۰-۶۰ درصد، مواد آلی فرار را ۱۵-۱۳ درصد و اکسیدهای ازت و مونواکسید کربن را ۳۰-۲۰ درصد کاهش داد. همچنین با استفاده از مخلوط اتانول و بنزین می‌توان آلاینده‌های سرب و متیل ترسیو بوتیل اتر (Methyl tert-butyl (MTBE) ether را که برای محیط زیست مضرند، حذف کرد (۴)

و (۱۶).

### صنایع خمیر و کاغذ

تولید خمیر کاغذ فرآیندی است که به وسیله آن چوب یا دیگر مواد لیگنوسلولزی به توده لیفی تبدیل می‌شوند. به بیان دیگر فرآیندی است که بر اثر آن پیوندهای درونی ساختار چوب می‌شکنند و الیاف از هم جدا می‌شوند. این کار را می‌توان از طریق روش مکانیکی، شیمیایی و یا تلفیقی از این دو روش انجام داد. طبق جدول ۱، روش‌های تجاری خمیرسازی موجود را می‌توان در سه گروه مکانیکی، شیمیایی و نیمه‌شیمیایی طبقه‌بندی کرد.

جدول ۱- طبقه بندی فرآیندهای تبدیل چوب به خمیر کاغذ (۱۷)

مکانیکی	مکانیکی - شیمیایی	شیمیایی
تولید خمیر با انرژی مکانیکی (بدون مواد شیمیایی یا گرما یا به مقدار اندک) بازده زیاد (۹۰-۹۵ درصد)	تولید خمیر با تلفیقی از عملیات شیمیایی و مکانیکی بازده متوسط (۵۵-۹۰ درصد)	تولید خمیر با استفاده از مواد شیمیایی و گرما بازده کم (۴۰-۵۵ درصد)
الیاف کوتاه، ناخالص، ضعیف و ناپایدار، کیفیت چاپ خوب، رنگبری دشوار	خواص میانه با بعضی ویژگی‌های برجسته	الیاف بلند، خالص، محکم و پایدار
چند مثال: گراندودسنگی، خمیر مکانیکی پالایشی	چند مثال: سولفیت خنثی نیمه شیمیایی، کرافت با راندمان بالا	چند مثال: کرافت، سولفیت، سودا

### فرآیند خمیرسازی کرافت

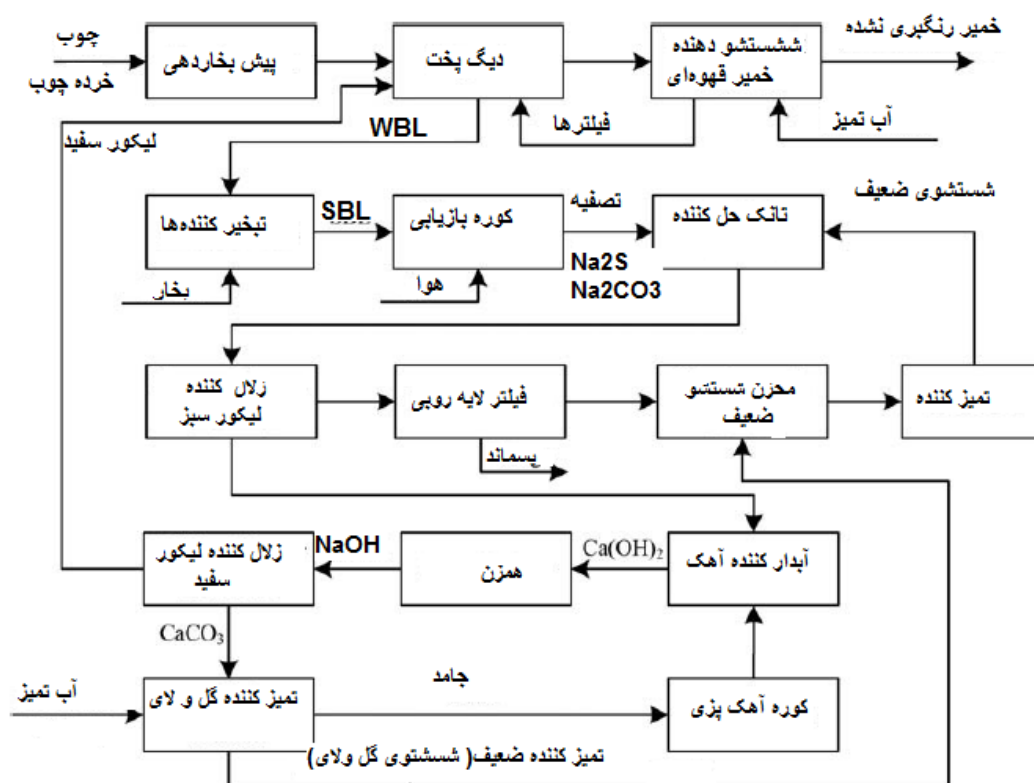
هدف فرآیند خمیرسازی شیمیایی، تجزیه و حل کردن لیگنین است، به طوری که آنچه که بر جای می‌ماند عمدتاً سلولز و همی سلولز به صورت نسبتاً تغییر نیافته می‌باشد. با اعمال روش‌های شیمیایی می‌توان قسمت عمده لیگنین را از مواد لیگنوسلولزی خارج کرد، ولی این روش مقداری سلولز و همی سلولز را نیز تجزیه می‌کند. بازده خمیر کاغذ شیمیایی در مقایسه با

فرآیندهای مکانیکی کمتر می‌باشد و مقدار آن حدود ۴۰-۵۵ درصد مقدار چوب اولیه است (۱۷). عمده‌ترین روش خمیرسازی شیمیایی برای ساخت کاغذ در جهان، فرآیند کرافت می‌باشد (شکل ۱). در فرآیند کرافت ماده اولیه به کمک محلول‌های شیمیایی حاوی هیدروکسید سدیم (NaOH) و سولفید سدیم (Na<sub>2</sub>S) تحت فشار و دمای زیاد پخته می‌شود. خمیر حاصل از اجرای فرآیند کرافت در مقایسه با خمیر

## "ابراهیمی و همکاران، بررسی پتانسیل استفاده از همی سلولزها ..."

حاصل از سایر فرآیندها، از مقاومت فیزیکی، مکانیکی و نوری بیشتری برخوردار است. به همین دلیل است که کلمه آلمانی کرافت، به معنای قوی و محکم برای این روش به کار می‌رود. انواع چوب‌های نرم، سخت و حتی الیاف غیرچوبی، با این روش پخته و به خمیر کاغذسازی تبدیل می‌شوند. طیف گسترده‌ای از خمیرها با درجات پخت متفاوت را می‌توان از این روش تولید نمود. در این فرآیند خرده‌چوب‌ها، بعد از پیش گرمادهی در پیش بخارزن، وارد دیگ پخت می‌شوند. خرده‌چوب‌ها در دیگ پخت، با مایع سفید که عمدتاً حاوی محلول آبی هیدروکسید سدیم و سولفید سدیم است، تحت دما و فشار بالا واکنش می‌دهند. سپس خرده‌چوب‌های پخته شده، وارد شستشو دهنده خمیر می‌شوند. بعد از شستشو، خمیر

رنگ‌بری نشده برای فرآوری بیشتر به واحد رنگ‌بری فرستاده یا به عنوان خمیر رنگ‌بری نشده مورد استفاده قرار می‌گیرد. فاز مایع استخراج شده حاوی مواد آلی حل شده است که به عنوان مایع پخت سیاه ضعیف Weak black liquor (WBL) نامیده می‌شود. برای تغلیظ مایع پخت سیاه ضعیف، از انواع تبخیر کننده‌ها استفاده می‌کنند تا به مایع پخت سیاه قوی (SBL) Strong black liquor تبدیل شود (شکل ۱). سپس مایع پخت سیاه قوی، برای بازیابی حرارت و مواد شیمیایی غیرآلی ( $\text{Na}_2\text{S}$  و  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) به کوره بازیابی فرستاده می‌شود. با شکستن آهک ( $\text{CaO}$ ) در کوره آهک‌پزی و سودسازی با  $\text{Ca(OH)}_2$ ، ماده  $\text{NaOH}$  تولید شده که به فرآیند خمیرسازی برگردانده می‌شود (۱۸).



شکل ۱- فرآیند خمیرسازی با روش کرافت و بازیابی مواد شیمیایی آن (۱۸)

## "ابراهیمی و همکاران، بررسی پتانسیل استفاده از همی سلولزها ..."

### شیمی همی سلولزها

همی سلولزها بخشی از مواد زمینه دیواره سلولی الیاف هستند که از نظر شیمیایی از اشتراک قندهای ۵ کربنی مانند زایلانها و قندهای ۶ کربنی مانند مانوز و اسیدهای اورونیک به وجود آمده‌اند. در بیشتر موارد ستون مهره واحدهای همی سلولزی، با ساختمان خطی ساخته شده، که در جایگاه‌های مختلف به وسیله پیوندهای هیدروژنی با سلولز مشترک شده‌اند.

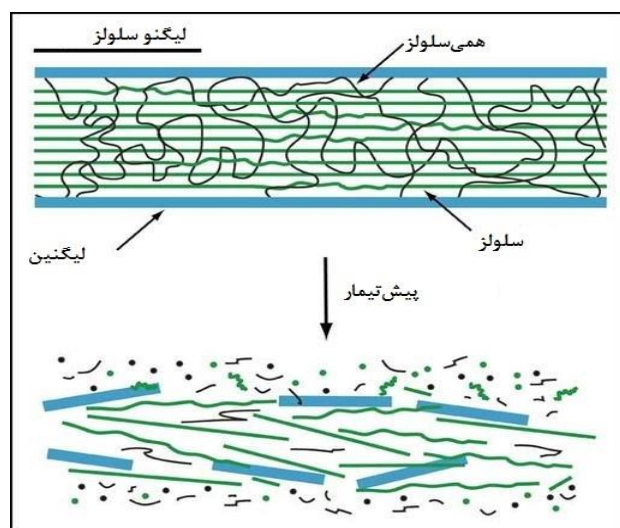
همی سلولزها، پلی ساکاریدهای ناهمگن، پیچیده و شاخه دار هستند که از واحدهای مونومری D-گلوکز، D-گالاکتوز، D-مانوز، D-زایلوز، L-آرابینوز، D-گلوکورونیک اسید و ۴-O-متیل -D-گلوکورونیک اسید تشکیل شده، درجه پلیمریزاسیون همی سلولزها، کمتر از ۲۰۰ بوده و براساس قند اصلی زنجیره پلیمر، به زایلان (۱-β-۴- پیوند یافته با زایلوز) یا مانان (۱-β-۴- پیوند یافته با مانوز) طبقه بندی می شوند.

تولید اتانول از همی سلولزهای پیش استخراج شده در کارخانه خمیر کاغذ کرافت

همی سلولزها، از جمله پلی ساکاریدهای ناهمگن

هستند و مسیر بیوستز آنها با سلولز متفاوت است. نسبت وزنی همی سلولز چوب خشک، معمولاً بین ۲۰ تا ۳۰ درصد است. همی سلولزهای پهن برگان، عمدتاً از قندهای پنج کربنه (زایلوز) تشکیل شده‌اند. اما همی سلولزهای سوزنی برگان، عمدتاً از قندهای شش کربنه (گلوکوز و مانوز) تشکیل شده‌اند (۱۹).

همی سلولزها، در فرآیند کرافت در همان مراحل اولیه حل شده و خارج می شوند. در نتیجه برای جلوگیری از هدر رفتن همی سلولزها و استفاده بهینه، می توان آنها را استخراج و به مواد شیمیایی مختلف تبدیل کرد. شکل ۲ نحوه جداسازی همی سلولزها را به وسیله پیش هیدرولیز نشان می دهد. برای پیش استخراج همی سلولزها قبل از خمیرسازی، روش های متعدد و موثر به منظور جزء جزء سازی اجزای همی سلولزها از زیست توده لیگنوسلولزی استفاده می شود. این روش ها شامل پیش هیدرولیز با اسید رقیق، استخراج با مایع آب داغ و استخراج قلیایی می باشند (۸).



شکل ۲- نحوه پیش تیمار و جداسازی همی سلولزها از مواد لیگنوسلولزی (۱۳)

## "ابراهیمی و همکاران، بررسی پتانسیل استفاده از همی سلولزها ..."

هگزوزها و پنتوزها ترجیح داده شود (۲ و ۲۱). هیدرولیز آنزیمی برای پیش‌تیمار فرآیند کاه گندم و سایر ضایعات کشاورزی به بیواتانول تجاری استفاده می‌شود. در فرآیند هیدرولیز مواد لیگنوسلولزی، معمولاً تعدادی مواد مزاحم تشکیل می‌شوند که برای ادامه فرآیند بایستی این مواد را حذف کرد (۲۰). چندین استراتژی برای برخورد با مواد مزاحم در فرآورده‌های آبکافتی وجود دارد. سم‌زدایی قبل از تخمیر به وسیله قلیا، سولفیت، تبخیر، تبادل آنیونی یا تیمار آنزیمی، می‌تواند مواد مزاحم حاصل از هیدرولیز را حذف کند (۱۰). سرانجام محلول مونوساکاریدهای هیدرولیز شده، برای تبدیل به اتانول به تخمیر نیاز خواهند داشت. میکروارگانیسم‌هایی که قادر به تخمیر قند به اتانول هستند، می‌توانند دارای مخمر یا باکتری باشند که در مورد همی سلولزهای پیش‌استخراج شده می‌توان از *Zymomonas mobilis* استفاده کرد (۲۱). تخمیر مناسب فرآورده‌های آبکافتی چوب به اتانول، پایه فنی محکمی از تکنولوژی‌های تخمیر عملی را فراهم می‌کند که می‌تواند برای تبدیل به پیش‌استخراج همی سلولزهای چوب به اتانول طراحی شود.

مفهوم پیش‌استخراج همی سلولز قبل از خمیرسازی، توسط مجموعه بزرگی از تولیدات خمیر و کاغذ حمایت مالی شده است که تحت نظارت دستورکار ۲۰۲۰ ایالات متحده آمریکا قرار گرفته است. فناوری پیش‌تیمار خرده‌چوب‌ها در ایالات متحده، می‌تواند برای صنعت سوخت‌های زیستی، سالانه حدود ۱۴ میلیون تن همی سلولز در دسترس قرار دهد، درحالی‌که همزمان با این عمل، کیفیت خمیر کرافت بهبود می‌یابد (۱). این همی سلولزها با حجم بسیار

براساس تحقیقات صورت گرفته توسط هیوانگ و همکاران (۲۰۱۲) استخراج قلیایی با سدیم هیدروکسید برای استخراج همی سلولزهای پهن برگان بهتر و موثرتر عمل می‌کند. مهمتر از همه، چون سدیم هیدروکسید یکی از مواد شیمیایی مهم برای خمیرسازی کرافت می‌باشد، در نتیجه فرآیند پیش‌استخراج به وسیله این ماده سازگار با فرآیند خمیرسازی کنونی کرافت است. همزمان با پیش‌استخراج همی سلولزها با روش قلیایی می‌توان به خمیری با کیفیت مطلوب‌تر دست یافت. مزیت پیش‌استخراج همی سلولزها در کارخانه‌های خمیرسازی در جدول ۲ نشان داده شده است. بعد از پیش‌استخراج همی سلولزها، سدیم هیدروکسید و آب از خرده‌چوب‌های جدا شده و برای استفاده مجدد در فرآیند بازیابی می‌شوند.

### جدول ۲- مزیت پیش‌استخراج همی سلولزها در خمیرسازی

کاهش زمان پخت کرافت
افزایش اشباع مایع پخت کرافت
بهبود بازده خواص خمیر
بهبود ظرفیت تولید خمیر برای کارخانه‌های
خمیر کرافت که محدودیت کوره بازیابی دارند

بعد از استخراج همی سلولزها از خرده‌چوب‌ها، بایستی آن‌ها را به قندهای مونومری تبدیل کرد. دو روش هیدرولیز اسیدی و آنزیمی برای تبدیل همی سلولزهای چوب به محلول قند قابل تخمیر وجود دارد. در فرآیند هیدرولیز، پلی‌ساکاریدها به مونوساکاریدها تبدیل می‌شوند که از تخمیر آن‌ها اتانول به دست می‌آید. بسته به نوع تکنولوژی بهینه برای پیش‌استخراج همی سلولز از خرده‌چوب‌ها، ممکن است هیدرولیز اسیدی پلی‌ساکاریدها برای تبدیل به

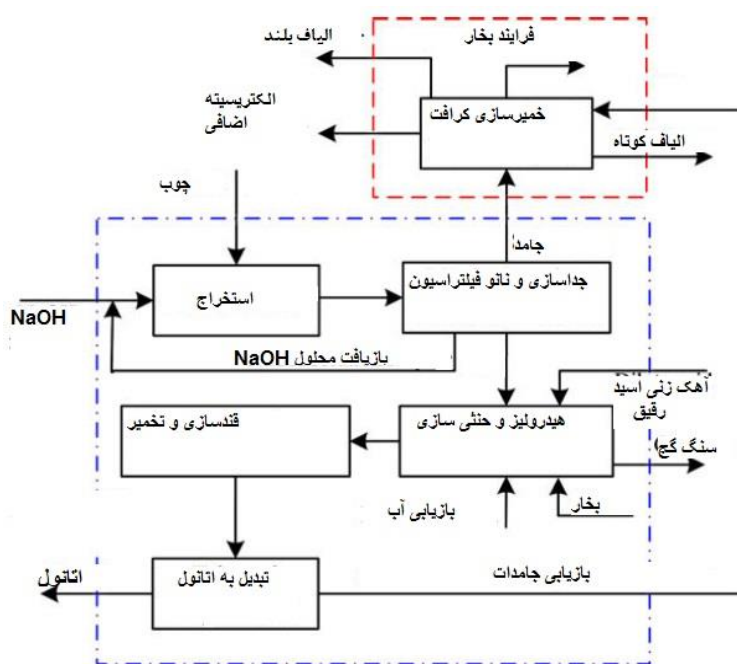
زیاد که حدود ۴۰-۲۰ میلیون گالن در سال می‌باشد، می‌توانند منبع قندی ارزشمند را برای تولید اتانول در یک کارخانه خمیرسازی را فراهم کنند (۳). پتانسیل تولید سالانه اتانول از پیش استخراج همی سلولز، می‌تواند نزدیک به دو میلیارد گالن در سال باشد (۱۳). تاکنون قابلیت استخراج همی سلولز از خرده چوب‌ها قبل از خمیرسازی کرافت برای خمیرحل شونده (Disolving pulp) ایجاد شده است.

پیش استخراج همی سلولزها می‌تواند دارای پتانسیل مناسبی برای تهیه سوخت‌های حمل و نقل باشد. اخیراً از زیست توده قابل دسترس در ایالات متحده آمریکا، به‌عنوان ماده‌ای برای تهیه انرژی زیستی استفاده شده است. ۳۶۸ میلیون تن پسماند مشتقات جنگلی و ۱۹۵ میلیون تن باقیمانده‌های کشاورزی تولید شده در هر سال، جزء منابع زیست توده‌ای می‌باشند که در آمریکا برای تامین انرژی‌های زیستی مورد استفاده قرار می‌گیرند. پیش استخراج همی سلولزها، قادر به تهیه بخش مناسبی از کل سوخت‌های زیستی حمل و نقل در کشورهای اصلی تولیدکننده خمیرکاغذ است. یک کارخانه تولیدکننده

خمیرکاغذ که از کاج تدا (Pinus taeda)، به‌عنوان ماده اولیه استفاده می‌کند، سالانه ۴۲۶۶۴۰ تن خمیرکاغذ تولید می‌کند. این کارخانه به‌ازای ۶ درصد پیش استخراج همی سلولزها (بر مبنای وزن خشک چوب)، قادر است سالانه ۱۸۹۳۰ تن اتانول تولید کند. همچنین کارخانه مذکور به‌ازای ۸ درصد پیش استخراج همی سلولزها قادر است سالانه ۷۴۸۸۱ تن اتانول تولید کند (۳).

از بین فرآیندهای مختلف خمیرکاغذسازی، فرآیند کرافت، مناسب‌ترین روش برای تبدیل به زیست پالایشگاه و پیش فرآوری همی سلولز جهت تبدیل به اتانول می‌باشد. در طی فرآیند خمیرسازی کرافت، معمولاً لیگنین و همی سلولزها به‌طور کامل حذف خواهند شد. در این فرآیند قبل از ورود خرده چوب‌ها به دیگ پخت، می‌توان همی سلولزها را جدا و آنها را به اتانول تبدیل کرد. سپس باقیمانده الیاف سلولزی به واحد خمیر و کاغذسازی انتقال داده شود. شکل ۳ فرآیند پیش فرآوری جهت استخراج همی سلولزها را در یک واحد خمیرسازی به روش کرافت نشان می‌دهد.

## "ابراهیمی و همکاران، بررسی پتانسیل استفاده از همی سلولزها ..."



شکل ۳- واحد خمیرسازی بر مبنای زیست پالایشگاه جامع جنگلی همراه با پیش استخراج همی سلولزها (۱۳)

تخمیر مخلوط پنتوز و هگزوز و تبدیل آن به اتانول زیستی استفاده شد. دمای محیط برای تخمیر قندها ۴۱ درجه سانتی گراد و زمان تماس نیز ۳۶ ساعت انتخاب شد (۲ و ۱۳). برای تخمیر قندها به اتانول از میکروارگانیزم‌های *Thermotolerant Kluyveromyces*، *Candida Thermotolerant Marxianusvar*، *Pichia stipiti*، *C. Paludigena boidinii* و ... نیز می‌توان استفاده کرد.

### بررسی تولید سوخت‌های تجدیدپذیر در کارخانه‌های خمیر و کاغذ ایران

کارخانه‌های بزرگ خمیر و کاغذ در داخل کشور، شامل چوب و کاغذ ایران (چوکا) و صنایع چوب و کاغذ مازندران می‌باشند. شرکت صنایع چوب و کاغذ مازندران بزرگترین تولید کننده کاغذ در ایران با ظرفیت مجموعاً ۱۷۵۰۰۰ تن، شامل ۹۰۰۰۰ تن کاغذ

Aden و همکاران (۲۰۰۲) و Huang و همکاران (۲۰۰۸) شرایط هیدرولیز، قندسازی، تخمیر و جداسازی اتانول از همی سلولزهای پیش استخراج شده را به شرح زیر انتخاب کردند. این محققین بعد از پیش استخراج و جداسازی همی سلولزها، از اسیدسولفوریک ۱ درصد برای هیدرولیز مونوساکاریدها (که عمدتاً زایلوز، مانوز، آرابینوز و گالاکتوز بودند)، در دمای ۱۹۰ درجه سانتی گراد به مدت ۲ دقیقه استفاده کردند. همچنین برای خنثی سازی مواد مزاحم (استیک اسید، فورفورال و هیدروکسی متیل فورفورال که بازدارنده تخمیر اتانول هستند) تا رسیدن pH مایع، به محدوده ۱۰ به آن آهک اضافه شد. برای قندسازی نیز از آنزیم سلولاز استفاده کردند که دمای سوپسترا ۵۶ درجه سانتی گراد و مدت زمان تماس را ۳۶ ساعت در نظر گرفتند. سپس از میکروارگانیزم *Zymomonas mobilis* برای

روزنامه و چاپ و تحریر و ۸۵۰۰۰ تن کاغذ فلوتینگ (Fluting) در سال می‌باشد. چوکا اولین تولید کننده کرافت لاینر در خاورمیانه می‌باشد. برخلاف شرکت چوب و کاغذ مازندران، عمده محصولات تولیدی

چوکا کرافت لاینر و فلوتینگ می‌باشند (۲۲). آمار واردات انواع فرآورده‌های جنگلی به یارد چوکا در یک دوره ۶ ماهه به شرح جدول ۳ می‌باشد.

جدول ۳- آمار واردات چوب در مجتمع صنایع چوب و کاغذ ایران (چوکا) (۸)

نوع چوب	حجم (متر مکعب)
گونه درجه ۱	۴۰۵۴/۱۷۱
گونه درجه ۲	۷۶۷۳/۷۴۹
گونه درجه ۳	۱۵۲۹۹/۷۸۵
گونه خارج از درجه	۸۴۵۵ /۰۵۱
گونه درجه کم قطر	۴۸۵۶/۶۳۳
غیره	۱۷۵۶

مجتمع چوکا و صنایع چوب و کاغذ مازندران با توجه به حجم چوب مصرفی بسیار زیاد، می‌توانند گزینه مناسبی برای تولید اتانول در داخل کشور باشند. سایر تولید کنندگان انواع کاغذ داخل کشور در جدول ۴ نشان داده شده است.

جدول ۴- آمار تولید کنندگان انواع کاغذ در ایران سال ۱۳۸۸ (۲۲)

واحد صنعتی	کاغذ چاپ و تحریر (تن)	کاغذ روزنامه (تن)	کاغذ تست لاینر و فلوتینگ (تن)	کاغذهای بهداشتی (تن)	جمع (تن)	درصد از کل تولید مصرف
کاغذ پارس	۲۰۰۰	۰	۲۸۰۰۰	-	۳۰۰۰۰	۸ درصد
چوب و کاغذ مازندران	۱۰۰۰	۱۴۰۰۰	۱۲۴۰۰۰	۰	۱۴۰۰۰۰	۳۵ درصد
چوکا	۰	۰	۶۶۰۰۰	۰	۶۶۰۰۰	۱۷ درصد
سایر تولید کنندگان	۱۰۰۰۰	۰	۱۵۴۰۰۰	۲۶۰۰۰	۱۹۱۰۰۰	۴۴/۷ درصد
جمع تولید داخل	۱۴۰۰۰	۱۴۰۰۰	۳۷۴۰۰۰	۲۶۰۰۰	۴۲۷۰۰۰	۵۹ درصد
مصرف داخلی	۱۶۷۰۰۰	۷۷۰۰۰	۴۰۳۰۰۰	-	۶۴۸۰۰۰	-

جهت استخراج همی سلولزها، در بخار مصرفی، برق مصرفی، تولید اتانول و غیره در جدول ۵ نشان داده شده است. در جدول ۵ علامت منفی، نشان دهنده کاهش مصرف یا تولید است. همچنین  $P_1$ ، برق مورد

بحث و نتایج انرژی مصرفی در فرآیندهای مختلف تفاوت‌های کارخانه خمیرکاغذ کرافت متداول با زیست پالایشگاه جامع جنگلی همراه با پیش فرآوری

## "ابراهیمی و همکاران، بررسی پتانسیل استفاده از همی سلولزها ..."

پیش استخراج همی سلولزها نسبت به روش متداول خمیرسازی کرافت، با توجه به کاهش استفاده از مواد شیمیایی غیرآلی برای خمیرسازی، حدود ۱۳ درصد سوخت کمتر در کوره آهک‌پزی مصرف می‌کند. در زیست پالایشگاه جامع جنگلی، علاوه بر خمیرکاغذ می‌توان اتانول و مواد شیمیایی دیگر را نیز تولید کرد. همچنین پیش استخراج همی سلولز از خرده‌چوب‌ها قبل از خمیرسازی و ته‌نشین قسمت الیگومری، می‌تواند ظرفیت خمیرسازی را تا ۲۲ درصد افزایش دهد (۱۳).

نیاز برای موتورها و پمپ‌های کمکی می‌باشد. با توجه به جدول ۵ می‌توان مشاهده کرد که واحد خمیرسازی پیشرفته بر مبنای زیست پالایشگاه جنگلی، حدود ۵۵ درصد بخار هدر رفته کمتری نسبت به فرآیند کرافت با روش متداول تولید کرده است. زیرا تخمیر همی سلولزها و حذف آن‌ها قبل از خمیرسازی، سبب کاهش نرخ جریان مواد جامد مایع سیاه قوی شده است. همچنین واحد خمیرسازی پیشرفته، بر مبنای زیست پالایشگاه جنگلی نسبت به روش متداول خمیرسازی کرافت، برق کمتری مصرف کرده است. زیست پالایشگاه جامع جنگلی، همراه با

جدول ۵- انرژی مصرفی، تولیدی و تولید اتانول در فرآیندهای مختلف (۱۳-۲۳)

انرژی‌های مصرفی کارخانه	خمیرسازی کرافت با روش متداول	خمیرسازی همراه با پیش فراوری جهت استخراج همی سلولزها	نمونه تغییرات دو روش
بخار تولیدی (GJ/h)	۵۵۵/۷۲	۴۴۷/۲۹	-۱۰۸/۴۳
بخار مصرفی (GJ/h)	-۴۱۸/۶۱	-۳۸۶/۲۵	۳۲/۳۶
بخار خالص (GJ/h)	۱۳۷/۱۱	۶۱/۰۴	-۷۶/۰۷
انرژی مصرفی (GJ/h)	-۱۲۲/۰۱	-۱۰۷/۱۰	۱۴/۹۱
توان تولیدی (KWh/h)	۲۲۲۴۶	۲۳۰۶۱	۰/۸
توان مصرفی (KWh/h)	-P1	(-P1+۶۷۸۱)	-۶۷۸۱
توان خالص (KWh/h)	P1-۲۲۲۴۶	۱۶۲۸۰-P1	-۵۹۶۶
اتانول تولیدی (mg/y)	۰	۱۳۳۰۸	۱۳۳۰۸

این تحقیق، پیش‌فراوری جهت استخراج همی سلولزها با استفاده از آب داغ صورت گرفته است. نتایج حاصل از بازده استخراج مطابق جدول ۶ می‌باشد. با توجه به جدول مشاهده می‌شود که با افزایش شدت تیمار، میزان بازده پیش استخراج کاهش یافته است.

مقایسه ویژگی‌های خمیرکاغذ حاصله با پیش استخراج همی سلولز و بدون پیش استخراج ابیض و همکاران (۱۳۹۲) آثار پیش استخراج بر ویژگی‌های خمیر و کاغذ حاصله از باگاس را در یک سیستم پالایشگاه زیستی مورد بررسی قرار دادند. در

"مجله ایمنی زیستی، دوره ۸، شماره ۱، بهار ۱۳۹۴"

جدول ۶- شرایط و نتایج حاصل از پیش استخراج همی سلولزها با روش تیمار با آب داغ (۲۴)

دما (C°)	زمان پیش- استخراج (دقیقه)	شدت واکنش (دقیقه)	بازده استخراج (درصد)	هولوسولوز (درصد)
باگاس خام	-	-	۱۰۰	۷۳/۴
۱۳۵-۱۴۰	۱۰	۲/۱۰۴	۹۶/۸۵	-
	۲۰	۲/۴۰۵	۹۰/۸۴	-
	۳۰	۲/۵۸۱	۸۶/۶۹	۶۶/۸
۱۵۰-۱۵۵	۱۰	۲/۵۴۶	۹۴/۵۵	-
	۲۰	۲/۸۴۷	۸۹/۰۳	-
	۳۰	۳/۰۲۳	۸۲/۹۱	۶۵/۲
	۱۰	۳/۱۳۵	۸۶/۴۱	۶۵
۱۷۰-۱۷۵	۲۰	۳/۴۳۶	۸۳/۰۶	۶۵
	۳۰	۳/۶۱۲	۷۹/۲۴	۶۵/۶

می‌باشد. لیگنین باقی‌مانده‌ی کمتر در خمیرکاغذ، باعث کاهش مصرف مواد شیمیایی و هزینه‌های اضافی در فرآیند رنگبری خمیرکاغذ خواهد شد. همچنین درجه روشنی خمیر پیش فرآوری شده در این تحقیق نسبت به پیش فرآوری نشده، افزایش یافته است. با پیش استخراج همی سلولز، به دلیل برقراری پیوند کمتر بین الیاف، مقاومت‌های کاغذ کاهش یافتند.

در این پژوهش، بعد از پیش استخراج همی سلولزهای باگاس به وسیله آب داغ، خمیرسازی صورت گرفت. باگاس پیش‌فرآوری شده با قلیائیت ۱۷ درصد (بر مبنای وزن خشک) تبدیل به خمیرکاغذ شد. خمیر حاصله برای ساخت کاغذ مورد استفاده قرار گرفت. کاغذ حاصله، داری خواص مقاومتی مطابق جدول ۷ بوده است. طبق جدول ۷ می‌توان مشاهده کرد که مقدار لیگنین باقی‌مانده (عدد کاپا) در خمیر پیش فرآوری شده، نسبت به خمیر فرآوری نشده، کمتر

جدول ۷- ویژگی خمیر و کاغذهای تولید شده با استفاده از باگاس پیش استخراج شده و استخراج نشده در شرایط مختلف (۲۴)

نوع خمیر	عدد کاپا (توالی DE)	بازده رنگبری (توالی DE)	درجه روشنی خمیر درصد	مقاومت به کشش (NM/g)	مقاومت به ترکیدن (Kpa.m <sup>2</sup> /g)
باگاس تیمار نشده	۵/۶۸	۹۵	۸۳/۲۶	۶۵/۴۳	۳/۳۷
باگاس تیمار شده					
در دمای ۱۳۵ C° و زمان ۳۰ دقیقه	۴/۹۱	۹۷/۱	۸۵/۳۲	۵۴/۲	۲/۸۹
باگاس تیمار شده					
در دمای ۱۷۵ C° و زمان ۱۰ دقیقه	۷/۶	۹۴/۳	۸۴/۸۷	۴۹/۲۹	۲/۳۶

عدد کاپا: مقدار لیگنین باقی‌مانده در خمیر را نشان می‌دهد. ۰/۱۵ × عدد کاپا = لیگنین باقی‌مانده در خمیرکاغذ

#### مقایسه سوخت‌های فسیلی با اتانول

استفاه از اتانول، به عنوان سوخت موتورهای درون‌سوز، به صورت ترکیب با دیگر سوخت‌ها مورد توجه می‌باشد. دلیل این امر، فواید زیست محیطی و اقتصادی درازمدت اتانول است که نسبت به سوخت‌های فسیلی دارد. اتانول قابل اشتعال است و بهتر از سوخت‌های دیگر می‌سوزد. وقتی اتانول به صورت کامل بسوزد، از آن فقط آب و دی اکسیدکربن حاصل می‌شود. به همین دلیل، از لحاظ کاهش آلاینده‌های زیست محیطی مورد توجه بوده و سوخت مناسبی برای بخش حمل و نقل عمومی محسوب می‌شود (۲۵).

از دیگر مزایای اتانول به عنوان سوخت می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

- اتانول دارای سرعت تبخیر پایینی می‌باشد، لذا در هنگام تصادف، به لحاظ ایمنی خطر کمتری نسبت به بنزین دارد.

- اگر ۱۰ تا ۳۰ درصد اتانول با بنزین مخلوط شود، نیاز به تغییرات سیستم موتور نخواهد بود. ولی بیشتر از ۳۰ درصد باید موتور مخصوص سوخت اتانولی روی ماشین تعبیه شود.

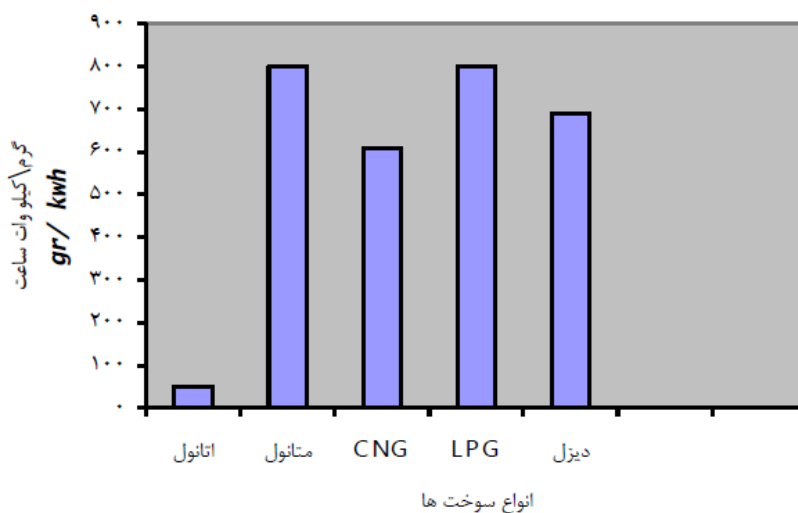
- انتشار آلاینده‌های اتانول نسبت به سوخت‌های فسیلی کمتر است (شکل ۴). انتشار HC و CO آن در مقایسه با بنزین در خودروهای سبک کمتر و در مقایسه با گازوئیل در خودروهای سنگین بیشتر است. همچنین اتانول در مقایسه با دیگر سوخت‌ها، از انتشار volatile organic compounds (VOC) پایین‌تری برخوردار است که درعین حال، صدمه کمتری به لایه ازن وارد می‌کند.

- اتانول باعث کاهش ضربه زدن در موتور می‌شود.

- اتانول از ایمنی بیشتری نسبت به بنزین برخوردار است و دیرتر آتش می‌گیرد.

- کاهش ذرات معلق در هوا

- تولید یک سوخت پاک



شکل ۴- مقایسه آلاینده‌های حاصل از اتانول، در مقایسه با سوخت‌های دیگر (۷)

نهان بیشتر اتانول، سبب شارژ القایی بالاتر شده و موتور اتانول سوز را قادر می سازد تا حدود ۱۰ درصد توان خروجی بیشتر نسبت به بنزین تولید کند (۳۵).

جدول ۸ توان خروجی بهتر و فشار موثر متوسط (BMEB) بنزین و اتانول را در موتورهای SI مقایسه می کند. عدد اکتان بیشتر برای اتانول، موجب می شود تا از آن با نسبت تراکم بالاتری استفاده شود. گرمای

جدول ۸- مقایسه فاکتورهای کلیدی موتورهای بنزین سوز و الکل سوز

پارامترها	اتانول با ضریب فشردگی ۱۱	بنزین با ضریب فشردگی ۸/۹
اسب بخار		
۱۰۰۰ RPM	۱۷۰	۱۳۰
۳۰۰۰ RPM	۲۲۰	۱۸۰
۵۰۰۰ RPM	۱۷۵	۱۵۰
فشار موتور (kg/cm <sup>2</sup> )		
۱۰۰۰ RPM	۱۰	۸
۲۰۰۰ RPM	۱۱	۹/۵
۳۰۰۰ RPM	۱۱/۶	۱۰/۸
۴۰۰۰ RPM	۱۱/۳	۱۰/۳
۵۰۰۰ RPM	۱۰/۶	۹

گزینه‌ای مناسب برای تولید اتانول از همی سلولزهای پیش استخراج شده می باشند. در واقع زیست پالایشگاه جامع جنگلی، فقط یک کارخانه تک محصولی نیست، بلکه می تواند انواع محصولات را تولید کند. از فروش محصولات فرعی که از زیست پالایشگاه جامع جنگلی به دست می آید، بسیاری از هزینه های کارخانه خمیرسازی جبران می شود. پیش استخراج همی سلولزها در کارخانه های خمیرکاغذ، علاوه بر تولید محصولات اضافی، منجر به کاهش انرژی های مصرفی کارخانه نیز خواهد شد. تهیه اتانول از همی سلولزهای پیش استخراج شده، یک فرآیند بسیار مناسب برای تولید اتانول مورد تقاضا در دنیا است. زیرا با توجه به کارخانه های کثیر خمیرسازی که در دنیا وجود دارند، اگر تمام یا تعدادی از این

اتانول نسبت به سوخت های فسیلی رایج، داری معایبی نیز می باشد. اتانول بصورت خالص نمی تواند در موتور اتومبیل های کنونی به عنوان سوخت استفاده شود. زیرا دارای عدد اکتان بیشتر از حد معمول مورد نیاز برای اتومبیل های امروزی است. به همین دلیل لازم است که در زمان جرقه زنی (سیستم برق اتومبیل) تغییراتی به وجود آید. هزینه تهیه اتانول ۳ تا ۵ برابر بنزین می باشد. همچنین اتانول به مخزنی ۵۰ درصد بزرگتر و ۶۵ درصد سنگین تر از بنزین نیاز دارد تا معادل آن انرژی تولید کند. چگالی انرژی اتانول در مقایسه با بنزین و گازوئیل نیز کمتر است (۱۶ و ۲۵).

#### نتیجه گیری

کارخانه های صنایع خمیر و کاغذ، با توجه به سرمایه گذاری های کلان و حجم وسیع چوب مصرفی،

## "ابراهیمی و همکاران، بررسی پتانسیل استفاده از همی سلولزها ..."

کارخانه‌ها از تکنولوژی زیست پالایشگاه استفاده کنند، سالانه حجم زیادی اتانول تولید می‌شود و از مصرف محصولات کشاورزی و غذایی برای تولید اتانول می‌توان جلوگیری کرد. از مزایای استخراج همی سلولزها قبل از خمیرسازی، می‌توان به افزایش درجه روشنی، کاهش مصرف مواد شیمیایی پخت و کاهش عدد کاپا اشاره کرد. اما با استخراج همی سلولزها، مقاومت‌های کاغذ کاهش پیدا می‌کند. دلیل کاهش مقاومت کاغذ، نبود همی سلولز در خمیرکاغذ می‌باشد. زیرا نبود همی سلولزها در فرآیند کاغذسازی، باعث کاهش پیوند هیدروژنی بین الیاف می‌شود.

### References

### فهرست منابع

- 1- **R.C. Hardman, (1993).** Biopolymer: Making materials nature's way, Office of Technology Assessment.
- 2- **David L Kaplan (1994).** "Naturally Occurring Biodegradable Polymers," G Swift and R Narayan (eds), Polymer Systems-Synthesis and Utility (New York, NY Hanser Publishing, forthcoming)
- 3- **Jonas R., Farrah L.F., (1998).** Production and application of microbial cellulose. Polymer Degradation and Stability, 59,101-106.
- 4- **Pichavant L., (2009).** Synthèse et reactivite de monomere issus de ressources renouvelables pour la polymerization radicalaire.Ph.D. Thesis. Technologieet Santé (p.259). Reims: Universite de Reims Champagne-Ardenne.
- 5- **Reddy N., Yang, Y., (2005).** Biofibers from agricultural by products for industrial applications. Trends in Biotechnology, 23(1), 22-27.
- 6- **Donotaba F., Fontanaa b.A., Baccoua J.C., Schorr-Galindo S., (2012).** Microbial exopolysaccharides: Main examples of synthesis, excretion, geneticsandextraction Carbohydrate Polymers, 87, 951-962.
- 7- **Vandamme E.J., De Baets, S., Steinbuchel, E., (2002).** Biopolymers, Polysaccharides I Polysaccharides from prokaryotes, Wiley-VCH.
- 8- **Lin, E.S. & Chen Y.H. (2007).** Factors affecting mycelial biomass and exopolysaccharides production in submerged cultivation of *Antorida cinnamomea* using complex media. Bioresource Technology, 98(13), 2511-2517.
- 9- **López, C.G., Fernández, F.A., Sevilla, J.F., Fernández, J.S., García, M.C. and Grima, E.M., (2009).** Utilization of the cyanobacteria *Anabaena* sp. ATCC 33047 in CO<sub>2</sub> removal processes. *Bioresource technology*, 100(23), pp.5904-5910.
- 10- **Bejar V., Llamas I., Calvo C., Quesada E., (1998).** Charactrization of exopolysacchahredes produced by 19 halophilic strains of the species *Halomonas eurihalina*. Journal of biotechnology, 61(2), 135-141.
- 11- **Dudman W.F., (1977).** The role of surface polysaccharides in natural enviroments. In I. W. Sutherland (Ed.), Surface carbohydrates of the prokaryotic cell, 357-454.
- 12- **Leonardo S.M., Gill M. C., Delgadillo I. (2003).** Parcial charachterisation of exopolysaccharides exudated by planktonic diatoms maintained in batch culture. *Acta Oecologic*, 24, 49- 55.

- 13- **Emtiazi J., Etemadifar Z., Tavassoli, M., (2013).** A novel nitrogen- fixing cellulyticbacterium associated with root of corn is a candidate for production of single cell protein. *Biomass and Bioenergy*, 25(4), 423-426.
- 14- **Stredansky M., Conti E., Bertocchi C., Matullova M., Zanetti F. (1998).** Succinogly can production by agrobacterium tumefaciens. *Journal of fermentation and bioengineeringinf.* 85 (4), 398- 403.
- 15- **Shih I. L., Chen L. D., Wu J. Y., (2010).** Levan production using bacillus subtilinatton cells immobilized on alginate. *Carbohydrate polymers.* 82(1), 111-117.
- 16- **Poly A. et al., (2009).** High level synthesis of levan by novel halomonas species growing on defined media. *Carbohydrate polymers*, 78(4), 651-657.
- 17- **EI-Mansi E.M.T., Bryce C.F.A., (1999).** "Fermentation microbiology and biotechnology", Taylor & Francis.
- 18- **Scragg, A.H., (1991).** "Bioreactors in biotechnology, a practical approach". Chichester, England: Ellis Harwood.
- 19- **Vogel H.C., Todaro C.L., (1995).** "Fermentation and biochemical engineering handbook", (2nd Edition), Noves publications.
- 20- **Williams, John A., (2002).** "Keys to bioreactor selection", *Biotechnol.Bioeng.* Vol.38, 1203-1209.
- 21- **Moo-Young, M., Chisti, Y., (1994).** "Biochemical engineering in biotechnology", *Pure & appl. Chem.*, Vpl.66, No.1, 117-136.
- 22- **Espier, raymand E., (2000).** "Encyclopedia of cell technology", *The Wiley*, Vol.1.
- 23- **Bailey, J.e., Ollis, D. F., (1989).** "Biochemical Engineering Fundamental", (2nd Edition), McGraw-Hill, New York.
- 24- **Stanbury, P.F., Whitaker, A., (1995).** "Principles of Fermentation Technology", (2nd Edition), Butter worth Heinemann publisher.
- 25- **Leib T.M., Pereira C.J., Villadsen J., (2001).** "Bioreactors: a chemical engineering perspective" *Chemical engineering science*, 56, 5485-5497.
- 26- **Chisti Y., and Moo-Young, M., (2002).** "Bioreactors", *Encyclopedia of physical science and technology*, (3nd Edition), Academic press, Vol. 2, 247-271.
- 27- **L.Selbmann, S.Crognale and M.Petruccioli, (2004).** "Beta-glucan production by Botryosphaeria rhodina in different bench-top bioreactors" *Dipartimento di scienze Ambientali, university of Tuscia, viterbo, Italy.*
- 28- **E. Jae Cho, J. Young Oh, H. You Chang, J. Won Yun (2006).** "Production of exopolysaccharides by submerged mycelial culture of a mushroom *Tremella fuciformis*" *Department of Biotechnology, Daegu University, Kyungsan, Kyungbuk 712-714, Republic of Korea.*

"ابراهیمی و همکاران، بررسی پتانسیل استفاده از همی سلولزها ..."

## Study of the possibility of producing clean and renewable fuels from cellulosic Industries

**Raheem Ebrahimi Barisa<sup>1\*</sup>, Muharram hazrati<sup>2</sup>, Masoud gerami<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> M.Sc. student of Agricultural Sciences and Natural Resources, Department of Wood and Paper Engineering Gorgan University, Gorgan, Iran

<sup>2</sup> M.Sc. student of Natural Resources, Tehran University, Tehran, Iran

**Ebrahimirahim56@gmail.com**

### Abstract

Problems such as environmental pollution and limited access to fossil fuels together with obtained advancements in the field of enzymatic technology and genetic engineering have urged researchers to produce ethanol successfully by using raw materials such as wooden waste, remains of agricultural crops and pre-extracted hemicelluloses in pulp mills. In present study, it is investigated the production approach of bioethanol from pre-extracted hemicelluloses in pulp mills by using experimental and library studies. Results show that pre-extracted hemicelluloses are suitable materials in pulp and paper mill for producing bioethanol. The pre-extraction of hemicelluloses caused a 55% reduction of the wasted steam in pulp mills due to reducing flow rate of solids in black liquor. In addition to producing ethanol, the pre-extraction of hemicelluloses caused to reduce consumption of energy and bleaching chemicals, increase pulp quality and brightness and also decrease paper strengths. Hemicelluloses pre-extraction of wooden chips causes to decrease energy consumption up to 13% in the limekiln. Also, the extraction of hemicelluloses before pulping increase the pulping capacity by 22% of the original pulp mill.

**Keywords:** Pre-extraction, paper pulp, bioethanol, cellulosic Industries, Hemicellulose