جنگل و فرآورده‌های چوب، مجله منابع طبیعی ایران
دوره ۶۹، شماره ۲، تابستان ۱۳۹۵

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۱۱/۲۳
تاریخ پذیرش: ۱۳۹٤/۰۲/۱۳

ص ٤٠٧-٤١٨

تأثیر افزودن خمیر سودای سرد جلبک سبزکلادوفورا به خمیر NSSC بر ویژگی‌های کاغذ فلوتینگ

❖ **مینا واحد***؛ کارشناس ارشد، دانشکدهٔ منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران
❖ **قاسم اسدپور اتوئی؛** استادیار، گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشکدهٔ منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران
❖ **نورالدین نظرنژاد؛** دانشیار، گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشکدهٔ منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران

چکیده

مادهٔ اولیه سلولزی برای تولید کاغذ در صنعت کاغذ سازی گیاهان چوبی، گیاهان غیرچوبی و کاغذهای بازیافتی می است.کمبود مادهٔ اولیهٔ سلولزی واقعیتی است که توسعهٔ صنایع چوب و کاغذ کشور را با چالش‌های عدیده روبه‌رو کرده است. در این تحقیق، منبعی جدید و در دسترس از الیاف سلولزی و گونه‌ای جلبک سبز به نام کلادوفورا برای تولید خمیرکاغذ معرفی شده است. از جلبک مذکور با روش سودای سرد، خمیر کاغذ تهیه شد و در درصدهای ۱۰، ۲۰ و ۳۰ با خمیر NSSC مخلوط و در نهایت کاغذ دست‌ساز به‌دست آمد و ویژگی‌های ساختاری و مقاومتی آن با خمیر خالص NSSC (شاهد) حاصل از چوب پهن‌برگان بررسی و مقایسه شد. نتایج نشان داد با توجه به ویژگی‌های مورفولوژیکی جلبک کلادوفورا، خمیر سودای سرد خالص حاصل، در مقایسه با خمیر NSSC دارای مقاومت کمتری است و همچنین با افزودن خمیر جلبک سبز در هر سه سطح ۱۰، ۲۰ و ۳۰ درصد به خمیر NSSC مقاومت کاغذ کاهش پیدا می‌کند، بنابراین برای تولید کاغذ فلوتینگ مناسب نیست. خمیرسودای سرد حاصل از جلبک سبز کلادوفورا را می‌توان در درصدهای مصرف کم با انواع خمیرها مخلوط و استفاده کرد.

واژگان کلیدی: جلبک سبز کلادوفورا، خمیر کاغذ نیمه شیمیایی سولفیت خنثی، سودای سرد، ویژگی‌های ساختاری، ویژگی‌های مقاومتی.

* نویسندهٔ مسئول، تلفن: ۰۹۱۱۵۷۰۶۳۸۷
Email: vahedmina1390@yahoo.com

مقدمه

در صنعت کاغذسازی مادهٔ اولیهٔ سلولزی تولید کاغذ گیاهان چوبی، گیاهان غیرچوبی، پسماندهای کشاورزی و کاغذهای بازیافتی است که در این بین منابع چوبی منابعی محدودند و صنعتگران ناچارند چوب مورد نیاز را وارد کنند. بیش از ۹۰درصد کالاهای بسته‌بندی شده در جعبه‌های ساخته شده از مقوای کنگره‌ای حمل می‌شوند، مانند: گوشت، پوشاک، دارو، محصولات کاغذی، کالاهای سنگین و .... استحکام مقوای کنگره‌ای نسبت به وزن آن زیاد است که علت آن ویژگی‌های کاغذ و ساختار کنگره‌ای است [۱]. در حال حاضر متوسط رشد سالانهٔ تقاضای جهانی برای محصولات کاغذ و مقوا ۲/۲ درصد است و پیش‌بینی می‌شود مصرف این محصولات تا سال ۲۰۱۵ میلادی به ٤٥٠ میلیون تن برسد [۲]. امروزه به‌دلیل تخریب بیش از حد جنگلها و فشارهای زیست‌محیطی موجود، استفاده از الیاف ثانویه یا دست‌دوم گسترش بسیار زیادی پیدا کرده و در حدود ٤٨ درصد از تولید خمیرکاغذ را به خود اختصاص داده است [۲]. گیاهان غیر چوبی نیز در حال حاضر حدود ۱۰ درصد از تولید خمیرکاغذ را به خود اختصاص داده‌اند و رشد تولید خمیرکاغذ از این منابع در سالهای اخیر کاملاً واضح بوده است. این موضوع ضرورت استفاده از گیاهان غیر چوبی را به‌عنوان مادهٔ اولیهٔ مناسب برای این صنعت مشخص می کند [۲]. یکی از گیاهان غیر چوبی که قابلیت استفاده در این صنعت را دارد الیاف جلبکهای آب‌های شیرین یا شور است. جلبک‌ها با توجه به تنوع و گستردگی پراکنش تأثیر زیادی در محیط زیست و چرخه‌های اکولوژیکی دارند. به‌دلیل برخی مشکلات زیست‌محیطی ناشی از حضور جلبک‌ها در آب جلبک‌ها تهدید تلقی می‌شود، ولی با توجه به ویژگی‌های رشته‌های الیاف جلبک‌ها و دارا بودن منابع کربوهیدراتی سلولز و همی‌سلولز و نیز انواع پروتئین‌های قابل استفاده تقاضای گسترده‌ای برای استفادهٔ صنعتی از لجن جلبک‌ها ایجاد شده است. در این پژوهش به بررسی ظرفیت‌های مناسب و کاربردی الیاف جلبک سبزکلادوفورا برای کاربرد در خمیر NSSC پرداخته شده است.

جلبک‌ها موجوداتی ساده و دارای کلروفیل هستند. دیوارهٔ یاخته‌ای در جلبکها به‌طور معمول از دولایه تشکیل شده است لایهٔ بیرونی ژلاتینی است و از مواد پکتینی ساخته شده و در آب گرم حل می‌شود. لایهٔ درونی از جنس سلولز است که در آب گرم نامحلول است. لایه‌های داخلی و خارجی دیوارهٔسلولی از نظر ترکیب شیمیایی از پلی‌ساکاریدهایی نظیرسلولز، وپکتین و موسیلاژ تشکیل شده است. ممکن است مقادیری چربی و مواد پروتئینی نیز در ساختار دیواره وجود داشته باشد. جلبکها از نظر سلولی به سه گروه پرسلولی ، تک‌سلولی وسیانو باکتری و نوع پرسلولی به چهار گروه سبز، قهوه‌ای، قرمز وسبزآبی تقسیم می شوند. سه گروه از گونهٔ جلبک‌ها با توجه به اجزای تشکیل‌دهندهٔ دیوارهٔسلولی آنها طبقه‌بندی شده‌اند [۳]:

گروه اول: شامل جلبک‌های سبز است که جزء اصلی دیواره‌های سلولی در آنها سلولز است و به‌طورمعمول بسیار کریستالی است . این جلبک‌ها به گروه کلادوفورا تعلق دارند. کلادوفورا دارای درجهٔ کریستالیتهٔ بیش از ۹۵ درصد است [۳]. گروه دوم: متشکل از انواع جلبک سبزی است که سلولز در دیوارهٔسلولی آنها درجهٔ کریستالیتهٔکمتری دارد و زنجیرهٔ آنها به‌طور تصادفی جهت‌دار است [۳]. گروه سوم:

متشکل از انواع جلبک است که سلولز بخش بسیار کوچکی از دیوارۀسلولی آنها ست. از جلبک‌های معروف در این دسته می‌توان اسپیروژیر را نام برد [۳].

در زمینۀاستفاده از جلبک سبز در کاغذسازی در ایران اطلاعات چاپ‌شده‌ای در دسترس نیست. در خارج از کشور تعدادی از دانشمندان دربارۀ امکان ساخت کاغذ از جلبک نوع قرمز و گاه نوع سبز آن در اختلاط با برخی مواد آلی تحقیقاتی انجام داده‌اند.

بوم سئو و همکاران (۲۰۱۰) از دو گونه جلبک قرمز حاوی رشته‌های ریشه مانند می‌باشد تهیۀخمیرهای رنگبری‌شده استفاده کردند که می‌توان آنها را به‌عنوان مادۀخام برای کاغذسازی مصرف کرد. در این مطالعه از دوگونه جلبک قرمز خمیرهای رنگبری‌شده تهیه شد. استخراج کربوهیدراتها در دمای ۱۲۰ و ۱٤۰ درجۀسانتی‌گراد در حضور ۰/۵ درصد اسید اسید سولفوریک، و رنگبری خمیر حاصل طی دو مرحله به‌ترتیب توسط دی‌اکسید کلر و پراکسید هیدروژن انجام گرفت و در نهایت کاغذ دست‌ساز از خمیر رنگبری‌شدۀ جلبک قرمز و کاغذ دست‌ساز ٦۰ گرمی با نسبت‌های۵۰- ۵۰ از سوزنی‌برگ و پهن‌برگ براساس استاندارد TAPPIتهیه شد ومقایسۀ فیزیکی دو نوع خمیر تهیه‌شده انجام گرفت. از نتایج این مطالعه می‌توان به کاهش طول پارگی برای خمیر جلبک قرمز در مقایسه با خمیر چوب، افزایش صافی، ماتی و درجۀروشنی کاغذهای حاصل و کاهش سرعت آبگیری از خمیر جلبک قرمز به‌دلیل سطح ویژۀبالاتر و طول کوتاه‌تر الیاف جلبک اشاره کرد. نیز مشاهده شده که بازده خمیر جلبک قرمز تحت تأثیر دمای استخراج و تعداد مراحل هیدروژن پراکسید است، به‌طوری که با افزایش دما یا افزایش تعداد مراحل هیدروژن پراکسید برای دستیابی به درجۀروشنی بیشتر از ۸۰ درصد، بازده کاهش می‌یابد [٤]. وروریس و همکاران (۲۰۰۷) نیز دربارۀزیست‌تودۀ جلبکی آب شیرین، تفالۀلیمو و پرتقال به‌عنوان مکمل در مخلوط خمیر کاغذ دستمال کاغذی پژوهشی‌هایی انجام دادند. مشخص شد که هردو مادۀ آلی، لیگنین کم (۲ درصد یا کمتر) دارند، ولی مقدارسلولز و همی‌سلولز آنها متفاوت است، به‌طوری که مقدار همی‌سلولز جلبک آب شیرین سه برابر تفالۀ مرکبات و مقدار سلولز آن کمتر از تفالۀ مرکبات است؛ مورد بعدی اینکه هزینه هردو ماده (جلبک و تفالۀمرکبات) حدود ٤۵ درصدکمتر از خمیر مرسوم است در نتیجه کاهشی به اندازۀ ۰/۹ تا ٤/۵ درصد در قیمت کاغذ نهایی حاصل می‌شود. نتایج اندازه‌گیری مقاومت‌های گزارش‌شده حاکی از آن است که افزودن زیست‌توده جلبک به خمیر کاغذ مقاومت‌های مکانیکی از جمله طول پاره شدن، مقاومت به ترکیدن و مقاومت در برابر پاره شدن را تا حد زیادی افزایش می‌یابد، اما درجۀروشنی خمیر حاصل به‌طور معکوس تحت تأثیر کلروفیل کاهش می‌یابد. براساس مشاهدات علت افزیش طول پاره شدن را می‌توان به وجود پروتئین نسبت داد که بیش از٤۵ درصد جلبک خشک را به خود اختصاص می‌دهد. همچنین کیتین جزء اتصال‌دهندۀ معمول در جلبک سبز است که افزایش در مقاومت‌های مکانیکی می‌تواند به‌علت اتصال پروتئین با کیتین باشد. در مجموع می‌توان گفت جلبک‌ها مادۀ مکمل بهتری برای خمیر معمولی هستند و از تودۀ جلبک در خمیر کاغذ، اغلب برای افزایش قدرت مکانیکی استفاده می‌شود. تنها مشکل، کاهش درجۀروشنی است که با راهبرد مناسب بازار و تبلیغات از محصول نهایی و معرفی محصول جدید تحت عنوان دستمال کاغذی طبیعی یا زیست‌محیطی قابل حل است [۵].

مهرانیان (۲۰۱۰) مطالعاتی دربارهٔ ویژگی‌های ساختاری سلولز جلبک کلادوفورا و پتانسیل‌های استفاده از آن انجام داد. در سال‌های اخیر یک فناوری به‌سرعت روبه رشدی گسترش یافته که امکان تهیهٔ سوخت بیودیزل را از جلبک سبز فراهم می‌آورد و همچنین مصارف دیگر از جمله به‌عنوان غذای ماهی، الیاف تقویت‌کننده در مواد ساخت‌وساز و حامل داروا‌ز دیگر کاربردهای آن است. از دیگر مباحث مورد بررسی در این پژوهش می‌توان به ارتباط خواص کششی جلبک با فصل برداشت آن اشاره کرد، به‌طوری که دیوارهٔسلولی در اوایل و اواخر فصل ممکن است به‌طور کامل توسعه نیافته باشد؛ ازاین‌رو جلبک جمع‌آوری‌شده در این دوره ممکن است مقاومت به‌نسبت کمی داشته باشد. بیشترین خواص کششی انتظار می‌رود در جلبک‌های جمع‌آوری‌شده در اواسط فصل باشد [٦].

مواد و روش‌ها

به‌منظور تهیهٔخمیر سودای سرد از جلبک سبز کلادوفورا، مقداری از این جلبک از کانال آب مجاور آزمایشگاه صنایع چوب وکاغذ دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری جمع‌آوری و پس از حذف ناخالصی‌ها و شست‌وشو، در محیط طبیعی هوا خشک شد. در ادامه برای کوتاه‌تر شدن رشته‌های بسیار بلند جلبک، از دستگاه آسیاب استفاده و رشته‌های خشک‌شده به ذرات ریزتر تبدیل شد؛ سپس مقداری از آنها براساس وزن هواخشک‌شده در ظرف محتوی محلول ۳ درصد هیدروکسید سدیم به‌مدت یک ساعت خیسانده و آبکشی شد و در نهایت به‌منظوررنگبری به‌مدت ده دقیقه (تا زمان حذف رنگ سبز جلبک) در ظرف محتوی هیپوکلریت سدیم قرار گرفت و سپس بازده خمیرکاغذ یادشده محاسبه شد. از خمیر حاصل، کاغذ دست‌ساز با گراماژ ۲±۱۲۰ گرم بر متر مربع با استفاده از دستگاه کاغذساز براساس استاندارد TAPPIT205 sp-02 و همچنین مقدار مشخصی خمیر NSSC با مشخصات معلوم از کارخانه چوب و کاغذ مازندران تهیه شد. از خمیر حاصل، کاغذ دست‌ساز با گراماژ ۲± ۱۲۰ گرم بر متر مربع با استفاده از دستگاه کاغذسازتهیه شد. اندازه گیری خواص آناتومیک ۳۰رشته جلبک انجام گرفت و تصاویر با میکروسکوپ نوری با بزرگنمایی ٤٠x تهیه شد. بر روی کاغذهای دست‌ساز تهیه‌شده آزمون‌های مقاومتی از جمله مقاومت‌های کششی، مقاومت به ترکیدن، مقاومت در برابر پاره شدن، مقاومت در برابر عبور هوا انجام گرفت و ضخامت کاغذهای تهیه‌شده به ترتیب براساس استاندارد T494 om-06، T403 om-02،T414 om-04ومقاومت به لهیدگی کنگره‌ای براساس استاندارد T809 om-99 و مقاومت در برابر عبور هوا، ضخامت و دانسیته بنابراستانداردهایT460 om-06 و T411 om-05آزمایش شد [۷]. برای تجزیه‌وتحلیل نتایج، جدول تجزیهٔ واریانس ایجاد شد. گروه‌بندی دانکن به‌منظورتأیید تفاوت معنی‌دار بین گروه‌ها در سطح اطمینان ۹۵ درصد انجام گرفت.

نتایج و بحث

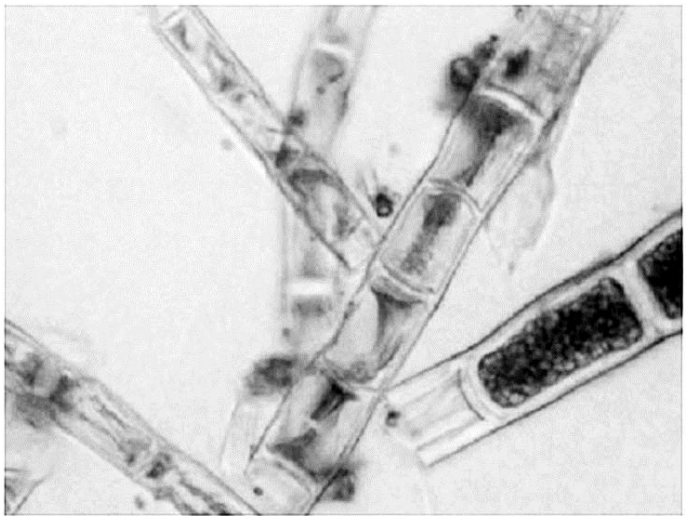
جدول ۱ میانگین ابعاد و ضرایب کاغذسازی رشته و سلول جلبک سبز کلادوفورا و همچنین ویژگی‌های فیزیکی از جمله ضخامت، دانسیته و گراماژ کاغذ را نشان می‌دهد. براساس جدول ۱ دیده می‌شود که ضخامت دیوارهٔسلولی جلبک کم است و همچنین ضریب درهم‌رفتگی در دو حالت رشته و سلول بسیار متفاوت است.

جدول ۱. میانگین ابعاد و ضرایب کاغذسازی رشته و سلول جلبک سبز کلادوفورا

تیمار	طول (mm)	تعداد سلول	قطر حفره (µ)	ضخامت دیواره (µ)	ضریب انعطاف‌پذیری	ضریب درهم‌رفتگی	ضریب رانکل
رشته جلبک کلادوفورا	۱/۹۳۴	۳۸	۲۰/۲۸	۳/۵۱	۷۴/۲۸	۷۰/۸۴	۳۴/۶۱
سلول جلبک کلادوفورا	۰/۰۵۳۷	–	۲۰/۲۸	۳/۵۱	۷۴/۲۸	۰/۱۹۶	۳۴/۶۱

جدول۲. مقایسه ویژگی‌های فیزیکی کاغذ NSSC و جلبک کلادوفورا

تیمار	ضخامت (µm)	گراماژ (g/m^2)	دانسیته (g/cm^3)	بالک (cm^3/g)
NSSC	۲۴۹/۳	۱۱۷	۰/۴۶۹	۲/۱۳
جلبک کلادوفورا	۲۴۶/۳	۱۱۳	۰/۴۵۸	۲/۱۸
بازده کلی خمیر جلبک کلادوفورا		٪۵۱/۵۱		



شکل ۱.رشته‌های جلبک سبز کلادوفورا با میکروسکوپ نوری بابزرگنمایی x40

ویژگی‌های مورفولوژیکی

اندازه‌گیری خواص آناتومیک روی ۳۰ رشته جلبک انجام گرفت که نتایج آن در جدول ۱ آورده شده است. الیاف از نظرطولی در سه سطح طبقه‌بندی می‌شوند: دستۀاول الیاف کوتاه با طول کمتر از ۰/۹ میلی‌متر، دستۀدوم الیاف متوسط با طول ۰/۹ تا ۱/۹ میلی‌متر و دستۀسوم الیاف با طول بیشتر از ۱/۹ میلی‌مترکه الیاف بلند محسوب می‌شوند [۸]. ملاحظه می‌شودکه طول الیاف رشته‌های جلبک در دستۀ دوم (طول ۰/۹ تا ۱/۹ میلی‌متر) قرار گرفته است. قطرالیاف درمورد الیاف کاغذ بیان‌کنندۀانعطاف‌پذیری الیاف درفرایند پالایش خمیرکاغذ است. در اینجا مشاهده می‌شود که الیاف جلبک از قطر به‌نسبت خوبی برخوردارند، اما ضخامت دیوارۀرشته‌های آنها بسیار کم است. ضخیم بودن دیوارۀ

سلولی سبب افزایش دانسیتهٔ فیبر می‌شود که این ویژگی تأثیرمستقیم درخواص مقاومتی الیاف از جمله مقاومت به پارگی دارد. هرچه دیوارهٔ الیاف ضخیم‌تر باشد، الیاف در برابر نیروهای مکانیکی واردشده از خود مقاومت بیشتری نشان می دهند و در برابر تغییر شکل نیز مقاومت می‌کنند. با افزایش ضخامت دیوارهٔسلولی، قابلیت انعطاف‌پذیری و مچاله شدن الیاف کم می‌شود [۸]. اما در مورد الیاف جلبک مشاهده می‌شود که ضخامت دیواره در مقایسه با سایر گونه‌ها بسیار کم است. بنابراین این موضوع می‌تواند در کمتر شدن مقاومت‌های خمیر وکاغذ تهیه‌شده از جلبک سبز مؤثر باشد.

ضریب درهم‌رفتگی: هرچه مقدار آن بیشترباشد، بیانگر بلندتر و لاغرتر بودن الیاف است. به‌طورکلی، ضریب درهم‌رفتگی الیاف مورد قبول در کاغذسازی باید بیشتر از ۳۳ باشد. هنگام تشکیل ورقهٔ کاغذ روی توری ماشین های کاغذسازی، الیاف بلندتر، بهتر روی توری قرار می‌گیرند. این عامل سبب افزایش کیفیت کاغذ ساخته‌شده می‌شود [۸]. باتوجه به ضریب درهم‌رفتگی جلبک (۷۰/۸٤) انتظار می‌رود کیفیت کاغذهای حاصل در حد متوسطی باشد، اما با توجه به ساختار منحصربه‌فرد رشته‌های جلبک که در شکل ۱ نشان داده شده، هر رشته از اتصال چندین سلول تشکیل شده که برای محاسبهٔ مقدار واقعی ضریب درهم‌رفتگی، طول هر سلول باید محاسبه شود. با توجه به جدول ۱، مقدار ضریب درهم‌رفتگی محاسبه‌شده برای رشته جلبک کلادوفورا برابر با ۷۰/۸٤ و برای هر سلول ۰/۱۹٦ است. همان‌طور که مشاهده می‌شود این ضریب برای هر سلول بسیار کمتر از هر رشته است، بنابراین می‌تواند در کاهش مقاومت‌ها مؤثر باشد.

ضریب انعطاف‌پذیری: از نظر ضریب انعطاف‌پذیری چهارگروه الیاف وجود دارند [۹]:

۱.الیاف بسیار الاستیک باضریب انعطاف‌پذیری بیشتر از ۷۵؛

۲.الیاف الاستیک با ضریب انعطاف‌پذیری ۷۵-۵۰؛

۳.الیاف صلب با ضریب انعطاف‌پذیری ۵۰-۳۰؛

٤.الیاف بسیار صلب با ضریب انعطاف‌پذیری کمتر از ۳۰.

میانگین ضریب انعطاف‌پذیری تعیین‌شده برای نمونه‌های مورد آزمایش جلبک کلادوفورا، ۷٤/۲۷ درصد محاسبه شد. هرچه این ضریب بیشتر باشد، مقاومت کاغذ دربرابرگسیخته شدن، ترکیدن و تاخوردن بیشتر می‌شود [۹].

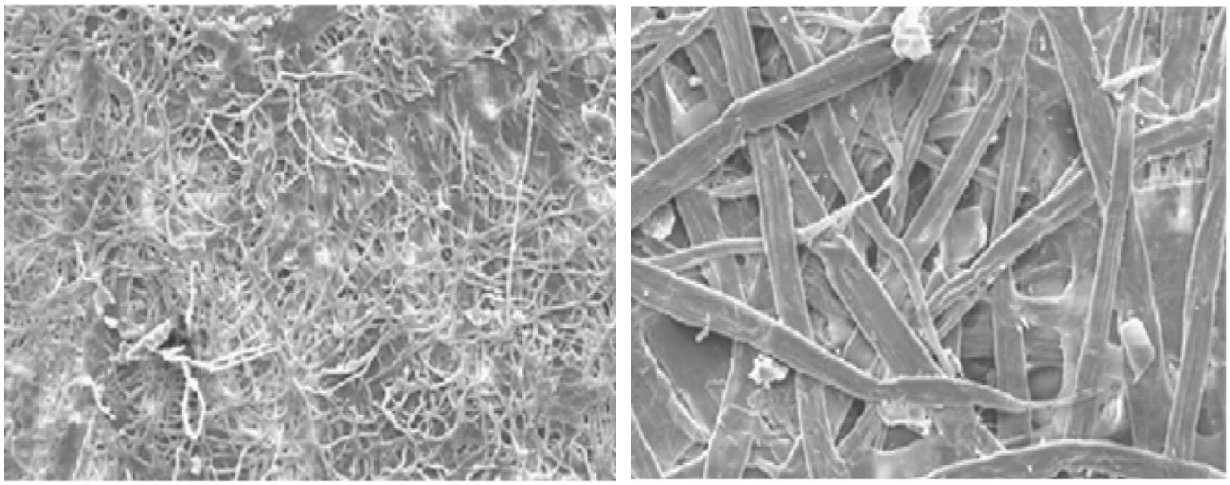
ضریب رانکل: میانگین ضریب رانکل برای یک رشته جلبک کلادوفورا ۳٤/٦۱ تعیین شد. هرچه این ضریب بزرگ‌تر باشد، مقاومت کاغذ در برابر پاره شدن بیشتر خواهد بود [۸]. البته این مطلب بیشتر در مورد الیاف چوبی صحت داشته و در مورد رشته جلبک کلادوفورا با توجه به ساختار رشته‌های جلبک کلادوفورا و ضخامت کم دیواره مطابق شکل ۱، صادق نیست. بدین ترتیب می‌توان انتظار داشت که کاغذهای ساخته‌شده از جلبک سبز به‌علت دیوارهٔسلولی بسیار نازک دارای مقاومت کمتری به پاره شدن باشند.

ویژگی‌های فیزیکی

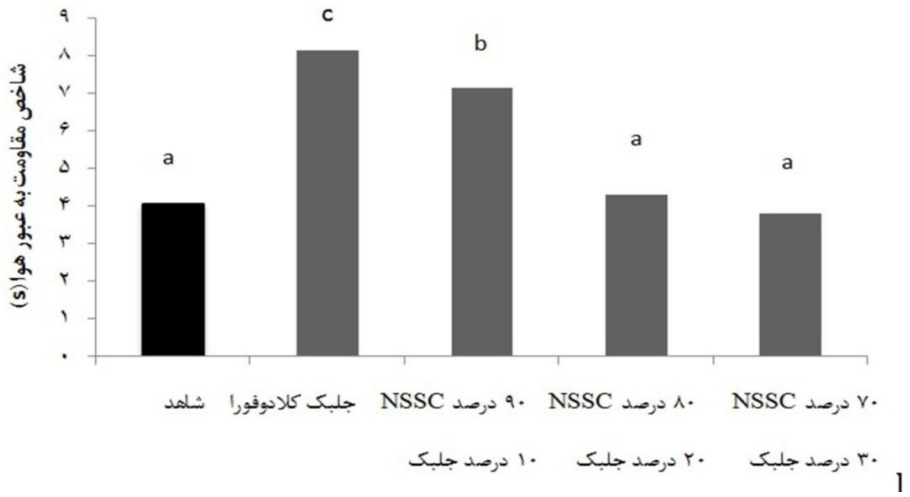
دانسیته: در جدول ۲ مشاهده می‌شود که هم ضخامت و هم گراماژکاغذ حاصل از خمیر جلبک کلادوفورا کمتر از NSSC است؛ بنابراین دانسیتهٔ کاغذ حاصل نیز کمتر خواهد بود. در واقع جلبک کلادوفورا کاغذ

حجیم‌تری تولید می‌کند. علت این امر ساختار رشته‌های جلبک است. رشته‌های جلبک کلادوفورا دارای ساختاری است که هر سلول به دلیل داشتن حفرهٔزیاد حالت بالکی دارد، بنابراین تولید کاغذ بالکی می‌کند.

مقاومت به عبور هوا: مقادیر مقاومت در برابر عبور هوای کاغذهای ساخته‌شده توسط آزمون تجزیهٔواریانس بررسی شد. نتایج نشان داد که بین مقادیر به‌دست‌آمده در سطح اعتماد ۹۵ درصد اختلاف معنی‌داری وجود دارد. بیشترین مقدار شاخص مقاومت در برابر عبور هوا براساس شکل ۵، مربوط به تیمار خمیر خالص جلبک کلادوفورا و کمترین آن مربوط به تیمار ۳۰ درصد خمیر جلبک و ۷۰ درصد خمیر NSSC است. با توجه به این نمودار، درصدهای ۲۰ و ۳۰ خمیر جلبک کلادوفورا و خمیر خالص NSSC هرسه در گروه a قرار دارند، یعنی افزودن خمیر جلبک کلادوفورا با مقادیر ۲۰ و ۳۰ درصد نمی‌تواند تغییر چشمگیری نسبت به نمونهٔ NSSC در میزان مقاومت به عبور هوا ایجاد کند. با توجه به پژوهش‌های بوم سئو و همکاران (۲۰۱۰) دربارهٔ خمیرهای شیمیایی حاصل از دو گونه جلبک قرمز و آنچه در تصویر میکروسکوپی از کاغذهای حاصل در شکل ۲ نشان داده شده، می‌توان به‌خوبی نتیجه گرفت که نازک بودن دیوارهٔ سلولی جلبک و زیادبودن ضریب انعطاف‌پذیری، سبب ایجاد صفحهٔکاغذی با همپوشانی بسیار زیاد و در نتیجه مسدود کردن منافذ کاغذ و در پی آن افزایش مقاومت به عبور هوا می‌شود. وقتی خمیر جلبک با خمیر به‌نسبت متخلخل NSSC مخلوط می‌شود، باز هم به‌دلیل ساختار متراکم کاغذ جلبک، مقاومت به عبور هوا افزایش می‌یابد. هنگامی که خمیر اصلی برای ساخت کاغذهای دست‌ساز فقط خمیر NSSC باشد، با وجود کمتر بودن درجهٔروانی خمیر، به‌دلیل ویژگی‌های مورفولوژیکی الیاف و ضخیم بودن دیواره‌های سلولی، منافذ کاغذ افزایش و در نتیجه مقاومت به عبور هوا کاهش می‌یابد.



شکل ۲. الیاف چوبی در کاغذ دست‌ساز ٦٠ گرمی (شکل سمت راست) و الیاف جلبک قرمز در کاغذ دست‌ساز ٦٠ گرمی(شکل سمت چپ) [٤]

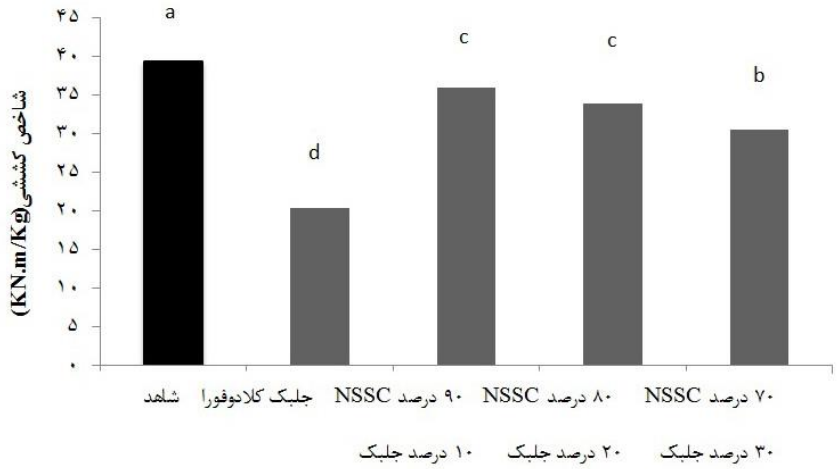


شکل ۳. آزمون و گروه‌بندی دانکن مقاومت به عبور هوا

ویژگی‌های مقاومتی

شاخص کششی

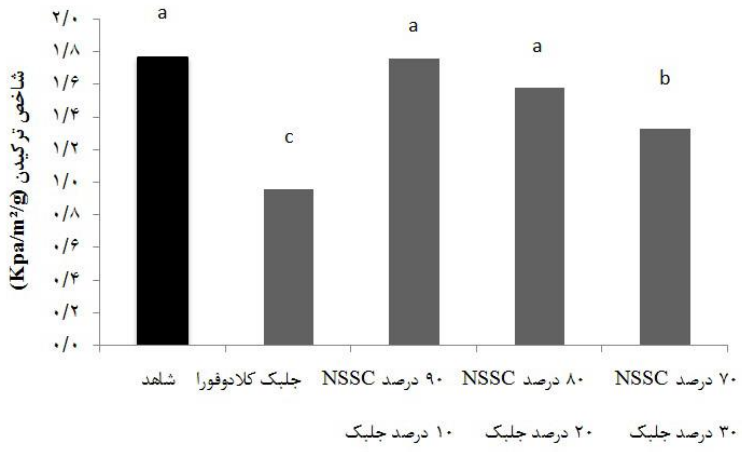
مقادیر شاخص کششی کاغذهای ساخته‌شده بررسی شد. نتایج نشان داد که بین مقادیر به‌دست‌آمده در سطح اعتماد ۹۵ درصد اختلاف معنی‌داری وجود دارد. بیشترین مقدار مربوط به خمیر NSSC وکمترین مقدار مربوط به تیمار خمیر خالص جلبک کلادوفورا است. با توجه به شکل ٤ مشاهده می‌شود که با افزایش درصد خمیر جلبک کلادوفورا در خمیر NSSC شاخص کششی به‌تدریج کاهش پیدا می‌کند. همان‌طور که دیده می‌شود درصدهای اختلاط ۱۰ تا ۹۰ و ۲۰ تا ۸۰ درصد هردو در گروه a قرار می‌گیرند،یعنی در سطح اعتماد ۹۵ درصد بین این دو اختلاف معنی‌داری وجود ندارد؛ اما با افزودن ۳۰ درصدی خمیر جلبک سبز کاهش معنی‌داری در شاخص کششی اتفاق می‌افتد. مهم‌ترین فاکتور مؤثر بر شاخص کششی کاغذ، تعداد و کیفیت اتصالات به یکدیگر است [۹]. در این مورد یکی از مهم‌ترین علت‌های کاهش مقدار مقاومت کششی درجهٔ کریستالیتهٔ زیاد جلبک کلادوفورا است که این امر سبب کاهش پیوندیابی الیاف و در نتیجه کاهش مقاومت‌های کاغذ می‌شود. علت دیگر کمتر بودن دانسیتهٔکاغذ،کمتربودن ضخامت دیوارهٔرشته‌های جلبک در مقایسه با الیاف چوبی است. کمتربودن ضخامت دیوارهٔسلولی، خود امکان اتصال و پیوند بین الیاف را کاهش می‌دهد و در نتیجه، شاخص کششی نیز کاهش می‌یابد. یکی دیگر از دلایل کاهش شاخص کششی،برداشت جلبک در اواخر فصل است. خواص کششی جلبک با فصل برداشت آن ارتباط ویژه‌ای دارد، به این صورت که دیوارهٔسلولی در اول فصل ممکن است به‌طور کامل توسعه نیافته باشد ازاین‌رو جلبک جمع‌آوری‌شده در این دوره ممکن است مقاومت به‌نسبت کمی داشته جلبک‌ها نیز خواص کششی ضعیفی دارند [٦]؛ بنابراین یکی از دلایل کاهش شاخص کششی را می‌توان به این موضوع باشد، به‌طور مشابه، دیوارهٔسلولی در رشته‌های جلبک به‌دست‌آمده در اواخر فصل ممکن است مسن باشد و در نتیجه این جلبک‌ها نیز خواص کششی ضعیفی دارند [٦]؛ بنابراین یکی از دلایل کاهش شاخص کششی را می‌توان به این موضوع نسبت داد.



شکل ٤. آزمون و گروه‌بندی دانکن شاخص کششی

شاخص ترکیدن

شاخص ترکیدن در درصدهای مختلف اختلاط خمیر جلبک کلادوفورا بررسی شد. اختلاف بین شاخص ترکیدن در تیمارهای مختلف با هم در سطح اعتماد ۹۵ درصد معنی‌دار بود. طبق شکل ۵ بیشترین شاخص ترکیدن مربوط به خمیرNSSC و کمترین آن مربوط به خمیر جلبک است وهمچنین با افزایش نسبت درصد خمیر جلبک سبز، این شاخص کاهش پیدا می‌کند. در مورد تیمار NSSC خالص، ۱۰ تا ۹۰ و ۲۰ تا ۸۰ درصد اختلاف معنی‌دار نبود و هرسه در گروه a قرار گرفتند، به این معنا که افزودن خمیر جلبک سبز به خمیر NSSC تا سطح ۲۰ درصد کاهش چشمگیری در میزان شاخص ترکیدن ایجاد نمی‌کند. همان‌طور که گفته شد، شاخص ترکیدن متأثر از طول الیاف، مقاومت الیاف و پیوند بین الیاف است و بیشتر به ضخامت دیوارۀسلولی و اتصال الیاف دارد [۱۰]. با توجه به ساختمان رشته‌های جلبک،کم بودن ضخامت دیوارۀسلولی علت اصلی کاهش این شاخص استونیز به‌دلیلطول بسیار کم هر تک سلول و نیزسست بودن اتصالات بین هر سلول نسبت به الیاف چوبی، امکان اتصال و پیوندهای بین الیاف کاهش می‌یابد و بنابراین شاخص ترکیدن نیز کاهش پیدا می‌کند.

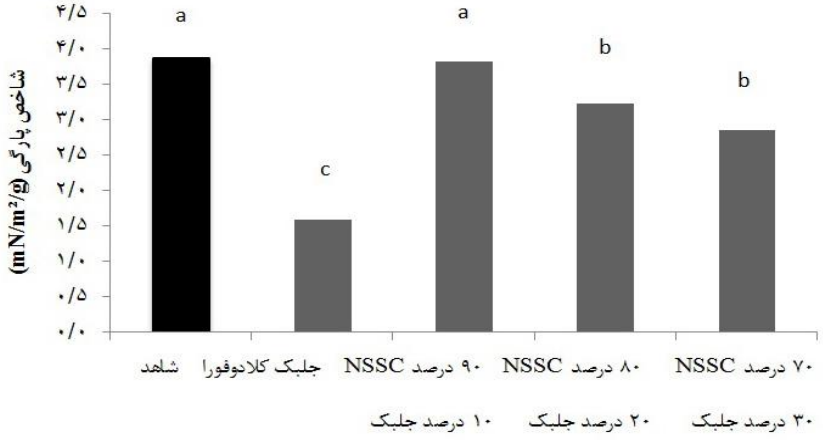


شکل ۵. نتایج آزمون و گروه‌بندی دانکن شاخص ترکیدن

شاخص پارگی

مشاهده می‌شود که بیشترین شاخص پارگی مربوط به خمیر NSSC و کمترین مقدار مربوط به خمیر خالص جلبک بوده است. با افزایش درصد خمیر جلبک سبز مقدار این شاخص نیز کاهش پیدا کرد. آزمون دانکن نشان داد که بین این مقادیر در سطح خطای آزمایش ۹۵ درصد اختلاف معنی‌دار آماری وجود دارد. طبق شکل ٦ خمیر NSSC و اختلاط ۱۰ درصدی خمیر جلبک با خمیر NSSC در یک گروه (a) و اختلاط ۲۰ و ۳۰ درصدی هم در یک گروه (b) قرار گرفتند. یکی از پارامترهای تأثیر گذار بر شاخص پارگی، طول الیاف است. افزایش نسبت الیاف بلند به الیاف کوتاه سبب افزایش این مقاومت می‌شود.

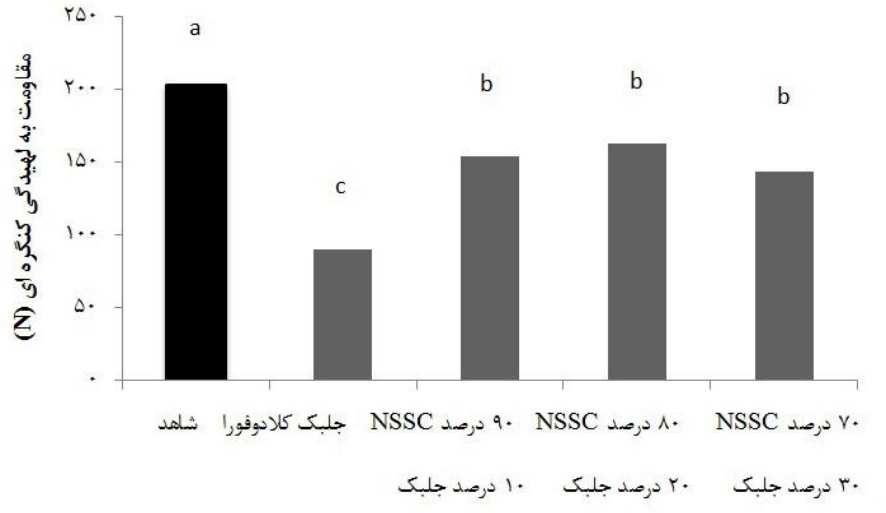
در زمینهٔشاخص پارگی در درجهٔاول ضخامت الیاف بسیار حائز اهمیت است و در درجهٔدوم قدرت اتصال بین الیاف. خمیر جلبک سبز به‌دلیل ساختمان ویژهٔ رشته‌های جلبک و نداشتن ساختمان واحد (هر رشته متشکل از چندین سلول) و اتصالات ضعیف، هم بین هر تک‌سلول با سلول مجاور و هم در شبکهٔکاغذ به‌دلیل ضخامت کمتر دیواره، تأثیر زیادی در کاهش این شاخص دارد.



شکل ٦. نتایج آزمون و گروه‌بندی دانکن شاخص پارگی

مقاومت به لهیدگی کنگره‌ای

شاخص مقاومت به لهیدگی کنگره‌ای در سطوح مختلف اختلاط خمیر جلبک کلادوفورا بررسی شد. اختلاف بین شاخص مقاومت به لهیدگی کنگره‌ای در تیمارهای مختلف در سطح اعتماد ۹۵ درصد معنی‌دار بوده‌است. براساس شکل ۷ اختلاط خمیر جلبک سبز با خمیر NSSC در سه سطح ۱۰، ۲۰ و ۳۰ درصد اختلاف معنی‌داری ندارند، اما مشخص است که با افزایش سهم خمیر جلبک سبز از مقدار این مقاومت کاسته شده است. ازآنجا که این آزمون مقاومت نمونهٔ نواری از لایه مواج را اندازه‌گیری می‌کند و به نوعی جهت اعمال نیرو عمود بر طول الیاف است،وجود الیاف بلند جلبک کلادوفورا که دیوارهٔسلولی نازکی دارند و در اثر فشار وارده له می‌شوند، سبب کاهش این مقاومت می‌شود؛ به همین دلیل این مقاومت در کاغذهای دارای درصد زیاد خمیر جلبک سبز، به‌طورمعنی‌داری نسبت به کاغذ فلوتینگ کاهش یافت.



شکل ۷. نتایج آزمون و گروه‌بندی دانکن مقاومت به لهیدگی کنگره‌ای

نتیجه‌گیری

در این تحقیق منبع جدیدی از الیاف سلولزی از گونه‌ای جلبک سبز به نام کلادوفورا برای تولید خمیرکاغذ معرفی شده است. نتایج نشان داد با فرایند تولید خمیر سودای سرد می‌توان از جلبک سبز کلادوفورا خمیر کاغذ تهیه کرد، ولی با توجه به ویژگی‌های مورفولوژیک رشته‌های جلبک سبز کلادوفورا و به‌خصوص کمتر بودن ضخامت دیوارهٔ رشته‌ها،کاغذی با ویژگی‌های مقاومتی ضعیف‌تر تولید می‌شود. همچنین با افزایش نسبت درصد ترکیب خمیر جلبک سبز به خمیر NSSC مقاومت‌های کاغذ کاهش پیدا کرد.

References

[1]. Scott, Villiam.E. (2003). Properties of paper: an introduction, Translated by Afra, A., Agricultural Sciences Press, Tehran,392p.

[2]. Jafari Petrudy, S. R. (2011). Capabilities using rice straw as a raw material in the paper industry. First National Conference on Agriculture and Natural Resources Waste, Science and Technology Park Guilan, June.

[3].Nicolai, E., and Preston, R. D. (1952). Cell wall studies in the chlorophyceae. A general survey of submicroscopic structure in Filamentous species. London, 140-244.

[4]. Bum Seo, Y., Woo Lee, Y., Han Lee, Ch., and Chul You, H. (2010). Red algae and their use in papermaking. Bioresource Technology,101: 2549–2553.

[5]. Ververis, C., Georghiou, K., Danielidis, D., Hatzinikolaou, D.G., Santas, P., Santas, R., and Corleti, V. (2007). Cellulose, hemicelluloses, lignin and ash content of some organic materials and their suitability for use as paper pulp supplements. Bioresource Technology, 98: 296–301.

[6]. Mihranyan, A. (2010). Cellulose from Cladophoras Green Algae: From Environmental Problem to High-Tech Composite Materials. Nanotechnology and Functional Materials, Department of Engineering Sciences, The Angstrom Laboratory, Uppsala University, Sweden,534: 75-121.

[7].Tappi Standard Test Methods. (2009). Tappi Press, Atlanta, GA. USA.

[8]. Hossein Zadeh, A., Fakhrian, A., Golbabaii, F., Mahdavi, S., andNajafi, A. (2000). Study of Mykroteka Eucalyptus wood pulp characteristics and their application. Wood and Paper Research, Institute of Forests and Rangelands, 58(4): 793-804.

[9]. Bektas, I., Tutus, A., and Eroglu, H.(1999). A study of the suitability of Calabrian pine (Pinus Brutiaten) for pulp and paper manufacture. International Journal of Agriculture and Biology, 23: 589-599.

[10]. Smook, G. A. (2003).Handbook of Pulp and Paper Technologists, Translated by Mirshokraei, S. A., Aeij Press, Tehran.