



Woodiconf-22

کاهش مصرف انرژی با پوست کنی زیستی در کارخانه های صنایع چوب

روزبه اسدی خوانساری^{۱*}، فرزانه آزادی^۲

^۱استادیار، گروه صنایع چوب، دانشگاه فنی و حرفه ای، تهران، ایران

^۲عضو غیبهیات علمی و پژوهشگر گروه شیمی، دانشگاه فنی و حرفه ای، تهران، ایران

rzasadi@tvu.ac.ir

fazadi@tvu.ac.ir

چکیده

در اغلب کارخانه های صنایع چوب، باید در ابتدا گرده بینه و چوب باید پوست کنی شوند. در پوست کنی گونه های مختلف صنعتی میتوان از روش آنزیمی استفاده کرد. اهمیت تیمارهای آنزیمی در حین پوست کنی در کاهش قابل توجه مصرف انرژی می باشد. پوست جدا شده در سایر محصولات قابل استفاده است. با این روش امکان حذف دستگاه های بزرگ پوست کنی به خصوص دستگاه پوست کن استوانه ای فراهم میشود. پس از پیش تیمار با آنزیم های مخرب پکتین، انرژی مصرف شده در پوست کنی ۸۰٪ کاهش می یابد. همچنین این تیمار آنزیمی عامل صرفه جویی زیادی در مواد اولیه است. آنزیم ها، نه تنها در افزایش ظرفیت پوست کنی موجود، که موجب صرفه جویی سرمایه ثابت می شوند. این روش قابلیت استفاده در یک عملیات کمکی در هنگام پوست کنی را دارد. تیمار آنزیم می تواند به وسیله غوطه ور سازی گرده بینه ها، در محلول تیمار یا از طریق پاشیدن و یا اسپری کردن محلول تیمار، بر روی گرده بینه ها انجام شود. تیمار آنزیمی، بر کاهش مقاومت جدا شدن پوست، موثر است و در نتیجه سست شدن پوست در گرده بینه رخ میدهد. پوست کنی زیستی باعث تسهیل و افزایش سرعت پوست کنی مکانیکی می شود. در واقع در این روش پوست به آسانی جدا شده و انرژی مصرفی پوست کنی، کم می شود و نیز کیفیت ثابت و مطلوب تری در پوست کنی حاصل می شود. همچنین به علت متفاوت بودن مقاومت پوست کنی گرده بینه های مختلف، کیفیت در پوست کنی مکانیکی سنتی بسیار متفاوت است. روش تیمار آنزیمی به کاهش ضایعات چوب در صنایع کمک می کند.

واژه های کلیدی: صنایع تبدیل، تبدیل شیمیایی، تبدیل مکانیکی، آنزیم های مخرب، پکتین

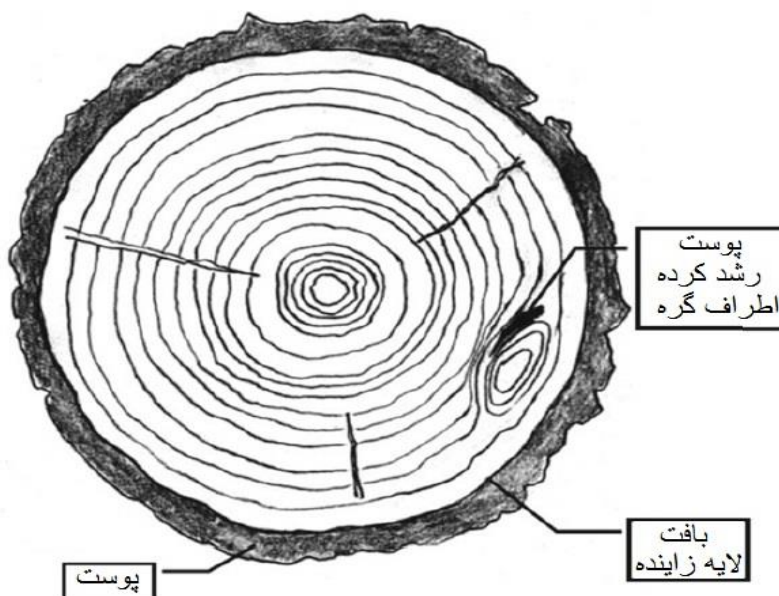
۱- مقدمه

۱-۱ پوست کنی زیستی^۳

^۳ - biodebarking



پوست خارجی ترین لایه تنه ها و شاخه های درختان است (شکل ۱-۱). پوست، درخت از محیط اطراف خود حفظ می کند. پوست کاملاً مشخص و از چوب قابل تفکیک است. پوست به همه بافت های خارجی تا لایه زاینده^۱ اطلاق می شود. پوست شامل پوست داخلی و خارجی است و پوشش روی چوب می باشد. در تنه های مسن، پوست داخلی بافتی زنده و داخلی ترین بخش های "برون پوست"^۲ است. پوست خارجی در تنه های درختان مسن، دارای بافت مرده، به همراه بافت های بیرونی و درونی "برون پوست" می باشد. همچنین پوست خارجی روی درختان، ریتیدوم^۳ خوانده می شود.



شکل ۱. ترسیم مقطع عرضی چوب تنه درخت

مرز بین چوب و پوست کامبیوم است (شکل ۱)، که فقط از یک لایه یاخته تشکیل می شود. این لایه یاخته ای زنده است و یاخته های چوب^۴ را به طرف داخل و یاخته های آبکش^۵ را به سمت خارج، می سازد. یاخته های زاینده به طور پیوسته تقسیم می شوند و مقاومت مکانیکی کمتری نسبت به سایر یاخته های چوب دارند. مواد پکتین^۶، پروتئین زیاد و عدم وجود یا مقدار کم لیگنین از مشخصه های لایه زاینده است (سیمسون و تیمل ۱۹۷۸، تورنر و نورس کوت ۱۹۶۱، کاتو ۱۹۸۱، فو و تیمل ۱۹۷۲). بافت لایه زاینده شامل مواد بین یاخته ای و دیواره اولیه می باشد. مطابق مدل ارایه شده، بسپارهای کربوهیدرات های سلولز، پکتین، زایلوگلوکان، آرابینوگالاکتان و گلیکوپروتئین با شاخه های زیاد هیدروکسی پیرولین، در دیواره اولیه یاخته گیاهان دولپه ای^۷ وجود دارند. مواد پکتین در دیواره اولیه دولپه ای ها، از بسپارهای ناهمگن^۸ هستند. به علاوه دارای واحدهای اسید گالاکتورونیک بوده، که آنها در درون زنجیرهای حاوی رامنوز متصل به واحدهای اسید گالاکتورونیک^۹ می باشد، همچنین گالاکتوز و آرابینوز به عنوان ساختارهای زنجیره جانبی وجود دارند (آسپینال ۱۹۸۰، دی و برینسون ۱۹۸۴). ساختمان دیواره اولیه در

^۱ - vascular cambium

^۲ - periderm پریدرم لایه غیر قابل نفوذ در ساقه و ریشه گیاهان چوبیده مسن است، که به جای اپیدرم بوده و شامل پوست، فلورن و فلودرم است.

^۳ - rhytidome

^۴ - xylem cells

^۵ - phloem cells

^۶ - pectin

^۷ - dicotyledonous plants

^۸ - heteropolymers

^۹ - rhamnose linked to galacturonic acid units



درختان سوزنی برگ، مثل دو لپه‌ای‌ها به دقت مورد بررسی قرار نگرفته است. مقدار ترکیبات پکتین در یاخته‌های زاینده، بین گونه‌های چوبی مطالعه شده متفاوت است.

در گونه‌های پوست کنی شده غان^۱، زبان گنجشک^۲، کاج^۳ و افرا^۴ به ترتیب مقادیر مواد پکتیک در لایه زاینده ۱۸، ۶.۶، ۸.۵ و ۱۵ درصد می‌باشد (تورنبر و نورس کوت ۱۹۶۱). قسمت عمده لایه زاینده کاج جنگلی^۵ حاوی مواد پکتیک است، (تا حدی اسید پلی گالاکترونیک استری شده، آرابینان، گالاکتان) (فو و تیمل ۱۹۷۲). به علاوه مقادیر سلولز، گلوکومانان و گلوکرونو-آرابوزایلان هم، موجود هستند (میپیر و ویلکی ۱۹۵۹). مقدار ۵۹ درصد واحدهای اسید گالاکتورونیک استخراج شده، از لایه زاینده کاج جنگلی متیله شده است. بافت زاینده صنوبر لرزان^۶ دارای ۴۰ درصد مواد پکتین بوده و علاوه بر آن حاوی مقادیر کمی آرابینوگالاکتان، زایلوگلوکان، زایلان، گلوکومانان، سلولز و پروتئین است (سیمسون و تیمل ۱۹۷۸).

درختان در بین پوست و چوب خود، یک لایه زاینده دارند. این لایه زاینده زنده، به طور پیوسته عامل رشد درخت است. یاخته‌ها در این لایه به طور مداوم، تقسیم می‌شوند و به همین علت نسبت به سایر یاخته‌های درخت، مقاومت مکانیکی کمتری دارند. هدف در پوست کنی، حذف پوست به همراه لایه زاینده است. به طور ذاتی لایه زاینده مقدار پکتین زیادی دارد. بسپارهای پکتین شامل اسید گالاکترونیک، رامنوز، آرابینوز و گالاکتوز است. همچنین لایه زاینده حاوی همی سلولز، سلولز و پروتئین می‌باشد.

۲- مواد و روش ها

۲-۱ فرایند تبدیل

روش‌های متعارف تجاری مورد استفاده در پوست کنی، توانایی حذف همه پوست‌های گرده بینه را ندارند. به راحتی پوست روی تنه پوست‌کنی شده قابل تشخیص است و تقریباً ۳ درصد پوست چوب سوزنی برگان و ۱۰ درصد پوست پهن برگان، پس از پوست کنی باقی می‌ماند. پوست ساختار شیمیایی و کالبد شناسی پیچیده‌ای^۷ دارد. پوست در تامین چوب مصرفی خمیر کاغذ سازی، یک آلاینده به حساب می‌آید و افزایش نسبت آن باعث کاهش کیفیت خمیر کاغذ می‌شود. الیاف قابل استفاده بسیار کمی، در پوست وجود دارد و علت آن این است که الیاف پوست بسیار کوچک هستند و نیز در طی مراحل رنگبری و خمیر کاغذ سازی، پوست مواد شیمیایی فرایند را، مصرف می‌کند (اسموک ۱۹۹۲). علاوه بر آن، پوست عامل لکه‌های تیره در محصول کاغذ نهایی است. برخی از انواع پوست‌ها (مثل سدر قرمز غربی^۸ و سپیدار^۹) حاوی مقادیر زیادی الیاف بوده و در سیستم خمیر سازی قلیایی، قابل استفاده هستند. مقادیر زیادی از عناصر غیرفرآیندی (ناخالصی‌ها)^{۱۰} مثل سیلیس و کلسیم در فرایند بازیابی مواد شیمیایی، دخالت دارند. پوست در صنعت خمیر کاغذ به مقدار ۰.۳ تا ۰.۵ درصد خرده چوب قابل تحمل است، اگر چه که فرایند کرافت توانایی تحمل بیشتری نسبت به سایر فرایندهای خمیر کاغذ سازی دارد. پوست حذف شده از چوب، اغلب به عنوان سوخت، سوزانده می‌شود. روش ریز کردن کل درخت^{۱۱} در جنگل (عملی که به چند دلیل در آینده مهم خواهد شد و بازدهی بیشتری در تولید خرده چوب دارد)، به پاکسازی خرده چوب‌ها جهت حذف پوست، گرد و غبار، سرشاخه‌ها یا برگ‌ها، شاخه‌های کوچک و غیره، قبل از خمیر سازی نیاز دارد.

¹ - *Betula platyphylla* (birch)

² - *Fraxinus elatior* (ash)

³ - *Pinus ponderosa* (pine)

⁴ - *Acer pseudoplatanus* (sycamore)

⁵ - *Pinus silvestris* (pine)

⁶ - *Populus tremuloides* (quaking aspen)

⁷ - complex anatomy

⁸ - western red cedar

^۹ - گاهی aspen به نام عمومی صنوبر ترجمه می‌شود.

¹⁰ - nonprocess elements (impurities)

¹¹ - whole-tree chopping



یکی از اشکالات عمده روش ها و تجهیزات پوست کنی مکانیکی رایج، این است که به علت دستیابی به حد پوست کن مطلوب، باید فرآیند پوست کنی بیش از مدت خود ادامه یابد، تا به طور کامل پوست جدا شود و به دلیل ثابت نگه داشتن گرده بینه، تکه هایی از چوب نیز در پوست کنی حذف می شوند. ضایعات چوب، به خصوص در قسمتهایی از تنه که به طور کامل پوست کنی می شود، مهم است که در نهایت باعث افزایش زمان پوست کنی و مصرف انرژی بیشتر می شود. آنزیم های خاصی برای آبکافت لایه های زاینده و آبکش یافته شده اند، که قابلیت حذف پوست را دارند (باجپای ۱۹۹۷، ۲۰۰۶، ۲۰۰۹، ویکاری و همکاران ۱۹۸۹، ۱۹۹۱، وانگ و سدلر ۱۹۹۲، راتو و همکاران ۱۹۹۳، گرت ۱۹۹۲، ۱۹۹۳، ۱۹۹۴، هاکالا و پورسولا ۲۰۰۷، ما و جیانگ ۲۰۰۲). در واقع آنزیم ها، پیوندهای بین پوست و چوب را سست کرده و بسپارهای موجود در یاخته های لایه زاینده را، تخریب می کنند. گرده بینه ها قبل از پوست کنی به وسیله روش های مشخص، می توانند تحت تیمار آنزیمی قرار بگیرند. اگر تیمار آنزیمی بر پوست کنی تأثیر مناسبی داشته باشد، یعنی در ابتدا قسمتی از پوست جدا شود، می توان گرده بینه ها را پس از تیمار آنزیمی تحت یک تیمار آنزیمی طراحی شده برای تضعیف اتصالات بین چوب و قسمت های باقی مانده پوست، قرار داد. این عمل اجازه می دهد که بخش های بجا مانده پوست در طی دومین مرحله پوست کنی که ممکن است تیمار مکانیکی یا آنزیمی باشد، حذف شوند. همچنین ممکن است که تیمار آنزیمی در ترکیب با سایر روش های پوست کنی اجرا شود. تیمار آنزیمی به صورت غوطه وری گرده بینه در محلول تیمار یا به وسیله پاشیدن و یا اسپری کردن محلول تیمار بر روی گرده بینه ها قابل انجام است. تیمار آنزیمی بر کاهش مقاومت جداسازی پوست تأثیر دارد، به طوری که موجب سست کردن پوست می شود. این وضعیت، به طور قابل توجهی سرعت پوست کنی مکانیکی را، افزایش می دهد. در واقع پوست آسان تر جدا شده و مقدار انرژی مورد نیاز برای پوست کنی کاهش می یابد و نیز یکنواختی و کیفیت بهتری در پوست کنی به دست می آید. علاوه بر این، چون نتایج پوست کنی مکانیکی، به علت تفاوت مقاومت به پوست کنی بین تنه ها و گرده بینه ها متفاوت است، تیمار آنزیمی به کاهش ضایعات چوب در پوست کنی مکانیکی، کمک می کند. روش آنزیمی، قابلیت زیادی در صرفه جویی انرژی و مواد اولیه دارد (ویکاری و همکاران ۱۹۸۹، راتو و همکاران ۱۹۹۳).

۲-۲ آنزیم های مورد استفاده برای پوست کنی

آنزیم های شکست پکتین، همی سلولازها، سلولازها و یا پروتئازها و سایر آنزیم ها، توانایی تضعیف اتصالات بین چوب و پوست و یا تخریب بسپارهای موجود در لایه زاینده، را دارند. چند نوع از این آنزیم های تهیه شده در دسترس هستند.

۲-۳ کاربرد آنزیم های پوست کنی

محققان فنلاندی (راتو و همکاران ۱۹۹۳، ویکاری و همکاران ۱۹۸۹، ۱۹۹۱a و b) از قارچ *Aspergillus niger*، در به کارگیری آنزیم های پوست کنی برای آبکافت لایه زاینده و بافت آبکش، استفاده کردند. ارتباط آشکاری بین فعالیت پلی گالاکتورناز در تهیه آنزیم و کاهش مصرف انرژی در پوست کنی مشاهده شد. به علاوه، در مخلوط آنزیم تولید شده به وسیله *A.niger* پلی گالاکتورناز وجود دارد و همچنین حاوی سایر مواد پکتولیتیک و همی سلولیتیک^۱ می باشد. مقدار مصرف انرژی مورد نیاز برای حذف پوست، به ۲۰٪ مصرف انرژی نسبت به شاهد تعیین شد (جدول ۱). در این آزمایش، دیسک های چوب در محلول آنزیم غوطه ور شدند و آنزیم در مرز بین پوست و چوب نفوذ کرد.

^۱ - pectolytic and hemicellulolytic به منظور آنزیم های تجزیه کننده پکتیک و همی سلولز است.



جدول ۱. اثر پیش تیمار با آنزیم پلی گالاکتوروناز بر مصرف انرژی طی پوست کنی نوئل (راتو و همکاران ۱۹۹۳)

فعالیت پلی گالاکتوروناز (nkat/mL)	مصرف انرژی نسبی (%)
0	100
37	75
185	45
195	20

راتو و همکاران (۱۹۹۳) اثر پیش تیمار آنزیمی را در مقیاس آزمایشگاهی با استفاده از آنزیمهای مخرب لایه زاینده بر روی مصرف انرژی پوست کنی مطالعه کردند. سه آنزیم پکتیناز و زایلاناز مختلف استفاده شد یک آنزیم تجاری آماده Pectinex Ultra (NOVO) SPL و دو آنزیم تولید شده در آزمایشگاه زیست فناوری VTT شامل پلی گالاکتوروناز تهیه شده از *A.niger* و آنزیم دیگر پلی گالاکتوروناز نیمه خالص شده حاصل از *A.niger* بودند (بایلی و اوجاما ۱۹۹۰، بایلی و پسا ۱۹۹۰). زایلاناز یک محصول آماده تجاری پنتوزاناز (MKC) بود. پکتینازها مطابق فعالیت پلی گالاکتوروناز به مقدار ۱۸۵ nkat/mL و همی سلولاز بر اساس فعالیت زایلاناز به مقدار ۱۰۰ nkat/mL مصرف شدند. در همه آنزیمها قابلیت کاهش مصرف انرژی وجود داشت (جدول ۲). بهترین نتیجه در ۵۰٪ کاهش مصرف انرژی با آنزیم Pectinex Ultra SPL به دست آمد و در آبکافت اجزاء مختلف لایه زاینده این آنزیم در بین سه پکتیناز وسیع ترین طیف فعالیت آنزیمها را نشان داد. علاوه بر آن، فعالیتهای پلی گالاکتوروناز، پکتین لیاز، زایلاناز و اندوگلوکاناز کشف شد. پلی گالاکتوروناز نیمه خالص شده با کمترین فعالیت، زایلاناز و اندوگلوکاناز کمترین کارایی را در سه آنزیم پکتیناز داشتند. در مقدار مصرف انرژی با تیمار آماده سازی زایلاناز حدود ۱۸٪ کاهش به دست آمد.

جدول ۲. اثر تیمار آنزیم بر مصرف انرژی طی پوست کنی نوئل (راتو و همکاران ۱۹۹۳)

آنزیم	مقدار آنزیم (nkat/mL)				درصد مصرف انرژی نسبت به نمونه شاهد
	پلی گالاکتوروناز	پلی متوکسیل گالاکتورونیدلیاز	زایلاناز	اندوگلوکاناز	
پلی گالاکتوروناز خام	185	<0.1	1.1	1.6	77
پلی گالاکتوروناز نیمه خالص شده	185	<0.1	0.2	<0.1	87
Pectinex ultra SPL	185	0.6	2.0	5.5	50
پنتوزاناز	0.2	<0.1	100	1.6	82

اثر مقدار مصرف و زمان تیمار آنزیم، با آنزیم Pectinase Ultra SPL مطالعه شد (راتو و همکاران ۱۹۹۳). در یک تیمار ۲۴ ساعته، با مقدار مصرف ۹۰۰ nkat/mL پلی گالاکتوروناز، بیش از ۸۰٪ کاهش مصرف انرژی به دست آمد. در هنگامی که فقط ۴٪ فعالیت (۴۰ nkat/mL) استفاده شد، اثر متوسط ۲۵٪ کاهش مصرف انرژی، حاصل شد. برای کاهش ۵۰ درصدی مصرف انرژی، به مقدار تجویز شده ۱۸۵ nkat/mL پلی گالاکتوروناز، نیاز است. با این مقدار مصرف، ۴۰٪ کاهش مصرف انرژی در ۱۲ ساعت حاصل شده، در حالی که تاثیر ناچیزی پس از ۲ ساعت تیمار، مشاهده شد (جدول ۳).

¹ - nkat/mL یعنی نانوکاتال بر میلی لیتر و یک نانوکاتال معادل مقدار آنزیم مورد نیاز برای بالا بردن سرعت واکنش است، که به وسیله یک نانومول بر ثانیه تعریف می شود.



جدول ۳. اثر مدت تیمار آنزیمی بر مصرف انرژی طی پوست کنی نوئل (راتو و همکاران ۱۹۹۳)

مدت تیمار (ساعت)	درصد مصرف انرژی نسبی
0	100
2	98.0
12	62.0
24	50.0

همچنین راتو و همکاران (۱۹۹۳) جهت ارزیابی توانایی بازیابی آنزیم، در آب فرآیند با ترکیبات مختلف حل شده از چوب و پوست، پایداری آنزیم را مطالعه کردند. آنزیم Ultra SPL در آب فرآیند قرارداد شده و از یک پوست کن صنعتی برای پوست کنی نوئل استفاده کردند و فعالیت باقی مانده آنزیم اندازه گیری شد. فعالیت باقی مانده پلی گالاکتوروناز پس از ۱۵ روز و دمای ۵۰ درجه سانتی گراد، بیش از ۷۰٪ بود، که به طور نسبی فعالیت آن حفظ شد (جدول ۴). بنابراین این روش، با استفاده مکرر همان محلول آنزیم، امکان کاهش هزینه های پیش تیمار آنزیمی را پدیدار می کند.

جدول ۴. پایداری آنزیم در آب فرآیند پوست کنی (راتو و همکاران ۱۹۹۳)

مدت خواباندن (روز)	درصد فعالیت باقی مانده
0	100
3	100
8	84.0
10	78.1
15	76.2

همچنین کارایی آنزیم ها در آبکافت بافت زاینده جدا شده، بررسی شده است. ابتدا بافت زاینده درخت نوئل افتاده در فصل بهار جدا شد. پلی ساکاریدهای لایه زاینده جدا شده در طی جداسازی کمی تخریب می شوند و مقدار زیاد کاهش قندها (۵۱٪ وزن خشک) نسبت به نمونه شاهد، شاخصی برای این تخریب است. شاید علت این امر، تاثیر آنزیم های درونزا^۱ باشد. با این حال، اسید گالاکتورونیک در نمونه های مرجع یافت نشد. هنگامی که بستر با مقادیر سه آنزیم پکتیناز مشابه اسید گالاکتورونیک آبکافت شدند، آنزیم Pectinex Ultra SPL در تبدیل پکتین لایه زاینده به اسید گالاکتورونیک، موثرترین آبکافت را نشان داد (جدول ۵). مقادیر اسید گالاکتورونیک آزاد شده از طریق پلی گالاکتوروناز خام و پلی گالاکتوروناز نیمه خالص شده، کمتر از نصف ماده رها شده به وسیله آنزیم Pectinex Ultra SPL بود. به علاوه پلی گالاکتوروناز و Pectinex Ultra SPL دارای بیشترین فعالیت تخریب پکتین بودند.

جدول ۵. اثرات پکتینازهای مختلف بر روی آبکافت لایه زاینده جدا شده (راتو و همکاران ۱۹۹۳)

آنزیم	درصد محصولات آبکافت بستر	
	کاهش قند	اسید گالاکتورونیک
Pectinex ultra SPL	42	12.3
پلی گالاکتوروناز خام	38	3.9
پلی گالاکتوروناز نیمه خالص شده	38	5.4
پنتوزاناز	35	0.8
شاهد		0.4

¹ - endogenous enzymes



به علت پیچیدگی مواد شیمیایی در لایه زاینده و گوناگونی این ترکیبات در بین گونه های درختی، در جهت شناسایی آنزیم های مناسب، تحقیقاتی انجام شد. شرکت های Metra-Serla و Kone Wood به طور مشترک، آزمایشاتی را در مقیاس نیمه صنعتی هدایت کردند (گرت ۱۹۹۴، ۱۹۹۳، ۱۹۹۲).

۳- نتایج و بحث

۳-۱ مزایای پوست کنی زیستی

روش آنزیمی یک نگرش جذاب، برای پوست کنی است. اهمیت تیمارهای آنزیمی به دلیل کاهش قابل توجه مصرف انرژی، در حین پوست کنی می باشد. پس از پیش تیمار با آنزیم های مخرب پکتین، انرژی مصرف شده در پوست کنی ۸۰٪ کاهش می یابد. همچنین تیمار آنزیمی عامل صرفه جویی های مهمی، در مواد اولیه است. آنزیم ها، نه تنها در افزایش ظرفیت پوست کنی موجود، که موجب صرفه جویی سرمایه ثابت می شوند، بلکه ممکن است، قابلیت استفاده در یک عملیات کمکی در هنگام پوست کنی را داشته باشند. تیمار آنزیم می تواند به وسیله غوطه ور سازی گرده بینه ها، در محلول تیمار یا از طریق پاشیدن و یا اسپری کردن محلول تیمار، بر روی گرده بینه ها انجام شود.

تیمار آنزیمی، بر کاهش مقاومت جدا شدن پوست، موثر است و در نتیجه گرده بینه به سست کردن پوست خود، تمایل دارد. پوست کنی زیستی باعث تسهیل و افزایش سرعت پوست کنی مکانیکی می شود. در واقع پوست به آسانی جدا شده و انرژی مصرفی پوست کنی، کم می شود و کیفیت ثابت و مطلوب تری در پوست کنی حاصل می شود. علاوه بر این، به علت متفاوت بودن مقاومت پوست کنی گرده بینه های مختلف، نتایج در پوست کنی مکانیکی سنتی متفاوت است و تیمار آنزیمی به کاهش ضایعات چوب کمک می کند.

۴- نتیجه گیری

حالات گوناگون پوست در گرده بینه ها، مانع بزرگی در مقابل آنزیم است و گاهی مانع پراکندگی آنزیم می شود. در عمل، این مانع می تواند بر به کارگیری تیمار آنزیمی چیره شده و پس از پوست کنی مکانیکی، گرده بینه هایی با پوست کنی ناکافی، حاصل شوند.

در مورد چوب کم پوست کنی شده، باید بخش اعظم پوست حذف شود، تا پراکنش آنزیم تسهیل گردد. ممکن است که در یک کارخانه، قبل از تکرار پوست کنی مکانیکی، اسپری کردن محلول آنزیم بر روی گرده بینه های کم پوست کنی شده، مقرون به صرفه باشد.

۵- پیشنهادات

یک اشکال قابل توجه روش های پوست کنی مکانیکی معمول این است که باید، فرآیند پوست کنی بیش از زمان خود ادامه یابد و گرده بینه ها محکم نگه داشته شوند، تا چند تکه پوست باقی مانده نیز، حذف گردند. تیمار آنزیمی پس از پوست کنی مقدماتی، می تواند ضایعات چوب به وجود آمده در اثر پوست کنی مکانیکی را کم کند. بنابراین تیمار آنزیمی صرفه جویی مهمی در مواد اولیه و انرژی ایجاد می کند. در مطالعاتی که تاکنون جهت فرآوری آنزیم ها به انجام رسیده است، از پلی گالاکتوروناز یا زایلاناز به عنوان ترکیب اصلی، استفاده شده است. علاوه بر این مطالب، سایر آنزیم هایی که بر اجزاء مختلف لایه زاینده تاثیر دارند، ممکن است که در این زمینه نیز اثر مطلوبی بگذارند. تحقیقاتی دیگری، درباره نقش هر آنزیم و ترکیب بهینه مخلوط آنزیم ها در پوست کنی زیستی، مورد نیاز است.

تشکر و قدردانی

نویسندگان این مقاله کمال تشکر و قدردانی را از حمایت های دانشگاه فنی و حرفه ای استان گیلان دارند.



- Preiss, J. (1980). *The Biochemistry of Plants. A Comprehensive Treatise. Volume 3. Carbohydrates*. Academic Press.
- Bailey, M. J., & Ojamo, H. (1990). Selective concentration of polygalacturonase and bD-glucosidase of *Aspergillus niger* culture filtrate using mineral adsorbents. *Bioseparation*, 1(2), 133-139.
- Bailey, M. J., & Pessa, E. (1990). Strain and process for production of polygalacturonase. *Enzyme and microbial technology*, 12(4), 266-271.
- Bajpai, P. (1997). Microbial xylanolytic enzyme system: properties and applications. *Advances in applied microbiology*, 43, 141-194.
- Bajpai, P. (2006). Potential of biotechnology for energy conservation in pulp and paper. *Energy management for pulp and papermakers, Budapest, Hungary*, 16-18.
- Schaechter, M. (2009). *Encyclopedia of microbiology*. Academic Press.
- Bajpai, P. (2018). Biodebarking. In *Biotechnology for Pulp and Paper Processing* (pp. 57-66). Springer, Singapore.
- Grant, R. (1992). Enzymes reveal plenty more potential. *Pulp and Paper International*, 34(12), 75-76.
- Grant R (1993) R&D optimizes enzyme applications. *Pulp Paper Int* 35(9):56-57
- Grant, R. (1994). Enzymes future looks bright, as range improve and expands. *Pulp Pap Int*, 36(8), 20-21.
- Hakala, T., & Pursula, T. (2007). Biotechnology applications in the pulp and paper industry. *Biotechnology as a competitive edge for the Finnish forest cluster*, 57-63.
- Kato K (1981) In: Tanner W, Loevis EA (eds) *Plant carbohydrates*, vol 11. Springer, Berlin, pp 29-46
- Ma, J. H., & Jiang, C. (2002). Enzyme applications in the pulp and paper industry. *Progress in paper recycling*, 11(3), 36-47.
- Meier, H., & Wilkie, K. C. B. (1959). The Distribution of Polysaccharides in the Gell-Wall of Tracheids of Pine (*Pinus silvestris* L.).
- Rättö, M., Kantelinen, A., Bailey, M., & Viikari, L. (1993). Potential of enzymes for wood debarking. *Tappi Journal;(United States)*, 76(2).
- Simson BW, Timell TE (1978) Polysaccharides in cambial tissues of *Populus tremuloides* and *Tilia americana*. II. Isolation and structure of a xyloglucan. *Cell Chem Technol* 12:39
- Smook, G. A. (1992). *Handbook for Pulp and Paper Technologists*. Angus Wilde Publications.
- Thornber JP, Northcote DH (1961) Changes in the chemical composition of a cambial cell during its differentiation into xylem and phloem tissue in trees. *Biochem J* 1(81):449-455
- Viikari, L., Rato, M., & Kantelinen, A. (1989). Finish Patent Appl. 896291.
- Viikari, L., Kantelinen, A., Rättö, M., & Sundquist, J. (1991). Enzymes in pulp and paper processing.



Viikari L, Kantelinen A, Rättö M, Sundquist J (1991) Enzymes in pulp and paper processing. In: Leatham GF, Himmel ME (eds) *Enzymes in Biomass Conversion*, ACS Symp Ser 460. American Chemical Society, Washington, pp 426–436

Wong, K. K., & Saddler, J. N. (1992). *Trichoderma xylanases, their properties and application. Critical Reviews in Biotechnology*, 12(5-6), 413-435.