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

# بررسی پتانسیل استفاده از همی‌سلولزها به‌عنوان محصول جانبی کارخانه‌های تولید کاغذ از چوب برای تولید اتانول زیستی

**رحیم ابراهیمی بریسا[۱*]، محرم حضرتی[۲]، مسعود گرامی[۲]**

**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 همی‌سلولزهای پیش‌استخراج شده در کارخانه‌های خمیرکاغذ، به‌صورت اقتصادی اتانول تهیه کنند. در مطالعه حاضر، نحوه تولید اتانول از همی‌سلولزهای 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 همی‌سلولزهای پیش استخراج شده در کارخانه‌های خمیرکاغذ، گزینه‌ای مناسب برای تولید اتانول زیستی می‌باشند. پیش‌استخراج همی‌سلولزها در کارخانه‌های خمیرکاغذ، به علت کاهش نرخ جریان مواد جامد در مایع سیاه پخت، باعث کاهش ۵۵ درصد بخار هدر رفته خواهد شد. استخراج همی‌سلولزها در کارخانه‌های خمیرسازی علاوه بر تولید اتانول، موجب کاهش برق مصرفی و بهبود کیفیت خمیر حاصله می‌شود. با پیش استخراج همی‌سلولز، مقاومت‌های کاغذ افت می‌کنند. همچنین درجه روشنی کاغذ افزایش و مصرف مواد شیمیایی رنگبری کاهش می‌یابد. پیش استخراج همی‌سلولزها از خرده‌چوب‌ها، باعث کاهش ۱۳ درصد مصرف سوخت در کوره آهک‌پزی خواهد شد. پیش استخراج همی‌سلولزها، ظرفیت خمیرسازی را نسبت به خمیرسازی معمولی تا ۲۲ درصد افزایش می‌دهد.

**کلمات کلیدی**: پیش استخراج، خمیرکاغذ، اتانول زیستی، صنایع سلولزی، همی‌سلولز

**مقدمه**

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، 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 درحال توسعه از قبیل چین و هند، باعث افزایش نیاز به منابع



[ Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2026-05-27 ]

[ DOR: 20.1001.1.27170632.1394.8.1.8.3 ]

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 (۲و 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 (٤).

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 پیش فرآوری 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 (٥،٦ و٧).

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 طورکامل 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 به‌طور معمول برای تولید بخار و الکتریسیته مصرفی کارخانه در کوره بازیابی، سوزانده می‌شود. ارزش حرارتی کم همی‌سلولزها در مقایسه با لیگنین (۱۳/٦ مگا ژول بر کیلوگرم در مقایسه با ۲۷ مگا ژول بر کیلوگرم برای لیگنین) برای تولید حرارت مورد نیاز کارخانه از نظر اقتصادی به‌صرفه 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



[ Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2026-05-27 ]

[ DOR: 20.1001.1.27170632.1394.8.1.8.3 ]

صنایع خمیر و کاغذ، گزینه‌ای مناسب برای تبدیل به سوخت‌های تجدیدپذیر می‌باشند. هوانگ و همکاران (۲۰۱۰) فرآیند زیست پالایشگاه جنگلی همراه با پیش استخراج همی‌سلولزها 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 همی‌سلولزهای چوب توس را در فرآیند خمیرسازی کرافت برای تبدیل محصولات زیستی مورد بررسی قرار دادند. نتایج تحقیق نشان داد که استخراج همی‌سلولزها به وسیله آب باعث کاهش مقاومت‌های کششی، ترکیدن و سفتی کاغذ خواهد شد (۱٤). مندس و همکاران (۲۰۰۹) به منظور استخراج بخشی از همی‌سلولزهای 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 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 بر خلاف 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 (۱٦).

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 نیترات 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 آلایندگی 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



[ Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2026-05-27 ]

[ DOR: 20.1001.1.27170632.1394.8.1.8.3 ]

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 ether (MTBE را که برای محیط زیست مضرند، حذف کرد (٤ و ١٦).

**صنایع خمیر و کاغذ**

تولید خمیرکاغذ 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) | تولید خمیر با تلفیقی از عملیات شیمیایی و مکانیکی | تولید خمیر با استفاده از مواد شیمیایی و گرما |
| بازده زیاد (۹۰-۹۵ درصد) | بازده متوسط (۵۵-۹۰ درصد) | بازده کم (٤٠-۵۵ درصد) |
| الیاف کوتاه، ناخالص، ضعیف و ناپایدار، کیفیت چاپ خوب، رنگبری دشوار | خواص میانه با بعضی ویژگی‌های برجسته | الیاف بلند، خالص، محکم و پایدار کیفیت چاپ‌پذیری ضعیف، رنگبری آسان |
| چند مثال: گراندودسنگی، خمیر مکانیکی پالایشی | چند مثال: سولفیت خنثی نیمه شیمیایی، کرافت با راندمان بالا | چند مثال: کرافت، سولفیت، سودا |

**فرآیند خمیرسازی کرافت**

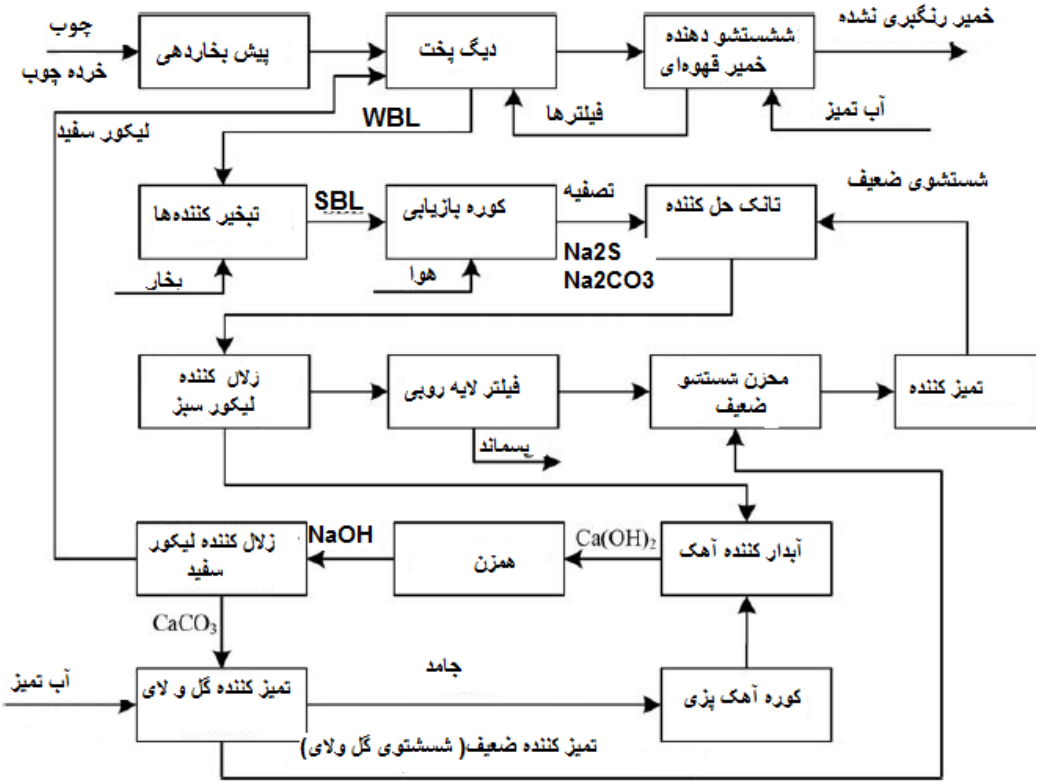
هدف فرآیند خمیرسازی شیمیایی، تجزیه و حل کردن لیگنین است، به‌طوری‌که آنچه که بر جای می‌ماند عمدتا سلولز و همی‌سلولز به صورت نسبتا تغییر نیافته می‌باشد. با اعمال روش‌های شیمیایی می‌توان قسمت عمده لیگنین را از مواد لیگنوسلولزی خارج کرد، ولی این روش مقداری سلولز و همی‌سلولز را نیز تجزیه می‌کند. بازده خمیر کاغذ شیمیایی در مقایسه با فرآیندهای مکانیکی کمتر می‌باشد و مقدار آن حدود ٤٠-۵۵ درصد مقدار چوب اولیه است (۱۷). عمده‌ترین روش خمیرسازی شیمیایی برای ساخت کاغذ در جهان، فرآیند کرافت می‌باشد (شکل۱). در فرآیند کرافت ماده اولیه به کمک محلول‌های شیمیایی حاوی هیدرکسیدسدیم (NaOH) و سولفیدسدیم ($Na_2S$) تحت فشار و دمای زیاد پخته می‌شود. خمیر حاصل از اجرای فرآیند کرافت در مقایسه با خمیر



[ Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2026-05-27 ]

[ DOR: 20.1001.1.27170632.1394.8.1.8.3 ]

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 عمدتا حاوی محلول آبی هیدروکسیدسدیم 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 ($Na_2S$ و $Na_2CO_3$) به کوره بازیابی فرستاده می‌شود. با شکستن آهک (CaO) در کوره آهک‌پزی و سودسازی با $Ca(OH)_2$، ماده NaOH تولید شده که به فرآیند خمیرسازی برگردانده می‌شود (۱۸).




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



[ Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2026-05-27 ]

[ DOR: 20.1001.1.27170632.1394.8.1.8.3 ]

**شیمی همی‌سلولزها**

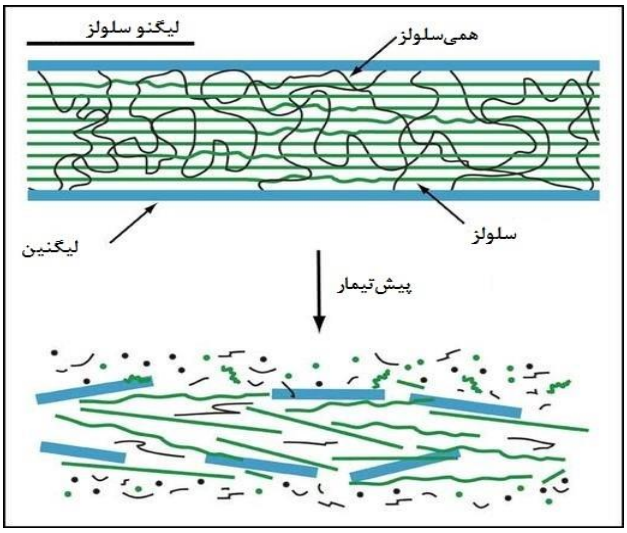
همی‌سلولزها بخشی از مواد زمینه دیواره سلولی الیاف هستند که از نظر شیمیایی از اشتراک قندهای ۵ کربنی مانند زایلان‌ها و قندهای ٦ کربنی مانند مانوز و اسیدهای اورونیک به وجود آمده‌اند. در بیشتر موارد ستون مهره واحدهای همی‌سلولزی، با ساختمان خطی ساخته شده، که در جایگاه‌های مختلف به‌وسیله پیوندهای هیدروژنی با سلولز مشترک شده‌اند.

همی‌سلولزها، پلی‌ساکاریدهای ناهمگن، پیچیده و شاخه‌دار هستند که از واحدهای مونومری D–گلوکز، D– گالاکتوز، D– مانوز، D– زایلوز، L– آرابینوز، D– گلوکورونیک اسید و ٤– O– متیل– D– گلوکورونیک اسید تشکیل شده، درجه پلیمریزاسیون همی‌سلولزها، کمتر از ۲۰۰ بوده و براساس قند اصلی زنجیره پلیمر، به زایلان (۱ –βو٤– پیوند یافته با زایلوز) یا مانان (۱ –βو٤– پیوند یافته با مانوز) طبقه‌بندی می‌شوند.

**تولید اتانول از همی‌سلولزهای پیش استخراج شده در کارخانه خمیرکاغذ کرافت**

همی‌سلولزها، از جمله پلی‌ساکاریدهای ناهمگن هستند و مسیر بیوسنتز آن‌ها با سلولز متفاوت است. نسبت وزنی همی‌سلولز چوب خشک، معمولا بین ۲۰ تا ۳۰ درصد است. همی‌سلولزهای پهن‌برگان، عمدتا از قندهای پنج کربنه (زایلوز) تشکیل شده‌اند. اما همی‌سلولزهای سوزنی برگان، عمدتا از قندهای شش کربنه (گلوکوز و مانوز) تشکیل شده‌اند (۱۹).

همی‌سلولزها، در فرآیند کرافت در همان مراحل اولیه حل شده و خارج می‌شوند. در نتیجه برای جلوگیری از هدر رفتن همی‌سلولزها و استفاده بهینه، می‌توان آن‌ها را استخراج و به مواد شیمیایی مختلف تبدیل کرد. شکل ۲ نحوه جداسازی همی‌سلولزها را به وسیله پیش‌هیدرولیز نشان می‌دهد. برای پیش استخراج همی‌سلولزها قبل از خمیرسازی، روش‌های متعدد و موثر به منظور جزء جزءسازی اجزای همی‌سلولزها از زیست توده لیگنوسلولزی استفاده می‌شود. این روش‌ها شامل پیش هیدرولیز با اسید رقیق، استخراج با مایع آب‌داغ و استخراج قلیایی می‌باشند (۸).




**شکل ۲**- نحوه پیش‌تیمار و جداسازی همی‌سلولزها از مواد لیگنوسلولزی (۱۳)



[ Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2026-05-27 ]

[ DOR: 20.1001.1.27170632.1394.8.1.8.3 ]

براساس تحقیقات صورت گرفته توسط هیوانگ و همکاران (۲۰۱۲) استخراج قلیایی با سدیم هیدروکسید برای استخراج همی‌سلولزهای 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 پیش استخراج به وسیله این ماده سازگار با فرآیند خمیرسازی کنونی کرافت است. همزمان با پیش استخراج همی‌سلولزها با روش قلیایی می‌توان به خمیری با کیفیت مطلوب‌تر دست یافت. مزیت پیش استخراج همی‌سلولزها در کارخانه‌های خمیرسازی در جدول ۲ نشان داده شده است. بعد از پیش استخراج همی‌سلولزها، سدیم هیدروکسید و آب از خرده چوب‌های جدا شده و برای استفاده مجدد در فرآیند بازیابی می‌شوند.

**جدول ۲**- مزیت پیش استخراج همی‌سلولزها 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 همی‌سلولزها از خرده‌چوب‌ها، بایستی آن‌ها را به قندهای مونومری تبدیل کرد. دو روش هیدرولیز اسیدی و آنزیمی برای تبدیل همی‌سلولزهای 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 پیش استخراج همی‌سلولز از خرده‌چوب‌ها، ممکن است هیدرولیز اسیدی پلی‌ساکاریدها برای تبدیل به 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، معمولا تعدای 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 همی‌سلولزهای پیش استخراج 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 پیش استخراج همی‌سلولزهای چوب به اتانول طراحی شود.

مفهوم پیش استخراج همی‌سلولز 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 ۱٤ میلیون تن همی‌سلولز در دسترس قرار دهد، درحالی‌که همزمان با این عمل، کیفیت خمیر کرافت بهبود می‌یابد (۱). این همی‌سلولزها با حجم بسیار



[ Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2026-05-27 ]

[ DOR: 20.1001.1.27170632.1394.8.1.8.3 ]

زیاد که حدود ٤٠-٢٠ 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 همی‌سلولز، می‌تواند نزدیک به دو میلیارد گالن در سال باشد (۱۳). تاکنون قابلیت استخراج همی‌سلولز از خرده چوب‌ها قبل از خمیرسازی کرافت برای خمیرحل شونده (Disolving pulp) ایجاد شده است.

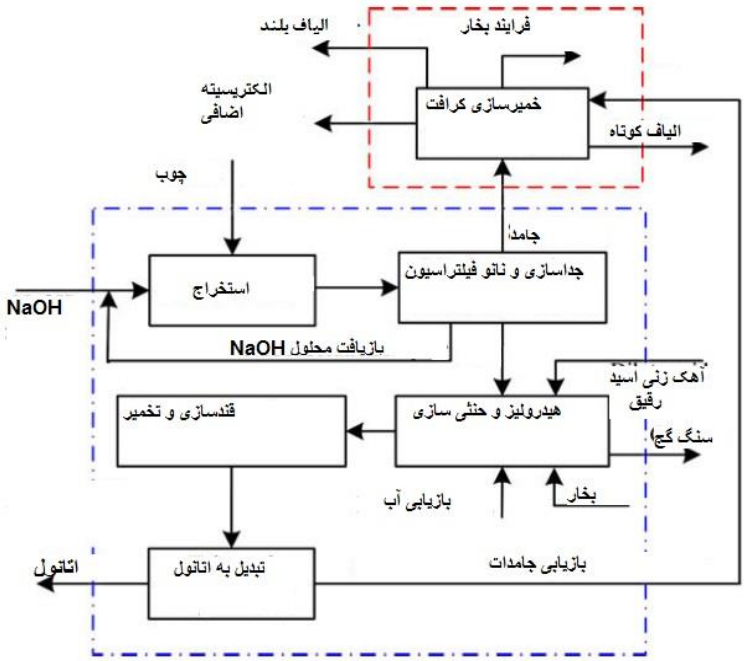
پیش استخراج همی‌سلولزها می‌تواند دارای پتانسیل مناسبی برای تهیه سوخت‌های حمل و نقل باشد. اخیرا از زیست توده قابل دسترس در ایالات متحده آمریکا، به‌عنوان ماده‌ای برای تهیه انرژی زیستی استفاده شده است. ۳٦۸ میلیون تن پسماند مشتقات جنگلی و ۱۹۵ میلیون تن باقیمانده‌های کشاورزی تولید شده در هر سال، جزء منابع زیست توده‌ای می‌باشند که در آمریکا برای تامین انرژی‌های زیستی مورد استفاده قرار می‌گیرند. پیش استخراج همی‌سلولزها، 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)، به عنوان ماده اولیه استفاده می‌کند، سالانه ٤٢٦٦٤٠ تن خمیرکاغذ تولید می‌کند. این کارخانه به‌ازای ٦ درصد پیش استخراج همی‌سلولزها (بر مبنای وزن خشک چوب)، قادر است سالیانه ۱۸۹۳۰ تن اتانول تولید کند. همچنین کارخانه مذکور به‌ازای ۸ درصد پیش استخراج همی‌سلولزها قادر است سالیانه ۷٤۸۸۱ تن اتانول تولید کند (۳).

از بین فرآیندهای مختلف خمیرکاغذسازی، فرآیند کرافت، مناسب‌ترین روش برای تبدیل به زیست پالایشگاه و پیش فرآوری همی‌سلولز جهت تبدیل به اتانول می‌باشد. در طی فرآیند خمیرسازی کرافت، معمولا لیگنین و همی‌سلولزها به طور کامل حذف خواهند شد. در این فرآیند قبل از ورود خرده چوب‌ها به دیگ پخت، می‌توان همی‌سلولزها 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 همی‌سلولزها را در یک واحد خمیرسازی به روش کرافت نشان می‌دهد.



[ Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2026-05-27 ]

[ DOR: 20.1001.1.27170632.1394.8.1.8.3 ]




**شکل۳**- واحد خمیرسازی بر مبنای زیست پالایشگاه جامع جنگلی همراه با پیش استخراج همی‌سلولزها (۱۳)

Aden و همکاران (۲۰۰۲) و Huang و همکاران (۲۰۰۸) شرایط هیدرولیز، قندسازی، تخمیر و جداسازی اتانول از همی‌سلولزهای پیش استخراج شده را به شرح زیر انتخاب کردند. این محققین بعد از پیش استخراج و جداسازی همی‌سلولزها، از اسیدسولفوریک ۱ درصد برای هیدرولیز مونوساکاریدها (که عمدتا زایلوز، مانوز، آرابینوز و گالاکتوز بودند)، در دمای ۱۹۰ درجه‌سانتی‌گراد به مدت ۲ دقیقه استفاده کردند. همچنین برای خنثی‌سازی 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 سوبسترا ۵۶ درجه‌سانتی‌گراد و مدت زمان تماس را ۳۶ ساعت در نظر گرفتند. سپس از میکروارگانیزم *Zymomonas mobilis* برای تخمیر مخلوط پنتوز و هگزوز و تبدیل آن به اتانول زیستی استفاده شد. دمای محیط برای تخمیر قندها ۴۱ درجه‌سانتی‌گراد و زمان تماس نیز ۳۶ ساعت انتخاب شد (۲ و ۱۳). برای تخمیر قندها به اتانول از میکروارگانیزم‌های *Thermotolerant Kluyveromyces Marxianusvar*، *Thermotolerant Candida boidinii*، *C. Paludigena*، *Pichia stipiti*، 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 مجموعا ۱۷۵۰۰۰ تن، شامل ۹۰۰۰۰ تن کاغذ



[ Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2026-05-27 ]

[ DOR: 20.1001.1.27170632.1394.8.1.8.3 ]

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 ٦ ماهه به شرح جدول ۳ می‌باشد.

**جدول۳**- آمار واردات چوب در مجتمع صنایع چوب و کاغذ ایران (چوکا) (۸)

| نوع چوب | حجم (متر مکعب) |
|---|---|
| گونه درجه ۱ | ٤٠٥٤/١٧١ |
| گونه درجه ۲ | ٧٦٧٣/٧٤٩ |
| گونه درجه ۳ | ١٥٢٩٩/٧٨٥ |
| گونه خارج از درجه | ٨٤٥٥ /٠٥١ |
| گونه درجه کم قطر | ٤٨٥٦/٦٣٣ |
| غیره | ١٧٥٦ |

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 ٤ نشان داده شده است.

**جدول۴**- 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** | ٢٠٠٠ | ٠ | ٢٨٠٠٠ | – | ٣٠٠٠٠ | ٨ درصد |
| **چوب و کاغذ مازندران** | ١٠٠٠ | ١٤٠٠٠ | ١٢٤٠٠٠ | ٠ | ١٤٠٠٠٠ | ٣٥ درصد |
| **چوکا** | ٠ | ٠ | ٦٦٠٠٠ | | ٦٦٠٠٠ | ١٧ درصد |
| **سایر تولید کنندگان** | ١٠٠٠٠ | ٠ | ١٥٤٠٠٠ | ٢٦٠٠٠ | ١٩١٠٠٠ | ٤٤/٧ درصد |
| **جمع تولید داخل** | ١٤٠٠٠ | ١٤٠٠٠ | ٣٧٤٠٠٠ | ٢٦٠٠٠ | ٤٢٧٠٠٠ | ٥٩ درصد |
| **مصرف داخلی** | ١٦٧٠٠٠ | ٧٧٠٠٠ | ٤٠٣٠٠٠ | – | ٦٤٨٠٠٠ | – |

## بحث و نتایج

### انرژی مصرفی در فرآیندهای مختلف

تفاوت‌های کارخانه خمیرکاغذ کرافت متداول با زیست پالایشگاه جامع جنگلی همراه با پیش فرآوری جهت استخراج همی‌سلولزها، در بخار مصرفی، برق مصرفی، تولید اتانول و غیره در جدول ۵ نشان داده شده است. در جدول ۵ علامت منفی، نشان‌دهنده‌ی کاهش مصرف یا تولید است. همچنین $P_1$، برق مورد



[ Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2026-05-27 ]

[ DOR: 20.1001.1.27170632.1394.8.1.8.3 ]

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 همی‌سلولزها 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 پیش استخراج همی‌سلولزها 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 همی‌سلولز از خرده‌چوب‌ها قبل از خمیرسازی و ته‌نشینی قسمت الیگومری، می‌تواند ظرفیت خمیرسازی را تا ۲۲ درصد افزایش دهد (۱۳).

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

| انرژهای 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 | ٤٤٧/٢٩ | -۱۰۸/٤۳ |
| بخار مصرفی(GJ/h) | -٤۱۸/٦۱ | -۳۸٦/۲۵ | ۳۲/۳٦ |
| بخار خالص(GJ/h) | ۱۳۷/۱۱ | ٦۱/۰٤ | -۷٦/۰۷ |
| انرژی مصرفی(GJ/h) | -۱۲۲/۰۱ | -۱۰۷/۱۰ | ۱٤/۹۱ |
| توان تولیدی (KWh/h) | ۲۲۲٤٦ | ۲۳۰٦۱ | ۰/۸ |
| توان مصرفی( KWh/h) | -P1 | -(P1+٦۷۸۱ ) | -٦۷۸۱ |
| توان خالص( KWh/h) | P1-۲۲۲٤٦ | ۱٦۲۸۰- P1 | -٥۹٦٦ |
| اتانول تولیدی(mg/y) | ۰ | ۱۳۳۰۸ | ۱۳۳۰۸ |

**مقایسه ویژگی‌های خمیرکاغذ حاصله با پیش استخراج همی‌سلولز 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 این تحقیق، پیش‌فرآوری جهت استخراج همی‌سلولزها با استفاده از آب داغ صورت گرفته است. نتایج حاصل از بازده استخراج مطابق جدول ٦ می‌باشد. با توجه با جدول مشاهده می‌شود که با افزایش شدت تیمار، میزان بازده پیش استخراج کاهش یافته است.



[ Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2026-05-27 ]

[ DOR: 20.1001.1.27170632.1394.8.1.8.3 ]

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

| دما ($C^0$) | زمان پیش-استخراج (دقیقه) | شدت واکنش (دقیقه) | بازده استخراج (درصد) | هولوسلولز (درصد) |
|---|---|---|---|---|
| **باگاس خام** | – | – | ۱۰۰ | ۷۳/٤ |
| | ۱۰ | ۲/۱۰٤ | ۹٦/۸۵ | – |
| **۱۳۵-۱٤۰** | ۲۰ | ۲/٤۰۵ | ۹۰/۸٤ | – |
| | ۳۰ | ۲/۵۸۱ | ۸٦/٦۹ | ٦٦/۸ |
| | ۱۰ | ۲/۵٤٦ | ۹٤/۵۵ | – |
| **۱۵۰-۱۵۵** | ۲۰ | ۲/۸٤۷ | ۸۹/۰۳ | – |
| | ۳۰ | ۳/۰۲۳ | ۸۲/۹۱ | ٦۵/۲ |
| | ۱۰ | ۳/۱۳۵ | ۸٦/٤۱ | ٦۵ |
| **۱۷۰-۱۷۵** | ۲۰ | ۳/٤۳٦ | ۸۳/۰٦ | ٦۵ |
| | ۳۰ | ۳/٦۱۲ | ۷۹/۲٤ | ٦۵/٦ |

در این پژوهش، بعد از پیش استخراج همی‌سلولزهای باگاس به وسیله آب داغ، خمیرسازی صورت گرفت. باگاس پیش‌فرآوری شده با قلیایت 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 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 همی‌سلولز، به دلیل برقراری پیوند کمتر بین الیاف، مقاومت‌های کاغذ کاهش یافتند.

**جدول ۷**- ویژگی خمیر و کاغذهای تولید شده با استفاده از با گاس 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 ($Kpa.m^2/g$) |
|---|---|---|---|---|---|
| **باگاس تیمار نشده** | ۵/٦۸ | ۹۵ | ۸۳/۲٦ | ٦۵/٤۳ | ۳/۳۷ |
| **باگاس تیمار شده در دمای ۱۳۵ $C^0$ و زمان ۳۰ دقیقه** | ٤/۹۱ | ۹۷/۱ | ۸۵/۳۲ | ۵٤/۲ | ۲/۸۹ |
| **باگاس تیمار شده در دمای ۱۷۵ $C^0$ و زمان ۱۰دقیقه** | ۷/٦ | ۹٤/۳ | ۸٤/۸۷ | ٤۹/۲۹ | ۲/۳٦ |

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



[ Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2026-05-27 ]

[ DOR: 20.1001.1.27170632.1394.8.1.8.3 ]

**مقایسه سوخت‌های فسیلی با اتانول**

استفاده از اتانول، به عنوان سوخت موتورهای درون‌سوز، به‌صورت 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 اشار 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 ٤). انتشار CO و HC آن در مقایسه با بنزین در خودروهای سبک کمتر و در مقایسه با گازوئیل در خودروهای سنگین بیشتر است.

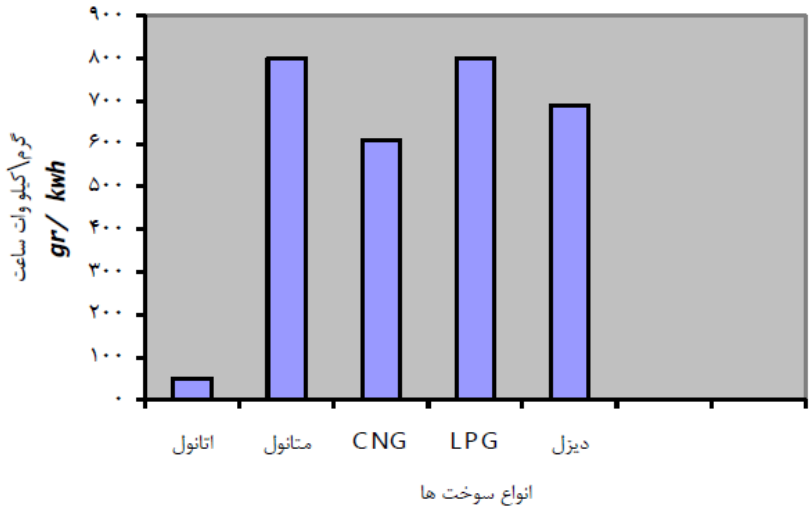
– همچنین اتانول در مقایسه با دیگر سوخت‌ها، از انتشار volatile organic compounds (VOC) پایین‌تری برخوردار است که درعین‌حال، صدمه کمتری به لایه ازن وارد می‌کند.

– 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)



[ Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2026-05-27 ]

[ DOR: 20.1001.1.27170632.1394.8.1.8.3 ]

جدول ۸ توان خروجی بهتر و فشار موثر متوسط (BMEB) بنزین و اتانول را در موتورهای SI مقایسه می‌کند. عدد اکتان بیشتر برای اتانول، موجب می‌شود تا از آن با نسبت تراکم بالاتری استفاده شود. گرمای نهان بیشتر اتانول، سبب شارژ القایی بالاتر شده و موتور اتانول‌سوز را قادر می‌سازد تا حدود ۱۰ درصد توان خروجی بیشتر نسبت به بنزین تولید کند (۳۵).

**جدول۸**- مقایسه فاکتورهای کلیدی موتورهای بنزین‌سوز و الکل‌سوز

| پارامترها | اتانول با ضریب فشردگی۱۱ | بنزین با ضریب فشردگی ۸/۹ |
|---|---|---|
| اسب بخار | | |
| ۱۰۰۰ RPM | ۱۷۰ | ۱۳۰ |
| ۳۰۰۰ RPM | ۲۲۰ | ۱۸۰ |
| ۵۰۰۰ RPM | ۱۷۵ | ۱۵۰ |
| فشار موتور ($kg/cm^2$) | | |
| ۱۰۰۰ RPM | ۱۰ | ۸ |
| ۲۰۰۰ RPM | ۱۱ | ۹/۵ |
| ۳۰۰۰ RPM | ۱۱/٦ | ۱۰/۸ |
| ٤۰۰۰ RPM | ۱۱/۳ | ۱۰/۳ |
| ۵۰۰۰ RPM | ۱۰/٦ | ۹ |

اتانول نسبت به سوخت‌های فسیلی رایج، داری معایبی نیز می‌باشد. اتانول بصورت خالص نمی‌تواند در موتور اتومبیل‌های کنونی به عنوان سوخت استفاده شود. زیرا دارای عدد اکتان بیشتر از حد معمول مورد نیاز برای اتومبیل‌های امروزی است. به همین دلیل لازم است که در زمان جرقه‌زنی (سیستم برق اتومبیل) تغییراتی به‌وجود آید. هزینه تهیه اتانول ۳ تا ۵ برابر بنزین می‌باشد. همچنین اتانول به مخزنی ۵۰ درصد بزرگتر و ٦۵ درصد سنگین‌تر از بنزین نیاز دارد تا معادل آن انرژی تولید کند. چگالی انرژی اتانول در مقایسه با بنزین و گازوئیل نیز کمتر است (١٦ و ۲۵).

**نتیجه‌گیری**

کارخانه‌های صنایع خمیر و کاغذ، با توجه به سرمایه‌گذاری‌های کلان و حجم وسیع چوب مصرفی، گزینه‌ای مناسب برای تولید اتانول از همی‌سلولزهای پیش استخراج شده می‌باشند. در واقع زیست پالایشگاه جامع جنگلی، فقط یک کارخانه تک محصولی نیست، بلکه می‌تواند انواع محصولات را تولید کند. از فروش محصولات فرعی که از زیست پالایشگاه جامع جنگلی به دست می‌آید، بسیاری از هزینه‌های کارخانه خمیرسازی جبران می‌شود. پیش استخراج همی‌سلولزها در کارخانه‌های خمیرکاغذ، علاوه بر تولید محصولات اضافی، منجر به کاهش انرژی‌های مصرفی کارخانه نیز خواهد شد. تهیه اتانول از همی‌سلولزهای پیش استخراج شده، یک فرآیند بسیار مناسب برای تولید اتانول مورد تقاضا در دنیا است. زیرا با توجه به کارخانه‌های کثیر خمیرسازی که در دنیا وجود دارند، اگر تمام یا تعدادی از این



[ Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2026-05-27 ]

[ DOR: 20.1001.1.27170632.1394.8.1.8.3 ]

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 همی‌سلولزها قبل از خمیرسازی، می‌توان به افزایش درجه روشنی، کاهش مصرف مواد شیمیایی پخت و کاهش عدد کاپا اشاره کرد. اما با استخراج همی‌سلولزها، مقاومت‌های کاغذ کاهش پیدا می‌کنند. دلیل کاهش مقاومت کاغذ، نبود همی‌سلولز در خمیرکاغذ می‌باشد. زیرا نبود همی‌سلولزها در فرآیند کاغذسازی، باعث کاهش پیوند هیدروژنی بین الیاف می‌شود.

## فهرست منابع

## References


**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).** Synthese 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 porokaryotes, 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 CO2 removal processes. *Bioresource technology*, *100*(23), pp.5904-5910.

**10- Bejar V., Llamas I., Calvo C., Quesada E., (1998).** Charactrization of exopolysaccahredes 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 calture. Acta Oecologic, 24, 49- 55.




[ Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2026-05-27 ]

[ DOR: 20.1001.1.27170632.1394.8.1.8.3 ]

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 ferementation and bioenergineerinf. 85 (4), 398- 403.

15- **Shih I. L., Chen L. D., Wu J. Y., (2010).** Levan production using bacillus subtilinatton cells immobilized on alginate. Carbohidrate polymers. 82(1), 111-117.

16- **Poly A. et al., (2009).** High level synthesis of levan by novel halomonas species growing on defined media. Carbohidrate 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" Diparttmento 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.


[ Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2026-05-27 ]

[ DOR: 20.1001.1.27170632.1394.8.1.8.3 ]

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

**Raheem Ebrahimi Barisa[1*], Muharram hazrati[2], Masoud gerami[2]**
[1] M.Sc. student of Agricultural Sciences and Natural Resources, Department of Wood and Paper Engineering Gorgan University, Gorgan, Iran
[2] 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

[ Downloaded from journalofbiosafety.ir on 2026-05-27 ]

[ DOR: 20.1001.1.27170632.1394.8.1.8.3 ]