

اهمیت شناسایی ترکیب الیاف در ارتقای ویژگی‌های کاغذهای بسته‌بندی

سعید مهدوی*

تاریخ دریافت مقاله: بهمن ماه ۱۳۹۴

تاریخ پذیرش مقاله: فروردین ماه ۱۳۹۵

چکیده

در سال‌های اخیر به دلایل اقتصادی - زیست‌محیطی استفاده از کاغذهای بازیافتی در ساخت انواع لاینر و کاغذ کنگره‌ای مورد استفاده برای کارتن‌های کنگره‌ای رو به افزایش بوده است. به علت نقش اساسی الیاف در ارتقای ویژگی‌های مورد نیاز بسته‌بندی سلولزی و تعیین کمیت و کیفیت الیاف مورد استفاده، اهمیت یافته است. اندازه‌گیری ابعاد (بیومتری) و شناسایی الیاف مورد استفاده در ساخت کاغذهای بسته‌بندی شامل جنس، گونه و درصد اختلاط الیاف، می‌تواند کاغذساز را در راستای بهبود کیفیت اجزای ورق‌های بسته‌بندی و ورق‌ساز را در راستای بهبود کیفیت کارتن یاری نماید. برای شناسایی و اندازه‌گیری عناصر سلولزی خمیر کاغذ تهیه شده از چوب و گیاهان غیرچوبی، روش‌های مختلف استاندارد وجود دارد که در این مقاله به آن‌ها پرداخته شده است. بکارگیری این روش‌ها می‌تواند سازندگان کاغذ و ورق را در پیش‌بینی ترکیب الیاف مورد نیاز برای تأمین ویژگی‌های لازم بسته‌بندی و نیز کاهش هزینه‌های تولید هدایت نموده و از بروز مشکلاتی در حین فرآیندهای چاپ و برش کاغذ جلوگیری نماید.

واژه‌های کلیدی

کاغذهای بسته‌بندی، شناسایی الیاف، کمیت و کیفیت

الیاف

۱- مقدمه

محدودیت استفاده از الیاف بکر^۲ تهیه شده از چوب‌های جنگلی به همراه اتخاذ سیاست‌های زیست‌محیطی موجب شده است صنایع بسته‌بندی به سمت استفاده از منابع سلولزی جایگزین مثل: الیاف بازیافتی و نیز الیاف گیاهان غیرچوبی و زائدات کشاورزی روی آورند. امروزه برای تولید کاغذهای بسته‌بندی که عمدتاً از الیاف بازیافتی در ساخت آن‌ها استفاده می‌شود، رقابت زیادی وجود دارد.

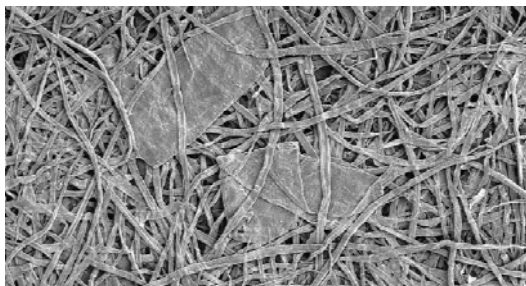
این در حالی است که علی‌رغم افزایش سهم استفاده از الیاف بازیافتی در کاغذهای بسته‌بندی، انتظار مقاومت‌های بهتری از بسته‌بندی به وجود آمده است و بهبود مقاومت‌های این نوع کاغذها، کلید موفقیت در این رقابت است. الیاف بازیافتی به دلیل تعدد استفاده در ساخت کاغذ، به مرور استحکام خود را از دست می‌دهند و ارتباط مستقیمی بین این دو ویژگی وجود دارد. انجام عملیاتی شامل تیمارهای فیزیکی، مکانیکی و شیمیایی در راستای بهینه‌سازی این الیاف برای تولید کاغذهای بازیافتی با ویژگی‌های مناسب، از جمله راهکارهای موجود برای ارتقای کیفیت کاغذهای بسته‌بندی است. به منظور انجام این عملیات، دستیابی به اطلاعات کمی و کیفی الیاف کاغذهای باطله بر اساس روش‌های موجود، ضروری به نظر می‌رسد. از طرف دیگر، فهم چگونگی تأثیر الیاف نامتجانس بازیافت شده بر روی ویژگی‌های انواع

۱- دانشیار، بخش تحقیقات علوم چوب و فرآورده‌های آن، عضو

هیئت علمی مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، کرج، ایران.

(* نویسنده مسئول: smahdavi@rifr-ac.ir)

کاغذهای چاپ و تحریر بیان شده است. در تصویر میکروسکوپی زیر، وجود آوند در سطح کاغذ چاپ مشخص می‌باشد که با کنده شدن در حین چاپ می‌تواند موجب اشکالات موضعی در چاپ شود [۲۰].



شکل ۱- قرار گرفتن آوند در سطح کاغذ چاپ

کارتن کنگره‌ای کهنه^۶ یکی از انواع کاغذهای بازیافتی است که به دلیل کمبود مواد اولیه در صنایع کاغذسازی، به عنوان یکی از مهم‌ترین مواد اولیه سلولزی، بارها در چرخه تولید این صنعت قرار می‌گیرد و عمدتاً جهت تولید کاغذهای بسته‌بندی مورد استفاده قرار می‌گیرد [۵]. این دسته از خمیرها، به دلیل استفاده مکرر، نسبت به خمیرهای الیاف بکر دارای مشخصه‌های نامطلوبی همچون میانگین طول الیاف کمتر، نایکنواختی توزیع طولی الیاف، استخوانی شدن الیاف^۷، سخت شدن پلی‌ساکاریدها^۸، همکشیدگی منافذ دیواره سلولی و بسته شدن آن^۹، دیواره سلولی نازک‌تر، افت قابلیت پیوندپذیری الیاف، کاهش متورم شدن و ترشوندگی الیاف، کاهش انعطاف‌پذیری الیاف، کهنگی الیاف^{۱۰}، داشتن الیاف متنوع و آسیب دیده، وجود مواد شیمیایی مختلف از جمله نشاسته کاتیونی، ذرات جوهر، چسب‌ها، موم‌ها و ناخالصی‌های غیرسلولزی می‌باشد. این معایب موجب مقاومت‌های کمتر و غیریکنواختی شاخص‌های مقاومت و کیفیت در روند تولید خواهد شد [۱].

کاغذهای بسته‌بندی، دارای پتانسیل زیادی در صنایع بسته‌بندی و تولید کاغذ کنگره‌ای است.

خمیر کاغذ تولید شده از کاغذ باطله شامل: مخلوطی از الیاف مختلف است که با توجه به منابع مورد تهیه کاغذ باطله و حتی در یک منبع، دارای ترکیب^۱ مختلف است [۵]. خمیر کاغذهای تجاری از یک گونه یا گروهی از گونه‌های مختلف تهیه می‌شوند و فهم ارتباط بین ویژگی‌های الیاف سازنده آن‌ها با خواص کاغذ طی مطالعات زیادی بررسی شده است [۶ و ۷].

در مقالاتی اثرات توأم^۲ استفاده از ترکیب مختلف الیاف و خمیرهای آماده^۳ بر ویژگی‌های خمیر و کاغذ تهیه شده از آن‌ها بررسی شده است. این مقالات، رفتار غیرقابل انتظاری از این اثرات بر خواص خمیر و کاغذ حاصله را گزارش کرده‌اند [۸، ۹ و ۱۰].

شاخص‌هایی مثل ریخت‌شناسی^۴ و عوامل^۵ شناسایی جنس یا گونه الیاف مورد استفاده، درصد اختلاط گونه‌ها، میانگین و توزیع طولی الیاف، ضرایب کاغذسازی، فرآیند تولید الیاف (خمیرکاغذ) و ذرات جوهر، همگی در ایفای نقش الیاف مورد استفاده در کاغذهای بسته‌بندی سهم دارند [۱۱].

در این مقاله، علاوه بر نقش الیاف که در بروز ویژگی‌های مختلف کاغذ مؤثرند، اثر عواملی مثل: مقدار، اندازه آوندها و نیز نرمه‌ها که عمدتاً از پارانشیم‌ها نشأت می‌گیرند، تأکید شده است. مقدار نسبتاً زیاد آوند و نرمه‌ها در خمیر کاغذ تهیه شده از چوب اکالیپتوس به عنوان علت ایجاد گرد و غبار در حین تولید دستمال کاغذی معرفی شده است. علاوه بر این، وجود آوندهای بزرگ و قطور و نیز مقدار آن‌ها به عنوان یکی از شاخص‌های مهم ریخت‌شناسی در تولید کاغذهای چاپ ذکر شده و کنده شدن آوند از سطح کاغذ در حین چاپ نیز به عنوان یکی از معایب مهم

6- Old Conugated Container(OCC)

7- Fiber Hornification

8- Polysaccharide Hardening

9- Pores Closure

10- Fiber Aging

1- Composition

2- Synergy

3- Furnish

4- Morphology

5- Features

ادماپولوس^۱ و همکاران (۲۰۰۶) ویژگی‌های ریخت‌شناسی، ترکیب الیاف و مقاومت‌های ۵۶ نوع کاغذ لاینر و کنگره‌ای حاصل از الیاف بکر و بازیافتی شامل کرافت لاینر، تست لاینر و کنگره‌ای بازیافتی را بررسی کردند. نتایج بررسی آن‌ها نشان داد که ویژگی‌های فیزیکی - مکانیکی کاغذهای بسته‌بندی، ریخت‌شناسی و ترکیب گونه‌های مورد استفاده می‌تواند عملاً به طور موفقیت‌آمیزی به عنوان یک متمم برای پیش‌بینی عملکرد این نوع کاغذها در بسته‌بندی کالا تأثیرگذار باشد. با توجه به نیازمندی‌های هر نوع بسته‌بندی، انتخاب مناسب‌ترین و ارزان‌ترین ترکیب الیاف مورد استفاده برای ساخت کاغذهای بسته‌بندی، پتانسیل خوبی برای کاهش هزینه‌ها خواهد بود.

ارزیابی شاخص‌های کمی و کیفی الیاف بازیافتی، ابزار لازم برای کنترل نوسانات ویژگی‌های مختلف کاغذهای بسته‌بندی را به منظور تولید فرآورده‌های مرغوب‌تر فراهم آورده و موفقیت در بازار عرضه محصولات بسته‌بندی سلولزی را موجب خواهد شد.

شکل یا ریخت، متفاوت هستند و این تفاوت‌ها می‌تواند کلیدی برای شناسایی جنس یا گونه مورد استفاده در ساخت کاغذهای بسته‌بندی باشد. ابعاد الیاف نیز به عنوان یکی دیگر از مشخصه‌های شناسایی مطرح هستند به طوری که در کلیدهای شناسایی ارائه شده برای سوزنی‌برگان و گیاهان غیرچوبی همواره مورد استناد قرار می‌گیرند. شاخص وزنی الیاف بر اساس وزن به ازای واحد طول (mg/100m) آن‌ها اندازه‌گیری می‌شود که برای الیاف پنبه، این شاخص ۱ می‌باشد [۱۱]. از آنجایی که روش‌های مختلف خمیرسازی و جداسازی الیاف بر مبنای خروج کامل لیگنین^۵ (روش شیمیایی مانند کرافت و سودا)، خروج بخشی از آن (مثل روش شیمیایی - مکانیکی) یا حضور کامل لیگنین (مثل روش آسیابی^۱) استوار هستند، استفاده از معرف‌های رنگی مختلف که می‌توانند با حضور لیگنین یا سلولز، طیف‌های رنگی مختلفی (زرد تا آبی) را ایجاد کنند، در تفکیک و شناسایی الیاف کاربرد دارند.

۲- روش تحقیق

از آنجایی که الیاف نقش اساسی را در تأمین ویژگی‌های مورد نیاز کاغذ و مقوای مورد استفاده در صنعت بسته‌بندی ایفا می‌کنند، ارائه عوامل مؤثر بر ایفای این نقش و روش‌های موجود برای شناسایی الیاف می‌تواند این تأثیر را نمایان کند. این عوامل شامل نوع، گونه، ریخت‌شناسی، ابعاد و شاخص وزنی الیاف و نیز روش خمیرسازی می‌باشند. طبقه‌بندی الیاف از نظر نوع، شامل: منبع الیاف (الیاف بکر و بازیافتی) و از نظر گونه شامل: الیاف چوبی (سوزنی‌برگ یا پهن‌برگ) و غیرچوبی است. عناصر سلولی تشکیل‌دهنده خمیرکاغذ عموماً شامل الیاف (فیبر یا تراکئید^۲)، آوندها، پارانشیم‌های^۳ طولی و عرضی و پونکتواسیون^۴ می‌باشند که با توجه به

۲-۱- الیاف بکر

برای ساخت کاغذ عمدتاً از الیاف چوب یا گیاهان غیرچوبی مناسب (با طول الیاف و درصد سلولز مناسب) استفاده می‌شود. منابع اولیه تهیه الیاف بکر را به سه دسته تقسیم می‌کنند:

الیاف نرم چوب^۵: این الیاف نسبتاً بلندتر از چوب درخت‌های سوزنی‌برگ مثل کاج، نوتل^۶ و غیره به دست می‌آیند. طول متوسط آن‌ها حدود ۳/۵ میلی‌متر می‌باشد که با روش‌های جداسازی شیمیایی، کاغذهایی محکم و خوب از آن‌ها ساخته می‌شود.

- 1- Adamopulos
- 2- Tracheid
- 3- Longitudinal Parenchyma
- 4- Pith

- 5- Lignin
- 6- Stone Ground Wood(SGW)
- 7- Softwood
- 8- Spruce

برخی از گیاهان غیرچوبی از نظر قطر فیبر مشابه سوزنی‌برگان و برخی مشابه پهن‌برگان و حتی باریک‌تر از آن‌ها هستند. طول فیبر سالم در گیاهان غیرچوبی عمدتاً در محدوده طول فیبر چوب (۶ تا ۱ میلی‌متر) بوده و در برخی از مواقع به ۱۸ تا ۲۰ میلی‌متر نیز می‌رسد (مثل رامی و سیزال^{۱۲}). در این حالت، این فیبرها معمولاً به منظور تسهیل فرآیند تولید و شکل‌گیری محصول بریده و کوتاه می‌شوند. از جمله ویژگی‌های الیاف غیرچوبی عبارتند از: طول الیاف سالم، قطر، قطر حفره سلولی، نقوش دیواره سلولی (مثل ترک‌های میکروسکوپی یا بندها) و انتهای الیاف [۱۲]. الیاف غیرچوبی را می‌توان از پسماند محصولات کشاورزی، گیاهان غیرچوبی لیفی که به صورت طبیعی می‌رویند (مثل نی) و برگ بعضی از گیاهان غیرچوبی (مثل موز) و یا ساقه آن‌ها (شامل مغز و پوست مثل کنف) به دست آورد.

الیاف سخت چوب^۱: این الیاف از درخت‌های پهن‌برگ مثل اکالیپتوس^۲، غان^۳، چنار^۴، افرا^۵، صنوبر^۶، بلوط و غیره به دست می‌آیند. چوب درخت‌های سخت‌چوب الیاف کوتاه‌تری نسبت به نرم‌چوب داشته و حداکثر طول متوسط آن‌ها به حدود ۱/۷۱ میلی‌متر برای ممرز می‌رسد [۲]. کاغذهای ساخته شده از این نوع الیاف، کاغذهای حجیم‌تر^۷ با کدری^۸ بیشتر و سطح نرم‌تری به دست می‌آید.

طبق (جدول ۱) برخی از تفاوت‌های مهم بین ویژگی‌های الیاف و خواص شیمیایی در دو نوع چوب مذکور به درصد درون و برون‌چوب^۹ و نیز درصد جوان و بالغ چوب^{۱۰} که وابسته به سن درخت است، مربوط می‌شود.

الیاف غیرچوبی: در نقاط مشخصی از دنیا یا در انواع خاصی از محصولات، استفاده از ۳۰ تا ۵۰ درصد الیاف غیرچوبی در خمیرکاغذ متداول است و تفکیک میکروسکوپی آن‌ها از الیاف چوبی برای آنالیزکننده^{۱۱} الیاف می‌تواند مشکل باشد [۸].

جدول ۱- تفاوت‌های بین ویژگی‌های سخت‌چوب‌ها و نرم‌چوب‌ها [۱۱]

مشخصه	تفاوت‌های بین سخت‌چوب‌ها و نرم‌چوب‌ها	
	سخت چوب‌ها و نرم چوب‌ها - برون چوب در برابر درون چوب	سخت چوب‌ها و نرم چوب‌ها - جوان چوب در برابر چوب بالغ
طول الیاف	کوتاه‌تر	کوتاه‌تر
ضخامت دیواره سلول	نازک‌تر	نازک‌تر
زاویه میکروفیبریل	بیشتر	بیشتر
مقدار سلولز	کمتر	کمتر
مقدار لیگنین	بیشتر	بیشتر
درجه پلیمریزاسیون سلولز	کمتر	کمتر
درجه بلورین سلولز	کمتر	کمتر

پسماند تولیدات کشاورزی مانند تغال نیشکر یا باگاس (باقی‌مانده ساقه نیشکر) کاه و غلات می‌باشد. باگاس^{۱۳} دارای الیافی به طول حدود ۱/۵ میلی‌متر می‌باشد و یکی از ارزان‌ترین مواد خام کاغذ در دنیا است. از گیاهانی که به صورت طبیعی می‌رویند مانند بامبو، نی، پاپیروس^{۱۴} و

- 1- Hardwood
- 2- Eukalyptus
- 3- Birch
- 4- Platanus
- 5- Acer
- 6- Poplar
- 7- Bulky
- 8- Opacity
- 9- Heartwood and Sapwood
- 10- Juvenile and Mature Wood
- 11- Analyzer

- 12- Sisal
- 13- Bagasse
- 14- Papyrus

علف اسپارتو^۱ نیز به منظور تولید کاغذ استفاده می‌شود. همچنین برخی از گیاهان غیرچوبی با کاربرد صنعتی (برای تولید کاغذ یا پارچه) مثل کنف، کتان و رامی صرفاً برای تهیه الیاف کاشته می‌شوند.

۲-۲- الیاف بازیافتی

الیاف بازیافتی در مقایسه با الیاف بکر به دلیل قابلیت فشردگی میکروفیبریل‌ها^۲ در سطح الیاف، شکننده بوده که در نتیجه قابلیت اتصال بین لیفی ضعیف‌تر و به تبع آن مقاومت‌های کمتر کاغذ را موجب می‌شوند [۱۳]. استفاده از فناوری‌های جدید مثل پالایش، اندود^۳، جوهرزدایی و اتصال با چسب و غیره به منظور جبران نقص الیاف بازیافتی، هزینه‌های اضافی را بر تولیدکننده تحمیل می‌کند.

امروزه در ساخت کاغذهای بسته‌بندی از ۶۰ تا ۱۰۰ درصد الیاف بازیافتی استفاده می‌شود. علاوه بر تمیزی خمیرکاغذ، ویژگی‌های ریخت‌شناسی الیاف بازیافتی بزرگ‌ترین چالش تولید کاغذهای بازیافتی است [۱۴].

کاغذهای تولید شده از فرآیند بازیافت شامل انواع و اقسام کاغذهای تولیدی، مانند کاغذهای تاپ لاینر^۴، تست لاینر^۵ و فلوتینگ^۶ بوده که در صنایع بسته‌بندی کاربرد فراوان دارد و برخلاف کاغذهای بکر، نوع الیاف حاصل از گونه چوبی یا غیرچوبی به کار رفته در آن، فراوان و نامعلوم می‌باشد. با توجه به این موضوع که بخش قابل توجهی از ویژگی‌های کاغذهای تولیدی علاوه بر فرآیند تولید، به ویژگی‌های الیاف به کار گرفته شده مربوط است، به همین دلیل کارخانه‌های تولیدکننده کاغذ، به ویژه کارخانه‌هایی که برای تولید محصولات خود از بازیافت کاغذهای باطله بهره می‌برند، نیازمند آگاهی بیشتری از منابع اولیه به کار گرفته شده در تولید کاغذ دارند تا بتوانند نقش بهتری در بهبود

کیفیت تولید کاغذهایی که در فرآیند بازیافت تولید می‌شوند، ایفاء کنند.

کاغذهای بازیافتی تحت تأثیر مکرر مواد شیمیایی، دما، فشار و خشک‌شدن متوالی، ویژگی‌های میکروسکوپی با ارزش خود برای شناسایی الیاف تشکیل‌دهنده خود را از دست می‌دهند. از این‌رو، توجه را باید بر روی ویژگی‌های ساختاری قابل رؤیت دیگری همانند منافذ محل تقاطع در سوزنی‌برگان و آوندها در پهن‌برگان متمرکز نمود. در گیاهان غیرچوبی نیز شناسایی الیاف بیشتر بر روی سلول‌های پارانشیمی^۷، سلول‌های اپیدرمال^۸، عناصر آوندی و شکل عمومی الیاف صورت می‌گیرد [۳].

۳-۲- ابعاد الیاف

ابعاد الیاف شامل اندازه‌گیری طول و قطر، ضخامت دیواره و قطر حفره الیاف می‌باشد که در بین این ابعاد، طول و ضخامت دیواره سلولی نقش مهم‌تری در ساخت کاغذ دارند. اندازه‌گیری طول الیاف بر اساس آخرین نسخه استاندارد^۹ TAPPI (T 232 cm-13) [۱۵] انجام می‌شود. در این استاندارد، تعیین میانگین وزنی طول الیاف^{۱۰} به دلیل حذف اثر قابل توجه الیاف با طول کمتر از ۰/۲ میلی‌متر بر میانگین حسابی طول الیاف می‌باشد که این اثر برای خمیرکاغذهای بازیافتی و مکانیکی به دلیل کوتاه شدن و خرد شدن الیاف شدیدتر است [۱۶]. علاوه بر اهمیت طول فیبر در گونه‌های مختلف، درصد فیبر نیز برای تولید کاغذ اهمیت زیادی دارد. مثلاً عنبرسائل^{۱۱} با ۲۶ درصد کمترین مقدار فیبر و توس کاغذی با ۷۶ درصد فیبر بیشترین مقدار در بین پهن‌برگان را به خود اختصاص داده‌اند. یکی از کلیدهای دیگر تشخیص وجود الیاف پهن‌برگ در خمیر کاغذ عناصر آوندی^{۱۲} هستند. گرچه در

7- Parenchyma Cells

8- Epidermal Cells

9- Technical Association Pulp and Paper Industry

10- Average Weighted Fibre Length (AWFL)

11- American sweetgum

12- Vessel Elements

1- Esparto

2- Microfibrill

3- Coating

4- Top Liner

5- Test Liner

6- Fluting

علائم مؤثر آناتومی^۱ در شناسایی گونه‌ها، طی فرآیند خمیر و کاغذ از بین می‌رود [۴].

در ایران تحقیقات چندان قابل توجهی بر روی شناسایی الیاف چوبی و غیرچوبی صورت نگرفته است [۳]. نتایج بررسی الیاف بازیافتی^۲ (OCC) نشان داد که الیاف دارای پراکنش نایک‌نواخت طولی بوده و بیش از ۸۵ درصد الیاف، میانگین طول کمتر از یک میلی‌متر و در دامنه ۰/۶۵-۰/۴۷ میلی‌متر دارند. این نایک‌نواختی توزیع طول الیاف و میانگین پایین آن علت افت ویژگی‌های مقاومتی کاغذ عنوان شده است. همچنین رنگ‌آمیزی الیاف با معرف رنگی گراف C^۳ نشان داد که بخش عمده الیاف، در حدود ۹۱/۷۲ درصد مربوط به خمیر کرافت^۴ و بیشتر از منابع سوزنی برگ (۳۳/۳۳ درصد) می‌باشد [۱].

شناسایی الیاف کاغذ برخلاف چوب ماسیو^۵ به سبب تخریب بافت‌های گیاهی در فرآیند تولید کاغذ (تحت تأثیر مواد شیمیایی، فشار و دما) و تجزیه ساختار سه بعدی و حذف برخی از علائم آناتومیکی^۶ مؤثر در شناسایی عملی دشوار است. تخریب و حذف عوامل شناسایی الیاف فقط به نوع فرآیند تولید خمیر کاغذ محدود نشده و سایر عملیات فرآوری نظیر: پالایش و رنگبری نیز در تخریب الیاف تأثیرگذار است. به طور مثال با افزایش شدت پالایش، الیاف اغلب شکسته می‌شوند و پیدا کردن منافذ محل تقاطع^۷ یا پونکتواسیون‌های^۸ روی عناصر آوندی برای شناسایی نوع گونه‌های چوبی بسیار مشکل می‌شود [۴].

معمولاً الیاف سوزنی‌برگان از سایر منابع لیفی به واسطه اندازه و طرح‌های دیواره سلولی (پونکتواسیون و ضخامت ماریچی) به راحتی شناسایی می‌شوند. در چوب

طی فرآیندهای مختلف آماده‌سازی الیاف به خصوص الیاف بازیافتی، آوندها به دلیل کوچک بودن از خمیر خارج می‌شوند؛ اما در برخی از گونه‌ها مثل: بلوط و پهن‌برگان مناطق حاره‌ای که آوندها بزرگ هستند، ممکن است بقایایی از آن‌ها وجود داشته باشد که صرف‌نظر از ارزش شناسایی، در صورت قرار گرفتن در سطح، می‌تواند باعث بروز مشکلاتی مثل کنده شدن از سطح کاغذ در حین چاپ شود. انتخاب ترکیب مناسب الیاف برای ایجاد اتصالات بین لیفی خوب، باعث مقاومت مناسب کاغذ در جهت Z خواهد شد که در نتیجه به حفظ آوندها در محل چسبیدن به ورق کاغذ کمک می‌کند.

الیاف از نظر ضخامت دیواره به سه دسته تقسیم می‌شوند:

- ۱- الیاف با دیواره بسیار نازک ($2T < 3C$) مثل ساقه ذرت
- ۲- الیاف با دیواره نازک تا ضخیم ($2T > 3C$) مثل خانواده بید
- ۳- الیاف با دیواره بسیار ضخیم مثل خانواده زیتون.

۲-۴- شناسایی الیاف

در شناسایی گونه چوبی خمیر کاغذ، جزئیات میکروسکوپی در خمیر شیمیایی پر بازده، رنگبری و پالایش نشده بهتر حفظ می‌شود. الیاف گونه چوبی سوزنی‌برگ و پهن برگ موجود در خمیر شیمیایی یا مکانیکی را اغلب می‌توان با کمک معرف‌های رنگی شناسایی یا تفکیک کرد، اما به وسیله رنگ‌آمیزی نمی‌توان به تنهایی نوع گونه یا جنس را شناسایی کرد و این کار را باید با کمک اطلاعات ساختمان چوب‌های پهن‌برگ یا سوزنی‌برگ انجام داد.

بسیاری از ویژگی‌های ریخت‌شناسی مهم در شناسایی نظیر: وجود یا عدم وجود مجاری مترشحه صمغی و نحوه گذر از چوب به‌اره به تابستانه در سوزنی‌برگان، نحوه قرارگیری آوندهای چوب تابستانه در برش عرضی و شکل ظاهری اشعه چوبی در پهن‌برگان و دسته‌های چوب و آوند در گیاهان غیرچوبی و سایر

- 1- Anatomical Effective Features
- 2- Old Corrugated Container
- 3- Graff C
- 4- Kraft
- 5- Massive Wood
- 6- Anatomical Features
- 7- Cross Fiehd
- 8- Douglas Fir

سوزنی‌برگان، پنج نوع پونکتواسیون در میدان تلاقی (محل تلاقی تراکتید طولی با اشعه پارانیشیم) وجود دارد که در شناسایی الیاف چوب و خمیرکاغذ بسیار با ارزش می‌باشند. شکل، اندازه و تعداد پونکتواسیون جنس‌های مختلف سوزنی‌برگ با توجه به محل آن‌ها در چوب کامل و جوان و نیز چوب آغاز و پایان متفاوت می‌باشد. برای شناسایی سوزنی‌برگ، شخص آنالیزگر باید با این تغییرات آشنایی داشته باشد. برخی از گونه‌ها به وسیله ضخامت‌های مارپیچی (دوگلاس^۱)، الیاف بلند و پونکتواسیون‌ها (سکویا^۲) یا الیاف بلند و باریک و پونکتواسیون‌ها (برخی از سدرها) به سادگی شناسایی می‌شوند [۱۷].

شناسایی گونه‌های پهن‌برگ به دلیل تشابه مرفولوژی^۳ و ساختمان الیاف آن‌ها کاری مشکل است. شناسایی برخی از گونه‌ها به دلیل این که عناصر آوندی در خمیرکاغذ آن‌ها ذاتاً کمیاب است، مشکل‌تر از بقیه می‌باشد. پهن‌برگان بخش روزنه‌ای (مثل بلوط‌ها و زبان گنجشک) بهترین مثال در این مورد هستند. در این گونه‌ها، عناصر آوندی بزرگ و نسبتاً کم چوب آغاز به آسانی تخریب یا متلاشی می‌شود و عناصر آوندی کوچک چوب پایان نیز معمولاً مشخص نیست. شناسایی گونه‌های پراکنده آوند نسبت به سایر پهن‌برگان آسان‌تر است. عناصر آوندی آن‌ها معمولاً زیاد بوده و تنوع طرح دیواره آوند موجب شناسایی جنس و حتی گونه آن‌ها می‌شود. آنالیز^۴ کمی گونه‌های پهن‌برگ در خمیرکاغذ عملی نیست. برای مخلوطی از خمیرهای متعارف و فقط برخی از مواقع برای شناسایی ساده‌ترین مخلوط پهن‌برگ این کار امکان‌پذیر است. این آنالیز به شمردن عناصر قابل تشخیص نیاز دارد.

در مخلوط خمیر کاغذ پهن‌برگ- سوزنی‌برگ، تعیین کمیت کلی میزان پهن‌برگ در بیشتر مواقع امکان‌پذیر است. به منظور تعیین ترکیب گونه‌های مورد استفاده در خمیر

کاغذ، دو نسبت عددی و وزنی الیاف سوزنی‌برگ (S) به الیاف پهن‌برگ (H) و گیاهان غیرچوبی (N) یعنی S/HN می‌تواند اندازه‌گیری شود.

الیاف غیرچوبی مثل الیاف گیاهان غیرچوبی، الیاف مصنوعی، الیاف معدنی و برخی از الیاف حیوانی در انواعی از خمیر کاغذ یا محصولات کاغذی یافت می‌شوند.

۲-۵- آماده‌سازی و روش شناسایی الیاف

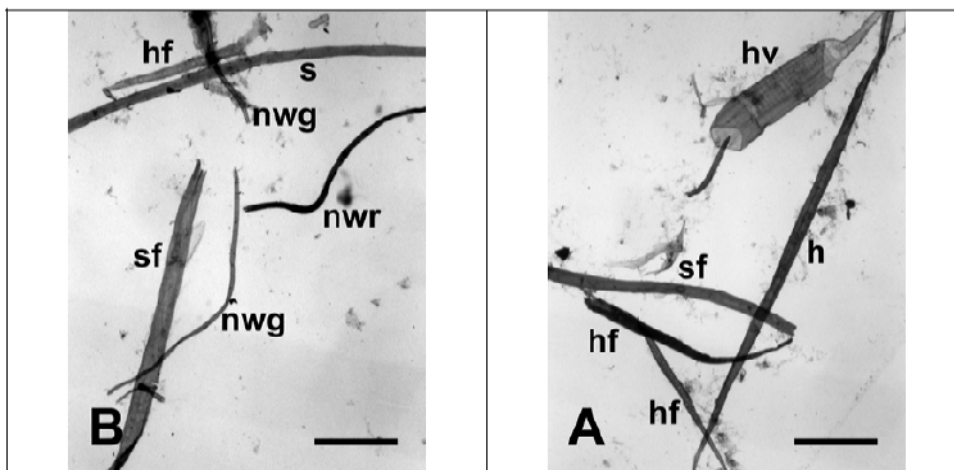
آماده‌سازی نمونه‌ها جهت شناسایی الیاف بر اساس استاندارد T 401 om-03 انجام می‌شود. در سوزنی‌برگان تراکتیدهای چوب بهاره، نوع و تعداد پونکتواسیون‌های موجود در محل تقاطع، تراکتیدهای عرضی و تعداد ردیف‌های پونکتواسیون‌های تراکتید طولی و در پهن‌برگان شکل ظاهری آوند (پونکتواسیون‌های روی آن و دریچه آوندی)، ضخامت مارپیچی، وازی سستریک تراکتید و سکولار تراکتید و در غیر چوبی‌ها شکل آوندها، نوع پارانیشیم‌ها، نوع سلول‌های اپیدرمی و شکل عمومی الیاف مهم‌ترین ویژگی‌های آناتومی در شناسایی محسوب می‌شوند. شناسایی الیاف پهن‌برگ به سبب اینکه تنوع ساختار سلولی آن‌ها نسبت به سوزنی‌برگان و حتی غیر چوبی‌ها بیشتر است، ساده‌تر می‌باشد. شناسایی الیاف کاغذهایی که تعداد دفعات بیشتری بازیافت شدند و یا تحت اثر پالایش و کوبیدن تخریب شدند نسبت به الیاف کمتر بازیافت شده مشکل‌تر می‌باشد.

شناسایی جنس و گونه الیاف بر مبنای عوامل تشخیص در عناصر سلولی برای سوزنی‌برگان بر اساس استاندارد T 263 sp-02 و برای گیاهان غیرچوبی بر مبنای استاندارد T 259 sp-05 صورت می‌گیرد. شکل (۲) مقایسه‌ای بین الیاف کاغذ لاینر بازیافتی و کاغذ کنگره‌ای وسط کارتن را با عکس میکروسکوپی نشان می‌دهد. هر سه نوع الیاف سوزنی‌برگ، پهن‌برگ و غیرچوبی در این شکل مشخص است. شناسایی این الیاف بر اساس روش‌های استاندارد ذکر شده با استفاده از کلیدهای ریخت‌شناسی و عوامل

- 1- Sequoia
- 2- Morphology
- 3- Morphology
- 4- Analysis

هرزبرگ^۲، سلگر^۳ و ویلسون^۴ برای شناسایی الیاف در استاندارد T 401 om-03 آورده شده است. بر اساس نتایج به دست آمده از تحقیق نیک‌سرشت سیگارودی و همکاران (۱۳۹۰) بر روی شناسایی الیاف (OCC)، فراوان‌ترین گونه‌های شناسایی شده از سوزنی‌برگان شامل: کاج‌ها^۵

شناسایی صورت گرفته است. تفاوت عمده در ویژگی‌های ریخت‌شناسی الیاف این دو نوع کاغذ مورد استفاده در بسته‌بندی به جز ضخامت دیواره سلولی وجود دارد. اختلاف زیاد بین کاغذ کرافت لاینر و تست لاینر وجود دارد در حالی که این اختلاف بین سایر کاغذهای بسته‌بندی کمتر است.



شکل ۲- مقایسه بین الیاف دو نوع کاغذ بازیافتی (لاینر بازیافتی: A و کاغذ کنگره‌ای وسط: B)

h: الیاف پهن‌برگ - hf: بخشی از الیاف پهن‌برگ - hv: عناصر سلولی پهن‌برگ (صنوبر) - s: الیاف سوزنی‌برگ - sf: بخشی از الیاف سوزنی‌برگ - nwg: الیاف غیرچوبی (علف‌ها) - nwr: الیاف غیرچوبی (پارچه کهنه) - مقیاس: ۱۸۰ میکرون منبع: [۱۸]

پیشه‌آ^۶ و لاریکس^۷ و از پهن‌برگان توسکا^۸، غان^۹، راش^{۱۰}، گونه‌های صنوبر^{۱۱}، ممرز^{۱۲} و بلوط^{۱۳} و از غیرچوبی‌ها کاه گندم، ذرت و پنبه بودند. گونه‌های سوزنی‌برگ نظیر: کاج‌ها، پیسه‌آ و لاریکس و گونه‌های پهن‌برگ نظیر: غان، نارون‌ها، اکالیپتوس، آکاسیا^{۱۴}، ماگنولیا^{۱۵}، نیسا که جزو گونه‌های بومی ایران نبوده و

الیاف سوزنی‌برگ به سبب ویژگی‌های مناسب مورفولوژیک^۱، به خصوص نسبت طول به قطر بالایی که دارند از کشورهای خارجی وارد شده و به منظور افزایش ویژگی‌های مکانیکی کاغذهای تولید شده در کارخانجات داخل کشور که اغلب از پهن‌برگان بومی شمال ایران و کاغذهای باطله استفاده می‌کنند، مخلوط می‌گردند. مطابق با نتایج، گونه‌های کاج را که از فراوان‌ترین گونه‌های سوزنی‌برگ شناسایی شده در نمونه‌های کاغذ بودند می‌توان به سبب تنوع گونه‌ای بالا نسبت به سایر گونه‌های سوزنی‌برگ دانست. الیاف غیرچوبی مشاهده شده در نمونه‌های (OCC) عمدتاً از گروه الیاف علفی نظیر: کاه گندم، ذرت، برنج و باگاس بودند [۳].

گاهی مواقع استفاده از رنگ‌ها برای تأیید نوع الیاف غیرچوبی و نیز نوع روش خمیرسازی می‌تواند مفید باشد. نحوه استفاده از معرف‌های رنگی مختلف مثل: گراف C،

- 2- Herzberg
- 3- Selleger
- 4- Wilson
- 5- Pinus spp
- 6- Picea spp
- 7- Larix spp
- 8- Alnus spp
- 9- Betula spp
- 10- Fagus orientalis
- 11- Populus spp
- 12- Carpinus Betulus
- 13- Quercus spp
- 14- Acacia
- 15- Magnolia

وجود آن‌ها در الیاف کاغذهای تولیدی را می‌توان به استفاده از کاغذهای باطله و الیاف وارداتی نسبت داد.

هولی^۱ (۱۹۹۰) به بررسی روش‌های جداسازی و شناسایی الیاف پهن‌برگ و سوزنی‌برگ در کاغذ پرداخت و مهم‌ترین عواملی را که می‌تواند در شناسایی هر یک از آن‌ها مفید باشد، مورد بررسی قرار داد. وی پونکتواسیون‌های میدان تقاطع و تراکئیدهای بهاره را در سوزنی‌برگ و نوع پونکتواسیون‌های دیواره آوندی و نوع دریچه آوندی را مهم‌ترین عوامل شناسایی در پهن‌برگ تشخیص داد [۱۹].

ادماپولوس^۲ و همکاران (۲۰۰۶) ۱۵ نوع کاغذ بسته‌بندی شامل ۷ نوع لاینر و ۸ نوع کنگره‌ای را از کارخانه‌های مختلف کشور اسپانیا جمع‌آوری و بعضی از الیاف به کار رفته در تولید کاغذ را تا حد جنس و بعضی دیگر را تا حد گونه شناسایی نمودند. در نمونه‌های مورد بررسی تعداد گونه‌های پهن‌برگ و غیرچوبی شناسایی شده (۳ تا ۱۱ گونه) به مراتب از گونه‌های سوزنی‌برگ (۲ تا ۷ گونه) بیشتر بود. به جز کاغذ کرافت لاینر، در همه کاغذها بخش اصلی را الیاف پهن‌برگ تشکیل می‌داد. وجود الیاف غیرچوبی که عمدتاً شامل علوفه‌ای‌ها^۳ بودند حاکی از وجود الیاف بازیافتی در این کاغذها تلقی شد که با توجه به وارد کردن کاغذهای باطله توسط تولیدکنندگان کاغذهای بسته‌بندی از سایر کشورها، بدیهی است.

۳- نتیجه‌گیری

به دلایل زیست‌محیطی استفاده از کاغذهای بازیافتی در صنایع بسته‌بندی رو به افزایش است. کاغذهای بسته‌بندی کارتن باید به منظور حمایت و حفاظت از محموله بسته‌بندی شده دارای مقاومت‌های مناسبی باشند. وجود الیاف مختلف در کاغذهای بازیافت شده، بسته‌بندی می‌تواند ویژگی‌های مورد نیاز را به نحو قابل توجهی تغییر دهد. برای ارزیابی

بهرتر عملکرد این الیاف در کاغذهای بسته‌بندی، شناسایی و تعیین ضرایب کاغذسازی، ضمن یک پیش‌بینی ساده می‌تواند روش مناسب برای ارتقای ویژگی‌ها و در نتیجه عملکرد کاغذهای بسته‌بندی را فراهم آورد. این پیش‌بینی ضمن تأمین نیازمندی‌های این نوع کاغذها، از نظر کاهش هزینه‌های تولید نیز می‌تواند اهمیت داشته باشد. جداسازی کاغذهای باطله و اختلاط آن‌ها بر اساس نوع الیاف و ویژگی‌های ریخت‌شناسی یکی از راهکارهای جدید در تعیین ترکیب خمیر آماده^۴ برای ساخت انواع کاغذهای بسته‌بندی است که البته بسیار تخصصی و مشکل است. کارشناسان بخش کنترل کیفیت کارخانه‌های تولید کاغذهای بسته‌بندی داخل کشور به وسیله گذراندن دوره‌های تخصصی شناسایی الیاف مورد استفاده در صنایع کاغذسازی و نیز کسب تجربه در این زمینه می‌توانند اسباب کاربرد این مهارت را برای ارتقای کیفیت کاغذهای بسته‌بندی فراهم آورده و زمینه صادرات محصول با این کاغذهای مناسب برای بسته‌بندی را ایجاد نمایند.

۴- منابع

۱. رودی، ح.ر. و همزه، ی. (۱۳۹۴). «شناسایی پارامترهای کیفی و کمی کاغذسازی الیاف خمیر OCC»، مجله صنایع چوب و کاغذ ایران، دوره ۶، شماره ۲.
۲. مهدوی، س. و حبیبی، م.ر. (۱۳۸۳)، «بررسی مقایسه‌ای ابعاد فیبر چوب تنه با شاخه گونه ممرز (*Carpinus betulus L.*)»، نشریه صنایع چوب و کاغذ ایران، دوره ۶، شماره ۲.
۳. صفدری، و.ر.، نیک‌سرشت سیگارودی، حسینی هاشمی، س.خ.، سپیده‌دهم، ج. و گلچینفر، م. (۱۳۸۹). «شناسایی الیاف کاغذهای

- 1- Hoadley
- 2- Adamopulos
- 3- Grases

12. TAPPI, Species identification of nonwood plant fibers, T 259 sp-05, (2005). "Test methods", Tappi press.
13. Ince, P.J., (2004) "Fiber resources, In: Encyclopedia of Forest Sciences", Burley J., Evans J. and Youngquist J.A. (eds.), Elsevier Academic Press.
14. Mckinney, R.W.J. (1995) "Technology of Paper Recycling", Glasgow, UK, 1995.
15. TAPPI, Fiber length of pulp by projection, T 232 cm-05, (2005). "Test methods", Tappi press.
16. TAPPI, Fiber analysis of paper and paperboard, T 401 om-03, (2005). "Test methods", Tappi press.
17. TAPPI, Identification of wood and fibers from conifers, T 263 sp-02, (2005). "Test methods", Tappi press.
18. Adamopoulos, S., Martinez, E., and Ramirez, D., (2006). "Identification of Fiber Components in Packaging Grade Papers". IAWA Journal, 27(2):153-172.
19. Hoadley, R.B., (1990). "Identifying wood: accurate results with simple tools". Taunton press, Newtown, CT.
20. Celso Foelkel, (2007). "The eucalyptus fibers and the kraft pulp quality requirements for paper manufacturing. Eucalyptus book and newsletter, 42 p. http://www.eucalyptus.com.br/capitulos/ENG03_fibers.pdf
- بازیافتی»، فصلنامه علوم و فنون منابع طبیعی، سال پنجم، شماره ۲.
۴. نیک‌سرشت سیگارودی، م.، صفدری، و.، سپیده‌دم، ج. و حسینی هاشمی، س.خ. (۱۳۹۰). «شناسایی الیاف کارتن کنگره‌ای کهنه (OCC)»، نشریه صنایع چوب و کاغذ ایران، دوره ۲۶، شماره ۳.
5. Virtanen Y. and Nilson, S. (1993). "Environmental impacts of waste paper recycling, International Institute for Applied System Analysis, Earthscan Publ". Ltd, London.
6. Hunt, J.F., (1998). "New developments in molded pulp process & packaging II, Proc". Of IMPEPA, Chicago, Illinois.
7. Paavilainen, L., (1991). "Influence of morphological properties of wood fibers on sulfate pulp fibers and paper properties, Proc". of 1991 IPPC, Kona, Hawaii, 383-395.
8. Resalati, H., (2006). "Mixed hardwood CMP pulp reinforcement by wheat straw chemical pulps, in: TAPPI Engineering", Pulping and Environmental (EPE) Conference, TAPPI Press, Atlanta, GA, Paper No. 6-4
9. Veisi, A., and Mahdavi, S., (2016). "Mixing bleached white poplar and wheat straw chemimechanical pulps to improve the mechanical and optical characteristics", bioResources 11(2), 2987-2997.
10. Xu, E. C., Zhai, H., and Leng, J., (2008). "Synergistic effects between hardwood chemical mechanical pulp and nonwood fiber chemical pulp for printing/writing papers". Part 1: Aspen and wheat straw, Proceedings of 2nd International Papermaking and Environment Conference (IPEC), Tianjin, P. R. China, pp. 20-23.
11. Parham, R.A., and Gray, R.L., (1990). "The Practical Identification of Wood and Pulp Fibers", Atlanta, GA: Tappi Press.

آدرس نویسنده

استان البرز - کرج - حسین‌آباد راه آهن - بعد از سه راه واریان شهر - مرکز تحقیقات البرز - بخش تحقیقات علوم چوب و فرآورده‌های آن.