مجله علوم و صنایع غذایی ایران

سایت مجله: www.fsct.modares.ac.ir

مقاله علمی_پژوهشی

تولید کاغذ تست لاینز با الیاف اصلاح‌شده occ و اتصال‌دهنده عرضی سدیم‌کازئینات

نورالدین نظرنژاد*[۱]، مهران پرستار[۲]

*۱- نویسنده مسئول، دانشیار، گروه مهندسی علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی

۲- ساری دانشجوی دکتری رشته صنایع چوب و فراورده‌های سلولزی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

اطلاعات مقاله

تاریخ های مقاله :

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۱/۱۵

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۲/۲۳

کلمات کلیدی:

اصلاح سطح الیاف،

اکسایش الیاف،

کازئین

DOI:10.22034/FSCT.21.157.67.

* مسئول مکاتبات:

azarnezhad91@gmail.com

چکیده

در حال حاضر رقابت خیلی زیادی برای بازیافت کاغذهای باطله و استفاده از آن برای تولید انواع کاغذ مورداستفاده در بخش بسته‌بندی وجود دارد. کاغذ حاصل از خمیرهای بازیافتی به علت کوتاه شدن تدریجی الیاف و کاهش ویژگی پیوندیابی مقاومت خوبی ندارد. با توجه به این چالش در این مطالعه پس از تبدیل کارتن‌های کنگره‌ای کهنه(occ) به خمیرکاغذ و سپس پالایش آن‌ها، جهت ایجاد تنوع و افزایش گروه‌های واکنش‌پذیر با درصدهای متفاوت ٤، ۳، ۲، ۱، ۰/۵، ۰ توسط پروکسید هیدروژن در محیط قلیایی اکسید شدند. سپس سدیم‌کازئینات در سطوح ۵،٦،۷،۸،۹، ٤، ۳، ۲، ۱، ۰/۵درصد به‌عنوان اتصال‌دهنده عرضی به سوسپانسیون خمیر اضافه شد. درنهایت از آن‌ها کاغذهای دست‌ساز استاندارد تهیه گردید. وضعیت گروه‌های عاملی تشکیل‌شده توسط طیف FTIR و مقاومت‌های مکانیکی جذب آب کاغذهای ساخته‌شده طبق استانداردهای انجمن فنی صنعت خمیر و کاغذ آمریکا (TAPPI) اندازه‌گیری شدند. نتایج FTIR نشان داد که نمونه‌های خمیر اکسیدشده جذب بالایی را در عدد موج ۱٦۵۰ داشته‌اند که مربوط به گروه کربوکسیل است. همچنین محاسبه مقدار گروه‌های کربوکسیل با روش جذب متیلن‌بلو نشان داد که بیشترین مقدار کربوکسیل در تیمار ۱درصد پروکسیدهیدروژن بوده است. با افزودن سدیم‌کازئینات به سوسپانسیون خمیر، مقاومت‌های مکانیکی کاغذهای حاصله به‌صورت معنی‌دار افزایش‌یافته است.

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2025-01-05]

[DOI: 10.22034/FSCT.21.157.67]

۱-مقدمه

کاهش استحکام مکانیکی کاغذ بازیافتی ناشی از استخوانی شدن الیاف بازیافتی یک مشکل اساسی است که باید در صنعت بازیافت کاغذ باطله حل شود. جبران کاهش استحکام الیاف بازیافتی به شکل پایدار، ضروری و چالش‌برانگیز است [۱]. در حال حاضر رقابت خیلی زیادی برای بازیافت کاغذهای باطله و استفاده از آن برای تولید انواع کاغذ بسته‌بندی وجود دارد. به‌طوری‌که مقدار بازیافت کاغذ در برخی از کشورهای پیشرفته به حدود ۷۰ درصد بوده است[۲]. الیاف بازیافت شده جایگاه باارزشی در تولید کاغذ و مقوا داد] د[۳]. از طرفی یکی از مهم‌ترین راهکارها برای جلوگیری از تخریب جنگل‌ها و کمبود الیاف چوبی استفاده از الیاف منابع غیرچوبی و کاغذ باطله می‌باشد [٤]. از زمان گذشته تاکنون و در آینده نیز کاغذهای باطله مقدار بسیار زیادی از زباله‌ها و پسماندهای حاصل از فرایندهای صنعتی و غیر صنعتی را به خود اختصاص داده و خواهند داد، به‌طوری‌که بازیافت آن باعث کاهش حجم پسماند می‌شود. توجه به فرایند بازیافت کاغذ دارای اهمیت بسیار زیادی است چون باعث می‌شود یک ماده بی‌مصرف به چرخه تولید بازگردد. همچنین بازیافت کاغذ می‌تواند باعث کاهش مقدار نیاز به الیاف بکر در سطوح جهانی شده و نیاز به بهره‌برداری از منبع باارزشی مثل جنگل کاهش می‌یابد. کارتن‌های کهنه[1](occ) یا به عبارتی کارتن‌های که در بخش بسته‌بندی مورداستفاده قرار می‌گیرند ازجمله مواد فیبری قابل‌دسترس به‌صورت کاغذهای باطله می‌باشند که میزان مصرف و تولید این نوع کاغذ در جهان با توجه به خاصیت انعطاف‌پذیری مناسب آن در کاربردهای مختلف مانند ساخت جعبه‌های حمل مواد غذایی به‌سرعت افزایش پیداکرده است[۵]. هر یک از بخش‌های کارتن کهنه (OCC) دارای الیافی است که ازنظر فیزیکی و شیمیایی کاملاً متفاوت هستند و به همین دلیل انتظار می‌رود که ویژگی مخلوط این دو نوع الیاف در خمیرهای بازیافتی نسبت به ویژگی‌های هریک از آن‌ها به‌طور مجزا کاملاً دارای تفاوت باشد. الیاف بازیافت شده با الیاف بکر تفاوت‌های دارد. تست‌لاینر[2] به مقوای روکش حاوی الیاف بازیافتی گفته می‌شود. مقوای روکش تست‌لاینر، در اروپای مرکزی و آسیا بیشتر تولید می‌شود. خمیرکاغذهای متعددی برای تولید مقوای روکش تست‌لاینر استفاده می‌شوند. به دلیل اینکه از ضایعات برای تولید این محصول استفاده می‌شود، غالباً ساختار چندلایه‌ای ترجیح داده می‌شود[٦].از مزیت‌های دیگر کاغذهای بازیافتی کاهش مقدار هزینه‌های فراوری الیاف در مقایسه با الیاف بکر می‌باشد. فراوری الیاف بازیافتی، مصرف انرژی کمتری به نسبت الیاف بکر دارد و کاهش مصرف انرژی نیز به‌نوبه خود، به کاهش آلایندگی در محیط‌زیست منجر می‌شود؛ پس به‌وضوح دیده می‌شود که در آینده، الیاف بازیافتی به‌عنوان ماده اولیه باارزش برای صنایع مصرف‌کننده الیاف نظیر کاغذسازی، فراورده‌های بهداشتی و نیز مشتقات سلولزی، نسبت به حال نقش بسیار مهم‌تری خواهد داشت. خمیر بازیافتی ممکن است تمایل کمتری به واکشیدگی با آب نشان دهند و از ثبات ابعادی بالاتری برخوردار باشد. کاغذ حاصل از خمیرهای بازیافتی مقاومت خوبی ندارد. این کاهش مقاومت ناشی از تغییر در ساختار الیاف به علت پدیده استخوانی شدن است که باعث کاهش پیوندهای هیدروژنی بین الیاف می‌شود. به علت کوتاه شدن تدریجی الیاف و کاهش ویژگی پیوندیابی، مقدار چرخه‌های متوالی برای بازیافت کاغذ تولیدی باکیفیت بالا دارای محدودیت[۷]. بهبود عملکرد کاغذ بازیافتی می‌تواند کاربردهای آن را در زمینه‌های مختلف افزایش دهد و به صرفه‌جویی در منابع کمک کند[۸]. اکسایش الیاف توسط پراکسیدهیدروژن در محیط قلیایی یکی از روش‌های مهم اصلاح شیمیایی است. نتایج مطالعاتی که در این راستا انجام‌شده است، نشان می‌دهد که پراکسیدهیدروژن می‌تواند تا میزان ۵۰ درصد باعث بهبود استحکام کششی الیاف شود[۹]. در طی فرآیند اکسیداسیون، گروه‌های هیدروکسیل موجود در سلولز، می‌توانند در درجات مختلف به گروه آلدئید یا کربوکسیل اکسید شوند[۱۰]. به‌طورکلی

1-Old Corrugated Container (OCC)

2-Test liner

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2025-01-05]

[DOI: 10.22034/FSCT.21.157.67]

اکسیداسیون باعث بهبود در سطح الیاف سلولزی می‌شود و در طیف وسیعی از زمینه‌های کاربردی مثل کاغذسازی، کامپوزیت‌ها، منسوجات و مشتقات سلولزی استفاده می‌شود[۱۱]. بار سطحی الیاف نقش مهمی در واکنش آن‌ها با مواد شیمیایی در سوسپانسیون آبی دارد. اصلاح سطح الیاف با استفاده از پروکسید هیدروژن می‌تواند باعث افزایش گروه‌های کربوکسیلی شود و درنتیجه، میزان بار آنیونی در الیاف افزایش می‌یابد. گروه‌های کربوکسیلی یونیزه شده مکان‌های جذب خوبی برای مولکول‌های رزین فراهم می‌کنند و هر چه درصد گروه کربوکسیلی در الیاف بیشتر شود، جذب و ماندگاری رزین‌ها سریع‌تر و بیشتر می‌شود. ویژگی آنیونی الیاف باعث می‌شود که الیاف تمایل بیشتری به جذب رزین‌های کاتیونی داشته باشند[۱۲].پژوهشگران امروزه به علت آسیب‌هایی که رزین‌های سنتزی به محیط‌زیست وارد می‌کنند توجه خود را به سمت استفاده از زرین‌های طبیعی معطوف کرده‌اند تا میزان این آسیب‌ها کاهش پیدا کند[۱۳]. در کشورهای مختلف به اهمیت این موضوع پی برده‌اند و به استفاده از مواد طبیعی در صنایع مختلف خود پرداخته‌اند[۱٤]. هرساله حدود ۱۸درصد از شیرهای تولیدشده به علت نبود امکانات کافی برای نگهداری و استفاده فاسد می‌شود[۱۵]. با توجه به این پدیده لازم است که استفاده‌های بیشتری از این مواد صورت بگیرد که میزان هدر رفت آن به حداقل برسد ازجمله کاربردی که می‌شود برای شیر مطرح کرد ساخت کازئین و استفاده از آن در کاربردهای مختلف است. کازئین که یک پلیمر طبیعی است را از شیر پستانداران به‌خصوص شیر گاو استخراج کرده و در کاربردهای مانند: بست نقاشی، آهار کاغذ، پوشش دهی چوب‌ها، افزودنی در ملاط‌های گچی و یا به‌عنوان چسب استفاده می‌شود[۱٦]. در حدود ۳ گالن از شیر رقیق برای ساخت یک پوند کازئین خشک نیاز می‌باشد. کازئین از طریق کم کردنpH شیر تا حدود ۲/٦ که نقطه ایزو الکتریک آن است از شیر جداشده و دلمه می‌شود. اکثراً کازئین به‌صورت پودری بوده و بایستی قبل از مصرف با آب مخلوط شوند.

در فرمول شیمیایی کازئین بخشی از ساختار آن را گروه‌های کربوکسلیک که دارای بار مثبت هستند و قسمت دیگر آن را گروه‌های آمینی که دارای بار منفی هستند تشکیل می‌دهند. وجود این دو ماده ساختار این پلیمر را خنثی می‌کند و بار کلی این ماده به عواملی همچون PH بستگی دارد. کازئین در آب و الکل نامحلول است. از واکنش این ماده با هیدروکسید سدیم، کازئینات سدیم به دست می‌آید کازئینات سدیم در آب محلول است، به دلیل وجود یون‌های سدیم که آن را به ماده قطبی‌تر تبدیل می‌کند[۱۷]. افزایش PH با افزایش بار کلی سدیم‌کازئینات رابطه مستقیم دارد[۱۸].

۲-مواد و روش

۲-۱-تهیه الیاف از کارتن‌های کهنه (occ):

کاغذهای OCC از مراکز جمع‌آوری کاغذهای باطله تهیه شد. سپس آلاینده‌های آن‌ها ازجمله چسب نواری و منگنه جدا شدند.

همه لایه‌های کارتن برای تولید خمیرکاغذ به کار رفتند. کارتن‌ها به تکه‌های ۵ سانتیمتر مربع تقسیم شدند و بعد از آغشته شدن در آب به مدت ۲٤ ساعت، در دستگاه پراکنده ساز به مدت ۳۰ دقیقه پراکنده شدند. سپس خمیرکاغذ حاصل بر روی غربال با منفذ ۲۰۰ مش آب‌گیری شد. پس از خشک شدن، درصد رطوبت نمونه‌ها اندازه‌گیری و سپس در کیسه‌های پلاستیکی بسته‌بندی شدند و تا زمان استفاده، در محیط مناسب نگهداری شدند درصد رطوبت خمیرکاغذ طبق استاندارد ۹٤- om 412T آیین‌نامه TAPPI[3] بر مبنای وزن‌تر تعیین شد.

۲-۲- کلیت سازی

پراکسیدهیدروژن به‌عنوان یک ماده اکسیدکننده در معرض یون‌های فلزی موجود در خمیرکاغذ می‌تواند به‌سرعت تجزیه و تخریب‌شده و منجر به کاهش کارایی آن می‌شود. ازاین‌رو پس از مرحله اکسایش با پروکسید هیدروژن جهت حذف فلزات سنگین و جلوگیری از تجزیه پروکسید

3-Technical Association of the Pulp and Paper Industry

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2025-01-05]

[DOI: 10.22034/FSCT.21.157.67]

هیدروژن، از مواد کی‌لیت کننده، DTPA[4] استفاده شد. ماده کی‌لیت کننده در اثر ترکیب با یون‌های فلزی، کمپلکس‌های محلول در آب را تشکیل می‌دهد و به‌راحتی با شستشو خارج می‌شوند و از تجمع و واکنش یون‌های فلزی با پروکسید هیدروژن مانع می‌شود. پس تمام خمیرها قبل از رنگ‌بری، طبق شرایط جدول ۱ کلیت سازی شدند.

Table 1. Pretreatment conditions for chelation

EDTA	Temperature	time	Dryness percentage	pH
(%)	°C	(minute)	%	
0.5	60	30	60	5-5.5

۲-۳- تیمار با پراکسیدهیدروژن

به‌طور خلاصه شرایط تیمار با پراکسیدهیدروژن در جدول ۲ آورده شده است. در ابتدا، خمیر آماده در داخل کیسه پلی‌اتیلنی قرار می‌گیرد. سپس، سیلیکات سدیم و هیدروکسید سدیم در مقدار آب مقطر موردنظر حل‌شده و به خمیر در داخل کیسه پلی‌اتیلنی افزوده می‌شود و با خمیر مخلوط می‌شود. سپس، به میزان موردنظر پروکسید هیدروژن به آن افزوده‌شده و درب کیسه محکم می‌شود و آن را در حمام آب گرم (بن‌ماری) با دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد برای مدت‌زمان ۹۰ دقیقه قرار می‌دهیم. هر ۱۵ دقیقه یک‌بار خمیر ورز داده می‌شود تا تیمار یکنواخت انجام شود. پس از اتمام تیمار، به‌منظور خروج مواد شیمیایی خمیرکاغذ با آب مقطر شستشو داده می‌شود.

Table 2. Treatment conditions of occ pulp with different percentages of hydrogen peroxide

Dryness percentage (Percent)	Time (minute)	PH	$NaoH/H_2O_2$	Hydrogen peroxide (%)	Sodium silicate (%)	Temperature C°
10	90	10-11	0.8	0,0.5,1,2,3,4	3	70

۲-٤- روش جذب متیلن‌بلو

جهت بررسی میزان گروه کربوکسیل آزادشده در خمیرهای اکسیدشده از آزمایش جذب متیلن‌بلو استفاده شد. در این آزمایش ابتدا مقدار ۰/۵ گرم نمونه خمیر با درصد رطوبت مشخص را در ۲۵میلی‌لیتر محلول متیلن‌بلو کلرید و۲۵میلی‌لیتر بافر بورات در دمای ۲۰ درجه به مدت ۱ساعت به‌صورت سوسپانسیون درآورده و سپس فیلتر می‌نمائیم و سپس ۱۰میلی‌لیتر از ۰/۱HCL نرمال را به آن اضافه نموده و با آب حجم آن را به ۱۰۰میلی‌لیتر می‌رسانیم. در ادامه میزان متیلن‌بلوی محلول را از طریق فتومتریکالی با استفاده از منحنی کالیبراسیون در طول‌موج ٦٦٤ نانومتر تعیین می‌نماییم. مقدار کل متیلن‌بلوی آزاد(جذب نشده) از طریق نتایج آزمایشگاهی مشخص می‌شود.

رابطه ۱:

$$\text{مقدار گروه های کربوکسیل } \left(\frac{gr}{mmol}\right) = \frac{7.5 - A * 0.00313}{E}$$

A: مقدار کل متیلن‌بلوی آزاد (mmoL/ COOH)

E: وزن خشک نمونه خمیر (gr)

۲-۵- تیمار با کازئین

سدیم کازئینات مورداستفاده در این پژوهش از شرکت سیگما آلدریچ با درصد خلوص ۹۲ درصد تهیه شد و در درصدهای ۰/۵، ۱، ۲، ۳، ٤، ۵، ٦، ۷، ۸ و ۹ به سوسپانسیون

4 -diethylenetriaminepentaacetic acid

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2025-01-05]

[DOI: 10.22034/FSCT.21.157.67]

الیاف بازیافتی OCC اکسیدشده توسط پراکسیدهیدروژن اضافه شد. درنهایت از این الیاف کاغذهای دست‌ساز تهیه و ویژگی‌های آن‌ها مورد بررسی قرارگرفته شد.

۲-٦ ساخت کاغذهای دست‌ساز

جهت دستیابی به خصوصیات مقاومتی خمیرکاغذ و همچنین اندازه‌گیری خصوصیات فیزیکی آن و درمجموع بررسی قابلیت‌های خمیرکاغذ تولیدشده برای فرآیندهای صنعتی نیاز به ساخت کاغذ دست‌ساز است. کاغذهای دست‌ساز ۱۲۰ گرمی مطابق با استاندارد ۰۲ sp 205T -آیین‌نامه TAPPI تهیه شد.طبق این استاندارد و با توجه به گراماژ خمیرکاغذ ۲/٤ گرم خمیرکاغذ خشک برای تولید کاغذ دست‌ساز استاندارد موردنیاز می‌باشد.

۲-۷ تعیین خواص مقاومتی کاغذ

جهت تعیین خواص مقاومتی کاغذ نمونه های کاغذ های دستساز تهیه شده مورد بررسی قرارگرفتند.

۲-۷-۱مقاومت دربرابرپاره‌شدن

آزمون مقاومت به پارگی مطابق با استاندارد T414om-88 آئین نامه TAPPI انجام شد. طبق این استاندارد قسمتی از یک نمونه کاغذ به طول ٦۳ و عرض ۲۰ میلی‌متر توسط شابلن مخصوص دستگاه برش داده شد و در دستگاه تعیین مقاومت قرارمی‌گیرد. در این دستگاه تیغه مخصوص شکافی به طول ۲ میلی‌متر در نمونه ایجاد می‌کند و پاندول دستگاه در جهت خلاف عقربه‌های ساعت حرکت کرده و نمونه را پاره می‌کند[۱۹].

۲-۷-۲مقاومت به کشش

اندازه گیری مقاومت به کشش طبق استاندارد شماره۰۱-OM T٤٩٤ آیین نامه TAPPI انجام شد که شامل نیروی لازم برای پاره کردن یک نوار باریک کاغذ به طول۱۰۰و عرض۱۵میلی‌متر هنگامی که طول نوار و سرعت بارگذاری هر دو به دقت مشخص شده اند می‌باشد[۱۲].

۳-۷-۲مقاومت دربرابرترکیدن

مقاومت در برابر ترکیدن طبق استاندارد شماره ۰۲-OM T٤۰۳آیین نامه TAPPI انجام گرفت طبق این استاندارد مقاومت به ترکیدن عبارت است از فشار هیدرولیکی مورد نیاز برای پاره کردن کاغذ، که در کره‌ای به قطر ۳۰/۵ میلیمتر و تحت تاثیر سرعت بارگذاری معینی وارد می‌شود[۱۹].

۳-۷-۳جذب آب

آزمون جذب آب طبق استاندارد om 441T TAPPI۰٤- به روش کاب[5] انجام شد. برای انجام این آزمون، نمونه های کاغذی با ابعاد 12× 12 cm بریده شد. وزن نمونه های قبل از جذب آب اندازه گیری شد که وزن اولیه نام دارد. سپس یک نمونه کاغذ در دستگاه مربوطه قرار گرفت و ۱۰۰ میلی لیتر آب مقطر به داخل کاب اضافه گردید. پس از ٦۰ ثانیه آب تخلیه و کاغذ بین دو کاغذ خشک کن قرار داده شد و پس از یک حرکت رفت و برگشتی وردنه روی کاغذ، وزن آن اندازه گیری شد و مقدار بدست آمده از وزن اولیه کسر گردید[۱۲].

۳-۷-٤ مقاومت به عبور هوا

مقاومت به عبور هوای نمونه‌ها با مقاومت به عبور هوا با دستگاه گرلی[6]مطابق با استاندارد -TAPPI T 460 om 96 این مقاومت گویای مقدار زمان لازم برای عبور ۱۰۰ میلی‌لیتر هوا از سطح معینی از کاغذ می‌باشد که به ثانیه بیان می‌گردد[۲۰].

۲-۸ تجزیه وتحلیل آماری داده‌ها

جهت تجزیه‌وتحلیل آماری این پژوهش از نرم‌افزار SPSS استفاده شد و داده‌ها به‌صورت آزمایش‌ها فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با استفاده از تکنیک تجزیه واریانس مورد تجزیه‌وتحلیل آماری قرار گرفت. مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون دانکن در سطح معنی‌داری ۹۵٪ انجام گرفت.

۳-بحث و نتایج

۳-۱- طیف‌سنجی FTIR

5- cobb

6-Gurley

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2025-01-05]

[DOI: 10.22034/FSCT.21.157.67]

شکل ۱ طیف FTIR الیاف اکسیدشده در سطوح مختلف و اکسید نشده را نشان می‌دهد. مقایسه پیک‌های تشکیل‌شده در محدوده عدد موج ۱۶۵۰که مربوط به گروه‌های کربوکسیل می‌باشد، گروه‌های کربوکسیل می‌تواند در طی فرایند اکسیداسیون سلولز با عوامل اکسیدکننده تشکیل شود[۲۱] .ازاین‌رو با توجه به شکل۱که نشان‌دهنده وضعیت گروه‌های کربوکسیل قبل و بعد از اکسیداسیون الیاف توسط سطوح مختلف پروکسید هیدروژن با استفاده از طیف‌سنجی FTIR است، مقایسه پیک‌های تشکیل‌شده در محدوده عددموج ۱۶۵۰که مربوط به گروه‌های کربوکسیل می‌باشد، تغییرات مقدار گروه‌های کربوکسیل را در نمونه‌های تیمار شده و شاهد نشان می‌دهد. شکل۲ مقادیر اندازه‌گیری شده گروه‌های کربوکسیل را در نمونه‌های تیمار شده و شاهد نشان می‌دهد. همانطوری‌که مشاهده می‌شود بیشترین مقدار گروه‌های کربوکسیل مربوط به تیمار یک درصد پروکسید هیدروژن و کمترین مقدار آن مربوط به نمونه شاهد می‌باشد. مطالعات انجام‌شده توسط Bhardwa (2005) و Nguyen نشان می‌دهد که افزایش مقدار درصد پروکسید هیدروژن بر تشکیل گروه‌های کربوکسیل تأثیری ندارد[۲۲]. که با نتایج به‌دست‌آمده از این پژوهش مطابقت دارد.

۳-۲- بررسی مقدار گروه‌های کربوکسیل

همانطورکه در شکل ۲ مشاهده می‌شود با افزایش مقدار مصرف پراکسیدهیدروژن سبب کاهش مقدار گروه‌های کربوکسیل شده است با مقایسه شکل ۱ و۲ می‌توان تغییرات مقدار گروه‌های کربوکسیل در نمونه‌های تیمار شده نسبت به نمونه شاهد را تائید کرد. گروه کربوکسیل یک گروه عاملی قابل یونیزاسیون است که در الیاف چوب وجود دارد و در طی تجزیه قلیایی، گروه‌های کربوکسیلیک اسید در انتهای کاهنده زنجیره‌های سلولزی و همی‌سلولزی تولید می‌شوند. این گروه‌ها همچنین می‌توانند از طریق تیمارهای اکسیداتیو مانند رنگ‌بری توسط پراکسید هیدروژن تشکیل شوند. همی‌سلولزها به‌طور طبیعی حاوی این گروه‌های کربوکسیل هستند[۲۳]. در طی فرآیند اکسیداسیون، گروه‌های هیدروکسیل موجود در گلوکزیدها و مونومرهای سلولز، می‌توانند به گروه‌های آلدهیدی یا کربوکسیل اکسید شوند ازاین‌رویکی از روش‌های مؤثر برای افزایش محتوای گروه کربوکسیل در الیاف، فرآیند رنگ‌بری با استفاده از پراکسید هیدروژن است[۱۰].

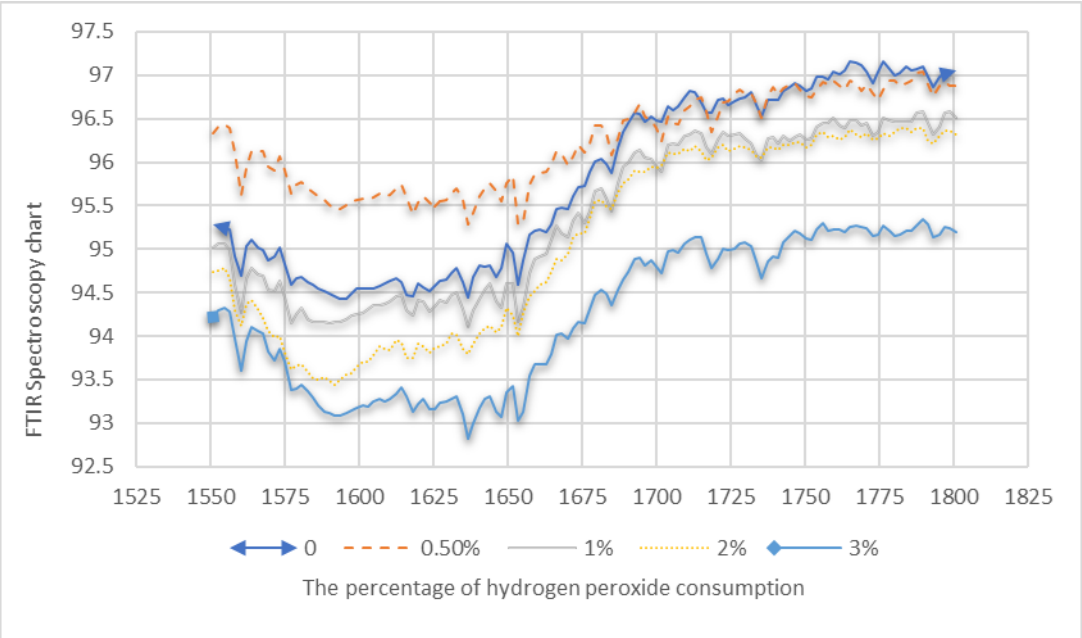

Figure 1: FTIR spectroscopy related to different levels of surface modification of occ fibers by hydrogen peroxide

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2025-01-05]

[DOI: 10.22034/FSCT.21.157.67]

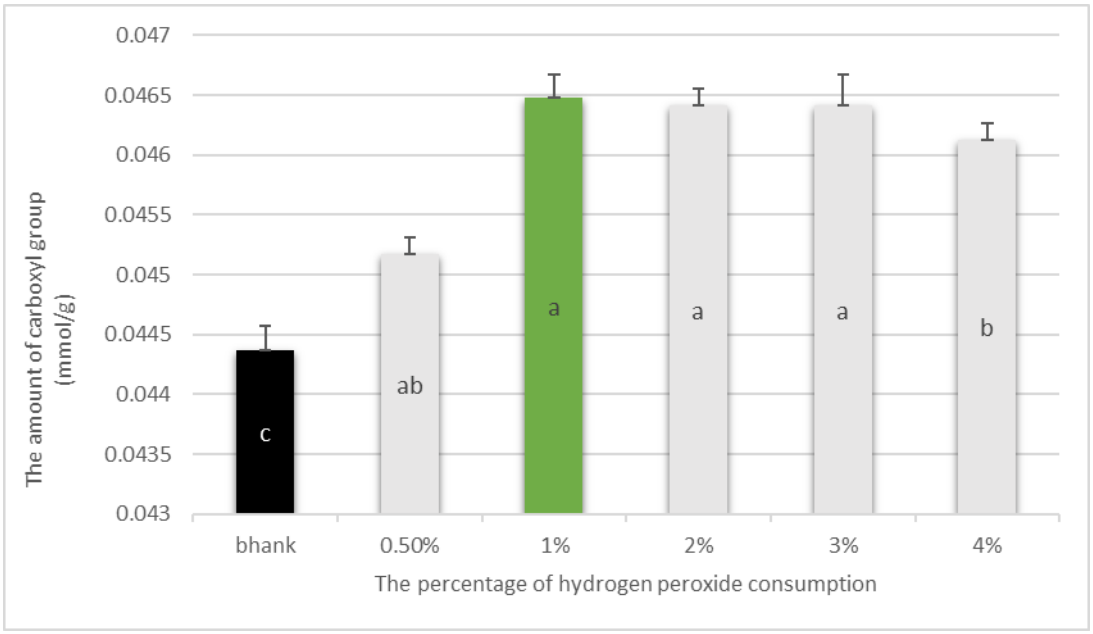

Figure 2: The amount of carboxyl group of rocc dough in different hydrogen peroxide treatments

۳-۳- خواص مکانیکی

بررسی نتایج تأثیر اصلاح سطح الیاف توسط پراکسید هیدروژن و اتصال‌دهنده عرضی سدیم‌کازئینات بر شاخص مقاومت‌های کشش،ترکیدگی و پاره‌شدن را نشان‌دهنده افزایش مقاومت‌ها نسبت به نمونه شاهد می‌باشد. همچنین تجزیه‌وتحلیل آماری نشان می‌دهد که اختلافات در سطح آماری۹۵٪ معنی‌دار می‌باشد (شکل ۳.٤.٥.٦). شکل۳ شاخص مقاومت به ترکیدگی کاغذهای دست‌ساز ساخته‌شده با الیاف اکسیدشده به همراه سدیم‌کازئینات را نشان می‌دهد همان‌طور که در شکل مشاهده می‌شود استفاده از سدیم‌کازئینات سبب افزایش مقاومت به ترکیدگی در کاغذها شده به‌طوری‌که کمترین مقاومت مربوط به نمونه شاهد و بیشترین مقاومت در سطح ۳درصدسدیم‌کازئینات می‌باشد در ادامه با افزایش مقدار مصرف سدیم‌کازئینات افت نسبی مقاومت به ترکیدگی در شکل مشاهده می‌شود . آزمون مقاومت به ترکیدن، قدیمی‌ترین و رایج‌ترین روش برای اندازه‌گیری مقاومت‌ها در انواع مختلف کاغذها می‌باشد. نوع الیاف، مقاومت ذاتی الیاف، تعداد الیاف در واحد سطح کاغذ و درجه پیوند بین الیاف از عوامل مؤثر در بهبود مقاومت به ترکیدن کاغذ می‌باشند[۲٤]. به‌طورکلی ویژگی‌های مقاومت به ترکیدن و کشش رابطه نزدیکی با یکدیگر دارند و در هردوی این آزمون‌ها می‌توان تأثیر میزان اتصال الیاف با یکدیگر و تراکم شبکه لیفی را به‌خوبی مشاهده کرد[۲۵]. افزایش تعداد پیوندهای هیدروژنی و افزایش سطح پیوند می‌تواند قدرت شبکه‌ای الیاف را افزایش دهد و با افزایش پیوند مانع از لغزش الیاف شوند[۲٦]، اصلاح سطوح الیاف با پروکسید هیدروژن می‌تواند باعث افزایش گروه عاملی کربوکسیل شود.گروه‌های کربوکسیل بخش‌های عملکردی هستند که حاوی یک گروه کربوکسیلیک اسید هستند. هنگامی‌که به ماتریس کاغذ وارد می‌شوند، مکان‌های اضافی برای تعامل بین الیاف ایجاد می‌کنند. وجود گروه‌های کربوکسیل علاوه برافزایش پیوند هیدروژنی بین الیاف سلولزی امکان تشکیل پیوندهای استری را هم فراهم می‌کند. این پیوندها نیروهای قوی هستند که باعث افزایش تعداد و قدرت اتصال بین الیاف می‌شوند و ساختار کاغذ را تقویت می‌کنند. درنتیجه، کاغذ در برابر نیروهای کششی مقاوم تر می‌شود. بدون شک، افزایش بهینه غلظت گروه‌های کربوکسیل در کاغذ تأثیر قابل توجهی بر مقاومت کششی آن دارد. پیوندهای بهبودیافته بین الیاف آن را در مقابل تنش‌های مکانیکی مقاوم می‌سازند. شاخص مقاومت به کشش به عوامل زیادی بستگی دارد که درنهایت مجموعه این عوامل تعداد و کیفیت اتصال بین الیاف را تحت تأثیر قرار می‌دهند.هرچه این قابلیت‌ها بیشتر

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2025-01-05]

[DOI: 10.22034/FSCT.21.157.67]

باشد ، میزان مقاومت به کشش نیز افزایش خواهد یافت[۲۷،۲۸]. پیوندهای داخلی فیبرها شامل پیوندهای هیدروژنی بین ماکرومولکول های کربوهیدرات های سطحی فیبرهای مجاور با یکدیگرند، مقاومت کششی کاغذ با دو فاکتور کلیدی شامل مقاومت ذاتی الیاف و مقاومت پیوند تعیین می‌شود میزان اتصال پیوند هیدروژنی به قابلیت دسترسی پلی‌ساکاریدها به یکدیگر و همچنین گروه‌های عاملی سطح مانند کربونیل، هیدروکسیل و کربوکسیل بستگی دارد[۲۹،۳۰،۳۱].که افزایش آن‌ها بهبود اتصالات شبکهٔ الیاف را در پی دارد درنتیجه مقاومت کششی کاغذ می‌تواند شاخصی از پیوندپذیری بین الیاف باشد[۲٤]. از طرفی پراکسید هیدروژن به‌طور احتمالی در اثر لیگنین زدایی و انحلال سایر ترکیبات چوب مانند همی سلولز، می‌تواند باعث درهم ریختگی سطوح الیاف و افزایش حفرات سطحی الیاف شود که منجر به افزایش سطح تماس بین الیاف و درنتیجه با تقویت اتصال بین الیاف، ویژگی‌های مقاومتی کاغذ مانند شاخص‌های مقاومت به کشش و ترکیدگی افزایش دهد. همچنین محیط قلیایی در این فرایند موجب افزایش واکشیدگی الیاف سلولزی و سطح ویژه الیاف شده درنتیجه مقاومت کلی کاغذ بهبود می‌یابد[۳۲]. بار سطحی الیاف تأثیر مهمی در واکنش آن‌ها با مواد شیمیایی اضافه‌شده به سوسپانسیون آبی الیاف دارد. گروه کربوکسیل یک گروه عاملی قابل یونیزاسیون است که در الیاف چوب وجود دارد و تأثیر قابل توجهی بر بار سطحی الیاف دارد. مقدار گروه عاملی کربوکسیل خمیرکاغذ به‌طور قابل توجهی بر کارایی رزین‌ها تأثیر می‌گذارد. گروه‌های کربوکسیل آنیونی مکان‌های مطلوبی را برای جذب مولکول رزین کاتیونی فراهم می‌کنند به‌طوری‌که درصد بالاتری از گروه‌های کربوکسیل فیبر منجر به جذب سریع‌تر و طولانی‌تر و ماندگاری رزین‌ها می‌شود. خاصیت آنیونی الیاف میل آن‌ها را برای جذب مواد افزودنی کاتیونی افزایش می‌دهد. همان‌طور که در شکل ٤ مشاهده می‌شود استفاده از پلیمر سدیم‌کازئینات به‌عنوان اتصال‌دهنده عرضی باعث افزایش مقاومت در برابر کشش نمونه‌ها نسبت به نمونه شاهد شده است.کازئین یک پروتئین از خانواده پروتئین‌های شیر است که دارای ساختاری پیچیده و متنوع است. این پروتئین از ساختارهای سطحی و داخلی متشکل است که قابلیت تعامل با سایر مولکول‌ها را دارد. کازئین دارای گروه‌های هیدروکسیل و کربوکسیلیک است که به دیگر مولکول‌ها، ازجمله الیاف کاغذ، متصل می‌شوند. این اتصالات می‌توانند به‌وسیله پیوندهای هیدروژنی، نیروهای واندروالسی و نیروهای الکترواستاتیکی ایجاد شود که به تقویت ساختار کاغذ و افزایش مقاومت آن در برابر کشش کمک می‌کنند[۳۱]. در کاغذسازی، اضافه کردن کازئین به سوسپانسیون خمیرکاغذ می‌تواند تأثیراتی بر ساختار و ویژگی‌های کاغذ داشته باشد. تعاملات مولکولی بین گروه‌های هیدروکسیل کازئین و گروه‌های هیدروکسیل سلولز، می‌تواند اتصالات هیدروژنی را تقویت کرده و به افزایش پایداری و استحکام کاغذ کمک کند. این ارتباطات میان کازئین و سلولز می‌توانند ساختار داخلی کاغذ را بهبود دهند و به افزایش مقاومت در برابر کشش کمک کنند. بنابراین کازئین می‌تواند با ایجاد اتصالات مؤثر و تقویت‌کننده بین الیاف کاغذ، به‌عنوان یک اتصال‌دهنده عرضی مؤثر در ساختار کاغذ عمل کند و از استحکام و پایداری آن در برابر نیروهای مختلف محافظت کند. در مطالعات انجام‌شده توسط Lalitha و همکاران(۲۰۲۰)، وجود پیوندهای هیدروژنی میان کازئین و الیاف سلولزی تائید شده و با نتایج به‌دست‌آمده طی این پژوهش مطابقت می‌کند[۳۳] بنابراین با اصلاح سطح الیاف کاغذ توسط پراکسید هیدروژن که باعث افزایش گروه‌های کربوکسیل و بار آنیونی الیاف می‌شود و اضافه کردن کازئین که دارای بار کاتیونی در محیط قلیایی است، می‌تواند پیوندهای الکترواستاتیکی را نیز بین الیاف ایجاد نماید. پیوندهای هیدروژنی والکترواستاتیکی هر دو در تقویت ساختار کاغذ نقش دارند. پیوندهای هیدروژنی معمولاً از تعامل بین گروه‌های هیدروکسیل در سلولز و گروه‌های هیدروکسیل موجود در کازئین شکل می‌گیرند[۳٤،۱۲]. این پیوندها

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2025-01-05]

[DOI: 10.22034/FSCT.21.157.67]

باعث ایجاد اتصالات مولکولی بین این دو ماده شیمیایی می‌شوند که به تقویت و استحکام ساختار کاغذ کمک می‌کنند. به‌علاوه، پیوندهای الکترواستاتیکی بین گروه‌های باردار مثبت (کاتیونی) در کازئین و گروه‌های باردار منفی (آنیونی) در الیاف کاغذ ایجاد می‌شوند. این تعاملات الکترواستاتیکی می‌توانند نقشی مهم در تثبیت ساختاری بین الیاف داشته باشند و به افزایش شاخص مقاومت در برابر کشش و ترکیدگی کمک کنند.درشکل۳و٤ با افزایش مقدار مصرف سدیم‌کازئینات در کاغذ، کاهش نسبی مقاومت‌ها مشاهده می‌شود افزودن بیش‌ازحد کازئین ممکن است باعث ایجاد یک نوع عدم تعادل در ساختار کاغذ شود. تغییر در ساختار مولکولی یا تعادلات داخلی سطح الیاف با افزایش مقدار ماده کاتیونی و تغییر بار کلی سوسپانسیون الیاف ممکن است به تخریب یا کاهش اتصالات بین الیاف و درنتیجه کاهش مقاومت کاغذ منجر شود. شکل۵ نشان‌دهنده شاخص مقاومت در برابر پاره شدن کاغذهای دست‌ساز ساخته‌شده با الیاف اکسیدشده و پلی‌مرسدیم‌کازئینات است. نتایج حاصل نشان می‌دهند که استفاده ازسدیم‌کازئینات در کاغذهای بازیافی occ اکسیدشده باعث افزایش مقاومت در برابر پاره شدن کاغذها شده و ازنظر آماری در سطح ۵ درصد معنی‌دار می‌باشد. در بین عوامل تأثیرگذار بر مقاومت در برابر پاره شدن کاغذ، اولویت تأثیرگذاری به طول الیاف و مقاوت ذاتی الیاف بستگی دارد، اما درصورتی‌که هر دو عامل شرایط یکسانی داشته باشند، پیوندپذیری بین الیاف می‌تواند بر وضعیت مقاومت در برابر پاره شدن کاغذ تأثیر معنی‌داری داشته باشد. افزودن کازئین به کاغذ باعث ایجاد پیوندهای اضافی بین الیاف می‌شود که منجر به افزایشی محدود در مقاومت کاغذ به پارگی شده است. بنابراین، افزایش مقدار کازئین در کاغذ ممکن است کاهش محدودی در مقاومت به پارگی ایجاد کند که می‌تواند نشان‌دهنده عدم تغییرات در مقاومت ذاتی الیاف در هنگام استفاده ازکازئین باشد.

سنجش خواص نفوذپذیری کاغذ از خصوصیات مهم دیگر محصولات کاغذی است. مقاومت کاغذ در برابر نفوذ هوا را به‌عنوان یکی از مؤلفه‌های حیاتی در تشخیص ویژگی‌های کاغذ می‌توان مدنظر قرارداد. اندازه‌گیری نرخ عبور هوا از طریق کاغذ می‌تواند به‌عنوان یک معیار قابل‌اطمینان برای تخمین تخلخل نسبی، نرمی و زبری آن عمل کند. در این راستا، روش‌هایی مانند روش گرلی به‌کار گرفته می‌شوند که با استفاده از آن‌ها می‌توان حجم هوای عبوری را در یک بازه زمانی مشخص سنجید. افزایش نرخ عبور هوا نشان‌دهنده یک کاغذ با تخلخل بیشتر و قابلیت نفوذپذیری بیشتر است. از سوی دیگر، کاهش این نرخ نشان‌دهنده مقاومت بیشتر کاغذ در برابر نفوذ هوا و به‌طورکلی، ویژگی‌های متفاوت آن است[۳۵]. بنابراین کاهش مقدار هوای عبوری نشان‌دهنده پر شدن منافذ کاغذ و یا مسدود کردن این منافذ است که باعث افزایش مقاومت به عبور هوای کاغذ می‌شود.

۳-٤- خواص ممانعتی

شکل ٦ تغییرات اثر سطوح مختلف سدیم‌کازئینات در کاغذهای اصلاح سطح شده توسط پراکسید هیدروژن را بر مقاومت به عبور هوای کاغذ را نشان می‌دهد. همان‌طور که در شکل ٦ نشان می‌دهد رابطه مصرف سدیم‌کازئینات در کاغذ با مقاومت به عبور هوا مستقیم بوده است. به‌طوری‌که منافذ سطحی کاغذ درگیر شده‌اند و تا حدی مقدار عبور هوا به این وسیله کنترل‌شده است، با افزایش پیوند پذیری و کاهش تخلخل بین الیاف، مقاومت به عبور هوا در کاغذ افزایش می‌یابد. هنگامی‌که پیوندهای بین الیاف کاغذ تقویت می‌شوند، ساختار داخلی کاغذ بهبود می‌یابد. این پیوندها می‌توانند به کاهش فضای خالی بین الیاف کاغذ کمک کنند. این کاهش فضای خالی منجر به کاهش احتمال عبور هوا در کاغذ می‌شود. بعلاوه مولکول‌های پروتئین کازئین با قرارگیری بین الیاف کاغذ باعث پر شدن فضاهای خالی بین الیاف می‌گردد به‌ویژه که مصرف آن زیاد می‌شود نقش پرکننده را عمل کرده و منجر به افزایش بیشتر مقاومت به عبور هوا می‌گردد.

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2025-01-05]

[DOI: 10.22034/FSCT.21.157.67]

میانگین مقادیر جذب آب تیمارهای مختلف در سطح اعتماد ۹۵ درصد معنی‌دار بود بر اساس آزمون دانکن میانگین مقادیر جذب آب در ۳ گروه قرارگرفته است. همچنین در ادامه اثر تیمارهای مختلف برجذب آب کاغذهای تیمار شده و شاهد در شکل ۷ آورده شده است همان‌طور که مشاهده می‌شود تمامی تیمارها باعث افزایش جذب آب در کاغذهای دست‌ساز شده است و نمونه شاهد کمترین مقدار جذب آب را داشت. بررسی جذب آب کاغذ، روشی مهم برای ارزیابی کیفیت کاغذ و تعیین توانایی کاغذ در جذب و نگه‌داری آب می‌باشد این آزمون در صنایع مختلف مانند چاپ و بسته‌بندی،صنایع غذایی، تولید مقوا و غیره مورداستفاده قرار می‌گیرد. مویدی و همکاران، (۱۳۹٤) بیان نمود که اکسیداسیون الیاف توسط پراکسید هیدروژن باعث افزایش آب‌دوستی در الیاف شود که با پژوهش‌های به‌دست‌آمده در این پژوهش مطابقت می‌کند[۱۲]. گروه‌های کربوکسیل به‌عنوان گروه‌های هیدروفوبیک (آب‌گریز) شناخته می‌شوند اما فزایش تعداد گروه‌های کربوکسیل می‌تواند باعث تغییر در ترتیب و تشکیل الیاف کاغذ شود. این تغییرات ممکن است به توزیع بهتر ذرات در ساختار کاغذ و افزایش توانایی کاغذ در جذب و نگهداری آب کمک کند تغییر در ساختار سطحی و تعاملات شیمیایی با آب را ایجاد کرده و درنهایت می‌تواند توانایی کاغذ در جذب و نگه‌داری آب را بهبود بخشد. کازئین در مقایسه با بسیاری از پلیمرهای مصنوعی به دلیل داشتن گروه‌های قطبی زیاد و به دلیل ماهیت آب‌دوست آن‌ها، در برابر رطوبت نفوذپذیر هستند[۳٦،۳۷]. ازاین‌رو ساختار کازئین به دلیل دارا بودن گروه‌های هیدروکسیل (OH–) دارای ویژگی‌های آب‌دوستی است[۳۸]. این پلیمر به‌عنوان عامل پایدارکننده رطوبت و ترتیب‌دهنده ساختار کاغذ عمل کرده و توانایی جذب و نگه‌داری آب را تقویت می‌کند که نتایج به‌دست‌آمده در این پژوهش در این راستا می‌باشد.

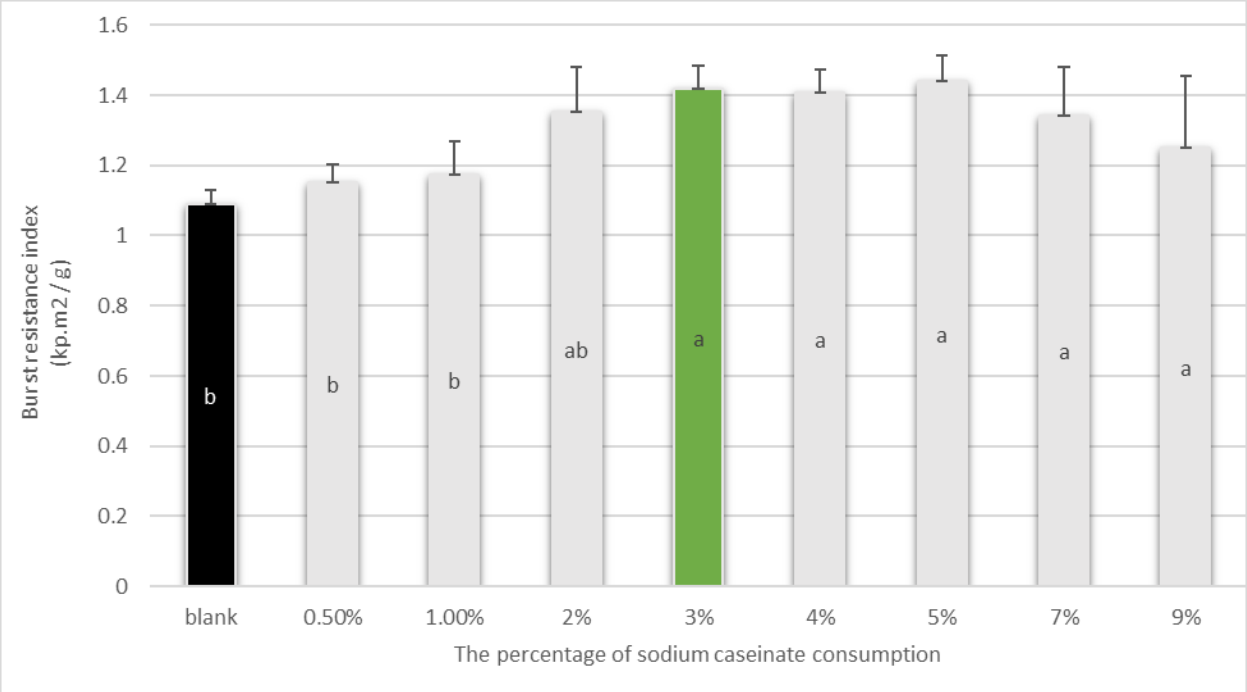

Figure 3: The effect of different levels of sodium caseinate on the bursting resistance index of handmade papers

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2025-01-05]

[DOI: 10.22034/FSCT.21.157.67]

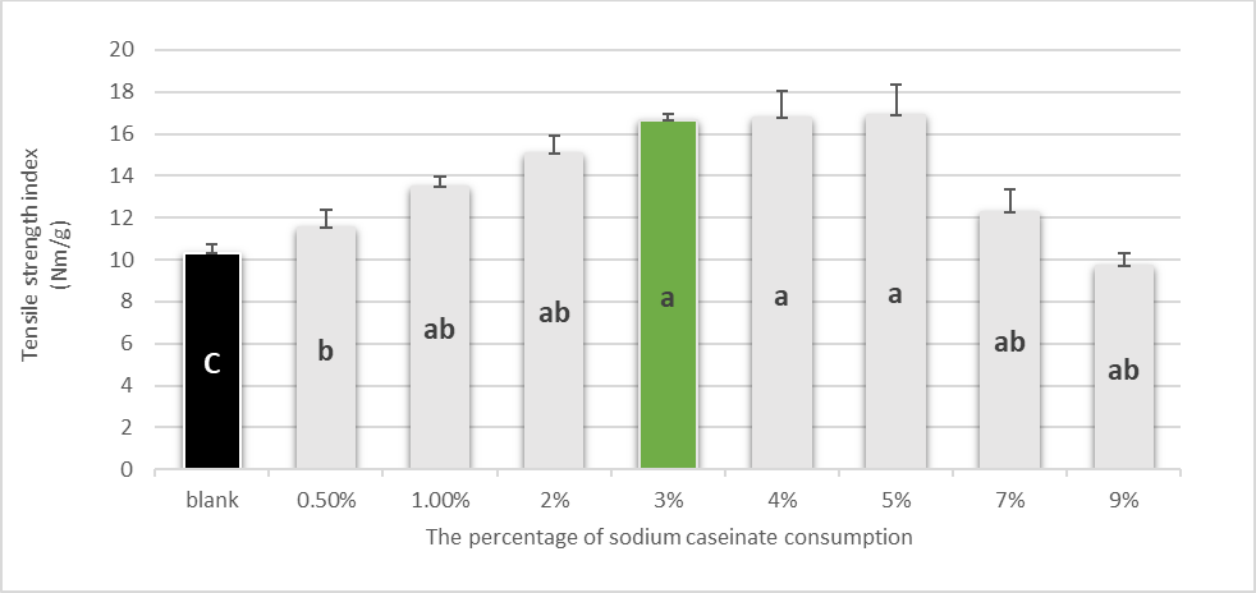

Figure 4: The effect of different levels of sodium caseinate on the tensile strength index of handmade papers

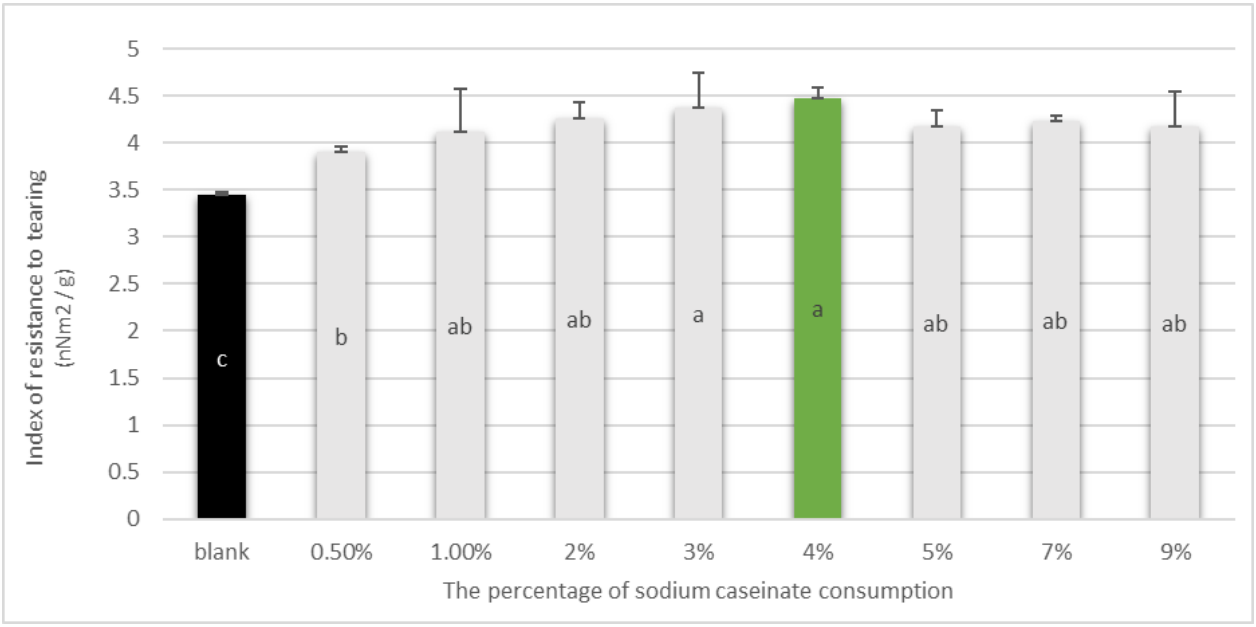

Figure 5: The effect of different levels of sodium caseinate on the tearing resistance index of handmade papers

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2025-01-05]

[DOI: 10.22034/FSCT.21.157.67]

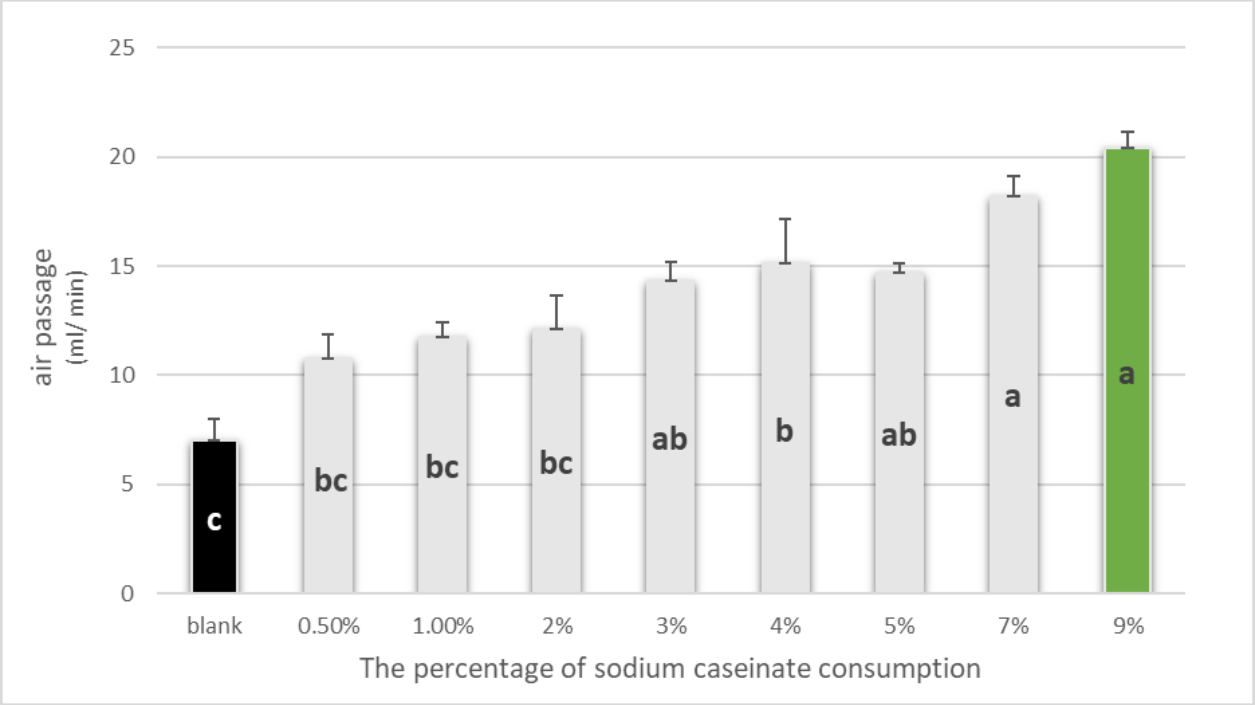

Figure 6: The effect of different levels of sodium caseinate on the air resistance index of handmade papers

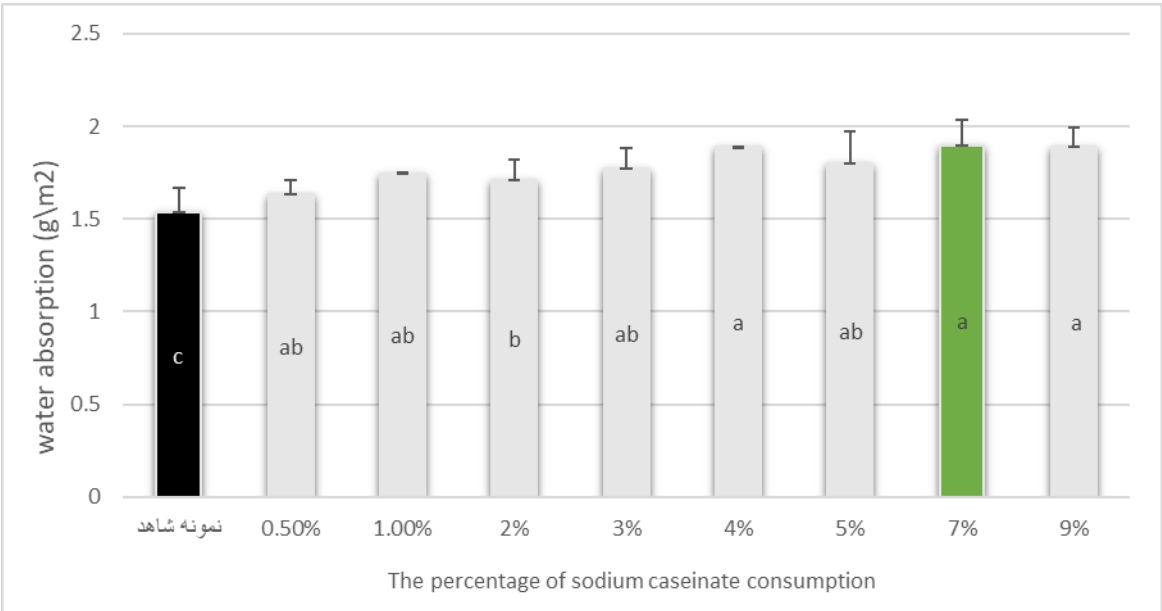

Figure 7: The effect of different levels of sodium caseinate on water absorption of handmade papers

٤-نتیجه‌گیری

نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که استفاده از سدیم کازئینات به‌عنوان اتصال‌دهنده عرضی در تولید کاغذهای بازیافتی، می‌تواند بهبود چشمگیری در ویژگی‌های مکانیکی و عملکرد کاغذها به همراه داشته باشد. بر اساس نتایج این پژوهش، افزایش مقاومت در برابر ترکیدگی، پارگی و کشش در کاغذها مشاهده شده است. همچنین، افزایش جذب آب و افزایش مقاومت در برابر نفوذ هوا نیز به‌عنوان ویژگی‌های ممانعتی در این پژوهش مشاهده شده‌اند. در زمینه علوم صنایع غذایی، سدیم کازئینات به‌عنوان یک پروتئین شناخته شده است. استفاده از این ترکیب در تحقیق حاضر نشان می‌دهد که علاوه بر کاربردهای غذایی، می‌تواند به‌عنوان یک

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2025-01-05]

[DOI: 10.22034/FSCT.21.157.67]

اتصال‌دهنده عرضی مؤثر در بهبود تدریجی مقاومت الیاف و ویژگی‌های مکانیکی کاغذها عمل کند. با تقویت مقاومت مکانیکی و پایداری کاغذهای بازیافتی، امکان استفاده گسترده از آن‌ها در صنایع مختلف، به‌ویژه بسته‌بندی محصولاتی که نیازمند استحکام و پایداری بالا هستند، فراهم می‌شود. استفاده از پراکسید هیدروژن به‌عنوان عامل اکسیداسیون خمیرکاغذ و سدیم کازئینات به‌عنوان اتصال‌دهنده عرضی، بهبود ویژگی‌های کاغذهای بازیافتی را تسهیل می‌کند.با توجه به اهمیت حفظ محیط‌زیست و بهره‌وری منابع، کاغذهای بازیافتی با ویژگی‌های بهبود یافته می‌توانند نقش مهمی در کاهش مصرف منابع طبیعی و حفظ محیط‌زیست ایفا کنند. نتایج این تحقیق می‌توانند به‌عنوان اساسی برای توسعه فناوری‌های جدید در زمینه بازیافت کاغذ و استفاده بهینه از منابع محسوب شوند.

۵- منابع

[1] Wang, J., Wu, Y., Chen, W., Wang, H., Dong, T., Bai, F., & Li, X. (2022). Cellulose Nanofibrils With A Three-Dimensional Interpenetrating Network Structure For Recycled Paper Enhancement. Cellulose, 29(7), 3773-3785.

[2] Ervasti, I., Miranda, R., & Kauranen, I. (2016). Paper Recycling Framework, The "Wheel Of Fiber". Journal Of Environmental Management, 174, 35-44.

[3] Statista, 2018. Production Volume Of Paper By Type. Https://Www.Statista.Com/Statistics/270317/Productio.

[4] Hämmerle, FM.,2011. The Cellulose Gap (The Future Of Cellulose Fibres). Lenzinger Ber, 89: 12–21.

[5] Ghahramani, N., Ramezani, O., Kermanian, H., Vatankhah, E., & Kousha, M. (2018). Acidic Prehydrolysis Role In Dissolving Pulp Production From OCC. Iranian Journal Of Wood And Paper Industries, 9(3), 441-457.

[6] Nejati, V., Khosravani, A., & Behrooz, R. (2020). The Effect Of Kaolinite On The Properties Of Lignocellulose Superabsorbent From Old Corrugated Container Fiber Fines. *Iranian Journal Of Wood And Paper Industries*, *10*(4), 531-542.

[7] Patrick, K., 2011. Dissolving Pulp Gold Rush In High Gear. Paper360°, 8-12.

[8] Fu, J., Yang, F., Cheng, F., & Guo, Z. (2022). Preparation Of An Electrically Conductive, Flame-Retardant, And Superhydrophobic Recycled Paper. Colloids And Surfaces A: Physicochemical And Engineering Aspects, 642, 128671.

[9] Gupta, U. S., Dhamarikar, M., Dharkar, A., Chaturvedi, S., Tiwari, S., & Namdeo, R. (2021). Surface Modification Of Banana Fiber: A Review. Materials Today: Proceedings, 43, 904-915.

[10] Wen, J., Yin, Y., Peng, X., & Zhang, S. (2019). Using H2O2 To Selectively Oxidize Recyclable Cellulose Yarn With High Carboxyl Content. Cellulose, 26(4), 2699-2713.

[11] Coseri, S., Biliuta, G., Simionescu, B. C., Stana-Kleinschek, K., Ribitsch, V., & Harabagiu, V. (2013). Oxidized Cellulose—Survey Of The Most Recent Achievements. Carbohydrate Polymers, 93(1), 207-215.

[12] Zare Moveidi, M., Nazarnejad, N. And Resalati, H. (2014). The Effect Of Fiber Surface Modification And Dodmak Treatment On The Characteristics Of Floating Paper. Master's Thesis. Sari University Of Agricultural Sciences And Natural Resources, Faculty Of Natural Resources.

[13] E Tůmová, R. Drochytka, V. Černý, P. Čada, "Development Of Organic And Biodegradableinsulating Material For ETICS", Procedia Engineering, 2017.

[14] AK. Pandey, V. Kumar, "Impact Of Environmental Pollution On Historical Monuments Of India: Conservation Problems And Remedial Measures", Appl. Geochemistry. 17, 50-55, 2015.

[15] M. Vittuari, M. Pagani, TG. Johnson, F. De Menna "Impacts And Costs Of Embodied And Nutritional Energy Of Food Waste In The US Food System: Distribution And Consumption (Part B)". J. Clean. Prod. 252, 119857, 2020.

[16] Yagubzadeh, H., & Razani, M. (2022). A Review Of The Chemical Structure, Applications And Methods Of Identifying Casein Adhesives In Historical Properties. *Journal Of Studies In Color World*, *12*(1), 37-50.

[17] H. Mckenzie, "Milk Proteins V1: Chemistry And Molecular Biology", Elsevier, 2012.

[18] Sedifi, Berdia, Nazarnejad, Nuruddin and Sharifi, Hassan. (2018). Studying the production of packaging papers with the combination of polycaprolactone (PCL), nanocrystal cell (NCC), nanozinc oxide (ZnO) and investigating their resistance, barrier, optical and antimicrobial properties. Master's thesis. Sari University of

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2025-01-05]

[DOI: 10.22034/FSCT.21.157.67]

Agricultural Sciences and Natural Resources, Faculty of Resources normal.

[19] Karimi, Laleh, Ariaei Monfared, Mohammad Hadi and Afra, Elias. (2020). The effect of cationic polyacrylamide and cationic starch on the addition of palonia nanofibers to improve the characteristics of paper pulp obtained from old congress cardboard. Master's thesis, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Faculty of Natural Resources.

[20] Liang, L. I., & Luo, Y. (2020). Casein And Pectin: Structures, Interactions, And Applications. Trends In Food Science & Technology, 97, 391-403

[21] Rasoolpour Hedayati, Nasser, Nazarnejad, Nuruddin, & Ramezani, Omid. (2013). Surface Modification Of Kraft Pulp Fibers In The Presence Of Chitosan Polymer. Journal Of Forest And Wood Products, 67(3), 489 501(In Persian).

[22] Carlsson, M., Stenman, D., Merényi, G. And Reitberger, T. (2005). The Carbonate Radical As One-Electron Oxidant Of Carbohydrates In Alkaline Media. Holzforschung, 59: 143–146.

[23] Bhardwaj, N. K., Nguyen, K.L. (2005). Charge Aspects Of Hydrogen Peroxide Bleached De-Inked Pulps. Colloids And Surfaces A: Physicochem And Engineerig Aspects, 262 (1): 232–237.

[24] Rudi, H., Atun, D., Jalali Torshizi, H., & Djafari Petroudy, S. R. (2018). Effect Of Applying Cellulose Nanofibers On The Properties Of Multiply Paper Made From Recycled Fibers. Iranian Journal Of Wood And Paper Industries, *9*(3), 359-369.

[25] Ahmadi Lajimi, A., Azadfallah, M., Rahmaninia, M. And Hamzeh.,Y., 2017. The Potential Of GL As A Cationic Polymer To Control The Stickies Of OCC Pulp. Iranian Journal Of Wood And Paper Science Research, 33(2): 258-269.

[26] Delgado -Aguilar, M., González, I., Pèlach, M.A., De La Fuente, E., Negro, C., And Mutjé, P. (2015). Improvement Of Deinked Old Newspaper/Old Magazine Pulp Suspensions By Means Of Nanofibrillated Cellulose Addition. Cellulose, 22(1): 789 -802.

[27] Andalibian, M.A., Mahdavi, A., Kermaian, H. And Ramezani, O., 2013. Strength Improvement Of OCC By Thermal And Chemical Treatments.Journal Of Wood & Forest Science And Technology, 20(3): 139-151.

[28] Ghaffari, M., Ghasemian, A., Resalati, A. And Asadpour, Gh., 2012. Determination Of The Optimum Use Of Cationic Starch On The Basis Of The Mechanical Strengths Of Mixed OCC And Virgin NSSC Pulps. Iranian Journal Of Wood And Paper Industries, 2(2): 121-133.

[29] Fu, J., Yang, F., Cheng, F., & Guo, Z. (2022). Preparation Of An Electrically Conductive, Flame-Retardant, And Superhydrophobic Recycled Paper. Colloids And Surfaces A: Physicochemical And Engineering Aspects, 642, 128671.

[30] Ryu, J. 2009. Properties Of Handsheet Made Of Multilayered Fibers With Polyelectrolytes At Different Ph And Conductivity. Ph.D. Thesis. Department Of Forest Sciences. College Of Agriculture And Life Sciences. Seul National University.

[31] Tayeb, A. H., Hubbe, M. A., Tayeb, P., Pal, L., And Rojas, O. J. (2017). Soy Proteins As A Sustainable Solution To Strengthen Recycled Paper And Reduce Deposition Of Hydrophobic Contaminants In Papermaking: A Bench And Pilot-Plant Study. ACS Sustainable Chemistry & Engineering, 5(8): 7211-7219.

[32] Akbarpour, I. (2023). The Effect Of Enzymatic Pre-Treatment Of Recycled Pulp With The Combined Sequence Of Cellulase And Laccase In Hydrogen Peroxide Bleaching. Journal Of Wood And Forest Science And Technology, 30(2), 87-107.

[33] Liang, L. I., & Luo, Y. (2020). Casein And Pectin: Structures, Interactions, And Applications. Trends In Food Science & Technology, 97, 391-403.

[34] Ma, X., & Chatterton, D. E. (2021). Strategies To Improve The Physical Stability Of Sodium Caseinate Stabilized Emulsions: A Literature Review. Food Hydrocolloids, 119, 106853.

[35] E. R. E. Mark, Jr. C. C. Habeger, J. Borch, M.B. Lyne. M. Decker,(2002). Handbook Of Physical Testing Of Paper. 1(2002), 562-873.

[36] Belyamani, I., Prochazka, F., & Assezat, G. (2014). Production And Characterization Of Sodium Caseinate Edible Films Made By Blown-Film Extrusion. Journal Of Food Engineering, 121, 39-47.

[37] Belyamanlalitha, S., Srivastava, V., Schmidt, L. E., Deshpande, A. P., & Varughese, S. (2022). Multiscale Approach To Studying Biomolecular Interactions In Cellulose–Casein Adhesion. Langmuir, 38(49), 15077-15087.

[38] Lalitha, S., Srivastava, V., Schmidt, L. E., Deshpande, A. P., & Varughese, S. (2022). Multiscale Approach To Studying Biomolecular Interactions In Cellulose–Casein Adhesion. *Langmuir*, *38*(49), 15077-15087.

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2025-01-05]

[DOI: 10.22034/FSCT.21.157.67]

Journal of Food Science and Technology (Iran)

Homepage:www.fsct.modares.ir

Scientific Research

Production of test lines paper with occ modified fibers and sodium caseinate crosslinker

Nuruddin Nazarnejad[1*], Mehran Paster[2]

1*- Corresponding author, Associate Professor, Department of Engineering Science and Wood and Paper Industries, Sari University of Agricultural Sciences and Natural Resources

2- PhD student in wood industry and cellulose products, Sari University of Agricultural Sciences and Natural Resources

ARTICLE INFO

Article History:
Received:2024/2/4
Accepted:2024/6/12

Keywords:

fiber surface modification,

fiber oxidation,

casein

DOI: 10.22034/FSCT.21.157.67.

*Corresponding Author E-azarnezhad91@gmail.com

ABSTRACT

Currently, there is significant competition in recycling waste paper and using it for producing various types of paper used in the packaging sector. The paper derived from recycled pulps lacks good strength due to the gradual shortening of fibers and the reduction in bonding characteristics. Considering this challenge, in this study, after converting old corrugated containers (OCC) into pulp and then refining them, they were oxidized in an alkaline environment using hydrogen peroxide at varying percentages of 0, 0.5, 1, 2, 3, and 4 to create diversity and increase reactive groups. Sodium caseinate was then added to the pulp suspension at levels of 0.5, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, and 9 percent as a cross-linking agent. Finally, standard handmade papers were produced from them. The status of the formed functional groups was measured by FTIR spectrum, and the mechanical strength and water absorption of the produced papers were measured according to the standards of the Technical Association of the Pulp and Paper Industry (TAPPI). FTIR results showed that the oxidized pulp samples had high absorption at the wavenumber 1650, which corresponds to the carboxyl group. Additionally, the calculation of the carboxyl groups using the methylene blue absorption method indicated that the highest amount of carboxyl groups was in the 1 percent hydrogen peroxide treatment. The addition of sodium caseinate to the pulp suspension significantly increased the mechanical strength of the resulting papers.

[Downloaded from fsct.modares.ac.ir on 2025-01-05]

[DOI: 10.22034/FSCT.21.157.67]