

جنگل و فرآورده‌های چوب، مجله منابع طبیعی ایران  
دوره ۷۹، شماره ۲، تابستان ۱۳۹۵

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۱۱/۲۳

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۰۲/۱۳

ص ۴۰۷-۴۱۸

## تأثیر افزودن خمیر سودای سرد جلبک سبز کلادوفورا به خمیر NSSC بر ویژگی‌های کاغذ فلوتینگ

- ❖ **مینا واحد\***: کارشناس ارشد، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران
- ❖ **قاسم اسدپور اتوئی**: استادیار، گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران
- ❖ **نورالدین نظرزاد**: دانشیار، گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران

### چکیده

ماده اولیه سلولزی برای تولید کاغذ در صنعت کاغذ سازی گیاهان چوبی، گیاهان غیرچوبی و کاغذهای بازیافتی می‌است. کمبود ماده اولیه سلولزی واقعی است که توسعه 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 خمیر کاغذ 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 به دست 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. خمیر سودای 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.

## مقدمه

در صنعت کاغذسازی ماده اولیه 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 ۹۰ درصد 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 سالانه تقاضای جهانی برای محصولات کاغذ و مقوا ۲/۲ درصد است و پیش‌بینی می‌شود مصرف این محصولات تا سال ۲۰۱۵ میلادی به ۴۵۰ میلیون تن برسد [۲]. امروزه به دلیل تخریب بیش از حد جنگلها و فشارهای زیست‌محیطی موجود، استفاده از الیاف ثانویه یا دست‌دوم گسترش بسیار زیادی پیدا کرده و در حدود ۴۸ 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 ماده اولیه مناسب برای این صنعت مشخص می‌کند [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. به دلیل 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 استفاده صنعتی از لجن جلبک‌ها ایجاد شده است. در این پژوهش به بررسی ظرفیت‌های مناسب و کاربردی الیاف جلبک سبزرکلا دوفورا برای کاربرد در خمیر NSSC پرداخته شده است.

جلبک‌ها موجوداتی ساده و دارای کلروفیل هستند. دیواره یاخته‌ای در جلبک‌ها به‌طور معمول از دولایه تشکیل شده است لایه بیرونی ژلاتینی است و از مواد پکتینی ساخته شده و در آب گرم حل می‌شود. لایه درونی از جنس سلولز است که در آب گرم نامحلول است. لایه‌های داخلی و خارجی دیواره سلولزی از نظر ترکیب شیمیایی از پلی‌ساکاریدهایی نظیر سلولز، و پکتین و موسیلاژ تشکیل شده است. ممکن است مقادیری چربی و مواد پروتئینی نیز در ساختار دیواره وجود داشته باشد. جلبک‌ها از نظر سلولزی به سه گروه پرسلولی، تک‌سلولی و سیانو باکتری و نوع پرسلولی به چهار گروه سبز، قهوه‌ای، قرمز و سبزی تقسیم می‌شوند. سه گروه از گونه جلبک‌ها با توجه به اجزای تشکیل‌دهنده دیواره سلولزی آنها طبقه‌بندی شده‌اند [۳]:

گروه اول: شامل جلبک‌های سبز است که جزء اصلی دیواره‌های سلولزی در آنها سلولز است و به‌طور معمول بسیار کریستالی است. این جلبک‌ها به گروه کلا دوفورا تعلق دارند. کلا دوفورا دارای درجه کریستالیت بیش از ۹۵ درصد است [۳]. گروه دوم: متشکل از انواع جلبک سبزی است که سلولز در دیواره سلولزی آنها درجه کریستالیت کمتری دارد و زنجیره آنها به‌طور تصادفی جهت‌دار است [۳]. گروه سوم:

بیشتر از ۸۰ درصد، بازده کاهش می‌یابد [۴]. وروریس و همکاران (۲۰۰۷) نیز درباره‌ی زیست‌توده‌ی جلبکی آب شیرین، تفاله‌لیمو و پرتقال به‌عنوان مکمل در مخلوط خمیر کاغذ دستمال کاغذی پژوهشی‌هایی انجام دادند. مشخص شد که هردو ماده‌ی آلی، لیگنین کم (۲ درصد یا کمتر) دارند، ولی مقدار سلولز و همی‌سلولز آنها متفاوت است، به‌طوری‌که مقدار همی‌سلولز جلبک آب شیرین سه برابر تفاله‌ی مرکبات و مقدار سلولز آن کمتر از تفاله‌ی مرکبات است؛ مورد بعدی اینکه هزینه هردو ماده (جلبک و تفاله‌ی مرکبات) حدود ۴۵ درصد کمتر از خمیر مرسوم است در نتیجه کاهشی به اندازه ۰/۹ تا ۴/۵ 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 درجه‌روشنی خمیر حاصل به‌طور معکوس تحت تأثیر کلروفیل کاهش می‌یابد. براساس مشاهدات علت افزایش طول پاره شدن را می‌توان به وجود پروتئین نسبت داد که بیش از ۴۵ درصد جلبک خشک را به خود اختصاص می‌دهد. همچنین کیتین جزء اتصال‌دهنده معمول در جلبک سبز است که افزایش در مقاومت‌های مکانیکی می‌تواند به‌علت اتصال پروتئین با کیتین باشد. در مجموع می‌توان گفت جلبک‌ها ماده‌ی مکمل بهتری برای خمیر معمولی هستند و از توده‌ی جلبک در خمیر کاغذ، اغلب برای افزایش قدرت مکانیکی استفاده می‌شود. تنها مشکل، کاهش درجه‌روشنی 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].

مشکل از انواع جلبک است که سلولز بخش بسیار کوچکی از دیواره‌ی سلولی آنهاست. از جلبک‌های معروف در این دسته می‌توان اسپیروژیر را نام برد [۳]. در زمینه‌ی استفاده از جلبک سبز در کاغذسازی در ایران اطلاعات چاپ‌شده‌ای در دسترس نیست. در خارج از کشور تعدادی از دانشمندان درباره‌ی 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 ریشه‌مانند می‌باشد تهیه‌ی خمیرهای رنگبری‌شده استفاده کردند که می‌توان آنها را به‌عنوان ماده‌ی خام برای کاغذسازی مصرف کرد. در این مطالعه از دو گونه جلبک قرمز خمیرهای رنگبری‌شده تهیه شد. استخراج کربوهیدراتها در دمای ۱۲۰ و ۱۴۰ درجه‌سانتی‌گراد در حضور ۰/۵ درصد 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 رنگبری‌شده جلبک قرمز و کاغذ دست‌ساز ۶۰ گرمی با نسبت‌های ۵۰-۵۰ از سوزنی‌برگ و پهن‌برگ براساس استاندارد TAPPI تهیه شد و مقایسه‌ی 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 درجه‌روشنی کاغذهای حاصل و کاهش سرعت آبیگری از خمیر جلبک قرمز به‌دلیل سطح ویژه‌ی بالاتر 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، به‌طوری‌که با افزایش دما یا افزایش تعداد مراحل هیدروژن پراکسید برای دستیابی به درجه‌روشنی

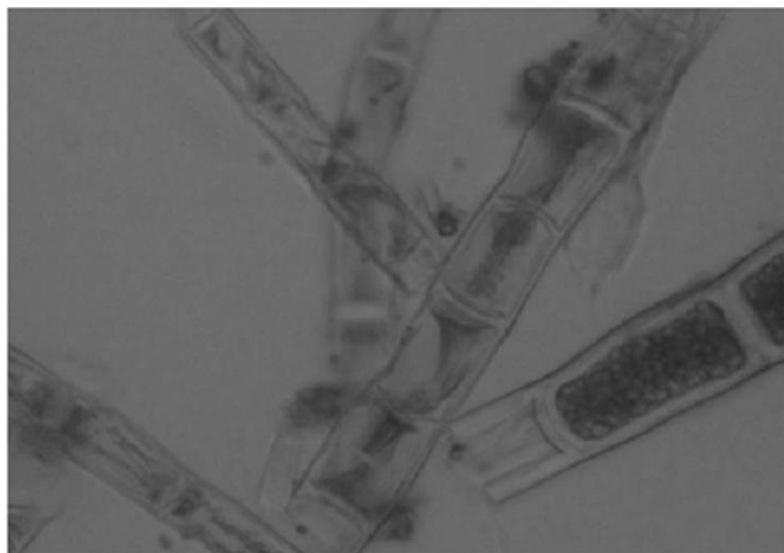


جدول ۱. میانگین ابعاد و ضرایب کاغذسازی رشته و سلول جلبک سبز کلادوفورا

تیمار	طول (mm)	تعداد سلول	قطر حفره ( $\mu$ )	ضخامت دیواره ( $\mu$ )	ضریب انعطاف پذیری	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

جدول ۲. مقایسه ویژگی‌های فیزیکی کاغذ NSSC و جلبک کلادوفورا

تیمار	ضخامت ( $\mu$ m)	گرمایه ( $g/m^2$ )	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 با بزرگنمایی ۴۰x

### ویژگی‌های مورفولوژیکی

اندازه‌گیری خواص آناتومیک روی ۳۰ رشته جلبک انجام گرفت که نتایج آن در جدول ۱ آورده شده است. الیاف از نظر طولی در سه سطح طبقه‌بندی می‌شوند: دسته اول الیاف کوتاه با طول کمتر از ۰/۹ میلی‌متر، دسته دوم الیاف متوسط با طول ۰/۹ تا ۱/۹ میلی‌متر و دسته سوم الیاف با طول بیشتر از ۱/۹ میلی‌متر که الیاف

بلند محسوب می‌شوند [۸]. ملاحظه می‌شود که طول الیاف رشته‌های جلبک در دسته دوم (طول ۰/۹ تا ۱/۹ میلی‌متر) قرار گرفته است. قطر الیاف در مورد الیاف کاغذ بیان‌کننده انعطاف‌پذیری الیاف در فرایند پالایش خمیر کاغذ است. در اینجا مشاهده می‌شود که الیاف جلبک از قطر به نسبت خوبی برخوردارند، اما ضخامت دیواره رشته‌های آنها بسیار کم است. ضخیم بودن دیواره

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

۱. الیاف بسیار الاستیک با ضریب انعطاف‌پذیری بیشتر از ۷۵؛

۲. الیاف الاستیک با ضریب انعطاف‌پذیری ۷۵-۵۰؛

۳. الیاف صلب با ضریب انعطاف‌پذیری ۵۰-۳۰؛

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

میانگین ضریب انعطاف‌پذیری تعیین‌شده برای نمونه‌های مورد آزمایش جلبک کلادوفورا، ۷۴/۲۷ درصد محاسبه شد. هرچه این ضریب بیشتر باشد، مقاومت کاغذ در برابر گسیخته شدن، ترکیدن و تاخوردن بیشتر می‌شود [۹].

ضریب رانکل: میانگین ضریب رانکل برای یک رشته جلبک کلادوفورا ۳۴/۶۱ 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 دیواره سلولی بسیار نازک دارای مقاومت کمتری به پاره شدن باشند.

### ویژگی‌های فیزیکی

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

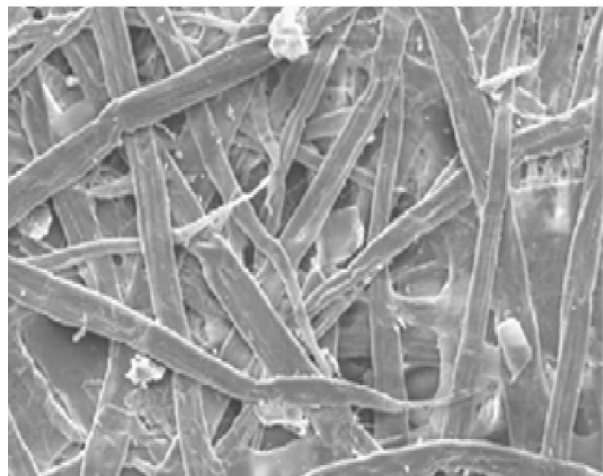
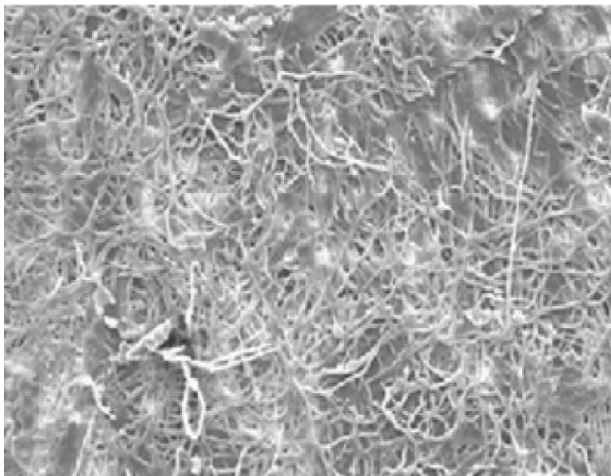
سلولی سبب افزایش دانشیته فیبر می‌شود که این ویژگی تأثیر مستقیم در خواص مقاومتی الیاف از جمله مقاومت به پارگی دارد. هرچه دیواره الیاف ضخیم‌تر باشد، الیاف در برابر نیروهای مکانیکی واردشده از خود مقاومت بیشتری نشان می‌دهند و در برابر تغییر شکل نیز مقاومت می‌کنند. با افزایش ضخامت دیواره سلولی، قابلیت انعطاف‌پذیری 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 و کاغذ تهیه‌شده از جلبک سبز مؤثر باشد.

ضریب درهم‌رفتگی: هرچه مقدار آن بیشتر باشد، بیانگر بلندتر و لاغرتر بودن الیاف است. به‌طور کلی، ضریب درهم‌رفتگی الیاف مورد قبول در کاغذسازی باید بیشتر از ۳۳ باشد. هنگام تشکیل ورقه کاغذ روی توری ماشین‌های کاغذسازی، الیاف بلندتر، بهتر روی توری قرار می‌گیرند. این عامل سبب افزایش کیفیت کاغذ ساخته‌شده می‌شود [۸]. با توجه به ضریب درهم‌رفتگی جلبک (۷۰/۸۴) 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 محاسبه 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 ۷۰/۸۴ و برای هر سلول ۰/۱۹۶ است. همان‌طور که مشاهده می‌شود این ضریب برای هر سلول بسیار کمتر از هر رشته است، بنابراین می‌تواند در کاهش مقاومت‌ها مؤثر باشد.

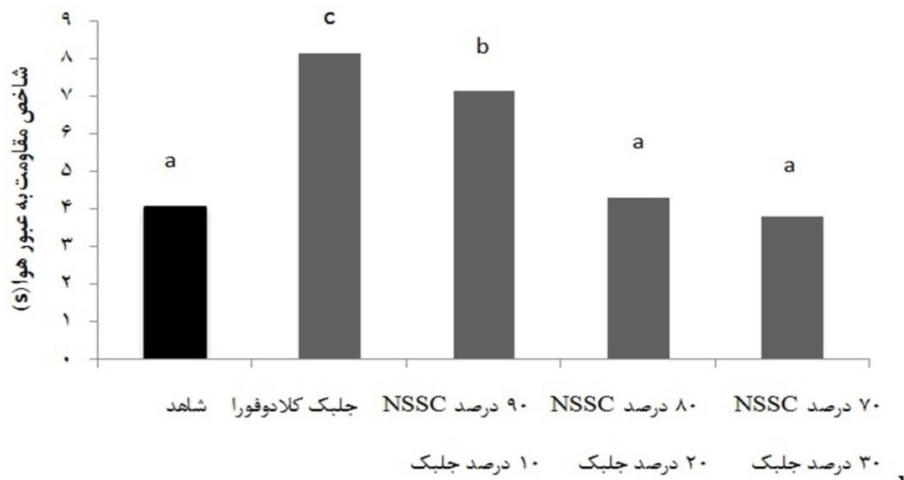
نمونه NSSC در میزان مقاومت به عبور هوا ایجاد کند. با توجه به پژوهش‌های بوم سئو و همکاران (۲۰۱۰) دربارهٔ خمیرهای شیمیایی حاصل از دو گونه جلبک قرمز و آنچه در تصویر میکروسکوپی از کاغذهای حاصل در شکل ۲ نشان داده شده، می‌توان به خوبی نتیجه گرفت که نازک بودن دیواره سلولی جلبک و زیادبودن ضریب انعطاف‌پذیری، سبب ایجاد صفحه کاغذی 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 به نسبت متخلخل NSSC مخلوط می‌شود، باز هم به دلیل 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 درجه روانی خمیر، به دلیل ویژگی‌های مورفولوژیکی الیاف و ضخیم بودن دیواره‌های سلولی، منافذ کاغذ افزایش و در نتیجه مقاومت به عبور هوا کاهش می‌یابد.

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

مقاومت به عبور هوا: مقادیر مقاومت در برابر عبور هوای کاغذهای ساخته شده توسط آزمون تجزیه واریانس بررسی شد. نتایج نشان داد که بین مقادیر به دست آمده در سطح اعتماد ۹۵ درصد اختلاف معنی داری 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 هر سه در گروه a قرار دارند، یعنی افزودن خمیر جلبک کلادوفورا با مقادیر ۲۰ و ۳۰ درصد نمی‌تواند تغییر چشمگیری نسبت به



شکل ۲. الیاف چوبی در کاغذ دست‌ساز ۶۰ گرمی (شکل سمت راست) و الیاف جلبک قرمز در کاغذ دست‌ساز ۶۰ گرمی (شکل سمت چپ) [۴]



شکل ۳. آزمون و گروه‌بندی دانکن مقاومت به عبور هوا

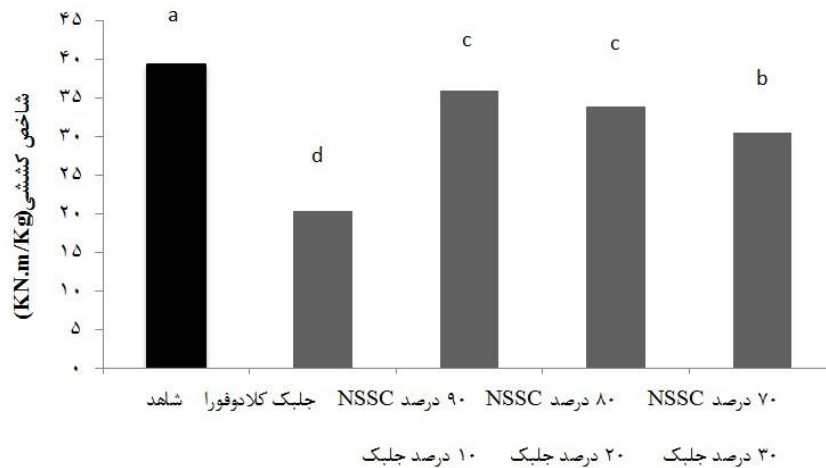
## ویژگی‌های مقاومتی

### شاخص کششی

مقادیر شاخص کششی کاغذهای ساخته‌شده بررسی شد. نتایج نشان داد که بین مقادیر به دست آمده در سطح اعتماد ۹۵ درصد اختلاف معنی‌داری وجود دارد. بیشترین مقدار مربوط به خمیر NSSC و کمترین مقدار مربوط به تیمار خمیر خالص جلبک کلادوفورا است. با توجه به شکل ۴ مشاهده می‌شود که با افزایش درصد خمیر جلبک کلادوفورا در خمیر NSSC شاخص کششی به تدریج کاهش پیدا می‌کند. همان‌طور که دیده می‌شود درصدهای اختلاط ۱۰ تا ۹۰ و ۲۰ تا ۸۰ درصد هر دو 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 درجه کریستالیت زیاد جلبک کلادوفورا است که این امر سبب

کاهش پیوندیابی الیاف و در نتیجه کاهش مقاومت‌های کاغذ می‌شود. علت دیگر کمتر بودن دانسیته کاغذ، کمتر بودن ضخامت دیواره رشته‌های جلبک در مقایسه با الیاف چوبی است. کمتر بودن ضخامت دیواره سلولی، 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 دیواره سلولی در اول فصل ممکن است به طور کامل توسعه نیافته باشد از این رو جلبک جمع‌آوری شده در این دوره ممکن است مقاومت به نسبت کمی داشته جلبک‌ها نیز خواص کششی ضعیفی دارند [۶]؛ بنابراین یکی از دلایل کاهش شاخص کششی را می‌توان به این موضوع باشد، به‌طور مشابه، دیواره سلولی در رشته‌های جلبک به دست آمده در اواخر فصل ممکن است مسن باشد و در نتیجه این جلبک‌ها نیز خواص کششی ضعیفی دارند [۶]؛ بنابراین یکی از دلایل کاهش شاخص کششی را می‌توان به این موضوع نسبت داد.



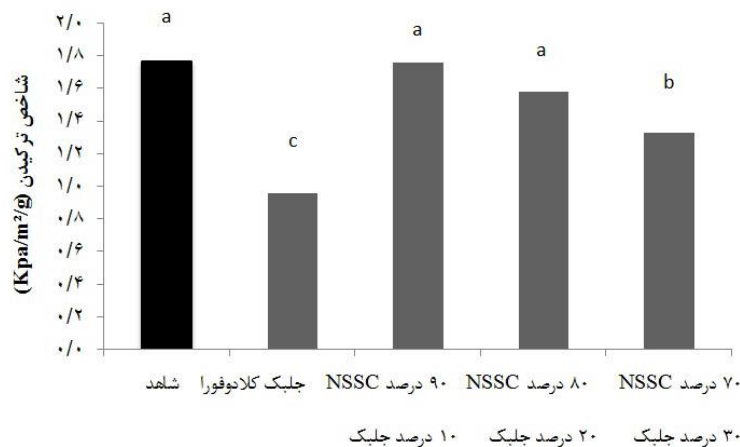


شکل ۴. آزمون و گروه‌بندی دانکن شاخص کششی

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 دیواره سلولی و اتصال الیاف دارد [۱۰]. با توجه به ساختمان رشته‌های جلبک، کم بودن ضخامت دیواره سلولی علت اصلی کاهش این شاخص استونیز به دلیل طول بسیار کم هر تک سلول و نیز سست 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.

### 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 خمیر NSSC و کمترین آن مربوط به خمیر جلبک است و همچنین 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 هر سه در گروه a قرار گرفتند، به این معنا که افزودن خمیر جلبک سبز به

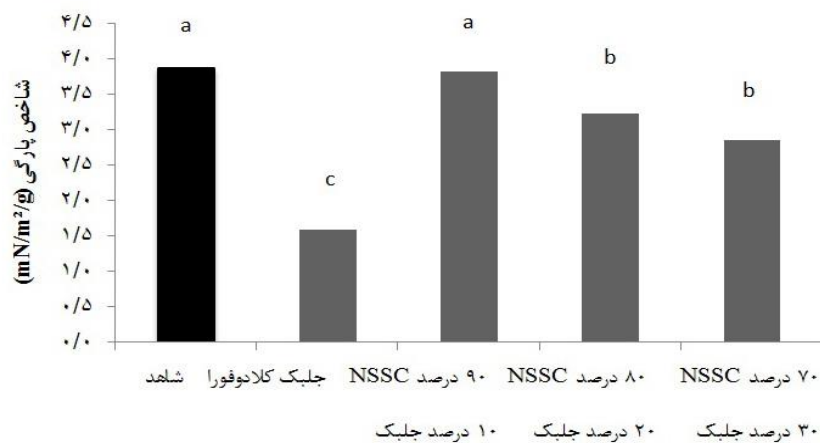


شکل ۵. نتایج آزمون و گروه‌بندی دانکن شاخص ترکیدن

## 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 ۶ 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 زمینه شاخص پارگی در درجه اول ضخامت الیاف بسیار حائز اهمیت است و در درجه دوم قدرت اتصال بین الیاف. خمیر جلبک سبز به دلیل ساختمان ویژه 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 شبکه کاغذ به دلیل ضخامت کمتر دیواره، تأثیر زیادی در کاهش این شاخص دارد.

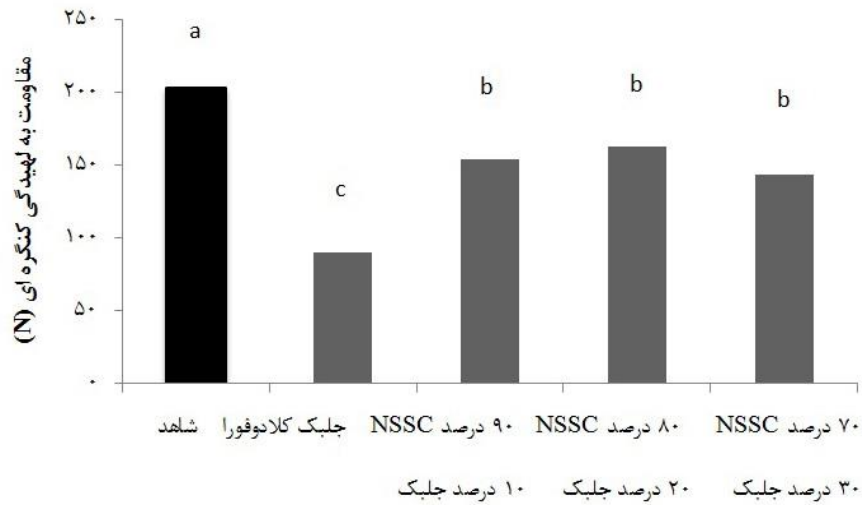


شکل ۶. نتایج آزمون و گروه‌بندی دانکن شاخص پارگی

## 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 بوده است. 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. از آنجا که این آزمون مقاومت نمونه نواری از لایه موج را اندازه‌گیری می‌کند و به نوعی جهت اعمال نیرو عمود بر طول الیاف است، وجود الیاف بلند جلبک کلادوفورا که دیواره سلولی 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، به‌طور معنی‌داری نسبت به کاغذ فلوتینگ کاهش یافت.



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

ویژگی‌های مورفولوژیک رشته‌های جلبک سبز کلادوفورا و به‌خصوص کمتر بودن ضخامت دیواره 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.

### نتیجه‌گیری

در این تحقیق منبع جدیدی از الیاف سلولزی از گونه‌ای جلبک سبز به نام کلادوفورا برای تولید خمیر کاغذ 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

## References

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