

**تأثیر استفاده از نشاسته کاتیونی، الیاف بلند و نانورس بر ویژگی‌های فیزیکی و مقاومتی خمیر کاغذ بازیافتی**رامین ویسی<sup>۱\*</sup> و کیومرث وقاری خرشتمی<sup>۲</sup>

۱- نویسنده مسئول، دانشیار، گروه صنایع چوب و کاغذ، دانشگاه آزاد اسلامی واحد چالوس، ایران، پست الکترونیک: vaysi\_r452@yahoo.com

۲- کارشناسی ارشد، کارخانه کاغذسازی کاوه، ساوه، ایران.

تاریخ دریافت: مرداد ۱۳۹۹ تاریخ پذیرش: تیر ۱۴۰۰

**چکیده**

این تحقیق با هدف بررسی تأثیر استفاده از نشاسته کاتیونی، الیاف بلند و نانورس (بنتونیت) بر ویژگی‌های فیزیکی و مقاومتی خمیر کاغذ بازیافتی انجام شد. به همین منظور، ابتدا مقداری از خمیر کاغذ بازیافتی از کارخانه کاوه واقع در شهرستان ساوه به‌عنوان نمونه شاهد انتخاب شد. نانورس در ۳ سطح ۰، ۰/۳ و ۰/۶ درصد نسبت به وزن خشک خمیر کاغذ بازیافتی استفاده گردید. سپس نشاسته کاتیونی با ۴ سطح ۱، ۱/۵ و ۲ درصد و خمیر الیاف بلند وارداتی در دو سطح، ۰ و ۱۵ درصد به سوسپانسیون خمیر کاغذ بازیافتی حاصل اضافه شد. از خمیر کاغذهای مذکور کاغذهای دست‌ساز با جرم پایه  $140 \text{ gr/m}^2$  تهیه و خواص نوری و مقاومتی آنها طبق آزمون‌های استاندارد TAPPI اندازه‌گیری و مقایسه گردید. نتایج نشان داد با افزودن نشاسته کاتیونی مقاومت به پارگی، کششی، ترکیبند و مقاومت به لهیدگی در حالت حلقه و مقاومت به لهیدگی در حالت کنگره در کاغذ حاصل افزایش، اما جذب آب و ضخامت در کاغذ حاصل کاهش یافته است. نتایج نشان داد که افزودن همزمان ۲ درصد نشاسته کاتیونی به همراه ۰/۶ درصد نانورس و ۱۵ درصد الیاف بلند وارداتی نیز باعث بهبود بیشتر ویژگی‌ها در کاغذ حاصل شده است. البته با افزودن نانورس اثرهای مطلوبی در ویژگی‌های کاغذ حاصل از خمیر بازیافتی مشاهده نشد. همچنین نتایج نشان داد که با افزودن ۱۵ درصد الیاف بلند وارداتی، بهبود قابل ملاحظه‌ای در تمامی ویژگی‌های مقاومتی و فیزیکی کاغذ حاصل شده است که می‌تواند به‌عنوان تیمار برتر در این تحقیق معرفی شود.

واژه‌های کلیدی: خمیر کاغذ بازیافتی، نشاسته کاتیونی، نانورس (بنتونیت)، الیاف بلند وارداتی.

**مقدمه**

امروزه صنعت بازیافت کاغذ، به دلیل محدودیت منابع اولیه چوبی و تقاضای روزافزون برای فراورده‌های کاغذ و مقوا، از نظر اقتصادی و مسائل زیست‌محیطی، جایگاه و اهمیت ویژه‌ای پیدا کرده است. با وجود این، فرایند بازیافت به دلیل برتری‌ها و قابلیت‌های ذاتی، اغلب با کاهش شدید کیفیت و ویژگی‌های مقاومتی محصول همراه است، این مسئله یکی از

مشکلات اساسی بیشتر تولیدکننده‌های کاغذهای مورد استفاده در بسته‌بندی است؛ زیرا کاغذهای باطله و الیاف بازیافتی، از مهمترین منابع تأمین مواد اولیه برای تولید مقوا و کاغذهای بسته‌بندی می‌باشند و این دسته از محصولات، نیازمند حد معینی از مقاومت هستند تا پاسخگوی نیاز بازار مصرف باشند. از این رو در فرایند بازیافت، همواره توسعه روش‌های مختلف به‌منظور بهبود اتصال بین الیاف و افزایش ویژگی‌های مقاومتی

افزودنی‌هایی همانند آلوم، نشاسته کاتیونی و نانورس (بنتونیت) و غیره را می‌توان استفاده کرد. در این ارتباط، بنتونیت که با نام گِل ارمنی در طب سنتی معروف است، نوعی رس ریزدانه است که حداقل ۸۵ درصد رس مونت‌موریلونیت داشته باشد. اصطلاح بنتونیت معمولاً برای خاک‌های کلوئیدالی که در اصل با رگه‌های شیل بنتون کرتاسه که در نزدیکی قلعه نظامی بنتون و منطقه رودخانه سنگی وایومینگ درهم‌آمیخته‌اند، به‌کاربرده می‌شود. بنتونیت یک ماده از دسته رس‌ها و از کانی‌های متورم‌شونده تشکیل شده است که عمدتاً مونت‌موریلونیت<sup>۱</sup> هستند که در شرایط مناسب حدود یک نانومتر ضخامت و صفحه‌ای به ابعاد حدود ۳۰۰ نانومتر دارند. بیشتر بنتونیت‌ها بر اثر هوازدگی و دگرسانی خاکسترهای آتشفشانی و اغلب در حضور آب تشکیل می‌شوند و سنگ منشأ آنها اکثراً بازیک است. تجزیه خاکستر آتشفشانی عمدتاً در محیط شور و باتلاقی انجام می‌شود و هر چه از آتشفشان دور شویم، ضخامت بنتونیت کاهش می‌یابد. بنتونیت دارای ساختمان آلومینوسیلیکاتی است و در دسته سیلیکات‌های سه لایه قرار می‌گیرد. بنتونیت دارای دو لایه چهاروجهی و یک لایه هشت‌وجهی است. فرمول عمومی بنتونیت  $(\text{Na, CaO})(\text{Al, Mg})(\text{Si}_4\text{O}_{10})_3 \cdot 6\text{nH}_2\text{O}$  می‌باشد (Stokes, 2008). از سوی دیگر نشاسته به دلیل قیمت مناسب و قابلیت بهبود مقاومت‌های مکانیکی کاغذ، به‌طور سنتی در بخش تر ماشین کاغذ استفاده می‌شود. اگرچه مصرف حدود ۱ تا ۲ درصد نشاسته کاتیونی به علت وجود بارهای مثبت و تشکیل پیوند الکترواستاتیک و هیدروژنی، سبب بهبود قابل توجه استحکام در واحد سطح اتصال کاغذ نهایی می‌شود، ولی مصارف بیشتر آن مشکلات فرایندی به‌ویژه در آب سفید را به‌شدت تشدید می‌کند (Yoon and Deng, 2006). با توجه به اینکه نشاسته کاتیونی به دلیل دارا بودن بارهای مثبت و بارهای مخالف (منفی) مواد سلولزی، موجب تشکیل پیوندهای قوی تر و تولید کاغذ مقاوم‌تر می‌شود.

محصولات مورد نظر بوده است. ازجمله این روش‌ها، به پالایش بیشتر، افزودن الیاف بکر و استفاده از مواد افزودنی کاتیونی، استفاده از پسماندهای صنعتی کارخانه‌های کاغذسازی، به همراه انواع افزودنی‌های رایج و در حال توسعه با هدف بهبود مقاومت‌ها و ویژگی‌های نوری و فیزیکی کاغذ می‌توان اشاره کرد (Ghasemian and Khalili, 2011). سهولت خمیر کردن کاغذهای باطله و شکل‌دهی دوباره آنها همواره سبب شده تا تمایل به سمت بازیافت آنها افزایش یابد. از عمده‌ترین عوامل تولید کاغذهای باطله می‌توان به زباله های خانوارها، مدارس، ادارات، کاغذهای ضایعاتی صحافی، عکاسان، فتوکپی‌ها، چاپخانه‌ها و واحدهای سازنده جعبه‌های مقوایی و ... اشاره کرد. اهمیت بازیافت کاغذ را می‌توان با تأکید به حفظ محیط‌زیست و همچنین منافع اقتصادی حاصل از آن مورد بررسی قرار داد، به‌طوری‌که در حال حاضر در آمریکا حدود ۴۰ درصد، در ایران حدود ۲۵ درصد و در متوسط جهانی حدود ۳۶ درصد مواد اولیه کاغذهای تولیدی از کاغذ باطله تأمین می‌شود (Pappu, 2007). بازیافت کاغذ موجب کاهش هزینه‌ها و درعین حال کاهش انتشار آلاینده‌ها، کاهش بهره‌برداری از درختان شده و درعین حال باعث اشتغال‌زایی بیشتری نسبت به حالتی می‌شود که خمیرکاغذ به‌طور مستقیم از چوب تهیه می‌گردد. علاوه بر آن، با برگرداندن کاغذهای باطله به چرخه مصرف، بخش عمده‌ای از نیاز کشور به کاغذهای وارداتی برطرف می‌شود و از خروج قابل ملاحظه‌ای ارز از کشور نیز جلوگیری می‌شود. بازیافت کاغذ با وجود مزیت‌ها و قابلیت‌ها، با کاهش ویژگی‌های کیفی همراه است. افت کیفیت‌های فیزیکی و مقاومتی در خمیرکاغذهای بازیافتی سبب می‌شود که کاغذ حاصل ویژگی‌های ضعیف‌تری داشته باشد. با عنایت به اینکه مصرف کاغذهای بازیافتی نیز محدودیت‌هایی در پی دارد، افزودن مواد شیمیایی می‌تواند باعث افزایش و بهبود برخی از ویژگی‌های کاغذهای بازیافتی و استفاده بهینه از کاغذهای باطله در طی بازیافت کاغذ باشد. به همین منظور از

کربنات کلسیم رسوبی و پروتئین سویا باعث بهبود ماندگاری پرکننده‌های اولیه، کاهش خاکستر، کاهش جذب آب و کاهش شاخص کششی کاغذ شده است. Darvishzadeh و همکاران (۲۰۱۴) با بررسی تأثیر افزودن همزمان نشاسته کاتیونی و بنتونیت بر برخی از خواص کاغذ چاپ و تحریر گزارش کردند که حداکثر مقدار ماندگاری ۲ در مصرف ۰/۵ درصد نشاسته کاتیونی حاصل شده است. بیشترین مقدار آبگیری در مصرف ۰/۴ درصد ریز ذره بنتونیت و ۱/۵ درصد نشاسته کاتیونی ایجاد شده است. ولی حداکثر شاخص مقاومت به پاره شدن در مصرف ۰/۲ درصد بنتونیت به همراه ۱ درصد نشاسته کاتیونی و همچنین ۱/۵ درصد نشاسته کاتیونی به تنهایی حاصل شده است. به طوری که بیشترین مقدار شاخص مقاومت به ترکیدن در مقدار مصرف ۱ درصد نشاسته کاتیونی به تنهایی به دست آمده است. Rahmaninia و همکاران (۲۰۱۵) با بررسی تأثیر pH بر عملکرد افزودنی‌های مقاومت خشک کیتوزان- نانوبنتونیت در خمیر کاغذ شیمیایی- مکانیکی پهن برگان گزارش کردند که تیمار ۱/۲۵ درصد کیتوزان در سطح ثابت ۰/۳ درصد نانوبنتونیت در pH قلیایی، بهترین مقاومت‌ها را از خود نشان داده است. از این رو هدف از انجام این تحقیق، بهبود ویژگی‌های فیزیکی و مقاومتی کاغذ حاصل از خمیر- کاغذ بازیافتی با استفاده از نشاسته کاتیونی، الیاف بلند وارداتی و نانورس (بنتونیت) می‌باشد.

## مواد و روش‌ها

### تهیه نمونه‌های آزمایشی

در این تحقیق، ابتدا خمیر کاغذ تولیدی از مخلوط کاغذهای باطله و از کارخانه کاغذسازی کاوه، واقع در شهرستان ساوه، بعد از تغلیظ کننده‌ها به صورت تصادفی تهیه شد. ابتدا نمونه‌های خمیر کاغذ انتخابی توسط پالایشگر آزمایشگاهی PFI mill، با درصد خشکی ۱۰ درصد تا درجه روانی CSF (ml) ۳۰۰ پالایش گردید، سپس مقداری از

در این ارتباط، Ahmadi Lajimi و همکاران (۲۰۲۰) با بررسی تأثیر ماده تثبیت‌کننده کاتیونی بر پایه پلی‌دادمک ۱ بر ویژگی‌های مقاومتی خمیر کاغذ OCC گزارش کردند که این پلیمر کاتیونی احتمالاً با متأثر نمودن شکل‌گیری و پیوندیابی بین الیاف با خنثی‌سازی، تثبیت و دلمه کردن نرمه‌ها باعث بهبود ویژگی‌های مقاومتی کاغذ دست‌ساز شده است، این افزایش در مقاومت به کشش، مقاومت به ترکیدن، مقاومت به فشار لهیدگی لبه در حالت حلقه، مقاومت به لهیدگی با فشار لبه میانی و مقاومت به پاره شدن محسوس می‌باشد.

Moosavi و همکاران (۲۰۱۳) با بررسی عملکرد نشاسته کاتیونی سیب‌زمینی و گندم در بهبود ویژگی‌های مقاومتی کاغذ حاصل از کارتن‌های کنگره‌ای کهنه، گزارش کردند که مصرف ۱/۵ درصد نشاسته سیب‌زمینی و ۱ درصد نشاسته گندم تأثیر بهینه‌ای بر افزایش مقاومت کاغذهای حاصل داشته است، به نحوی که در این ارتباط نشاسته گندم عملکرد بهتری داشته است. Ebrahimi و همکاران (۲۰۱۴) عملکرد آزیم آمیلاز را بر ویژگی‌های خمیر کاغذ بازیافتی OCC، پیش‌خیسانده شده در pH مختلف بررسی کردند و گزارش نمودند که پیش‌خیساندن بر بهبود تمامی ویژگی‌های مقاومتی کاغذ تأثیر مثبت داشته و در pH قلیایی بیشترین کارایی را در بهبود مقاومت‌ها از خود نشان داده است.

Rezayati Charani و همکاران (۲۰۱۹) تأثیر استفاده از نانوسلولز و نشاسته کاتیونی با پالایش بر ویژگی‌های فیزیکی و مقاومتی کاغذ دست‌ساز حاصل از خمیر کاغذ بازیافتی (OCC) را بررسی کردند و گزارش نمودند که استفاده از ۲ درصد نشاسته کاتیونی و ۴ درصد نانوسلولز در ساخت کاغذ از OCC باعث بهبود شاخص مقاومت به کشش، ترکیدن برابر و حتی بیشتر از اثر پالایش شده است. Safizadeh و همکاران (۲۰۱۹) تأثیر کربنات کلسیم رسوبی و پروتئین سویا را بر ویژگی‌های خمیر کاغذ بازیافتی از کاغذهای باطله چاپی و نوشتاری بررسی کردند و گزارش نمودند که به‌کارگیری

خمیر کاغذ اولیه به عنوان نمونه شاهد جداسازی شد.

### آماده سازی نشاسته کاتیونی

نشاسته کاتیونی مورد استفاده در این تحقیق دارای pH حدود ۶، مقدار پروتئین حدود ۱/۵ درصد، نیتروژن حدود ۰/۲۵ درصد، خاکستر کمتر از ۲ درصد، درجه استخلاف (DS) حدود (مول/مول) ۰/۰۲۰-۰/۰۱۶، گرانروی بعد از پخت (محلول ۲٪) حدود ۸۰ سانتی پوآز و رطوبت آن نیز حدود ۱۱ درصد بود و از شرکت فلوکا تهیه شد. به منظور انحلال پذیر شدن نشاسته در آب، بعد از همزدن، بشر محتوای آب و نشاسته با غلظت ۵ درصد به مدت ۲۰ دقیقه در دمای ۷۰ درجه سانتی گراد نگهداری شد و در نهایت به منظور پخش و جذب بهینه بر روی سطح الیاف به دوغاب خمیر کاغذ با درصد خشکی ۰/۵ درصد و در ۴ سطح صفر، ۱ و ۱/۵ و ۲ درصد نسبت به وزن خشک خمیر کاغذ به نمونه های آزمایشی اضافه گردید (Tajik, 2015).

### آماده سازی نانورس

در این تحقیق، نانورس از نوع بنتونیت بود که از شرکت امیا پارس ترکیه تهیه شد و کلویید ۱٪ حاصل در آب نیمه گرم و در دمای ۴۰°C ساخته شد، سپس به منظور مقایسه بهتر عملکرد نشاسته، به نمونه های آزمایشی در سه سطح صفر، ۰/۳ و ۰/۶ درصد نانورس (بنتونیت) اضافه گردید (Rahmaninia, 2015).

خمیر کرافت سوزنی برگ است، از انبار بخش آماده سازی خمیر کاغذ کارخانه چوب و کاغذ مازندران تهیه شد. سپس ویژگی های مقاومتی به ویژه مقاومت به پارگی، ترکیدن، کششی و مقاومت به لهیدگی در حالت حلقه (RCT)، مقاومت به لهیدگی در حالت کنگره (CMT) کاغذ های حاصل به ترتیب با استفاده از آزمون های ۸۸-om ۲۲۰ T، ۹۷-om ۴۰۳ T، ۹۶-om ۴۹۴ T و ۸۷-om ۸۱۷ T، ۸۷-om ۸۰۹ T و ۹۸-om ۴۲۱ T استاندارد TAPPI اندازه گیری و مقایسه گردید (TAPPI, 2009).

### تجزیه و تحلیل آماری داده ها

تجزیه و تحلیل داده ها با استفاده از نرم افزار آماری SPSS انجام شد. برای بررسی اثر متقابل متغیرها از طرح کاملاً تصادفی، آزمون تجزیه واریانس یک طرفه و برای گروه بندی میانگین ها از آزمون دانکن استفاده شد.

### نتایج

#### مقایسه میانگین مشخصه های کمی در سطح متغیرها

مقایسه میانگین ویژگی های فیزیکی و مقاومتی کاغذ حاصل خمیر کاغذ بازیافتی با استفاده از نانورس (بنتونیت) و نشاسته کاتیونی بر اساس آزمون دانکن بررسی شد. نتایج نشان داد که بین میانگین بیشتر مشخصه ها در سطح ۱٪ اختلاف معنی داری وجود دارد (جدول ۱).

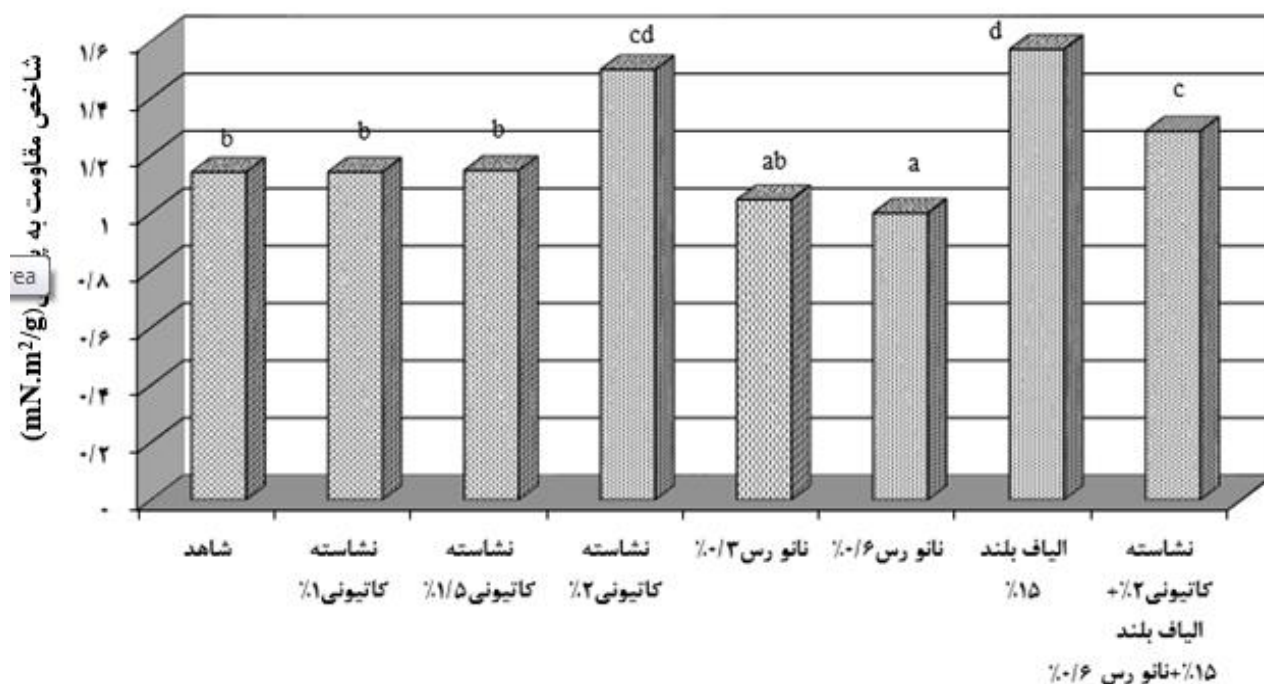
#### مقایسه مقاومت به پارگی کاغذ حاصل از خمیر کاغذ های بازیافتی

نتایج نشان داد که با افزایش نشاسته کاتیونی مقاومت به پارگی در کاغذ حاصل از خمیر کاغذ بازیافتی افزایش یافته است. در بین تیمارهای مختلف، بیشترین مقاومت به پارگی در کاغذ حاصل از افزودن ۱۵ درصد الیاف بلند وارداتی و همچنین با افزودن نشاسته کاتیونی، الیاف بلند وارداتی و ۰/۶ درصد نانورس و کمترین آن در خمیر کاغذ بازیافتی با ۰/۶ درصد نانورس مشاهده شد. نتایج سایر تحقیقات نشان داد که

اندازه گیری ویژگی های نوری و مقاومتی کاغذ های دست ساز برای اندازه گیری خواص فیزیکی و مقاومتی کاغذ های حاصل از خمیر کاغذ بازیافتی و همچنین خمیر کاغذ اولیه کارخانه ساوه (شاهد)، ابتدا طبق آزمون شماره ۹۲-om ۲۲۵ T استاندارد TAPPI، کاغذ های دست ساز با جرم پایه  $gr/m^2$  ۱۴۰ تهیه شد. با توجه به به کارگیری الیاف بلند وارداتی در لاینر رویه، برای بهبود و مقایسه مقاومت های کاغذ حاصل، در یکی از تیمارها از ۱۵ درصد الیاف بلند وارداتی نیز استفاده گردید، در این ارتباط، خمیر الیاف بلند وارداتی که معمولاً

باردار شدن سطح الیاف (بار کاتیونی) خواهد شد که در مرحله بعد با افزودن نانورس (با بار آنیونی) آن را جذب خواهد کرد. تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها نشان داد که بین میانگین مقاومت به پارگی تیمارها در سطح ۱ درصد تفاوت معنی‌داری وجود دارد (شکل ۱).

مقاومت به پاره شدن با متوسط طول الیاف به توان سوم متناسب است. البته افزایش نسبت الیاف بلند به الیاف کوتاه باعث بهبود این مقاومت می‌گردد (Piet, 2002). به نحوی که با افزودن همزمان نشاسته کاتیونی، الیاف بلند وارداتی و ۰/۶ درصد نانورس هم مقاومت به پارگی کاغذ حاصل افزایش قابل ملاحظه‌ای را نشان می‌دهد. افزودن نشاسته کاتیونی باعث



شکل ۱- مقاومت به پارگی در کاغذ حاصل از افزودن نانورس، الیاف بلند و نشاسته کاتیونی به خمیر کاغذ بازیافتی

جدول ۱- تجزیه واریانس یک طرفه ویژگی‌های خمیر کاغذ بازیافتی با استفاده از نانورس و نشاسته کاتیونی

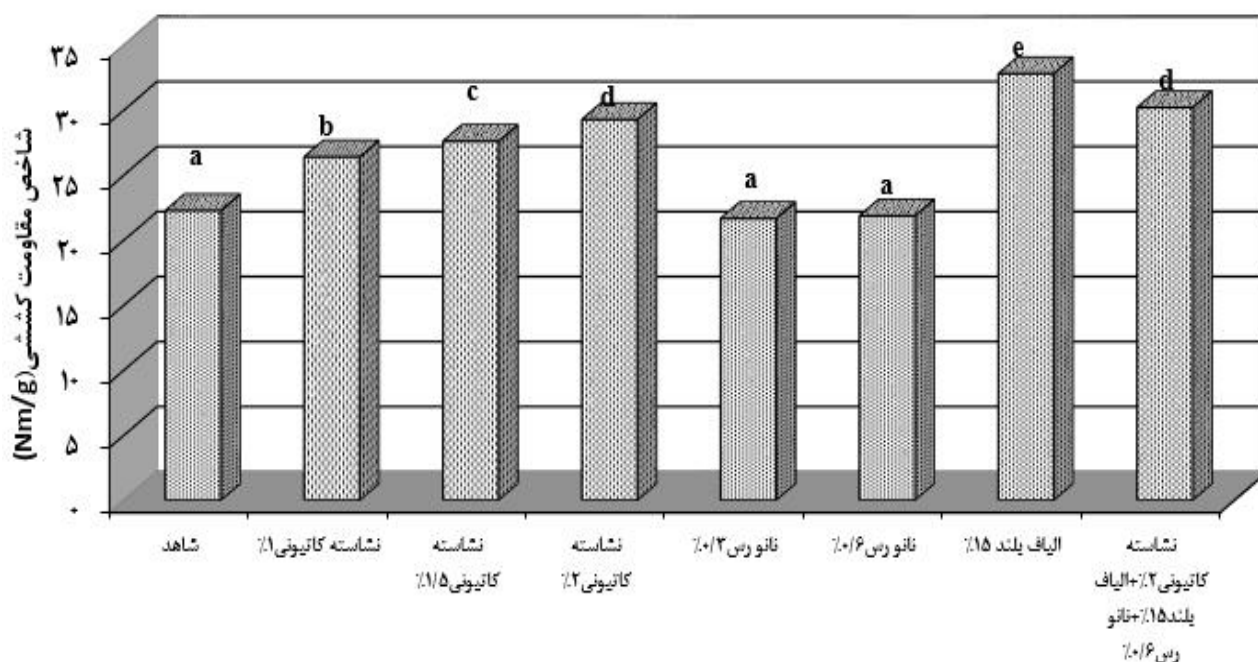
مشخصه	مقاومت به پارگی		RCT		مقاومت به ترکیدن		CMT		مقاومت کششی	
	Sig	F	Sig	F	Sig	F	Sig	F	Sig	F
تیمارها	***	۴/۱۹۴	***	۲/۲۷	***	۸/۸۶	***	۱/۸۲	***	۶/۶۶
			*		**		**		**	

\*\*\*: در سطح ۱ درصد معنی‌دار است. \*\*: در سطح ۵ درصد معنی‌دار است.

### مقایسه مقاومت کششی کاغذ حاصل از خمیر کاغذهای بازیافتی

نتایج نشان داد که با افزایش نشاسته کاتیونی، مقاومت کششی کاغذ حاصل از خمیر کاغذ بازیافتی افزایش یافته است. در بین تیمارهای مختلف، بیشترین مقاومت کششی با افزودن ۱۵ درصد الیاف بلند وارداتی (۳۲/۸ Nm/g) و کمترین آن با افزودن ۰/۳ درصد نانورس به خمیر کاغذ (۲۱/۷ Nm/g) اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد که با افزودن ۱۵ درصد الیاف بلند وارداتی، باعث بهبود مقاومت کششی

کاغذ حاصل از خمیر کاغذ بازیافتی در مقایسه با نمونه شاهد شده است. با افزودن نشاسته کاتیونی به همراه الیاف بلند وارداتی و ۰/۶ درصد نانورس، مقاومت کششی کاغذ حاصل افزایش یافته است. نتایج سایر تحقیقات نیز نشان داد که به‌کارگیری و حضور نشاسته کاتیونی بر سطح الیاف، ماندگاری و مقاومت کششی کاغذ را افزایش داده است (Piet, 2002). تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها نشان داد که بین میانگین مقاومت کششی تیمارها در سطح ۱ درصد تفاوت معنی‌داری وجود دارد (شکل ۲).

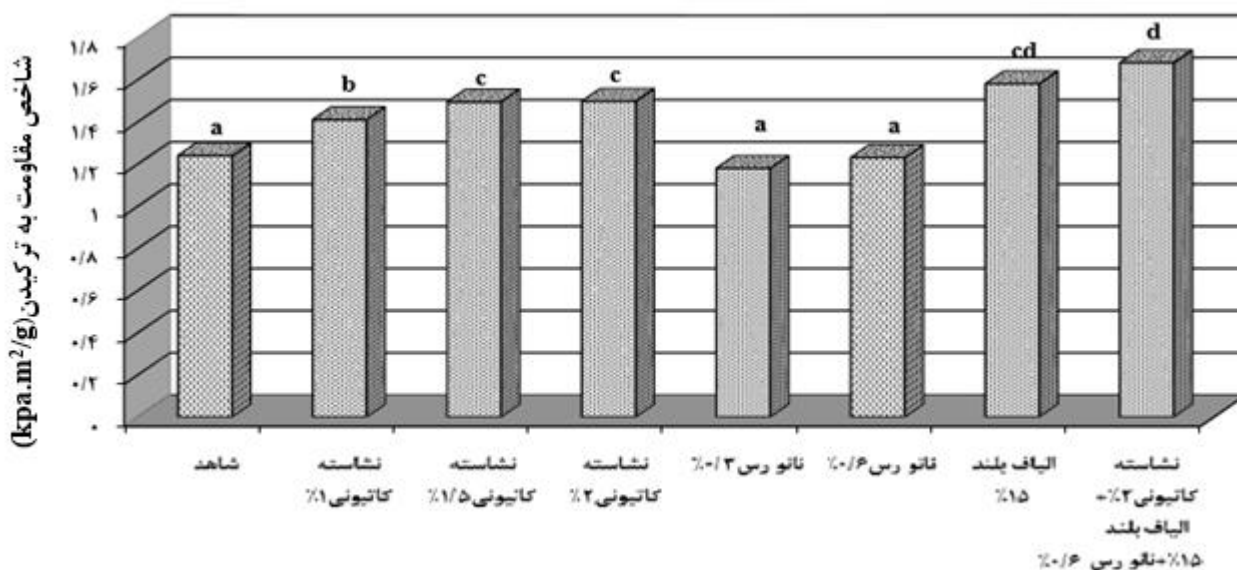


شکل ۲- مقاومت کششی کاغذ حاصل از افزودن نانورس، الیاف بلند و نشاسته کاتیونی به خمیر کاغذ بازیافتی

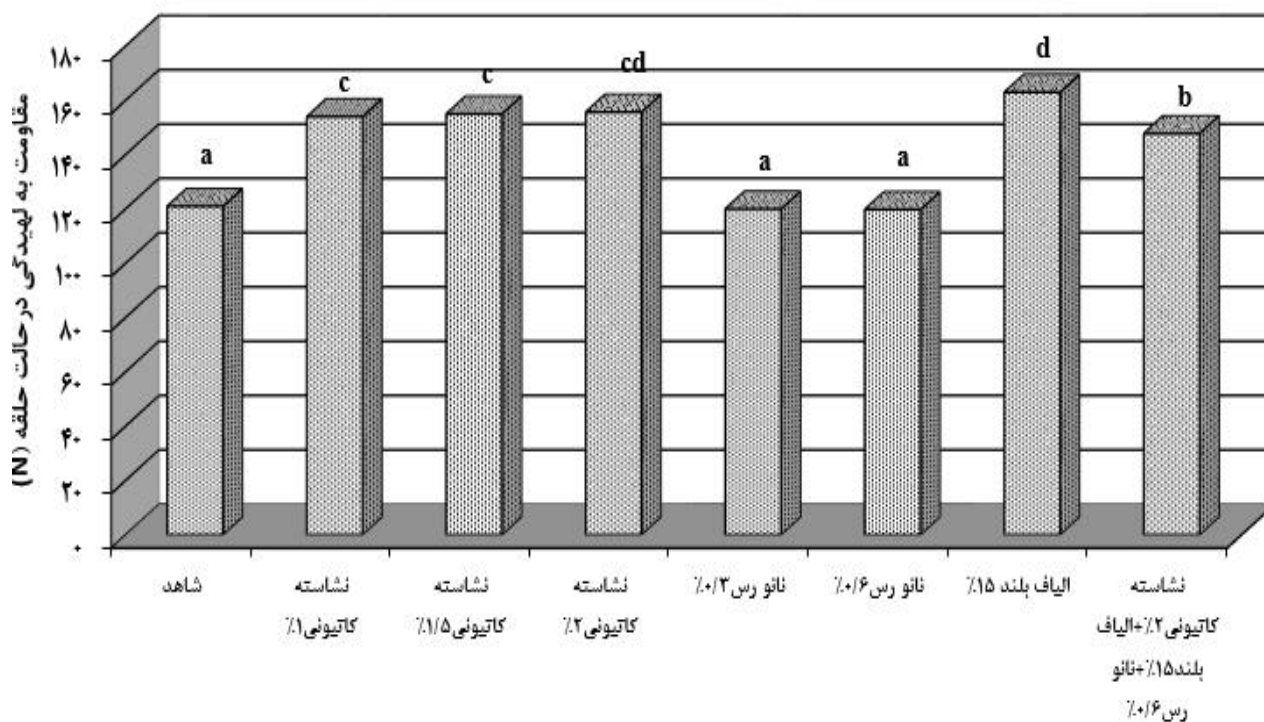
### مقایسه مقاومت به ترکیدن کاغذ حاصل از خمیر کاغذهای بازیافتی

نتایج نشان داد که با افزایش نشاسته کاتیونی مقاومت به ترکیدن کاغذ حاصل از خمیر کاغذ بازیافتی افزایش یافته است. در بین تیمارهای مختلف، بیشترین مقاومت به ترکیدن در کاغذ حاصل از افزودن ۲ درصد نشاسته کاتیونی به همراه ۱۵ درصد الیاف بلند وارداتی و ۰/۶ درصد نانورس (۱/۶۸ kpa.m<sup>2</sup>/g) و کمترین آن با افزودن ۰/۳

درصد نانورس به خمیر کاغذ (۱/۱۸ kpa.m<sup>2</sup>/g) مشاهده شد. به‌طور کلی افزودن نشاسته کاتیونی و الیاف بلند باعث افزایش و نانورس باعث کاهش مقاومت به ترکیدن کاغذ حاصل از خمیر کاغذ بازیافتی شده است. تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها نشان داد که بین میانگین مقاومت به ترکیدن تیمارها در سطح ۱ درصد تفاوت معنی‌داری وجود دارد (شکل ۳).



شکل ۳- مقاومت به ترکین کاغذ حاصل از افزودن نانورس و نشاسته کاتیونی به خمیر کاغذ بازیافتی



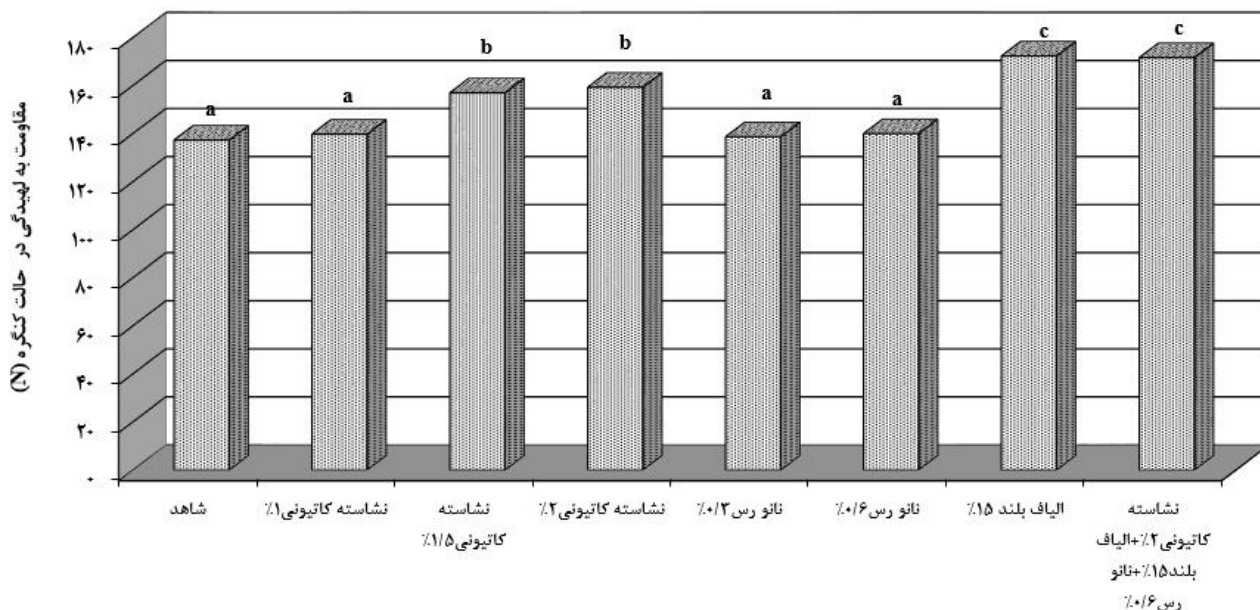
شکل ۴- مقاومت به لهیدگی در حالت حلقه (RCT) کاغذ حاصل از افزودن نانورس، الیاف بلند و نشاسته

مقایسه مقاومت به لهیدگی در حالت حلقه (RCT) کاغذ حاصل از خمیر کاغذهای بازیافتی

نتایج نشان داد که با افزایش نشاسته کاتیونی مقاومت به لهیدگی در حالت حلقه در کاغذ حاصل از خمیر کاغذ بازیافتی افزایش یافته است. در بین تیمارهای مختلف، بیشترین مقاومت به لهیدگی در حالت حلقه در کاغذ حاصل از افزودن ۱۵ درصد الیاف بلند وارداتی (۱۶۳ N) و کمترین آن با افزودن ۰/۶ درصد نانورس (۱۱۹ N) مشاهده شد. نتایج نشان داد که با افزودن همزمان ۱۵ درصد الیاف بلند وارداتی، ۲ درصد نشاسته کاتیونی و ۰/۶ درصد نانورس مقاومت به لهیدگی در حالت حلقه در مقایسه با نمونه شاهد افزایش قابل ملاحظه‌ای داشته است. به طوری که با افزودن نانورس کاهش جزئی در این ویژگی مشاهده شد. تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها نشان داد که بین میانگین مقاومت به لهیدگی در حالت حلقه تیمارها در سطح ۵ درصد تفاوت معنی‌داری وجود دارد (شکل ۴).

مقایسه مقاومت به لهیدگی در حالت کنگره (CMT)

نتایج نشان داد که با افزایش نشاسته کاتیونی مقاومت به لهیدگی در حالت کنگره در کاغذ حاصل از خمیر کاغذ بازیافتی افزایش داشته است. در بین تیمارهای مختلف، بیشترین مقاومت کششی با افزودن ۱۵ درصد الیاف بلند وارداتی (۹۹ N) و کمترین آن با افزودن ۰/۳ درصد نانورس به خمیر کاغذ (۶۸ N) اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد با افزودن ۱۵ درصد الیاف بلند وارداتی، به همراه ۰/۶ نانورس و ۲ درصد نشاسته کاتیونی، باعث بهبود مقاومت به لهیدگی در حالت کنگره در کاغذ حاصل از خمیر کاغذ بازیافتی در مقایسه با نمونه شاهد شده است. افزودن نانورس تأثیر مشخصی در مقاومت به کنگره‌ای شدن کاغذ نشان نداده است. تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها نیز نشان داد که بین میانگین مقاومت به لهیدگی در حالت کنگره تیمارها در سطح ۱ درصد تفاوت معنی‌داری وجود دارد (شکل ۵).

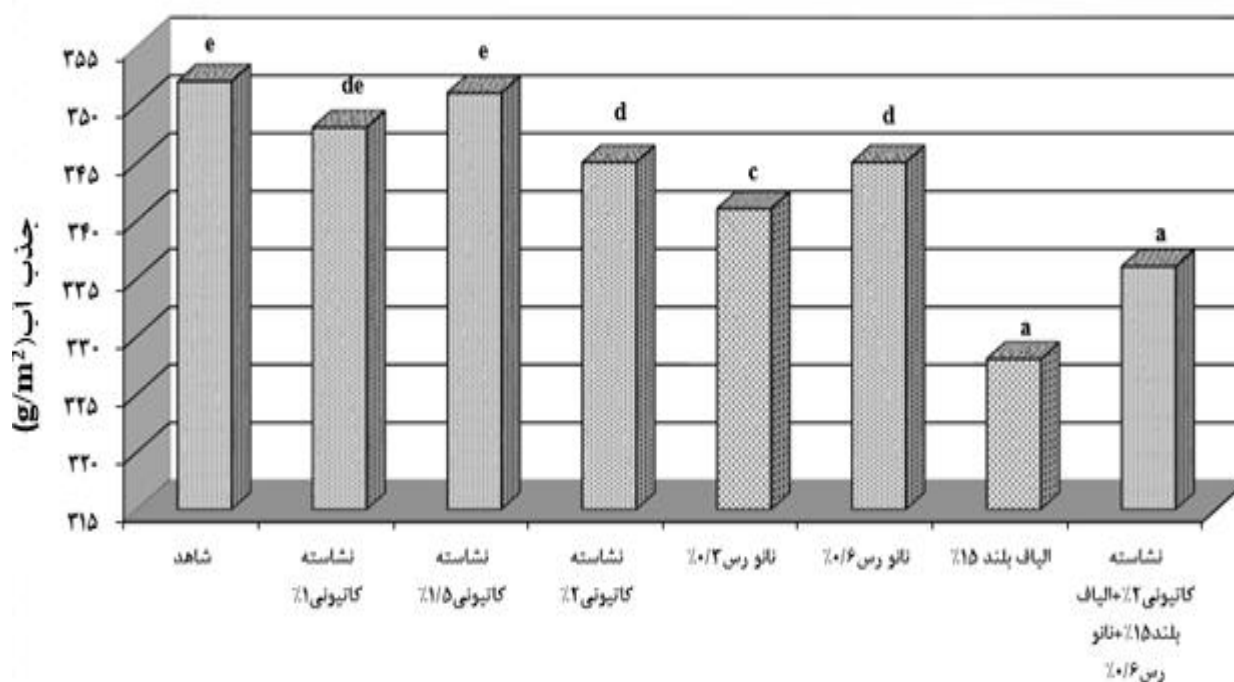


شکل ۵- مقاومت به لهیدگی در حالت کنگره با افزودن نانورس، الیاف بلند و نشاسته کاتیونی به خمیر کاغذ بازیافتی



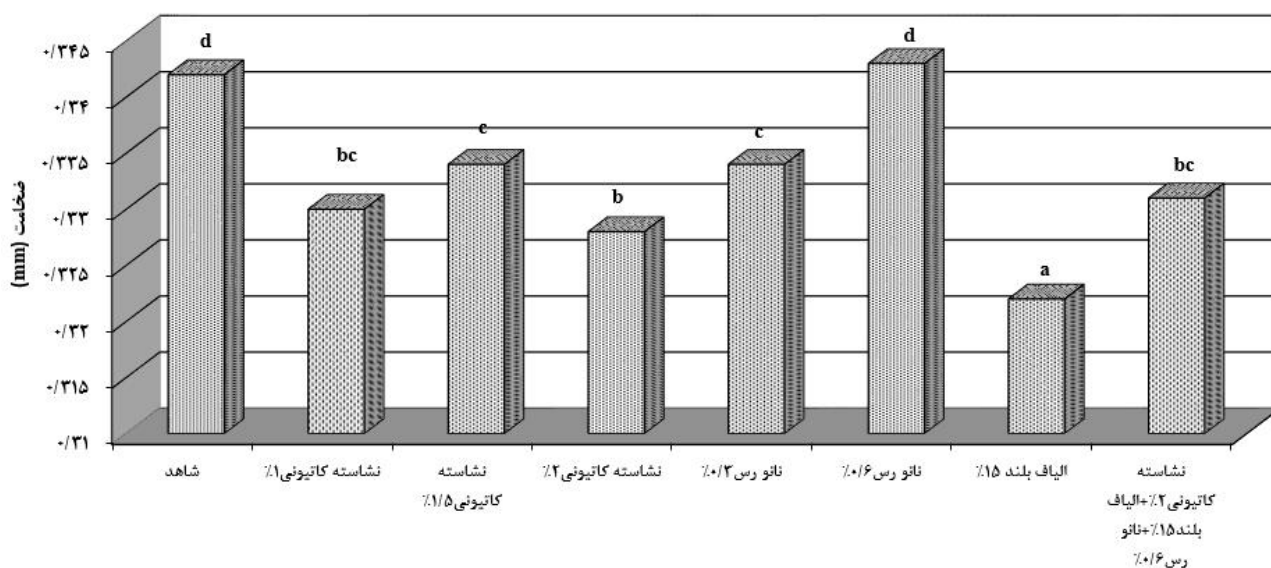
## مقایسه جذب آب نمونه‌های آزمونی

نتایج نشان داد با افزایش نشاسته کاتیونی جذب آب در نمونه‌های حاصل از کاغذ بازیافتی کاهش یافته است. کاهش جذب آب با افزودن الیاف بلند وارداتی و نانورس نیز مشاهده گردید. در بین تیمارهای مختلف، بیشترین کاهش در جذب آب، با افزودن ۱۵ درصد الیاف بلند وارداتی ( $328 \text{ g/m}^2$ ) مشاهده شد، نمونه شاهد بیشترین جذب آب ( $352 \text{ g/m}^2$ ) را از خود نشان داد. البته هر چه تخلخل بین الیاف کاغذ کاهش یابد، به دلیل کاهش نسبی فضای بین الیافی کاغذ، جذب آب نیز می‌تواند کاهش یابد. تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها نشان داد که بین میانگین جذب آب تیمارها در سطح ۱ درصد تفاوت معنی‌داری وجود دارد (شکل ۶).



شکل ۶- مقایسه جذب آب کاغذ حاصل از افزودن نانورس، الیاف بلند و نشاسته

کاتیونی به خمیر کاغذ بازیافتی



شکل ۷- ضخامت کاغذ حاصل از افزودن نانورس، الیاف بلند و نشاسته کاتیونی به خمیر کاغذ بازیافتی

## بحث

کوالانسی از طریق واکنش گروه‌های هیدروکسیل در نشاسته و الیاف بلند با گروه آلدهیدی الیاف کاغذ، از جمله تئوری‌های پیونددهی بارهای مثبت در نشاسته و بارهای منفی با سطح الیاف سلولزی است که کاهش برخی گروه‌های هیدروکسیل و جذب آب، باعث کاهش جذب آب در کاغذ حاصل می‌شوند (Nikolaeva, 2010).

با افزودن نانورس (نانوبنتونیت) به خمیر کاغذ بازیافتی، بیشتر مقاومت‌ها کاهش و ضخامت کاغذ (در ۰/۶ درصد نانورس) افزایش یافته است. نانورس با بار آنیونی منفی نمی‌تواند باعث تقویت پیوندهای داخلی در کاغذ شود و این مقاومت‌ها در کاغذ بازیافتی کاهش را نشان می‌دهد. نتایج نشان داد که افزودن الیاف بلند وارداتی به تنهایی و همچنین افزودن همزمان ۱۵ الیاف بلند وارداتی به همراه ۲ درصد نشاسته کاتیونی و ۰/۶ نانورس باعث بهبود بیشتر ویژگی‌ها به‌ویژه افزایش مقاومت‌ها در کاغذ حاصل شده است. استفاده از الیاف بلند وارداتی به علت طول الیاف بیشتر، ضریب رانکل، ضریب انعطاف‌پذیری و دانسیته خطی قابل ملاحظه در الیاف بلند وارداتی در مقایسه با الیاف بازیافتی است که باعث بهبود

این تحقیق با هدف استفاده از نشاسته کاتیونی، نانورس (نانوبنتونیت) و الیاف بلند وارداتی بر ویژگی‌های خمیر کاغذ بازیافتی انجام شد. نتایج نشان داد که افزودن نشاسته کاتیونی به خمیر بازیافتی، مقاومت به پارگی، کششی، ترکیدن، مقاومت به حلقوی شدن (RCT)، مقاومت به کنگره‌ای شدن (CMT) و افزایش و جذب آب و ضخامت کاغذ حاصل کاهش یافته است. در این ارتباط، افزودن نشاسته کاتیونی با بار مثبت، باعث تقویت بار کاتیونی در سطح الیاف سلولزی کاغذ (با بار آنیونی) خواهد شد، به‌نحوی که با افزودن نانورس (با بار آنیونی) آن را جذب و در واقع استفاده متوالی از پلی‌کترولیت‌های مثبت و منفی، مقدار بیشتری از نرمه‌ها را در کاغذ تر ماندگارتر می‌کند، در نتیجه مقاومت خشک بیشتری در کاغذ حاصل از خمیر کاغذ بازیافتی بهبود می‌یابد (Hadilam, 2013; Wagberg, 2002). توانایی برقراری پیوند هیدروژنی بین گروه‌های هیدروکسیلی الیاف، امکان تشکیل پیوندهای الکتروستاتیکی بین آنیون‌های سطح الیاف به‌ویژه گروه‌های کربوکسیل و همچنین قابلیت تشکیل پیوند

حرکت پذیری ماشین کاغذ افزایش می‌یابد (Glittenberg, 1993). در این ارتباط، نشاسته کاتیونی با افزایش مقاومت هر واحد از سطح پیوند یافته، باعث بهبود خواص کاغذ حاصل می‌شود، به طوری که متصل شدن نشاسته به الیاف بازیافتی منجر به احیای نقاط از دست رفته در سطح این الیاف شده و قدرت اتصال بین لیفی را افزایش می‌دهد و خواص مقاومتی کاغذهای دست‌ساز را تا حد خمیرکاغذ بکر بهبود می‌بخشد. قابلیت خمیرکاغذ بازیافتی را نیز می‌توان به وسیله مخلوط کردن آن با خمیرکاغذ بکر با ویژگی‌های مناسب و حداکثر ارتقاء داد، زیرا خمیرکاغذ بکر دارای الیاف و نرمه‌های فعال بیشتری است. همچنین وقتی این الیاف را با الیاف بازیافتی مخلوط می‌کنند، سبب افزایش کیفیت محصول در هنگام بازیافت دوباره کاغذ و بهبود ویژگی‌های کاغذ حاصل می‌گردد (Hubbe, 2005). با افزودن نانورس اثرهای مطلوبی در ویژگی‌های مورد بررسی کاغذ حاصل از خمیر بازیافتی مشاهده نشد. همچنین نتایج نشان داد که افزودن همزمان ۲ درصد نشاسته کاتیونی به همراه ۰/۶ درصد نانورس و ۱۵ درصد الیاف بلند وارداتی نیز باعث بهبود بیشتر ویژگی‌ها در کاغذ حاصل شده است. به طور کلی نتایج این تحقیق نشان داد با افزودن ۱۵ درصد الیاف بلند وارداتی، بهبود قابل ملاحظه‌ای در تمامی ویژگی‌های مقاومتی و فیزیکی کاغذ حاصل شده است که می‌تواند به عنوان تیمار برتر در این تحقیق معرفی گردد.

### منابع مورد استفاده

- Ahmadi Lajimi, A., Azadfallah, M., Hamzeh, Y. and Rahmaninia, M. 2020. Effect of cationic poly DADMAC based fixing agent on strength properties OCC pulp Iranian Journal of Wood and Paper Industries, 10(4):605-616.
- Darvishzadeh, O., Jahan Latibari, A., Sepidehdam, S.J. and Tajdini, A., 2014. Effect of simultaneous addition of cationic starch and bentonite on some properties of writing and printing paper, Iranian Journal of Wood and Paper Science Research, 66(4), 519-527.
- Ebrahimi, M., Ramezani, O., Rahmaninia, M., Kermanian, H. and Andalibian, M.A., 2014. Performance of Amylase on Properties of Recycled

بیشتر این ویژگی‌ها شده است. کاهش جذب آب نیز یک ویژگی مطلوب می‌باشد که به دلیل کاهش خلل و فرج، افزایش دانسیته و افزایش سطح پیوند و در نتیجه افزایش پیوندهای هیدروژنی با عملکرد مثبت کاتیون‌های موجود در نشاسته کاتیونی در کنار بار آنیونی الیاف و نانورس در کاغذ بوده است. تیمار ترکیبی نشاسته و الیاف بلند در افزایش مقاومت کششی و ترکیدن دارای بیشترین تأثیر می‌باشد، به طوری که استفاده از نشاسته کاتیونی به تنهایی و یا در ترکیب با خمیر الیاف بلند وارداتی، امکان دستیابی به ویژگی‌های مقاومتی مطلوب و مورد نیاز را بدون به همراه داشتن اثرهای منفی پالایش، به طور همزمان فراهم می‌سازد. با افزودن نشاسته، دانسیته ظاهری افزایش می‌یابد، به طوری که نشاسته کاتیونی بین الیاف قرار گرفته و فضای بین آنها را پر می‌کند، به نحوی که با افزایش سطح اتصال در الیاف و سطح پیوندی، باعث افزایش مقاومت به ترکیدن، کشش و پاره شدن افزایش می‌شود (Hadilam, 2013; Nogi, 2009). نشاسته کاتیونی از طریق دو سازوکار باعث بهبود مقاومت می‌شود، اولین سازوکار این است که نشاسته پیوند بین الیاف را افزایش می‌دهد، زیرا یون هیدروکسیل آزاد گلوکز آن در تقویت و ایجاد پیوندهای هیدروژنی شرکت می‌کند، به طور معمول تعداد پیوندهای هیدروژنی را که در سطح پیوند الیاف اتفاق می‌افتد افزایش می‌دهد، این سازوکار نوعی آب‌دار کردن شیمیایی الیاف است. سازوکار دوم آن است که نشاسته کاتیونی دارای بار مثبت با اتصال مؤثر به الیاف بازیافتی که دارای بار منفی به صورت یک پل الکترونیکی عمل نموده و باعث بهبود قدرت پیوند بین الیاف می‌گردد و از سویی احیای نقاط از دست رفته سطح الیاف و قدرت اتصال بین لیفی را افزایش می‌دهد (Heermann, 2006; Darvishzadeh, 2014). با عنایت به اینکه نشاسته کاتیونی دارای بار الکتریکی مثبت، جذب الیاف و فیلترهای دارای شارژ منفی شده و قرار گرفتن آنها بر سطح الیاف، باعث کاهش قابلیت زتا، ارتباط مناسب بین الیاف نرمه‌ها و فیلر، تقویت دلمه‌شدگی و بهبود ماندگاری در اولین گذر می‌گردد، اگر نشاسته کاتیونی به طور صحیح استفاده گردد همه ویژگی‌های کاغذ همزمان با بهبود ماندگاری و

- Piet, H.B., Jan, B. and Wielema T.A., 2002. Anionic wet-end starches a wealth of possibilities to improve paper quality and/or reduce paper, TAPPI Technology Summit.
- Rezayati Charani, P. and Moradian, M.H., 2019. Utilization cellulose nanofibers and cationic polymers to improve breaking length of paper. *Journal of Cellulose Chemistry and echnology*, 53(7-8):767-774.
- Rahmaninia, M., Rohi,M., Ramezani,O., and Zabihzadeh, S.M., 2015. The effect of pulp suspension pH on the performance of chitosan-nano-bentonite as a dry strength additive in hardwood CMP pulp. *Journal of Forest and Wood Products*, 68(2): 347-357.
- Safizadeh, A., H.Jalali Torshizi<sup>2</sup>, H.,Rudi,H., and A.Partoeinia,A., 2019.Effect of precipitated calcium carbonate and soy protein on properties of writing and printing recycled pulp, *Iranian Journal of Wood and Paper Science Research*, 33(3): 311-322.
- Stokes, Geoffrey, 2008. *Handbook of Electrical Installation Practice*. John Wiley & Sons. ISBN 978-1-4051-4767-5.
- Tajik, M., 2015. Using of nano-cellulose, polyacry lamide and cationic starch in internal H-bond reinforced of bagasse printing paper, M.S. thesis, Shahid-Behesti University. (In Persian).
- Technical Association of Pulp and Paper Industry, 2009. *Standard Test Methods*. Tappi Press, Atlanta, GA. USA.
- Vaysi, R. and Kord, B., 2013.The effects of H2O2 bleaching and DTPA spraying on the brightness stability of hornbeam CMP pulp following accelerated irradiation aging, *BioResource Journal*,8(2),1909-1917.
- Wagberg, L., Forsberg, S., Johansson, A. and Juntti, P., 2002. Engineering of fiber surface properties by application of polyelectrolyte multilayer concept, Part 1. Modification of paper strength. *Journal of Pulp and Paper Science*, 28(7): 222-228.
- Yoon, S. Y. and Deng, Y., 2006. Clay-starch composites and their application in papermaking. *Journal of Applied Polymer Science*, 100(2): 1032-1038.
- OCC Pulp Pre-soaked at Different pH(s) , *Journal of Forest and Wood Products*, 67(2): 325-333.
- Ghasemian, A. and Khalili, A., 2011. Principle and methods of paper recycle. Tehran: Aiij press, 184 p. (In Persian).
- Glittenberg, D., 1993. Starch alternatives for improved strength, retention and sizing, *Tappi journal*,79(11): 215-219.
- Hadilam, M., Afra, E. and Yousefi, H., 2013. Effect of cellulose nano-fibers on the properties of bagasse paper. *Journal of Forest and Wood Products*, 66(3): 351-366.
- Heermann, M., Welter, S. and Hubbe, M.A., 2006. Effect of high treatment levels in a dry-strength additives: program based on deposition on polyelectrolyte complexes, How much glue is too much? *TAPPI journal*, 5(6): 9-14.
- Hubbe, M.A., 2005. Microparticle programs for drainage and retention, in: micro and nano-particles in papermaking, Rodriguez, J.M. (ed), Tappi Press, Atlanta, GA., USA, 1-33.
- Kang, T., 2007. Role of external fibrillation in pulp and paper properties, Doctoral dissertation, Department of forest products technology, Helsinki University of Technology, Finland, 41 p.
- Mosavi; N., Nazarnezhad; N., Zabihzadeh, M., 2013. Study of the performance of the cationic starch of potatoes and wheat in improving the strength properties of the paper produced from old corrugated cartons,*Journal of Forest and Wood Products*, 66 (1): 125-133.
- Nogi, M., Iwamoto, S., Nakagaito, N.A. and Yano, H., 2009. Optically transparent nano-fiber paper. *Advanced Materials*, 21:1595-1598.
- Nikolaeva, M., 2010. Measurement and improvement of wet paper web strength, Master Degree program in chemical and process engineering. Master`s Degree Program in Chemical and Process Engineering Lappeenranta, University of Technology, Faculty of Technology, 38-40.
- Pappu, A., Saxena, M. and Asolekar, S.R., 2007. Solid wastes generation in india and their recycling potential in building materials. *Building and Environment*, ScienceDirect, 42: 2311-2320.

## The effect of using cationic starch, long fiber and nano-clay on physical and mechanical properties of recycled pulp

R. Vaysi<sup>1\*</sup> and K. Vaghari<sup>2</sup>

<sup>1\*</sup>-Corresponding author, Associate Prof., Dept. of Wood and Paper Science and Technology, Islamic Azad University of Chalous, Iran, Email:vaysi\_r452@yahoo.com.

<sup>2</sup>-Wood and Paper Technology (MS), KAVEH Paper making mill, Saveh, Iran.

Received: Aug., 2020 Accepted: July, 2021

### Abstract

The aim of this study was to investigate the application of cationic starch, long fiber and nano-clay (bentonite) on physical and mechanical properties of recycled pulp. For this purpose, first some recycled pulp was randomly selected from Kaveh Industries in Saveh city as control. Then, nano-clay was used at 0, 0.3 and 0.6% levels based on the dry weight of recycled pulp. The cationic starch was added at 0, 1, 1.5 and 2% levels and long fibers was added at 0 and 15% levels to recycled pulp suspensions. The hand sheets were prepared from above-mentioned pulps with 140 gr/m<sup>2</sup> basis weight and then the physical and mechanical properties were measured and compared according to TAPPI standard test methods. The results showed that tear, tensile, burst strengths, ring crust test (RCT) and corrugated medium test (CMT) were increased and cobb 60 and thickness were decreased. The results showed that using 2% cationic starch with 0.6% nano-clay and 15% imported long fiber improved the most paper properties. Addition of nano-clay to recycled pulp did not impart favorable effects. The results showed that all physical and mechanical properties improved with the addition 15% imported long fiber. This treatment can be selected as the best treatment in this study.

**Keywords:** Old recycled pulp, cationic starch, nano-clay, imported long fiber.