مجله پژوهش‌های علوم و فناوری چوب و جنگل
جلد نوزدهم، شماره چهارم، ۱۳۹۱
http://jwfst.gau.ac.ir

استفاده از اکسترودر دومارپیچی برای تولید خمیرکاغذ از ساقه برنج

احمدرضا سرائیان[۱]، *پژمان رضایتی‌چرانی[۲]، علیرضا طالبی‌زاده[۳] و کامل یعقوبی[۴]

[۱]دانشیار دانشکده مهندسی چوب و کاغذ، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، [۲]دانشجوی دکتری دانشکده مهندسی چوب و کاغذ، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، [۳]استادیار دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه ولی‌عصر (عج) رفسنجان، [۴]کارشناس‌ارشد مرکز تحقیقات، صنایع چوب و کاغذ ایران (چوکا)، رضوان‌شهر

تاریخ دریافت: ۸۹/۸/٤؛ تاریخ پذیرش: ۹۱/۱۰/۱۹

چکیده

در دهه اخیر اکسترودر دومارپیچی یکی از فن‌آوری‌های خمیرکاغذسازی در حال گسترش برای منابع غیرچوبی با مزیت‌های زیاد است که بررسی قابلیت تولید خمیرکاغذ به‌وسیله آن با توجه به پیشرفت علوم ضروری به‌نظر می‌رسد. خمیرکاغذسازی با اکستروژن یک روش خمیرکاغذسازی شیمیایی-مکانیکی است که الیاف تحت تنش‌های کششی و فشاری به خمیرکاغذ تبدیل می‌شود. در این پژوهش ضمن معرفی این فن‌آوری، قابلیت خمیرکاغذسازی ساقه برنج پیش‌تیمار شده با هیدروکسید سدیم (۰/٤، ۰/۸ و ۱/۲ درصد) به‌مدت ٤ ساعت با اکسترودر دومارپیچی هم‌سو با سرعت‌های متفاوت (۵۵، ۷۰ و ۸۵ دور در دقیقه) و دماهای متفاوت اکستروژن (٤۰، ٦۰ و ۸۰ درجه سانتی‌گراد) بررسی شد. نتایج ویژگی‌های خمیرکاغذ با استفاده از نرم‌افزار مینی‌تب ۱۵ مورد ارزیابی قرار گرفت و مشخص شد که مقدار زیادی از خاکستر می‌تواند در خمیرکاغذ باقی بماند. همچنین، خمیرکاغذهای تولیدی به‌دلیل درجه روانی زیاد، در صورت عبور دوباره از اکسترودر و یا پالایش محدود می‌تواند در تولید فلوتینگ و لاینر به‌کار گرفته شود. به‌علاوه، روند نتایج نشان می‌دهد با به‌کارگیری شرایط پیش‌تیمار شدیدتر در دماهای بالاتر اکسترودر (۸۰ درجه سانتی‌گراد) به همراه سرعت چرخش به‌نسبت پایین اکسترودر می‌تواند برای خمیرکاغذهایی با عدد کاپای کم‌تر به‌کار گرفته شود.

واژه‌های کلیدی: اکسترودر دومارپیچی، ساقه برنج، خمیر کاغذسازی، طراحی مرکب مرکزی، هیدروکسید سدیم

* مسئول مکاتبه: p.rezayati@gmail.com

Archive of SID
www.SID.ir

مقدمه

اگرچه صنعت تولید خمیر و کاغذ به‌دلیل استفاده از منابع تجدیدپذیر دارای قابلیت تطابق‌پذیری پایداری با محیط زیست است و قابلیت تولید انرژی تجدیدپذیر از منابع چوبی باقی‌مانده از درختان را دارد. با این وجود، تولید خمیرکاغذ با روش‌های رایج همراه با اثرات قابل‌توجه‌ای بر محیط زیست می‌باشد. برآورد شده است که این صنعت پنجمین صنعت بزرگ مصرف‌کننده انرژی به‌شمار می‌آید، به‌طوری‌که ۱۰ درصد از کل انرژی مصرفی صنایع جهان را به خود اختصاص داده است. این در حالی است که، مصرف جهانی کاغذ از ۳۱۸ میلیون تن در سال ۲۰۰۱ به حدود ٤۲۵ میلیون تن در سال ۲۰۱۰ رسیده است (هریس و همکاران، ۲۰۰۸). بنابراین همواره پژوهش‌ها، برای یافتن روش‌های تولید خمیرکاغذ دوست‌دار محیط زیست از منابع لیگنوسلولزی چوبی و غیرچوبی برای توسعه پایدار در حال انجام است. در پژوهش‌های اخیر، دو گرایش روش‌های خمیرکاغذسازی با حلال آلی و خمیرکاغذسازی با اکسترودر بیش‌تر مورد توجه قرار گرفته است (وستن‌بروک، ۲۰۰۰؛ نوایی‌ارده و همکاران، ۲۰۰٤؛ رضایتی‌چرانی و محمدی‌روشنده، ۲۰۰۵؛ رضایتی‌چرانی و همکاران، ۲۰۰٦؛ ضیایی‌شیرکلایی و همکاران، ۲۰۰۸).

اکسترودر به‌عنوان یک فن‌آوری جدید به حساب نمی‌آید. اما، طی دهه اخیر به‌شدت مورد توجه محققان و مبتکران قرار گرفته است (ورجنز و برزین، ۲۰۰٦). این فن‌آوری به‌طور عمده در صنایع شیمیایی، دارویی و کمپوزیت کاربرد دارد و در صنایع خمیرکاغذ نیز به‌طور محدود به‌کار گرفته می‌شود. به‌طورکلی فن‌آوری یاد شده، قابلیت انعطاف‌پذیری خوبی برای کاربردهای مختلف و نیز قابلیت مخلوط کردن یک‌دست و سریع با راندمان تولید بالا را دارا می‌باشد. با پیشرفت دانش، پژوهش‌های دهه اخیر سعی بر آن دارند تا استفاده بهتری از این فن‌آوری با توجه به پتانسیل‌های مفید آن در صنایع خمیرکاغذ گردد.

در مقایسه روش‌های خمیرکاغذسازی شیمیایی و مکانیکی رایج از منابع لیگنوسلولزی غیرچوبی، ون‌روکل و همکاران (۱۹۹۵) نتیجه گرفت که برای تهیه خمیرکاغذ شیمیایی- مکانیکی، خمیرکاغذسازی با اکسترودر از نظر فن‌آوری و اقتصادی مناسب‌تر می‌باشد (ورجنز و برزین، ۲۰۰٦). هارایز (۲۰۰۸) نیز خط تولید منسجمی را با استفاده از فن‌آوری اکسترودر برای تهیه خمیر و کاغذ از منابع لیگنوسلولزی غیرچوبی معرفی نموده است که قادر است با مقیاس تولید ۲۰-۱۰ برابر کوچک‌تر از صنایع رایج، هزینه تولید را نیز به‌ازای هر تن کاغذ تولیدی کاهش دهد (هریس و همکاران، ۲۰۰۸).

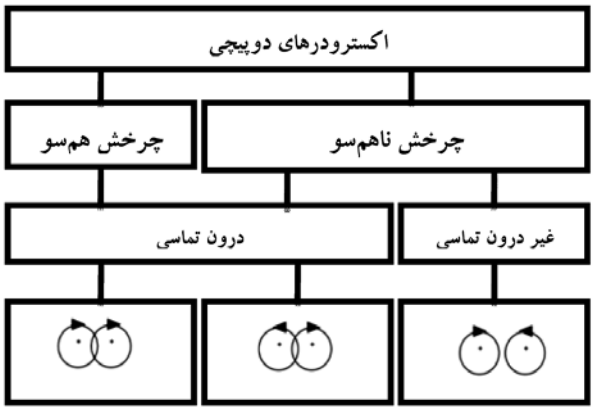
Archive of SID

www.SID.ir

اکسترودر دوپیچی[1] دارای سه جزء اصلی شامل بخش نیرو محرکه، بخش فرآیندی و بخش تخلیه، مشابه اکسترودر تک‌پیچی می‌باشد. در اکسترودر دوپیچی، همان‌طورکه از نـامش پیداسـت، دو محـور مارپیچ در داخل پوسته یک قرار دارد، در حالی‌که در اکسترودر نوع ساده تک‌پیچی، یک محـور پیچـی یا حلزونی وجود دارد. عوامل مؤثر بر عملکرد اکسترودرهای دوپیچی عبارتند از چرخش نسبی پیچ‌هـا نسبت به یکدیگر، طراحی پره پیچ‌ها و چگونگی تماس آن‌ها با یکدیگر و شکل محورهای پیچ‌ها، کـه سبب تقسیم‌بندی اکسترودرها به‌صورت زیر می‌شوند (اندرسن، ۲۰۱۰):

- چرخش هم‌سو و ناهم‌سو (مخالف)[2]
- طرح‌های پره درون‌تماسی و غیردرون‌تماسی[3]
- طرح‌های محور[4] موازی و مخروطی

شکل ۱ طرح‌های مختلف اکسترودر دومارپیچی را براساس دو ویژگی نخست نشان می‌دهد. در الگوی چرخش جریان هم‌سو، هر دو پیچ در جهت مشابه ساعت‌گرد یا عکس می‌چرخد. در الگوی چرخش ناهم‌سو، یک پیچ در جهت ساعت می‌گردد و دیگری در جهت عکس می‌چرخد. البته به‌طور معمول، از نقطه‌نظر طراحی، فرقی نمی‌کند که کدام یک ساعت‌گرد باشد.



شکل ۱- انواع حالات اکسترودر (اندرسن، ۲۰۱۰).

1- Twin-Screw Extruder
2- Co-Rotating and Counter-Rotating
3- Intermeshing and Non-Intermeshing
4- Shaft

Archive of SID

www.SID.ir

اصطلاحات پره درون‌تماسی و پره غیردرون‌تماسی به نزدیکی نسبی پیچ‌ها مربوط می‌شود. در حالت پره غیردرون‌تماسی، دو پیچ به‌صورت پهلو به پهلو قرار می‌گیرند و تداخلی ندارند، به‌عبارت دیگر دو پیچ به‌طور مجزا داخل یک پوسته مشترک قرار داده شده‌اند. در حالت درون‌تماسی پیچ‌ها خیلی نزدیک به هم قرار می‌گیرند و تنها به اندازه ناچیزی بین آن‌ها فاصله می‌باشد تا امکان چرخش پیچ‌ها بدون تماس با همدیگر فراهم باشد و تاج- بالای- هر پیچ در گودی یا بدنه دیگری می‌چرخد. در اکسترودرهای هم‌سو، در حقیقت پیچ‌ها در ناحیه بین‌پره‌ای در جهت مخالف هم از بغل هم عبور می‌کنند، در حالی‌که در حالت‌های چرخش ناهم‌سو، پیچ‌ها حرکتی در جهت موافق در ناحیه بین‌پره‌ای دارند. در اکسترودرهای نوع درون‌پره‌ای هم‌سو، حرکت ناهم‌سو در ناحیه بین‌پره‌ای اجازه عمل نظافت خود به خود را هنگام چرخش پیچ‌ها ممکن می‌سازد. در واقع، برآمدگی هر پیچ، بدنه پیچ مجاور را از مواد پاک می‌سازد و امکان ماندن مواد را در هر نقطه از پیچ به حداقل می‌رساند. ویژگی یاد شده برای اکسترودرهای نوع درون‌پره‌ای ناهم‌سو وجود ندارد. اثر دیگر متغیرهای طراحی درون/ غیردرون‌پره‌ای و جریان هم‌سو/ ناهم‌سو در مکانیسم حرکت دقیق مواد به‌سمت جلو یا انتقال آن به بخش‌های مختلف اکسترودر می‌باشد. شکل ۲ خصوصیات انتقالی را برای اکسترودر تک‌مارپیچی، و دومارپیچی همسان‌گرد و ناهم‌سانگرد در حالت تماس درون‌پره‌ای را نشان می‌دهد (اندرسن، ۲۰۱۰).

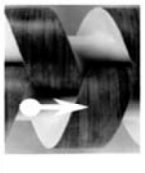
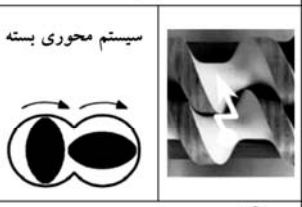
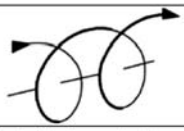
طرح اکسترودر تک‌مارپیچی بر پایه جریان کششی می‌باشد. جریان کششی، عمل کشش پیچ در حال چرخش است که مواد متمایل به چسبیدن به بدنه پوسته را در طول اکسترودر می‌کشد. اگر مواد تمایل چسبیدن بیش‌تری به پیچ نسبت به بدنه پوسته داشته باشند، ممکن است درست در همان نقطه چسبیده باقی بمانند. در این حالت، مواد به طرف خروجی اکسترودر حرکت نمی‌کنند. شکل ۳ این ویژگی را با پیچ و مهره نشان می‌دهد:

اگر هر دو پیچ و مهره به‌طور آزاد بچرخند، مهره در همان مکان باقی می‌ماند. ولی اگر مهره روی سطح ثابت شود، یعنی به‌طور آزاد با چرخش پیچ نچرخد، در این صورت ضمن حرکت پیچ به طرف انتهای کانال اکسترودر، مهره به‌عنوان مواد حرکت خواهد نمود. در نگاهی دوباره به شکل ۲، ملاحظه می‌شود که حالت حرکت ناهم‌سو با حالت تماس درون‌پره‌ای بر پایه جریان کششی تکیه ندارد. پیچ‌ها قسمت‌های C شکل انفرادی را تشکیل می‌دهند که با چرخش پیچ این قسمت‌های C شکل به‌سمت انتها حول داده می‌شوند. این عمل جریان جابه‌جایی مثبت نامیده می‌شود. اکسترودر هم‌سو در حالت تماس درون‌پره‌ای بر پایه هر دو اصول جابه‌جایی مثبت و جریان کششی استوار است. عمل جابه‌جایی مثبت در بخش کوچکی در ناحیه درون‌پره‌ای– محل رسیدن دو پیچ به هم‌دیگر- ظاهر می‌شود و در

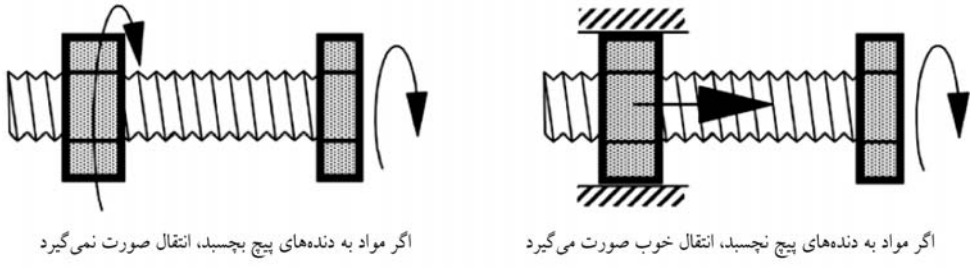
Archive of SID

www.SID.ir

بقیه مناطق باقی‌مانده پیرامون جداره داخلی پوسته عمل جریان کششی ظاهر می‌شود. عبارت موازی و مخروطی در مورد اکسترودرها نیز به قطر پیچ درون پوسته در آغاز و انتهای اکسترودر مربوط می‌شود. در سیستم موازی، قطر پیچ در طول ماشین ثابت باقی می‌ماند. در اکسترودر مخروطی، قطر پیچ در ناحیه تغذیه بزرگ‌تر از ناحیه تخلیه است (ونروکل و همکاران، ۱۹۹۵).

اکسترودر تک‌پیچ	اکسترودر دو مارپیچی	
	ناهم‌سو	هم‌سو
سیستم محوری باز	سیستم محوری باز	سیستم محوری بسته
		
		
انتقال محصول وابسته به اختلاف اصطکاک پلیمر به پیچ و پلیمر به بدنه پوسته. - اصطکاک پایین به پیچ (آب‌کاری کروم) - اصطکاک بالا به بدنه پوسته (سطح داخلی شیاردار) انتقال مواد مذاب به‌وسیله جریان کششی (Drag flow)	اتاقک بسته در ناحیه بین‌پره‌ای پیچ‌ها. "انتقال پیچ منفرد" در دیگر بخش‌های پیچ. انتقال خوب تشکیل فشار خوب کاهش آمیزش طولی	ناحیه بین‌پره‌ای باز پیچ‌ها. " انتقال پیچ منفرد" در دیگر بخش‌های پیچ. کاهش انتقال کاهش تشکیل فشار آمیزش طولی خوب

شکل ۲- خصوصیات انتقالی در اکسترودر (اندرسن، ۲۰۱۰).



شکل ۳- مکانیسم انتقال در اکسترودر تک‌پیچی (اندرسن، ۲۰۱۰).

www.SID.ir

کاربرد اکسترودر در صنایع خمیر و کاغذ: معمولاً، در صنایع رایج خمیر و کاغذ از اکسترودر ساده تک‌پیچی تحت عنوان اسکرو[1] به‌طور عمده برای حمل خرده‌چوب برای خمیرکاغذسازی، انتقال خمیرکاغذ با درصد خشکی بالا بین تجهیزات خمیرکاغذسازی و حمل مواد جامد مثل سنگ آهک برای تولید مایع خمیرکاغذسازی و انتقال لجن رسوبی در کف مخازن زلال‌سازی با طول مسیر محدود، استفاده می‌شود. اکسترودر دومارپیچی نیز به‌طور عمده در بخش شستشوی خمیرکاغذ برای خارج‌سازی باقی‌مانده مایع خمیرکاغذسازی در خمیرکاغذ تولیدی به‌کار می‌رود.

از سویی صنایع خمیرکاغذ از صنایع پرمصرف انرژی محسوب می‌شوند و از سویی دیگر برای تولید خمیرکاغذ از منابع لیگنوسلولزی غیرچوبی، ضرورت به‌کارگیری صنایع خمیرکاغذ با مقیاس محدود می‌باشد. با توجه به این محدودیت‌ها، در دهه اخیر، فن‌آوری اکستروژن در تهیه خمیرکاغذ در حال گسترش می‌باشد. فن‌آوری اکستروژن نیز پیچیدگی‌های خود را دارد و بنابراین ضرورت بررسی قابلیت خمیرکاغذسازی با آن در این پژوهش مورد بررسی قرار گرفت. در سال‌های اخیر، در راستای جای‌گزینی سیستم‌های خمیرکاغذسازی رایج مثل پخت در دیگ‌های خمیرکاغذسازی منقطع و پیوسته، روش تازه‌ای با توجه به اهمیت مسایل زیست‌محیطی و قابلیت اقتصادی، روش تازه‌ای با استفاده از فن‌آوری پیچ با نام تجاری اکسترودر دومارپیچی[2] مورد توجه قرار گرفته است. خمیرکاغذسازی با اکسترودر دوپیچی با مکانیسم شیمیایی- مکانیکی طی اعمال تیمار شیمیایی و به‌دنبال آن تنش فشاری و برشی انجام می‌شود. اصول اولیه این روش خمیرکاغذسازی از ٤٠ سال پیش به‌کار گرفته شده است که نتایج موفقیت‌آمیزی در سطح نیمه‌صنعتی برای خمیرکاغذسازی پنبه، کنف، کاه گندم و کتان در سطح دنیا داشته است (ورجنز و برزین، ۲۰۰٦). در واقع این نوع خمیرکاغذسازی مشابه روش بی‌ویس[3] است که با دو اکسترودر تک‌مارپیچی سری طراحی شده است که در اولی اقدام به اشباع و برش جزیی مواد لیگنوسلولزی می‌گردد و در دومی برای سفیدسازی و برش اضافی استفاده می‌گردد. در طی مرحله خمیرکاغذسازی الیاف کوتاه و مجتمع می‌شوند که شامل باز شدن الیاف اولیه از یکدیگر و ریش‌ریش شدن آن‌ها می‌باشند همچنین، خمیرکاغذسازی با اکسترودر دومارپیچی به الیاف امکان برش طولی تا ابعاد مورد انتظار را می‌دهد، بنابراین به‌دنبال خمیرکاغذ می‌تواند به‌وسیله سیستم‌های کاغذسازی بالکی آماده و برای مناطق مصرف منتقل گردد. این فرآیند از نظر فیزیکی برای ظرفیت‌های کوچک مناسب می‌باشد و نسبت به فن‌آوری‌های رقیب به هزینه‌های سرمایه‌گذاری کم‌تری نیاز دارد.

1- Screw
2- Twin Screw Extruder
3- Bi Vis (French for Twin Screw)

Archive of SID

www.SID.ir

امتیاز دیگر این فن‌آوری، مصرف آب کم‌تر برای تولید است که امکان ایجاد مایع سیاه خمیرکاغذسازی غلیظ‌تری را فراهم می‌سازد. این روند برای مرحله تیمار مایع سیاه به‌دست آمده از خمیرکاغذسازی مفید است، زیرا ضرورت به‌کارگیری تبخیرکننده‌ها کاهش و یا حذف می‌گردد. به‌علاوه این‌که، این فرآیند دارای اثرات تخریبی کم‌تری هنگام اعمال تیمار مکانیکی می‌باشد (هریس و همکاران، ۲۰۰۸).

در مقایسه با خمیرکاغذهای سوزنی‌برگ مکانیکی سفید شده با پراکسید قلیایی و خمیرکاغذ کرافت سوزنی‌برگان، خمیرکاغذ به‌دست آمده از اکسترودر مقاومت به پارگی بالاتر، مقاومت به کشش کم‌تر و سرعت آب‌گیری کم‌تری نشان داده است (وستن‌بروک، ۲۰۰۰). به‌طور عموم خمیرکاغذسازهای رایج برای تولید خمیرکاغذهای چاپ و نوشت افزار طراحی شده است، خمیرکاغذ به‌دست آمده از اکسترودر نیز برای تولید فلوتینگ، لاینر و در صورت رنگ‌بری برای دیگر درجه‌های کاغذ می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد.

در ادامه این پژوهش، براساس امتیازات و کارایی فن‌آوری خمیرکاغذسازی با اکسترودر دومارپیچی هم‌سو، اقدام به بررسی قابلیت خمیرکاغذسازی ساقه برنج با پیش‌تیمار قلیایی- غوطه‌وری در هیدروکسید سدیم- قبل از ورود به اکسترودر دومارپیچی هم‌سو آزمایشگاهی گردید و سعی گردید شرایط امکان تولید کاغذ بسته‌بندی با این دستگاه ارزیابی گردد.

مواد و روش‌ها

مواد اولیه: ساقه برنج از نواحی کشت‌زاری شمال ایران در استان گیلان، تهیه گردید. ساقه‌ها که در هوای محیط خشک شده بودند، پس از حذف گره به طول‌های ۰/۳±۲ سانتی‌متر بریده شدند و در بسته‌های ۳۰۰ گرمی برای استفاده در مرحله خمیرکاغذسازی، بسته‌بندی گردید. رطوبت ساقه‌های برنج در این مرحله ۹/۵٦ درصد بود. ترکیبات شیمیایی مهم ماده لیگنوسلولزی ساقه برنج مورد بررسی در این پژوهش شامل ٤٦/٥١ درصد سلولز، ١٦/٠٣ درصد لیگنین، ١٤/٦١ درصد خاکستر، و ۳/۱۰ درصد مواد استخراجی محلول در اتانول/ استن بود.

مشخصات اکسترودر دومارپیچی: اکسترودر دومارپیچی هم‌سو آزمایشگاهی به‌کار گرفته شده در این پژوهش در شکل ٤ نشان داده شده است. این اکسترودر از نوع دومارپیچی هم‌سو و با محورهای موازی است که نیازمند پیش‌تیمار شیمیایی محدود الیاف به‌منظور حداقل نمودن تخریب الیاف برای رسیدن به خمیرکاغذی با کیفیت نهایی مناسب می‌باشد. همان‌طورکه در شکل زیر دیده می‌شود این سیستم دارای ۵ ناحیه پیچ معکوس[1]، طول ١٣٧٦ میلی‌متر، پوسته‌ای با قطر ۱۱۰ میلی‌متر حول پیچ‌هایی به شعاع ۲۵ میلی‌متر است که فاصله بین دو پیچ درون اکسترودر ٤٠ میلی‌متر می‌باشد.

1- Reversed Screw Element (RSE)

Archive of SID

www.SID.ir

خمیرکاغذسازی: بسته‌های ساقه برنج ابتدا توسط محلول هیدروکسید سدیم با غلظت‌های مختلف مطابق جدول ۱ و در نسبت محلول به وزن خشک ۸ به ۱ به‌مدت ٤ ساعت تیمار شدند و پس از اتمام پیش‌تیمار، ابتدا حدود ۵ برابر وزن ماده اولیه، مایع پخت توسط صافی بدون اعمال فشار جدا شده و سپس ساقه‌های خیس و نرم شده یاد شده به‌طور پیوسته وارد اکسترودر گردید و اکسترودر در دمای مشخص با دور تعیین شده می‌چرخد و از انتهای اکسترودر خمیرکاغذی به‌دست می‌آید که پس از شستشو با الک مش ۲۰۰ آب‌گیری و در هوای محیط خشک شد. جدول ۱ شرایط پیش‌تیمار و فرآیندی اکسترودر و ویژگی‌های خمیرکاغذ به‌دست آمده را نشان می‌دهد.

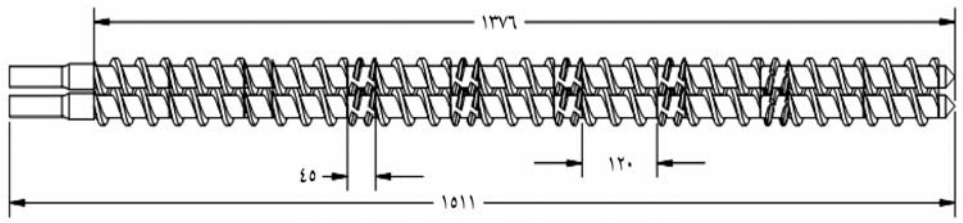
جدول ۱- مقادیر متغیرهای فرآیندی و ویژگی‌های شیمی- مکانیکی خمیرکاغذ به‌دست آمده در خمیرکاغذسازی در اکسترودر با به‌کارگیری طرح آزمایش‌ها[a].

شماره پخت	مقادیر کد شده			مقادیر واقعی			نتایج			
	X_T	X_C	X_{RPM}	T (درجه سانتی‌گراد)	C (درصد)	دور پرخش (rpm)	Y (درصد)	KN	CSF-in (میلی‌لیتر)	Ash (درصد)
۱	۰	۰	۰	٦۰	۰/۸	۷۰	۷٦/۹۰	۸۸	٤٦۳	۷/۷۲
۲	−۱	۰	۰	٤۰	۰/۸	۷۰	۷۳/۹٦	۹۸	٦۰۸	۸/۵۵
۳	۰	۰	−۱	٦۰	۰/۸	۵۵	۷۵/۹۹	۹۹	۵۸۵	۷/۱۸
٤	−۱	+۱	+۱	٤۰	۱/۲	۸۵	۷۰/۳٦	۹۱	۵۷۸	٦/۵۹
۵	۰	+۱	۰	٦۰	۱/۲	۷۰	۷۲/٦۳	۷۵	٤٦۲	٦/٦۱
٦	+۱	+۱	+۱	۸۰	۱/۲	۸۵	۷۲/۸٤	۷۹	٤۳۳	۸/۳۷
۷	۰	۰	+۱	٦۰	۰/۸	۸۵	۷٦/۸۸	۸۳	٤۷۷	۷/٤٦
۸	+۱	−۱	−۱	۸۰	۰/٤	۵۵	۷۸/۲۳	۹۲	٤٦۰	۱۰/٤۲
۹	۰	−۱	۰	٦۰	۰/٤	۷۰	۷۷/۹۰	۹۸	٤۸۸	۹/۷۹
۱۰	−۱	+۱	−۱	٤۰	۱/۲	۵۵	۷۰/۵۷	۸٤	۵۱۳	٦/۲۳
۱۱	−۱	−۱	+۱	٤۰	۰/٤	۸۵	۷۹/۹۵	۱۰۰	٦۲۸	۱۰/۵۱
۱۲	−۱	−۱	−۱	٤۰	۰/٤	۵۵	۷۹/۲۸	۱۱۲	٦۰۵	۱۰/۱۵
۱۳	+۱	+۱	−۱	۸۰	۱/۲	۵۵	۷۵/۲۳	۷۵	٤۳۸	۸/۱۱
۱٤	+۱	۰	۰	۸۰	۰/۸	۷۰	۷۵/٦۵	۸۵	۵۳۵	۹/٦۳
۱۵	+۱	−۱	+۱	۸۰	۰/٤	۸۵	۸۵/۱۷	۹۳	٤٤۸	۱۰/۸۱

[a] X_T: دمای نرمال شده اکسترودر هنگام خمیرکاغذسازی؛ X_C: غلظت نرمال شده هیدروکسید سدیم؛ X_{RPM}: سرعت نرمال شده اکسترودر؛ TE: دمای اکسترودر؛ C: غلظت هیدروکسید سدیم؛ rpm: دور اکسترودر؛ زمان پیش‌تیمار: ۲٤۰ دقیقه؛ نسبت ماده خشک به مایع پیش‌تیمار: ۱به ۸؛ Y: راندمان؛ KN: عدد کاپا؛ CSF-in: درجه روانی خمیرکاغذ خروجی از اکسترودر.

Archive of SID

www.SID.ir



شکل ٤- شماتیک اکسترودر آزمایشگاهی ساخته شده در دانشکده کاسپین دانشگاه تهران (ابعاد به میلی‌متر می‌باشد).

در طی خمیرکاغذسازی، به‌منظور افزایش درستی نتایج، بخش اول و آخر خمیرکاغذهای خروجی از اکسترودر از قسمت میانی جدا شد و به‌طور مجزا با آب ولرم شستشو و در هوای آزاد کف اتاق آزمایشگاه خشک گردیدند. از خمیرکاغذهای دو قسمت اولیه و آخری فقط برای تعیین راندمان استفاده شد و خمیرکاغذ هوا- خشک قسمت میانی برای تعیین ویژگی‌های خمیرکاغذ به‌دست آمده استفاده گردید.

روش‌ها: در سنجش ویژگی‌های ماده اولیه خمیرکاغذهای به‌دست آمده از آن‌ها با استفاده از روش‌های زیر استفاده گردیده است. ماده اولیه: لیگنین کلاسون (TAPPI T ۲۲۲ om-۹۸)، سلولز (برانینگ، ۱۹٦۷)، خاکستر (TAPPI T ۲۱۱ om-۸۵)، مواد قابل استخراج با اتانول/ استن (TAPPI T ۲۰٤ om-۹۷)، خمیرکاغذهای به‌دست آمده: راندمان خمیرکاغذسازی به روش وزن‌سنجی با خشک کردن در دمای ۲±۱۰۵ درجه سانتی‌گراد به‌مدت ۲٤ ساعت، درجه روانی (TAPPI T ۲۲۷ om-۹۹)، عدد کاپا (TAPPI T ۲۳٦ om-۹۹)، خاکستر خمیر (TAPPI T ۲۱۱ om-۸۵).

روش آنالیز آماری: در این پژوهش از طرح فاکتور مرکب مرکزی برای تعیین شرایط خمیرسازی برای بررسی اثرات تغییرات سه عامل تأثیرگذار، غلظت‌های متفاوت محلول هیدروکسید سدیم در پیش‌تیمار، دور اکسترودر و دمای اکسترودر استفاده شد. نتایج با استفاده از نرم‌افزار مینی‌تب[1] و معادلات رگرسیونی درجه ۲ پردازش، تحلیل و اثرات مستقیم و متقابل سه عامل تأثیرگذار ارزیابی گردید (رضایتی‌چرانی و همکاران، ۱۳۸٤).

1- Minitab

Archive of SID

www.SID.ir

نتایج و بحث

در این پژوهش، دامنه پاسخ ویژگی‌های خمیرکاغذ به‌دست آمده از دستگاه اکسترودر به پارامترهای عملیاتی به‌عنوان وسیله مفیدی برای بهینه نمودن شرایط خمیرکاغذسازی به‌کار گرفته شده است. در این بررسی، اثرات دو عامل دما و دور اکسترودر به‌عنوان دو عامل مهم تأثیرگذار بر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خمیر و کاغذ به‌طور مستقیم و غیرمستقیم بررسی گردید. ضمن این‌که با توجه به ضرورت پیش‌تیمار ماده لیگنوسلولزی در این فرآیند، سعی شد اثرات تغییرات غلظت محلول هیدروکسید سدیم نیز مورد ارزیابی قرار گیرد. اثرات شرایط مختلف فرآیندی بر خصوصیات خمیر و کاغذ در جدول ۲ ارایه شده است که با استفاده از مدل‌های رگرسیونی درجه ۲ به‌دست آمده برای ویژگی‌های خمیرکاغذ تحت شرایط بهینه فرضی (۸۰ درجه سانتی‌گراد، ۰/۸ درصد و ۷۰ دور در دقیقه) به‌دست آمده است.

نتایج جدول ۲ همه اثرات مستقیم و متقابل عوامل فرآیندی بر خصوصیات خمیرکاغذ به‌دست آمده را به‌نحوی ساده نشان می‌دهد. این نتایج به‌دست آمده برآورد روابط رگرسیونی برای هر یک از ویژگی‌های مورد بررسی خمیرکاغذ با عوامل اثرگذار می‌باشد که به‌طور مختصر به برخی از موارد آن اشاره می‌گردد. بر طبق این جدول، تقریباً روند اثرات پارامترهای عملیاتی سه‌گانه را بر ویژگی‌های خمیرکاغذ می‌توان برآورد نمود که در نتیجه آن، امکان کنترل فرآیند اکستروژن- خمیرکاغذسازی با اکسترودر- ممکن می‌گردد.

مطابق جدول ۲- ستون ٤، افزایش دور اکسترودر نیز تأثیر معنی‌داری بر راندمان خمیرکاغذسازی نداشته است که قابل پیش‌بینی بود. زیرا افزایش دور اکسترودر عاملی مکانیکی می‌باشد و انتظار تغییر راندمان را نمی‌توان داشت. اثر مثبت دور اکسترودر بر عدد کاپا، فرض کاهش زمان ماند در هنگام عبور ماده لیگنوسلولزی از اکسترودر را تأیید می‌کند که سبب می‌شود لیگنین ناچیزی در این مرحله تخریب و حذف می‌شود. همچنین افزایش دور اکسترودر به تنهایی تأثیر منفی محدودی بر درجه رونی داشته است که با مقایسه این نتیجه‌گیری با نتایج ستون ۳- جدول ۲، که نشان می‌دهد با کاهش دور اکسترودر، درجه روانی نیز کاهش می‌یابد، بنابراین می‌توان گرفت که یک حد بهینه‌ای برای دور اکسترودر در محدوده مورد بررسی باید وجود داشته باشد که منجر به نبود کاهش درجه روانی می‌گردد. این استنباط در خصوص نتایج عدد کاپا نیز صادق است. توضیح این‌که موارد تحلیلی به‌دست آمده ارزیابی معنی‌داری نتایج در محدوده ۹۵ درصد می‌باشد و نتایج آزمایشگاهی اولیه برای همه شرایط تحت بررسی در جدول ۱ ارایه شده است. همچنین معمولاً دور اکسترودر رابطه مستقیم

Archive of SID

www.SID.ir

مثبتی با قابلیت عبوردهی اکسترودر یا توان عبوری آن دارد. در واقع این توان عبوری با افزایش دور اکسترودر به‌طور مستقیم بهبود می‌یابد. بنابراین به‌نظر می‌رسد به‌کارگیری دور اکسترودر ۸۵ دور در دقیقه، ضمن داشتن صرفه اقتصادی تأثیر منفی معنی‌داری بر نتایج نداشته باشد.

براساس جدول ۲- ستون ٦، افزایش غلظت محلول هیدروکسید سدیم در پیش‌تیمار به‌طور مستقیم باعث کاهش راندمان و عدد کاپا می‌گردد که این اثر احتمالاً از قابلیت تخریبی شدید هیدروکسید سدیم بر همی‌سلولز و به‌طور محدود بر لیگنین ماده اولیه هنگام پیش‌تیمار ناشی می‌شود. همچنین افزایش دمای اکسترودر، جدول ۲- ستون ۲، اثرات کاهنده معنی‌داری همانند هیدروکسید سدیم، بر راندمان و عدد کاپا داشته است. مطابق ستون ۱۰ نیز نتیجه می‌شود، افزایش دما، اثرات تخریبی هیدروکسید سدیم را تشدید می‌کند.

یکی از محدودیت‌های خمیرکاغذسازی ماده لیگنوسلولزی برنج در سیستم‌های رایج، وجود درصد سیلیس بالا در این ماده لیگنوسلولزی می‌باشد که ضمن خمیرکاغذسازی، درصد بالایی از این سیلیس از خمیرکاغذ خارج و وارد مایع به‌دست آمده از خمیرکاغذسازی شده و در مراحل بعدی باعث ایجاد رسوب بر جداره داخلی لوله‌های کوره بازیابی می‌گردد و تشکیل رسوب از قابلیت هدایت گرمایی لوله‌ها می‌کاهد و حتی می‌تواند سبب مسدود شدن آن‌ها گردد (هریس و همکاران، ۲۰۰۸). از جمله برتری‌های فرآیند اکستروژن، امکان حفظ مقدار قابل‌توجه‌ای از سیلیس در خمیرکاغذ تولیدی می‌باشد که با این برتری در صورت نیاز به بازیابی مایع به‌دست آمده از پخت با کوره بازیابی، مشکل رسوب سیلیس تا حد قابل‌توجه‌ای مرتفع می‌گردد. میزان خاکستر خمیرکاغذها در این پژوهش به‌عنوان تابعی از مقدار سیلیس باقی‌مانده در خمیرکاغذ برای مقایسه اهمیت این فرآیند در حفظ سیلیس در خمیرکاغذ در مقایسه با فرآیندهای رایج از طریق مقایسه خاکستر در جدول ۲ ارایه شده است. در بررسی اثرات عوامل فرآیندی بر فرآیند اکستروژن، مطابق جدول ۲ مشاهده می‌شود که افزایش درصد هیدروکسید سدیم در مرحله پیش‌تیمار، باعث کاهش درصد خاکستر خمیرکاغذ می‌گردد و بنابراین به‌کارگیری حداقل درصد مناسب هیدروکسید سدیم ضروریست.

نتایج ستون ۷ تا ١٤ جدول ۲ اثرات متقابل بین سه عامل فرآیندی اثرگذار در خمیرکاغذسازی را نشان می‌دهند. این نتایج دلالت بر وجود روابط معنی‌داری بین سه عامل بالا می‌کند که ضرورت کنترل دقیق آن‌ها را برای به‌دست آمدن نتایج نهایی قابل پیش‌بینی می‌نماید.

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۲- تأثیر شرایط خمیرکاغذسازی با اکسترودر دومارپیچی هم‌سو در نقطه بهینه فرضی (۸۰ درجه سانتی‌گراد، ۰/۸ درصد و ۷۰ دور در دقیقه) بر خصوصیات خمیرکاغذ.

ستون:	۱	۲	۳	٤	٥	٦	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۱٤
دور اکسترودر	C	C	↓	↑	C	C	↓	↑	C	C	↓	↑	↓	↑
دمای اکسترودر	↓	↑	C	C	C	C	↓	↑	↓	↑	C	C	↓	↑
غلظت هیدروکسیدسدیم	C	C	C	C	↓	↑	C	C	↓	↑	↓	↑	↓	↑
بازده	−	−	+/−	+/−	+	−	−	−	+	−	+	−	+	−
عدد کاپا	+	−	+	+	+	−	+	٠+	++	−−	++	−	++	−−
درجه روانی اولیه	++	٠−	−	٠−	+	+	++	−	++	−	+/−	٠−	++	−
خاکستر	٠+	+	−	٠−	++	−	٠−	++	++	+	++	−	++	٠+

راهنای علایم: ↑ (افزایش)؛ ↓ (کاهش)؛ C (ثابت)؛ + (تأثیرگذاری مثبت)؛ − (تأثیرگذاری منفی)؛ ٠+ (تأثیرگذاری مثبت جزیی)؛ ٠− (تأثیرگذاری منفی جزیی)؛ ++ (تأثیرگذاری مثبت قوی‌تر) ؛ −− (تأثیرگذاری منفی قوی‌تر)؛ −/+ (بی‌تأثیر).

نتیجه‌گیری

نتایج خمیرکاغذسازی ساقه برنج نیز نشان داد که خمیرکاغذ تولیدی ضمن پیش‌تیمار محدود با هیدروکسید سدیم، با عبور دوباره از اکسترودر و یا با پالایش محدود به‌دلیل درجه روانی بالا (CSF۶۰۰~)، می‌تواند برای تولید فلوتینگ و لاینر به‌کار رود. همچنین درصد بالای خاکستر باقی‌مانده در خمیرکاغذ نیز بر کاهش مشکل سیلیس در مایع به‌دست آمده از خمیرکاغذسازی دلالت می‌کند. همچنین انتظار می‌رود، خمیرکاغذهایی با مقادیر پایین عدد کاپا نیز با به‌کارگیری پیش‌تیمار شدیدتر در دماهای بالاتر اکسترودر به همراه سرعت چرخش به‌نسبت پایین اکسترودر می‌تواند به‌دست آید.

منابع

۱- رضایتی‌چرانی، پ.، محمدی‌روشنده، ج.، نوایی‌ارده، ش.، پورجوزی، م.، رسالتی، ح.، و کاظمی‌نجفی، س. ۱۳۸٤. کاربرد طراح مرکب مرکزی در تحقیقات صنایع سلولزی: خمیرسازی باگاس با دی‌متیل فرم‌آمید، مجله علوم و تکنولوژی پلیمر، ۱۸ (٦)، ۳۵۸-۳٤٥.

2.Andersen, P. 2010. Twin-Screw Extruders. Society of Plastics Engineers, http://www.4spe.org/sites/default/files/TWS Andersen. PDF. (available in 22 May 2012)

3.Browning, B.L. 1967. Methods of Wood Chemistry. Vol. 1-2, Interscience Publishers, N.Y., USA.

Archive of SID

www.SID.ir

4.Harris, A.T., Riddlestone, S., Bell, Z. and Hartwell, P.R. 2008. Towards zero emission pulp and paper production: the BioRegional Mini Mill. J. Cleaner Product. 16: 1971-1979.
5.Navaee-Ardeh, S., Mohammadi-Rovshandeh, J. and Pourjoozi, M. 2004. Influence of rice straw cooking conditions in the soda-ethanol-water pulping on the mechanical properties of produced paper sheets. Bioresource Technology, 92: 65-69.
6.Rezayati-Charani, P. and Mohammadi-Rovshandeh, J. 2005. Effect of pulping variables with dimethyl formamide on the characteristics of bagasse-fiber. Bioresource Technology, 96: 1658-1669.
7.Rezayati-Charani, P., Mohammadi-Rovshandeh, J., Hashemi, S.J. and Kazemi-Najafi, S. 2006. Influence of dimethyl formamide pulping of bagasse on pulp properties. Bioresource Technology, 97: 2435-2442.
8.Vergnes, B. and Berzin, A. 2006. Modeling of reactive systems in twin-screw extrusion: challenges and applications. Comptes Rendus Chimie. 9: 1409-1418.
9.Van Roekel, G.J., Lips, S.J.J., Op Den Kamp, R.G.M. and Baron, G. 1995. Extrusion pulping of true hemp bast fibre (*Cannabis sativa* L.), Tappi Conference, Chigago, USA, Pp: 477-485.
10.Westenbroek, A.P.H. 2000. Extrusion pulping of natural fibres; Determination, implementation and verification of constitutive equations required for modeling. PhD Thesis, University Wageningen and Research Centre, Netherlands.
11.TAPPI Test Methods for Evaluating of Pulp and Paper properties, TAPPI T 222 om-98, TAPPI Press, Atlanta, GA, USA, 2006-2007.
12.TAPPI Test Methods for Evaluating of Pulp and Paper properties, TAPPI T 211 om-85, TAPPI Press, Atlanta, GA, USA, 2006-2007.
13.TAPPI Test Methods for Evaluating of Pulp and Paper properties, TAPPI T 204 om-97, TAPPI Press, Atlanta, GA, USA, 2006-2007.
14.TAPPI Test Methods for Evaluating of Pulp and Paper properties, TAPPI T 227 om-99, TAPPI Press, Atlanta, GA, USA, 2006-2007.
15.TAPPI Test Methods for Evaluating of Pulp and Paper properties, TAPPI T 236 om-99, TAPPI Press, Atlanta, GA, USA, 2006-2007.
16.Ziaie-Shirkolaee, Y., Mohammadi-Rovshandeh, J., Rezayati-Charani, P. and Khajeheian, M.B. 2008. Influence of dimet hyl formamide pulping of wheat straw on cellulose degradation and comparison on with Kraft process. Bioresource Technology, 99: 3568-3578.

Archive of SID

www.SID.ir

Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources
J. of Wood & Forest Science and Technology, Vol. 19 (4), 2013
http://jwfst.gau.ac.ir

Application of Twin-Screw Extruder for Production of Pulp from Rice Stalk

A.R. Saraeian[1], *P. Rezayati Charani[2], A.R. Talebizadeh[3] and K. Yaghoubi[4]

[1]Associate Prof., Faculty of Wood and Paper Engineering, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, [2]Ph.D. Student, Faculty of Wood and Paper Engineering, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, [3]Assistant Prof., Faculty of Engineering, Vali-e-Asr University, Rafsanjan, [4]M.Sc., Iran Wood and Paper Industries (Chouka), Dept. of Research and Development, Rezvanshahr
Received: 10/26/2010; Accepted: 01/08/2013

Abstract

Twin-screw extruder has been attractive with many efficient benefits as one of developing pulping technology from non-wood feedstocks in recent decades. Extrusion pulping is a chemi-mechanical pulping method in which fibers are processed by means of compression and shear forces. In this research, application of this technology was introduced in pulp and paper industries and the extrusion pulping of rice stalk was investigated. Extrusion pulping of rice stalk was conducted following a central composite design using a two-level factorial plan involving three process variables (pretreatment NaOH concentration: 0.4, 0.8 and 1.2%, extrusion temperature: 40, 60 and 80 ^{o}C, extruder rotational speed: 55, 70 and 85 rpm). Responses of pulp properties to the process variables were analyzed using statistical software (MINITAB 15). As the results show, a more content of initial ash of rice stalk was remained in the obtained pulp. Also, because of high freeness of obtained pulps, it is necessary to retransfer the obtained pulp from extruder or refine it for fluting paper and linerboard production. Moreover, analysis of the results reveales that this process can be used to obtain a pulp with low kappa number under a relatively long pretreatment time, high NaOH concentration, high extrusion temperature and moderate extruder rotational speed.

Keywords: Twin-screw extruder, Rice stalk, Papermaking, Central composite design, Sodium hydroxide

* Corresponding Author; Email: p.rezayati@gmail.com

Archive of SID

www.SID.ir