نشریه حفاظت و بهره‌برداری از منابع طبیعی
جلد دوم، شماره اول، ۱۳۹۳
http://ejang.gau.ac.ir

بررسی جنبه‌های مخرب انواع قیر و راه‌کارهای بیولوژیکی کنترل آن‌ها در صنایع خمیر و کاغذ

رضا دشتبانی خضری*[۱]، حسین رسالتی[۲] و محمدهادی آریائی منفرد[۳]

[۱]دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
[۲]استاد گروه صنایع خمیر و کاغذ، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
[۳]استادیار گروه صنایع خمیر و کاغذ، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۲/۲٤؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/٤/۱۵

چکیده

امروزه مصرف سرانه کاغذ در جهان و همچنین ایران روبه افزایش است. به‌طوری که تأمین این نیاز مستلزم پیدا کردن روش‌های جدید برای استفاده بهینه از منابع موجود و بهبود شیوه‌های تولید می‌باشد. وجود ترکیبات و فرآورده‌های جانبی نامطلوب از قبیل قیر، مواد چسبناک و آلودگی‌های خارجی در فرآیند تولید کاغذ، یکی از مشکلات متداول در صنایع کاغذسازی می‌باشد که هریک از این مواد ممکن است از منابع مختلفی منشأ گیرند. چوب به‌عنوان یک ماده خام برای کاغذسازی، به‌دلیل داشتن مواد آب‌گریزی از قبیل موم‌ها، چربی‌ها، اسیدهای چرب، اسیدهای رزینی، هیدروکربن‌ها و غیره می‌تواند عامل چنین آلودگی‌هایی باشد. قیر می‌تواند مشکلات قابل توجهی را در تجهیزات کاغذسازی ایجاد نماید. به‌عنوان مثال می‌تواند موجب مسدود شدن توری آب‌گیری شود و یا این‌که به توری یا سیلندرهای خشک‌کن چسبیده و باعث ایجاد حفراتی در کاغذ شود. تاکنون روش‌های مختلفی برای کنترل و حذف این ترکیبات پیشنهاد شده است. آنزیم‌ها به‌دلیل داشتن کاربردهای مختلفی از قبیل کنترل قیر، کاهش مدت زمان پالایش، کمک به آب‌گیری خمیرکاغذ، بهبود کارآیی رنگ‌بری و افزایش بازده خمیرکاغذ، مقبولیت فراوانی در صنایع خمیر و کاغذ پیدا کرده‌اند. آنزیم‌ها

*نویسنده مسئول: rezadashtbani.68@gmail.com

باعث هیدرولیز تری‌گلیسیریدها شده و از تشکیل آن‌ها جلوگیری می‌کنند. علاوه بر این، تیمارهای آنزیمی مبنایی برای کنترل قیر و مواد چسبناک بوده که می‌تواند برای کاهش ابعاد این مواد مورد استفاده قرار گیرد. در این مقاله سعی گردید استفاده از آنزیم‌ها، به‌عنوان روشی جدید و دوست‌دار محیط‌زیست بر مبنای بیوتکنولوژی جهت کنترل قیر موجود در فرآیند مورد بررسی قرار گیرد.

واژگان کلیدی: کاغذسازی، مواد چسبناک، آنزیم، مواد استخراجی، قیر

مقدمه

امروزه کاغذ و محصولات کاغذی به‌عنوان یکی از کالاهای مصرفی جایگاه مهمی در زندگی انسان‌ها دارند. گزارش‌ها و آمار و ارقام ارائه شده از میزان مصرف کاغذ در نقاط مختلف جهان در چند سال اخیر، بیان‌گر رشد زیاد مصرف کاغذ در دنیا است. موارد کاربرد متعددی در زمینه استفاده از کاغذ و فرآورده‌های کاغذی وجود دارد و هر روز فرآورده‌های جدیدی به بازار عرضه می‌شود. بنابراین برای تأمین ویژگی‌های کمی و کیفی، برخی از پیشرفته‌ترین فن‌آوری‌های مهندسی مورد نیاز است.

صنایع خمیر و کاغذ شامل علوم و فن‌آوری‌های متنوع و بین رشته‌ای است که در سال‌های اخیر پیشرفت‌های زیادی در تمام زمینه‌های آن ایجاد شده و امروزه با به‌کارگیری ماشین‌آلات مدرن و کنترل‌های پیشرفته، فرآورده‌های کاغذی متنوعی تولید می‌شود. بدون شک توسعه انواع محصولات کاغذی و فن‌آوری‌های تولید آن‌ها، در نتیجه توسعه علوم و فن‌آوری‌های مرتبط با آن‌هاست (حمزه و رستم‌پور، ۲۰۰۸).

معرفی قیر و منشأ آن: ترکیبات استخراجی موجود در گیاهان چوبی مشکلات قابل توجهی در فرآیندهای صنعتی خمیر و کاغذ ایجاد می‌کنند. یکی از رایج‌ترین مسائل مرتبط با وجود مواد استخراجی آب‌گریز در برخی از گونه‌های چوبی، بروز مشکلی به‌نام قیر بوده و این مشکل در فرآیندهای مکانیکی تولید خمیرکاغذ بیشتر به چشم می‌خورد. قیر به هرگونه ماده آلی آب‌گریز منشأ گرفته از مواد استخراجی چوب در طی خمیرکاغذسازی گفته می‌شود که عمدتاً شامل اسیدهای چرب، استرها، اسیدهای رزینی، استرول‌ها و غیره می‌باشد.

به‌وجود آمدن مشکلات مرتبط با قیر، به نوع فرآیند تولید خمیر و کاغذ (شیمیایی یا مکانیکی) وابسته است. در طی فرآیند کرافت، مایع پخت باعث صابونی‌شدن تری‌گلیسیریدها می‌شود و به این طریق مشکلات قیر کاهش می‌یابد. با این وجود گونه‌های چوبی خاصی مثل صنوبر در برابر صابونی شدن، مقاومت زیادی از خود نشان داده که همین امر موجب تشدید مشکلات مرتبط با قیر در فرآیند کرافت می‌شود. قیر در نقاط معینی از فرآیند خمیرکاغذسازی و در pH یا دمای مختلف از الیاف خمیرکاغذ آزاد می‌شود و می‌تواند به تنهایی و یا همراه با الیاف، پرکننده‌ها، عوامل کف‌زدا، چسب‌های به‌کار رفته در اندودکننده‌ها و نمک‌های غیرآلی قابل حل رسوب کند. هنگامی‌که پیوندهای دوگانه موجود در تری‌گلیسیریدهای قیر کلردار می‌شوند و طی فرآیندی به پیوند یگانه کلردار تبدیل می‌شوند، تشکیل این رسوبات در طی فرآیند رنگ‌بری توسط کلر آغاز می‌شود. سپس قیرهای کلردار شده از الیاف آزاد شده و در آب مورد استفاده برای تولید کاغذ تجمع می‌یابند و این در نهایت مشکلات زیادی را به‌وجود می‌آورد (باجپای، ۲۰۱۲). این مواد هنگامی‌که بر روی تجهیزات رسوب می‌کنند، باعث ایجاد مشکلات زیادی در کیفیت کاغذ و کارآیی مواد شیمیایی در فرآیندهای کاغذسازی شده (ورکو و همکاران، ۲۰۰۳) و می‌توانند به‌تنهایی و یا همراه با سایر ترکیبات از قبیل نمک‌های غیرآلی، عوامل آهاردهی، عوامل کف‌زدا و چسب‌های پوشش‌دهی در تجهیزات کارخانه از قبیل جعبه تغذیه ماشین کاغذسازی، توری‌ها، خشک‌کن‌ها، جدار مخازن، غربال‌ها و همچنین در فرآیندهای خمیر و کاغذسازی و در محصول نهایی رسوب کنند و باعث تشکیل مواد چسبناک و باقی‌ماندن ناخالصی‌ها در خمیرکاغذ شوند (گوتیرز و دلروی، ۲۰۰۵). در صورت باقی‌ماندن این ترکیبات روی کاغذ، مشکلاتی مانند ایجاد لکه‌های تیره، چسبیدن الیاف کاغذ به سطح سیلندر، پارگی رول کاغذ و مسدود شدن توری و نمدها ایجاد خواهد شد (رحمتی و همکاران، ۲۰۱۰). مشکلات ناشی از وجود قیر، به‌واسطه استفاده از توالی‌های رنگ‌بری TCF[1] و بسته‌تر شدن چرخه آب در کارخانه‌های کاغذسازی در طی سال‌های اخیر افزایش چشم‌گیری یافته است. پساب فرآیند دارای مواد استخراجی چوب می‌تواند برای محیط‌زیست و انسان نیز خطرناک باشد (لیس و همکاران، ۱۹۹۷).

تجزیه و تحلیل رسوبات موجود بر روی ماشین‌های کاغذ و سایر تجهیزات برای تعیین منشأ آلودگی و کنترل اثر بخشی مواد افزودنی، دارای اهمیت خاصی می‌باشد. این رسوبات اغلب دارای

1- Total Chlorine Free

ترکیبات مختلفی می‌باشند که باعث پیچیده‌تر شدن این مشکل می‌شوند. متأسفانه وجود این آلاینده‌ها بر روی توری ماشین‌های کاغذسازی و در فرآورده‌های کاغذی، مشکل مهمی به‌شمار می‌آید (بیرمان و لی، ۱۹۹۰). زیان‌های اقتصادی ناشی از قیر در کارخانه‌های کرافت در حدود یک درصد کل درآمد آن‌ها گزارش شده است. علاوه‌بر این، برخی از ترکیبات استخراجی چوب هنگامی‌که وارد پساب می‌شوند می‌توانند اثر تخریبی جدی بر محیط‌زیست داشته باشند (گوتریز و همکاران، ۲۰۰۹). همچنین مشکل قیر در کارخانه‌هایی که سیستم بسته‌تری از چرخه‌ی آب دارند، جدی‌تر است (اترو و همکاران ۲۰۰۰).

استفاده از فن‌آوری زیستی در صنایع خمیر و کاغذ: فن‌آوری زیستی برای تأمین و افزایش کیفیت مواد اولیه صنایع خمیر و کاغذ، کاهش هزینه‌های تولید و معرفی محصولاتی جدید با ارزش افزوده زیاد، دارای پتانسیل مناسبی است. فن‌آوری‌های آنزیمی جدید قادرند مشکلات زیست‌محیطی را کاهش و ویژگی‌های الیاف را بهبود بخشند. از آن‌جا که صنایع خمیر و کاغذ دارای تجهیزات بسیار تخصصی و از نوع سرمایه‌بر می‌باشد، بسیار مهم است که فن‌آوری‌های جدید پیشنهادی، قابلیت کاهش هزینه‌ها و یا تطابق آسان با فرآیندهای طراحی شده موجود را داشته باشند (حمسی، ۲۰۰۵).

استفاده از آنزیم‌ها در صنایع خمیر و کاغذ در سال ۱۹۸٦ آغاز شد (دمونر و همکاران، ۲۰۱۱). روش تیمار آنزیمی جهت کنترل قیر، نخستین نمونه موفقیت‌آمیز از استفاده آنزیم‌ها در فرآیندهای خمیر و کاغذ می‌باشد. تمامی آنزیم‌ها زیستی تخریب‌پذیر بوده و توسط تخمیر مواد طبیعی به‌وجود می‌آیند و اغلب در صنعت به‌عنوان کاتالیزگرهای طبیعی محسوب می‌شوند. آنزیم‌های میکروبی پایدارتر و مفیدتر از آنزیم‌های گیاهی و حیوانی بوده و تولید آن‌ها راحت‌تر و ایمن‌تر است. این آنزیم‌ها بازده زیادی داشته و محدوده‌ی متنوع‌تری از فعالیت‌های کاتالیستی موجود را شامل می‌شوند. آنزیم‌ها مهم‌ترین نوع کاتالیزورهای زیستی برای کاربردهای بیوتکنولوژی بوده و در حال حاضر به‌علت دارا بودن فعالیت بیولوژیکی، بسیار مورد توجه قرار گرفته است (بنجامین و پندی، ۱۹۹۸). برای برخورداری از شرایط بهینه تیمارهای آنزیمی در کارخانه‌های خمیر و کاغذ، فاکتورهای مختلفی مثل تأثیر غلظت آنزیم، دمای واکنش، مدت زمان واکنش و شرایط فعالیت هیدرولیز تری‌گلیسیریدها بایستی مورد بررسی قرار گیرد. هم‌چنین برای حداکثر اثرگذاری آنزیم‌ها باید یک سیستم اختلاط قوی وجود داشته باشد تا بین آنزیم و تری‌گلیسیریدها به‌خوبی تماس برقرار شود. تیمارهای آنزیمی اغلب هیچ‌گونه تأثیر مخربی روی درجه روشنی و مقاومت خمیرکاغذ ندارند (فارل و همکاران، ۱۹۹۷).

آنزیم‌ها می‌توانند از تجمع چسب و قیر که اصطلاحاً مواد چسبناک نامیده می‌شوند، در ماشین‌های کاغذسازی جلوگیری کنند. براساس نتایج به‌دست آمده از تحقیقات آزمایشگاهی، سایر موارد استفاده از آنزیم‌ها شامل از حذف مواد شیمیایی مورد استفاده برای تمیز کردن ماشین کاغذسازی، افزایش بازدهی در فرآیند تولید خمیرکاغذ به روش کرافت، کاهش مدت زمان پالایش، تغییر خواص الیاف، افزایش انعطاف‌پذیری الیاف و ایجاد پیوند بین زنجیرهای جانبی یا گروه‌های عامل می‌شود. معیار مهم در ارتباط با آنزیم‌ها، میزان کارآیی و عملکرد آن می‌باشد. مزایای استفاده از آنزیم‌ها باید به‌گونه‌ای باشد که ایجاد تغییر در فرآیند و فن‌آوری تولید را توجیه نماید. استفاده از یک آنزیم خاص در یک فرآیند مستلزم تنظیم و سازگاری پارامترهای تولید از قبیل pH، افزودن مواد شیمیایی از قبیل مواد فعال کننده سطحی و یا تحمیل هزینه‌های سرمایه‌ای برای خرید مخازن اختلاط و غیره است (حمسی، ۲۰۰۵).

همان‌طور که قبلاً اشاره شد، اجزای قابل استخراج غیرقطبی از الیاف چوبی و غیرچوبی به‌طور متداولی با مواد استخراجی چربی‌دوست از قبیل اسیدهای چرب و اسیدهای رزینی، الکل‌های چرب، آلکان‌ها، استرول‌ها، استرهای استرول و تری‌گلیسیریدها مرتبط می‌باشند. این ترکیبات چربی‌دوست، پیش‌ترکیبات رسوبات قیر در فرآیندهای تولید خمیر و کاغذ می‌باشند (مارکز و همکاران، ۲۰۱۱). خمیرکاغذهای با مقدار مواد استخراجی زیاد علاوه بر این که مقاومت و درجه روشنی خمیرکاغذ را کاهش می‌دهند (مارتینز و همکاران، ۱۹۹۹)، بلکه باعث قابلیت گذر نامطلوب، ایجاد سوراخ در کاغذ و در نهایت پارگی کاغذ می‌شوند می‌باشند (مارکز و همکاران، ۲۰۱۱). به‌عبارت دیگر می‌توان گفت ترکیبات استخراجی، اجزای چربی‌دوست با وزن مولکولی کم در چوب می‌باشند (مارتینز و همکاران، ۱۹۹۹) که طی فرآیندهای خمیرکاغذسازی از چوب استخراج می‌شوند و بسته به نوع گونه چوبی، ۲ الی ۸ درصد ساختار چوب را در بر می‌گیرند (فارل و همکاران، ۱۹۹۷). رسوب مواد استخراجی چوب مرتبط با الیاف، نمک‌های غیرآلی و مواد افزودنی به‌طور تکنیکی به ترکیبات قیر مربوط می‌شود (مارتینز و همکاران، ۱۹۹۹)، ساختار مواد استخراجی بسته به نوع درخت و فصل برداشت چوب متفاوت است (سو و همکاران، ۲۰۱۱). مواد شیمیایی مختلفی برای مقابله با رسوبات قیر و مواد چسبناک در فرآیندهای کاغذسازی موجود است. مواد جاذب، نمک‌های غیرآلی حاصل از کاتیون‌های چند بنیانی، پلی‌الکترولیت‌ها، پراکنده‌سازها، عوامل فعال‌ساز سطحی و حتی تجزیه‌کننده‌ها برای مقابله با مشکلات قیر و مواد چسبناک مورد بررسی قرار گرفته‌اند. با این حال مواد جاذب، هنوز یکی از

عوامل اصلی کنترل کننده قیر و مواد چسبناک می‌باشند (لی و لیو، ۲۰۱۱). با استفاده از آنزیم استراز[1] به‌منظور کنترل قیر، سطح گروه‌های کربوکسیلیک اسیدی در ماده چسبناک افزایش می‌یابد. به‌همین دلیل نیاز به افزودن ترکیب یا ترتیبی از مواد افزودنی شامل پلی‌مرهای کاتیونی با شارژ زیاد یا سطوح معدنی دارای بار مثبت می‌تواند افزایش یابد (هیوب و همکاران، ۲۰۰٦).

برخی از کاربردهای آنزیم در صنایع خمیر و کاغذ: صنایع خمیر و کاغذ به واسطه مصرف بسیار زیاد انرژی و مواد شیمیایی، یکی از آلاینده‌های عمده محیط‌زیست محسوب می‌شود. برای به حداقل رساندن اثرات این صنعت در محیط‌زیست، فرآیندهای آنزیمی فرصت‌های بالقوه‌ای را جهت تغییر به سمت صنایع کارآمد و دوست‌دار محیط‌زیست مهیا می‌کند. به‌کار بردن مقادیر کمی از آنزیم‌ها، عملکرد و نتایج مشابهی در مقایسه با استفاده از مقادیر زیاد مواد شیمیایی دارند. همچنین، فرآیندهای آنزیمی عموماً انرژی فسیلی کم‌تری نسبت به فرآیندهای متداول مصرف می‌کنند (اسکالس و همکاران، ۲۰۰۸). از مهم‌ترین کاربرد آنزیم‌ها در صنایع خمیر و کاغذ می‌توان به خمیرکاغذسازی زیستی[2]، پالایش و اصلاح الیاف، رنگ‌بری خمیرکاغذ و مرکب‌زدایی کاغذ بازیافتی اشاره کرد (مایلی و طلائی‌پور، ۲۰۱۱). بسیاری از کاربردهای آنزیم‌ها در صنایع خمیر و کاغذ هنوز در مرحله تحقیق و توسعه هستند اما برخی از آن‌ها برای این کارخانه‌ها، کاربردی و قابل اجرا می‌باشند. در حال حاضر مهم‌ترین کاربرد آنزیم‌ها در پیش‌رنگ‌بری می‌باشد. تکنولوژی پیش‌رنگ‌بری با زایلاناز اکنون در چندین کارخانه در جهان در حال استفاده می‌باشد. به‌عنوان مثال، زایلاناز در ۸ درصد از خمیرکاغذ کرافت رنگ‌بری شده کانادا (معادل با ۸۳۰۰۰۰ تن) در سال ۱۹۹٤ استفاده شد. این مقدار در سال ۲۰۰۱ به بیش از ۳/۹ میلیون تن و در سال ۲۰۰۲ به ٦ میلیون تن افزایش یافت (دمونر و همکاران، ۲۰۱۱).

آنزیم‌های میکروبی تکنولوژی‌های جدیدی را برای عمل‌آوری الیاف و خمیرکاغذها فراهم می‌آورند. به‌عنوان مثال زایلاناز مقدار مواد شیمیایی موردنیاز برای رنگ‌بری، انتشار سالانه دی‌اکسیدکربن و فلزات سنگین موجود در پساب را کاهش می‌دهد. این آنزیم درصد خروج مرکب از کاغذ، دانسیته و سطح ویژه آن را افزایش می‌دهد. لیپاز مقدار ترکیبات قیری را کاهش داده و آنزیم‌های تجزیه‌کننده لیگنین، لیگنین موجود در خمیرکاغذ را خارج می‌کنند. بعضی از موارد گفته شده به

1- Sterase
2- Biopulping

صورت فرآیند صنعتی در آمده‌اند؛ مثل رنگ‌بری با زایلاناز، جداسازی قیر با لیپاز و افزایش درجه روانی با سلولاز و همی‌سلولاز. به‌زودی انتظار می‌رود که فرآیندهای دیگر همانند جداسازی آلاینده‌ها و فیبریله کردن الیاف بازیافتی با سلولاز جنبه صنعتی پیدا کنند (قوش و همکاران، ۲۰۰۲؛ دمونر و همکاران، ۲۰۱۱؛ مایلی و طلایی‌پور، ۲۰۱۱).

همان‌طور که پیش‌تر ذکر شد سلولاز، زایلاناز، لاکاز و لیپاز، مهم‌ترین آنزیم‌های کاربردی در صنایع خمیر و کاغذ هستند. سلولاز و لیپاز در فرآیندهای کاغذسازی استفاده می‌شوند، اما زایلاناز و لاکاز اغلب در تولید خمیرکاغذ مورد استفاده قرار می‌گیرند. اصلاح الیاف و کنترل قیر، به‌ترتیب از اهداف کلیدی کاربرد سلولازها و لیپازها هستند. از سوی دیگر، لیگنین‌زدایی الیاف و کمک به رنگ‌بری به‌ترتیب از مهم‌ترین اهداف کاربرد لاکازها و زایلانازها در تولید خمیرکاغذ می‌باشند (دمونر و همکاران، ۲۰۱۱). آنزیم‌های مورد استفاده در صنعت کاغذ نباید تخریب‌کننده سلولز باشند. همچنین بایستی در مقابل فلزات سنگین مختلف مقاوم بوده و نیازی به کوفاکتورها نداشته باشند (لیسولا و همکاران، ۲۰۰۹). کوفاکتورها، ترکیباتی آلی یا یون‌های فلزی با وزن مولکولی کم می‌باشند که آنزیم‌های معینی به آن نیاز داشته تا بتوانند یک واکنش یا یک فرآیند را کاتالیز کنند. این مواد برای بسیاری از واکنش‌های آنزیمی ضروری می‌باشند. برای این‌که یک کوفاکتور اقتصادی و کاربردی باشد، شرایط خاصی باید اعمال شود و برای رسیدن به این شرایط، معمولاً واکنش‌های آنزیمی برای احیای کوفاکتورها انتخاب می‌شوند. یکی از تفاوت‌های کوآنزیم‌ها با کوفاکتورها در این است که کوآنزیم‌ها عموماً مولکول‌های آلی هستند و دارای گروه‌های عاملی می‌باشند که در پروتئین‌ها یافت نمی‌شوند، اما کوفاکتورها مولکول‌ها یا یون‌های ضروری هستند که به‌صورت کووالانسی با آنزیم‌ها پیوند یافته‌اند (چنالت و ویتسایدس، ۱۹۸۷).

تاکنون برخی از آنزیم‌ها از قبیل لیپاز، سلولاز، آلفاآمیلاز و گلوکوآمیلاز برای عملکرد بهتر در فرآیندهای صنعتی، مورد مطالعه قرار گرفته‌اند. به‌عنوان مثال، زایلاناز نمونه خوبی از یک آنزیم صنعتی است و هنگامی‌که به‌عنوان یک افزودنی مورد استفاده قرار می‌گیرد، بایستی در دماهای زیاد پایدار بوده و در pH و شرایط فیزیولوژیکی فعال باشد (لیسولا و همکاران، ۲۰۰۹).

در یک نگاه کلی و به صورت خلاصه می‌توان گفت از جمله مزیت‌های آنزیم در صنایع عبارت‌اند از: افزایش بازده‌ی محصولات اصلی، کاهش مواد زائد، استفاده بهتر از مواد اولیه، کاهش مصرف انرژی، کاهش آلاینده‌های زیست‌محیطی، افزایش صرفه اقتصادی و کاهش تعداد مراحل فرآیندی مورد

نیاز، اخیراً استفاده از آنزیم‌هایی مثل سلولاز، زایلاناز یا پکتیناز به‌عنوان یک روش پیشرفته و نوین اجرا شده است به‌طوری که این ترکیب‌ها به‌صورت انتخابی می‌توانند لایه‌های بیرونی الیاف سلولزی را جهت آزاد کردن مرکب از سطح الیاف هیدرولیز کنند. در مرکب‌زدایی آنزیمی، آنزیم‌ها به مرکب و یا به سطح الیاف حمله‌ور می‌شوند و ساز و کار عمده این عمل مبتنی‌بر سست کردن اتصالات ذرات مرکب و الیاف و حذف ذرات ریز و فیبریل می‌باشد. استفاده از آنزیم، درصد خروج مواد آلاینده و کارآیی فرآیند مرکب‌زدایی را افزایش می‌دهد. اگر چه مرکب‌زدایی با سلولاز و همی‌سلولاز صنعتی شده‌اند، اما آنزیم‌های مطلوب و مؤثرتری را باید برای مرکب‌زدایی بررسی کرد (آریائی منفرد، ۲۰۰۷).

آنزیم لیپاز به‌دست آمده از قارچ حلقوی Cadida[1] پس از افزودن به مخزن خمیرکاغذ حاصل از چوب آسیاب شده، مقدار تری‌گلیسریدها، مصرف تالک و مشکلات قیر را به‌طور قابل توجهی کاهش داد. نتایج به‌دست آمده از آزمایش‌های انجام شده در واحدهای مختلف صنعتی نشان می‌دهند که با استفاده از آنزیم‌های لیپاز، تعداد معایب موجود در کاغذ و مقدار مواد شیمیایی، همراه با توالی تمیزسازی ماشین کاغذ کاهش می‌یابد. آنزیم لیپاز علاوه‌بر افزایش جذب آب خمیرکاغذ CTMP[2]، مقاومت و حجم ویژه کاغذ نهایی حاصل از این خمیرکاغذ را هم افزایش می‌دهد. استفاده از آنزیم سلولاز، جداسازی ذرات مرکب از کاغذهای روزنامه باطله را بهبود می‌بخشد و در مقایسه با مرکب‌زدایی معمول نتایج بهتری می‌دهد و می‌تواند به‌عنوان راه حل مهمی در جای‌گزینی آن‌ها باشد. آنزیم سلولاز به زمان بهینه‌ای برای تماس با سوسپانسیون خمیرکاغذ نیاز دارد. همچنین جداسازی ذرات مرکب می‌تواند با کارآیی جداسازی و مصرف انرژی ویژه بهینه شود. افزایش غلظت و کاهش مدت زمان خمیرسازی با صرفه‌جویی در مصرف انرژی موجب افزایش دوام و پایداری کاغذ می‌شود. خمیرهای کاغذ مرکب‌زدایی شده با آنزیم آسان‌تر رنگ‌بری شده و نسبت به خمیرهای کاغذ مرکب‌زدایی شده با روش متداول به مواد شیمیایی کم‌تری نیاز دارد. مرکب‌زدایی متداول شامل استفاده از مقادیر بسیار زیادی از مواد شیمیایی می‌باشد که انجام آن برای کارخانه‌های کاغذسازی به‌شدت هزینه‌بر بوده و برای محیط‌زیست مخرب می‌باشد. در واقع، توسعه فرآیندهای کاغذسازی با تأثیرات زیست‌محیطی کم، با استفاده از آنزیم‌های مناسبی محقق می‌شود (هایسه و همکاران، ۱۹۹۵؛ ژوبینس و

1- Cadida cylindrical
2- Chemi-thermo mechanical pulp

فرانک، ۱۹۹۷؛ پالاچ و همکاران، ۲۰۰۳؛ پالاچ و همکاران، ۲۰۰٤؛ اکبرپور، ۲۰۱۱؛ ایبارا و همکاران، ۲۰۱۲).

آنزیم‌ها به‌طور مستقیم هم بر الیاف و هم بر روی فیلم لایه ذرات مرکب عمل می‌کنند و با جدا شدن فیبریل‌های کوچک از سطح ذرات و تغییر آب‌دوستی این ذرات، جداسازی آن‌ها را در مرحله شستشو و شناورسازی آسان نموده و کیفیت کاغذ نهایی را بهبود می‌بخشند (آریائی منفرد، ۲۰۰۷؛ ایبارا و همکاران، ۲۰۱۲). گزارش شده است که استفاده از آنزیم استراز در کاهش اندازه و تعداد آلاینده‌ها مؤثر است (لکورج و موقرنژاد، ۲۰۰٤).

مشکلات ناشی از قیر و رسوبات آلی در صنایع کاغذسازی: ترکیبات چربی‌دوست سبب ایجاد رسوبات قیر در طی فرآیندهای تولید خمیر و کاغذ می‌شوند. رسوب قیر یک مشکل جدی در این صنایع می‌باشد چون مسئول کاهش سطوح تولید، افزایش هزینه‌های نگه‌داری تجهیزات و هزینه‌های عملیاتی و افزایش نقص و عیب در فرآورده نهایی می‌باشد. علاوه‌بر این، پساب فرآیند دارای ترکیبات استخراجی چوب، ممکن است سمی بوده و برای محیط‌زیست خطرناک باشد (گوتیرز و همکاران، ۲۰۰۹). از زمانی‌که الیاف مکانیکی در ساخت کاغذ مورد استفاده قرار گرفته‌اند، رسوبات قیر به یک مشکل جهانی برای صنایع خمیر و کاغذ تبدیل شده است. برآورد شده است که به واسطه مشکلات حاصل‌شده از قیر، سالیانه ۱ الی ۲ درصد کل فروش کاغذ در امریکا افت داشته و به مقدار ۳ تا ۵ میلیارد دلار به صنایع خمیر و کاغذ این کشور ضرر وارد می‌شود. قیر در فرآیندها نسبت به الیاف سلولزی، چسبندگی طبیعی دارد (مورای و همکاران، ۲۰۰۹). ترکیبات استخراجی چوب حتی هنگامی‌که مقدار بسیار کمی باشند می‌توانند یک نقش بسیار مهمی در فرآیند صنعتی برای خمیرکاغذهای رنگ‌بری شده و تولید کاغذ داشته باشند. همان‌طور که مشخص شده است، هنگامی‌که یک منبع فیبری مورد استفاده قرار می‌گیرد مقادیر مواد استخراجی موجود در آن مشکلاتی را به‌وجود می‌آورد. زیرا این مواد استخراجی، مصرف مواد شیمیایی را در طی خمیرکاغذسازی و فرآیندهای رنگ‌بری افزایش داده و ممکن است منجربه رسوب قیر در ماشین‌آلات کارخانه و در خمیر و کاغذ شود (فریئر و همکاران، ۲۰۰٦). هم‌چنین چسب‌ها، مواد پوشاننده و سایر اتصال‌دهنده‌های موجود در کاغذ بازیافتی، می‌توانند موجب تجمع مواد چسبناک در خمیرکاغذ شوند. چنان‌چه این مواد چسبناک با یکدیگر ادغام و ذرات بزرگ‌تری را پدید آورند، می‌توانند مشکلاتی را در فرآیند تولید ایجاد کنند و بنابراین باید آن‌ها را از سیستم خارج نمود (حمسی، ۲۰۰۵).

تجمع چسب‌ها نیز یک مشکل عمده در فرآیند تولید کاغذ بازیافتی می‌باشد چون باعث کاهش کیفیت کاغذ و توقف‌های طولانی مدت ماشین کاغذ جهت تمیزسازی سیستم می‌شود. رویکرد متداول کنترل مواد چسبناک توسط تمیزسازی شیمیایی و مکانیکی تجهیزات عملیاتی می‌باشد که منجربه مصرف زیاد برق، بخار و حلال می‌شود. راه دیگر برای کنترل مواد چسبناک، استفاده از آنزیم استراز می‌باشد که پلی‌وینیل‌استات را در چسب‌ها هیدرولیز می‌کند. استفاده از آنزیم، صرفه‌جویی در مصرف انرژی را در طی توقف‌های متداول تولید ایجاد کرده و مصرف حلال پلی‌وینیل‌استات را کاهش می‌دهد. بدین‌وسیله در مصرف انرژی و مواد شیمیایی صرفه‌جویی می‌شود (جگاناتان و نیلسن، ۲۰۱۲).

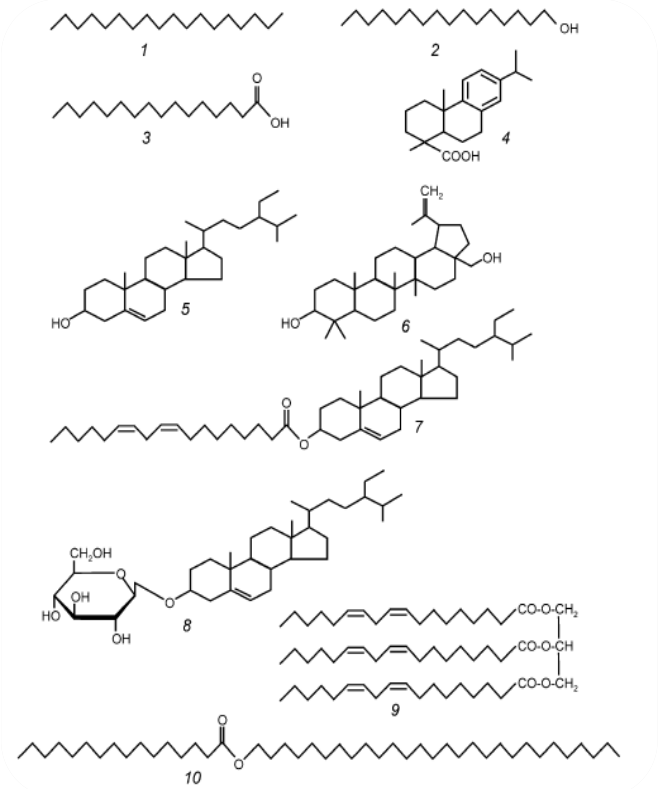
شکل ۱- نمونه‌هایی از ترکیبات استخراجی عامل ایجاد قیر در چوب.

تاکنون برخی مواد شیمیایی برای کنترل مشکل قیر مورد استفاده قرار گرفته‌اند. یکی از این مواد تالک می‌باشد که مکانیسم آن بر اساس جذب ذرات کلوئیدی قیر بر روی ذرات خود می‌باشد. تالک با جذب ذرات رزینی موجود در خمیرکاغذ، مانع از تجمع و نشست آن‌ها روی نمدها و پارچه‌های اتوزنی می‌شود. این ماده به‌همراه خمیرکاغذ جدا می‌شود و به‌این طریق کاغذساز را قادر می‌سازد تا راحت‌تر در سیستم بسته[1] کار کند.

1- Closed-Circuit

ماده دیگر، آلوم یا آلومینیوم‌سولفات می‌باشد که در سیستم‌های کاغذسازی اسیدی برای کاهش چسبناکی قیر توسط تثبیت کاتیونی مورد استفاده قرار می‌گیرد (گوتیرز و دل ریو، ۲۰۰۵). روش‌های متداول کنترل قیر عبارت هستند از ذخیره‌سازی حفاظت شده گرده‌بینه‌ها یا خرده‌چوب‌ها در کارخانه قبل از خمیرکاغذسازی (به‌تعادل رساندن طبیعی) و همچنین جذب یا پخش ذرات قیر با مواد شیمیایی در فرآیندهای خمیرکاغذسازی و کاغذسازی که توسط افزودن آلوم، تالک، پراکنده‌سازهای یونی یا غیر یونی، پلی‌مرهای کاتیونی و سایر افزودنی‌ها انجام می‌شود. در طی ذخیره‌سازی چوب، مقدار مواد استخراجی کاهش می‌یابد، زیرا برخی از آن‌ها توسط آنزیم‌های طبیعی و همچنین فعالیت میکروارگانیسم‌های چوب هیدرولیز شده و یا تغییر شکل می‌دهند. تاکنون واکنش‌های ترکیبات رزینی چوب در طی ذخیره‌سازی برای چندین گونه چوبی مانند نوئل، کاج، توس، صنوبر و اکالیپتوس توسط محققان مورد مطالعه قرار گرفته است. با این حال ذخیره‌سازی دراز مدت خرده‌چوب‌ها به‌واسطه فعالیت غیرقابل کنترل میکروارگانیسم‌ها باعث کاهش بازده و درجه روشنی خمیرکاغذ می‌شود. به‌همین دلیل امروزه در صنعت، خرده‌چوب‌ها یا گرده‌بینه‌ها برای مدت طولانی ذخیره‌سازی نمی‌شوند. به‌عنوان یک راه‌حل، استفاده از قارچ‌های معینی برای کنترل و تسریع تعادل رساندن چوب و یا آنزیم‌هایی برای تیمار خمیرکاغذ مورد توجه قرار گرفته است. استفاده از آنزیم‌ها در کنترل مواد چسبناک در مصرف انرژی صرفه‌جویی کرده و باعث کم‌شدن اثرات وارده به محیط‌زیست می‌شود (باجپای، ۲۰۱۲).

مواد استخراجی چربی‌دوست از قبیل اجزای غیرقطبی قابل استخراج از چوب و سایر مواد لیگنوسلولزی اغلب به رزین‌های چوب از قبیل آلکان‌ها (۱)، الکل‌های چرب (۲)، اسیدهای چرب (۳)، اسیدهای رزینی (٤)، استرول‌ها (٥)، سایر ترپنوییدها (٦)، استرول‌های مزدوج (۷ و ۸)، تری‌گلیسیریدها (۹) و موم‌ها (۱۰) مربوط می‌شود (شکل ۲).



شکل ۲- ساختار شیمیایی ترکیبات عمده مواد استخراجی چربی‌دوست یافت شده در گیاهان چوبی و غیرچوبی: ۱- اوکتا دکان ۲- هگزا دکانول ۳- پالمیتیک اسید ٤- آبیتیک اسید ٥- سیتوسترول ٦- بتالینول ۷- سیتوستریل لینولئات ۸- لینوستریل، ۳-B- دی‌گلوکوپیرانوزید ۹- تری‌لینولئین ۱۰- اوکتا کوزیل هگزا دکانوآت (گوتیرز و همکاران، ۲۰۰۹).

تمامی این ترکیبات چربی‌دوست، پیش‌ترکیبات رسوبات قیر در فرآیندهای تولید خمیر و کاغذ هستند. رسوبات قیر باعث کیفیت کم خمیرکاغذ شده و می‌تواند سبب از کار افتادن تجهیزات کارخانه خمیرکاغذسازی شود. مشکلات خاص مرتبط با خمیرکاغذها با درصد مواد استخراجی زیاد عبارت‌اند از: اختلال در قابلیت گذر، وجود لکه و سوراخ در کاغذ و نهایتاً پارگی ورقه کاغذ (سیلوستر و همکاران، ۱۹۹۹؛ فریئر و همکاران، ۲۰۰۲؛ گوتیرز و همکاران، ۲۰۰۹).

ترکیبات استخراجی ایجاد کننده قیر: اگرچه مواد استخراجی، بخش بسیار کمی را در چوب شامل می‌شوند، اما مشکلات زیست‌محیطی و فنی بسیار مهمی را در صنایع خمیر و کاغذ ایجاد می‌کنند. تری‌گلیسیریدهای چوب، مخصوصاً در کارخانه‌هایی که از سوزنی‌برگان به‌عنوان ماده اولیه استفاده می‌شود، نقش کلیدی مهمی در تشکیل رسوبات قیر دارند. موم‌ها و استرهای استریل که در پهن‌برگانی از قبیل صنوبر و توس نسبتاً فراوان هستند، با رسوبات قیر مرتبط می‌باشند (دورادو و همکاران، ۲۰۰۰).

مواد استخراجی که به قیر نسبت داده می‌شود، اغلب از اسیدهای رزینی، اسیدهای چرب آزاد، تری‌گلیسیریدها، استرول‌ها و استرهای استریل تشکیل می‌شوند. اسیدهای چرب اشباع‌شده و اشباع‌نشده با ١٦ الی ٢٤ اتم کربن، مهم‌ترین اسیدهای چرب در گیاهان چوبی هستند. برهم‌کنش‌های بین چربی و اسیدهای رزینی باعث به‌وجود آمدن مشکلات قیر می‌باشد. تحقیقات نشان داده که اسیدهای رزینی از جمله ترکیبات عمده نسبت داده شده به رسوبات قیر می‌باشند (ورکو و همکاران، ۲۰۰۳).

متیل‌استر اسیدهای چرب دارای ١٤ تا ٢٦ کربن و همچنین مجموعه‌ای از متیل‌استر α- متوکسی این اسیدهای چرب، عمدتاً در رسوبات قیر مشاهده می‌گردند. یکی از منابع عمده رسوبات قیر در طی تولید خمیرکاغذ، ترکیبات چربی‌دوست هستند.

مهم‌ترین ترکیبات شناسایی شده در ترکیب قیر، مجموعه‌ای از اسیدهای چرب، n- آلکان‌ها، استروئیدها، تری‌ترپنوئیدها و موم‌ها می‌باشند. در میان اسیدهای چرب، اسیدهای چرب هگزادکانوئیک[1] (C_{16})، اوکتادکادی‌ئنوئیک[2] ($C_{18:2}$)، اوکتادسنوئیک[3] ($C_{18:1}$)، اوکتادکانوئیک[4] (C_{18}) و ایکوزانوئیک[5] (C_{20}) دارای بیش‌ترین مقدار می‌باشند. مجموعه‌ای از n- آلکان‌ها در گستره ٢١ تا ٣٣ کربن مانند نوناکوزان[6] (C_{29}) فراوان بودند (گوتیرز و دل ریو، ۲۰۰۵).

1- Hexadecanoic
2- Octadecadienoic
3- Octadecenoic
4- Octadecanoic
5- Eicosanoic
6- Nonacosane

در الیاف شاه‌دانه، استرول‌های استری شده و آزاد و تری‌ترفنول‌ها نیز شناسایی شدند که سیتوسترول و β- آمیرین به‌ترتیب فراوان‌ترین ترکیبات بودند. موم‌ها در برگیرنده مخلوط پیچیده‌ای هستند که در این بین با روش مورد استفاده اسیدهای چرب بلند زنجیر استری شده متفاوت و الکل‌های چرب بلند زنجیر دارای ٤٠ تا ٥٤ کربن شناسایی می‌شوند. آنالیزهای جزئی‌تر کروماتوگرام موم‌ها نشان داد که در میان اسیدهای چرب استری شده ١٦ تا ٣٠ کربنی، انواع ٢٠ و ٢٢ کربنی و در میان الکل‌های چرب استری شده ١٨ تا ٣٨ کربنی، انواع ٢٢، ٢٤، ٢٦، ٢٨ و ٣٠ کربنی غالب‌تر هستند.

ترکیبات استخراجی آب‌گریز در سایر گیاهان غیرچوبی مورد استفاده در فرآیند کاغذسازی نیز قابل مشاهده می‌باشند. جدول ١، میزان و نوع ترکیبات استخراجی آب‌گریز موجود در گیاه شاه‌دانه را نشان می‌دهد (گوتیرز و دل ریو، ٢٠٠٥).

جدول ١- انواع مواد استخراجی چربی‌دوست موجود در الیاف شاه‌دانه.

نام ترکیب	مقدار (درصد)
آلکان‌ها (١٤ تا ٢٦ کربن)	٢٨/٧
هیدروکربن‌های استروئیدی	١/٧
اسیدهای چرب (١٤ تا ٣٠ کربن)	١٢/١
الکل‌های چرب (١٨ تا ٣٢ کربن)	٣/٣
آلدهیدها (٢١ تا ٣٢ کربن)	٤/٣
استرول‌ها/ تری‌ترفنول‌های آزاد	١٨/٢
کتون‌های استروئید/ تری‌ترپنوئید	٤/٥
موم‌ها (٤٠ تا ٥٤ کربن)	١١/٧
استرول‌های استری شده/ استرهای تری ترفنول	١٤/٥
گلیکوزیدهای استرول	١

در مطالعه گوتیرز و دل‌ریو (٢٠٠٥)، مقادیر اندک ترکیبات اکسیدشده اولئیک‌اسید و دو نوع از مشتقات سیتوسترول که در ماده اولیه وجود نداشتند، در رسوبات قیر شناسایی شدند. در مقابل، لیپیدهای اشباع شده (از قبیل اسیدهای چرب اشباع شده و استرول‌ها) نسبت به اکسیدشدن مقاوم بوده و به‌همین دلیل در رسوبات قیر یافت می‌شوند. فراوانی نسبتاً بیش‌تر الکل‌های چرب در مقایسه با

آلکان‌ها در رسوبات قیر بیان‌گر این است که الکل‌های چرب آزاد شده در هیدرولیز موم‌ها در رسوبات قیر تجمع می‌یابند. در میان اسیدهای چرب موجود در رسوبات قیر، عدم وجود اسیدهای چرب اشباع نشده (از قبیل اوکتادکا دی‌ئنوئیک و اوکتادسنوئیک‌اسید) که در ترکیبات استخراجی شاه‌دانه برجسته بودند، قابل توجه می‌باشد. مقدار مواد استخراجی چربی‌دوست موجود در الیاف شاه‌دانه در رسوبات قیر نسبتاً اندک می‌باشد. همچنین در مواد استخراجی چربی‌دوست، موم‌ها، استرول‌ها و استرهای تری‌ترفنول شناسایی شده‌اند (گوتیرز و دل ریو، ۲۰۰۵).

نتیجه‌گیری

مواد استخراجی چربی‌دوست و غیر قطبی قابل استخراج از الیاف چوبی و غیرچوبی معمولاً دارای موادی از قبیل اسیدهای چرب و اسیدهای رزینی، الکل‌های چرب، آلکان‌ها، استرول‌ها، استرهای استرول و تری‌گلیسیریدها می‌باشند. این ترکیبات چربی‌دوست، پیش‌ترکیبات رسوبات قیر در فرآیندهای تولید خمیر و کاغذ می‌باشند. مقدار قیر کم‌تر از ۱۰ درصد وزن کل چوب است اما باعث ایجاد مشکلات عمده‌ای می‌شود. رسوبات قیر باعث کاهش کیفیت خمیرکاغذ شده و می‌تواند سبب توقف عملیات کارخانه خمیر و کاغذ شود. قیر حاصل از الیاف خمیرکاغذ در نقاط مختلفی از فرآیند آزاد می‌شود و مخصوصاً هنگامی‌که تغییر pH یا تغییر دما صورت می‌گیرد، این آزادسازی جدی‌تر است. استفاده از آنزیم‌ها به‌عنوان راه‌کار بیولوژیکی مؤثری در کنترل مشکلات قیر در صنایع خمیر و کاغذ پیشنهاد شده است. فرآیندهای آنزیمی در محدوده گسترده‌ای از صنایع در دهه‌های اخیر مورد استفاده قرار گرفته‌اند. زیرا دارای فعالیت سریع و مخصوصی هستند و در مقایسه با فرآیندهای متداول، اغلب باعث صرفه‌جویی ماده خام اولیه، انرژی، مواد شیمیایی و آب می‌شوند. فرآیندهای آنزیمی وسیله‌ای برای حرکت به‌سمت تولید پاکیزه‌تر در صنایع می‌باشند. آنزیم‌ها با هیدرولیز نمودن تری‌گلیسیریدها، که عامل تشکیل ترکیبات چسبناک هستند از تشکیل آن‌ها جلوگیری می‌کنند. استفاده از آنزیم، صرفه‌جویی در مصرف انرژی را در طی توقف‌های متداول تولید ایجاد کرده و مصرف حلال پلی‌وینیل استات را کاهش می‌دهد. بهترین نقطه افزودن آنزیم‌ها به جریان خمیرکاغذ، قبل از ورود جریان خمیرکاغذ به مخزن ذخیره‌سازی می‌باشد. استفاده از آنزیم استراز به‌منظور کنترل قیر، باعث افزایش سطح گروه‌های کربوکسیلیک اسیدی در ماده چسبناک می‌شود. به‌همین دلیل، پلی‌مرهای کاتیونی با شارژ زیاد یا سطوح معدنی دارای بار مثبت افزوده می‌شوند.

رهیافت ترویجی

برخی ترکیبات استخراجی چوب باعث ایجاد مشکلاتی در فرآیند تولید خمیر و کاغذ می‌شود. این مواد به‌سختی در مراحل شستشو حذف شده و ممکن است منجربه ایجاد رسوبات قیر در تجهیزات فرآیندی و محصول نهایی و یا این‌که می‌توانند در خمیرکاغذ رسوب کرده و کیفیت آن را کاهش دهند و یا به‌واسطه خرابی تجهیزات، سبب از کار افتادن کارخانه شوند. تحقیق پیش‌رو با هدف معرفی و شناسایی این نوع ترکیبات شیمیایی موجود در چوب و خمیرکاغذهای شیمیایی- مکانیکی می‌باشد که منجربه ایجاد مشکل قیر می‌شوند. روش‌های مختلفی برای کنترل مشکل قیر وجود دارد که این روش-ها عبارت‌اند از: ذخیره‌سازی گرده‌بینه‌ها یا خرده‌چوب‌ها در کارخانه قبل از خمیرکاغذسازی و همچنین جذب یا معلق‌سازی ذرات قیر توسط مواد شیمیایی در فرآیندهای خمیر و کاغذسازی که می‌تواند توسط آلوم، تالک، پراکنده‌سازهای یونی یا غیریونی، پلی‌مرهای کاتیونی و سایر انواع افزودنی‌ها انجام گیرد. یکی از جدیدترین فن‌آوری‌ها در صنعت خمیر و کاغذ، کاهش مقدار این ترکیبات در فرآیندهای کاغذسازی با استفاده از آنزیم‌ها می‌باشد. در همین راستا تحقیقات گسترده در سطح دنیا نشان می‌دهد که آنزیم‌ها به‌عنوان ترکیباتی آلی می‌توانند در کاهش اندازه و تعداد این آلاینده‌ها مؤثر باشند. با توجه به این‌که اغلب کارخانه‌های کاغذسازی با مشکل قیر در خطوط تولیدی خود مواجه هستند، این بررسی می‌تواند گامی مؤثر برای آگاهی بخشیدن کارشناسان و تولیدکنندگان داخلی در مواجه با مشکل مواد چسبناک باشد. بنابراین توصیه می‌شود بسیاری از کارخانه‌های داخلی تولید خمیر و کاغذ که با مشکل مواد چسبناک مواجه هستند از آنزیم‌های صنعتی که به‌همین منظور به‌صورت تجاری در دسترس می‌باشند، استفاده نمایند.

منابع

1.Akbarpour, I. 2011. Enzymatic deinking of old newspaper. M.Sc. Thesis. Gorgan University of agricultural sciences and natural resources, 121p. (In Persian)
2.Aryaie Monfared, M.H. 2007. Enzymatic deinking of mixed office waste paper with cellulose. M.Sc. Thesis. Gorgan University of agricultural sciences and natural resources, 107p. (In Persian)
3.Bajpai, P. 2012. Biotechnology for pulp and paper processing. Patiala, India, 33-36.
4.Benjamin, S., and Pandey, A. 1998. Candida rugosa lipases: molecular biology and versatility in biotechnology. Yeast, 14: 1069–1087.

5.Biermann, C.J., and Lee, M.K. 1990. Analytical techniques for analysing white pitch deposits. Tappi Journal, 73(1): 127-131.
6.Chenault, H.K., and Whitesides, G.M. 1987. Regeneration of nicotinamide cofactors for use in organic synthesis. Applied biochemistry and biotechnology, 14: 97-147.
7.Demuner, B.J., Junior, N.P., and Antunes, A.M.S. 2011. Technology prospecting on enzymes for the pulp and paper Industry. Journal of technology management and innovation, 6: 148-158.
8.Dorado, J., Claassen, F.W., Van Beek, T.A., Lenon, G., and Wijnberg, J.B.P.A., Alvarez, R.S. 2000. Elimination and detoxification of softwood extractives by white-rot fungi. Journal of biotechnology, 80: 231-240.
9.Farrell, R.L., Hata, K., and Wall, M.B. 1997. Solving pitch problems in pulp and paper processes by the use of enzymes or fungi. Advances in biochemical engineering/biotechnology, 57: 197-212.
10.Freire, C., Silvestre, A., Pascoal Neto, C., and Evtuguin, D. 2006. Effect of oxygen, ozone and hydrogen peroxide bleaching stages on the contents and composition of extractives of eucalyptus globules Kraft pulps. Bio resource technology, 97: 420-428.
11.Freire, C.S.R., Silvestre, A.J.D., Pereira, C.C.L., Neto, P.C., and Cavaleiro, J.A.S. 2002. New lipophilic components of pitch deposits from a *Eucalyptus globulus* bleached Kraft pulp mill. J. wood chem technol, 22(1): 55–66.
12.Ghosh, P., Choudhury, B., Mantri, R., Aggarwal, P., and Gothwal, R. 2002. Biobleaching: enzymatic colour removal from Pulp. Birla institute of scientific research statute circle, Jaipur. M.Sc. Thesis, 143p.
13.Gutiérrez, A., and Del Río, J. 2005. Chemical characterization of pitch deposits produced in the manufacturing of high-quality paper pulps from hemp fibers. Bioresource technology, 96: 1445-1450.
14.Gutiérrez, A.C., Del Río, J.C., and Martínez, A.T. 2009. Microbial and enzymatic control of pitch in the pulp and paper industry. Application of microbial and bioethanol, 82: 1005-1018.
15.Hamze, Y., and Rostampoor, A. 2008. Papermaking chemistry principles. Tehran university press, 424p. (In Persian)
16.Heise, O.U., Fineran, J.W.G., Unwin, J.P., Sykes, M., Klungness, J.H., and Abubakr, S. 1995. Industrial scale-up of enzyme deinking of non-impact printed toners. In: Proceedings of TAPPI pulping conference, 349–354.
17.Hemmasi, A.H. 2005. Application of biotechnology in pulp and paper industry. Tehran, Journal of Agricultural Sciences, 11(1): 105-118. (In Persian)
18.Hubbe, M.A., Rojas, O.J., and Venditti, R.A. 2006. Control of tacky deposits on paper machines–a review. Nordic pulp and paper research Journal, 21: 154-171.

19. Ibarra, D., Monte, M.C., Blanco, A., Martinez, A.T., and Martinez, M.J. 2012. Enzymatic deinking of secondary fibers: cellulases/hemicellulases versus laccase-mediator system. Journal Ind microbial bioethanol, 39: 1–9.
20. Jegannathan, K.R., and Nielsen, P.H. 2012. Environmental assessment of enzyme use in industrial production–a literature review. Journal of cleaner production, 12: 1-50.
21. Jobbins, J.M., and Franks, N.E. 1997. Enzymatic deinking of mixed office waste: process condition optimization. Tappi Journal, 80(9):73–78.
22. Lakouraj, T.M., and Movaghar Nejad, K. 2004. Using enzyme technology in production of pulp and paper recycling. The ninth chemistry engineering national congress, University of science and industry, Iran, 3259-3267.
23. Leisola, M., Jokela, J., Pastinen. O., and Turunen, O. 2009. Industrial use of enzymes. Physiology and maintenance, 2: 161-185.
24. Li, G., and Liu, W. 2011. Adsorption of pitch and stickies on magnesium aluminium hydroxides treated at different temperatures. Bio Resources, 6: 1972-1987.
25. Liss, S.N., Bicho, P.A., and Saddler, J.N. 1997. Microbiology and biodegradation of resin acids in pulp mill effluents: a mini review. Can Journal microbial, 43: 599–611.
26. Marques, G., Molina, S., Babot, D.E., Lund, H.C., Del Rio, J., and Gutiérrez, A. 2011. Exploring the potential of fungal manganese-containing lipoxygenase for pitch control and pulp delignification. Bioresource technology, 102: 1338-1343.
27. Martínez-Iñigo, M.J., Immerzeel, P., Gutierrez, A., Del Río, C.J., and Alvarez, R.S. 1999. Biodegradability of extractives in sapwood and heartwood from scots pine by sapstain and white rot fungi. Holzforschung, 53: 247-252.
28. Mayeli, N., and Talayipoor, M. 2011. Enzymatic deinking old newsprint (ONP) with cellulose and lipase. Iranian Journal of chemistry and chemistry engineering, 30(1): 11-20. (In Persian).
29. Murray, G., Karen, S., Mclean, S.D., Shen, W., and Garnier, G. 2009. Dynamics of colloidal pitch adsorption at the solid–liquid interface by surface Plasmon resonance. Colloids and surfaces, 341: 127-133.
30. Otero, D., Sundberg, K., Blanco, A., Negro, C., and Holmbom, B. 2000. Effect of wood polysaccharides on the depositability of wood pitch. Nordic pulp paper Resource Journal, 15: 607–613.
31. Palach, H., Mota, M., and Gama, F.M. 2004. Enzymatic versus chemical deinking of non-impact ink printed paper. Journal of biotechnology, 108: 79–89.
32. Pelach, M.A., Pastor, F.J., Puig, J., Vilaseca, F., and Mutje, P. 2003. Enzymatic deinking of old newspaper with cellulose. Process Biochemistry, 38:1063–1067.
33. Rahmati, H., Abdolkhani, A., and Hamzeh, Y. 2010. Characterization and removal of resins from mixed tropical hardwoods kraft pulp. Iranian Journal Journal of wood and paper industry, 1:45-56. (In Persian)

34. Silvestre, A.J.D., Pereira, C.C.L., Neto, P.C., Evtuguin, D.V., Duarte, A.C., Cavaleiro, J.A.S., and Furtado, F.P. 1999. Chemical composition of pitch deposits from an ECF *eucalyptus globulus* bleached kraft pulp mill: its relationship with wood extractives and additives in process streams. Appita Journal, 52(5): 375–382.
35. Skals, P.B., Krabek, A., Nielsen, P.H., and Wenzel, H. 2008. Environmental assessment of enzyme assisted processing in pulp and paper industry. International Journal of Life Cycle Assessment, 13(2):124–132.
36. Su, Y.C, Ho, C.L., Hsu, K.P., and Chang, H.M. 2011. Screening of Ophiostoma species for removal of eucalyptus extractives. Journal of wood chemistry and technology, 31: 282–297.
37. Vercoe, D., Stack, K., Blackman, A., and Richardson, D. 2003. Interactions of pitch components at a molecular level. Pulp and paper science and technology: pulping, bleaching and pitch control. Chemical Technology of Wood, Pulp and Paper (WPP), 127-133.

Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources
J. of Conservation and Utilization of Natural Resources, Vol. 2 (1), 2014
http://ejang.gau.ac.ir

Investigation on Detrimental Aspects of Pitch Types and Their Biological Control Alternatives in Pulp and Paper Industries

R. Dashtbani Khezri[*1], H. Resalati[2] and M.H. Aryaei Monfared[3]
[1]M.Sc. Student, Sari University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Sari, Iran, [2]Professor, Dept. of Pulp and Paper Industry, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran, [3]Assistant Prof., Dept. of Pulp and Paper Industry, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran
Received: 05/14/2013 ; Accepted: 07/06/2014

Abstract

Nowadays, annual consumption of paper in the world and also in Iran is growing. To provide the present need, finding new ways for optimum usage of lignocellulosic resources and improved production methods are required. One of the common problems in the papermaking industry is existence of undesirable compounds and by-products such as pitch, stickies and external contamination in papermaking process that each of these materials may arise from various sources. Wood, as a raw material for pulping, because of having hydrophobic materials such as waxes, lipids, fatty acids, resin acids, hydrocarbons, etc, can be the origin of such contaminants. The pitch can cause significant problems in papermaking equipment. For example, it can block drainage felt or attach to wire or drying cylinders and cause holes in the paper. Up to now, various methods have been proposed to control and eliminate these problems. Enzymes due to having various applications such as pitch control, reducing the refining time, helping in pulp dewatering, improving bleaching efficiency and increasing pulp yield, have gained a lot of popularity in pulp and paper industry. Enzymes cause hydrolysis of triglycerides and prevent their formation. Furthermore, enzymatic treatments is the basis of pitch and stickies control which can be used to reduce the size of these materials. In this paper, efforts are done to investigate utilization of enzymes as a new and environment friendly method based on biotechnology to control pitch in papermaking process.

***Keywords*:** Papermaking, Stickies, Enzyme, Extractives, Pitch

*Corresponding author; rezadashtbani.68@gmail.com