

## تأثیر استفاده از نانوالیاف سلولزی و نشاسته کاتیونی بر ویژگی‌های نوری و مقاومتی خمیرکاغذ

## شیمیایی- مکانیکی

## چکیده

این تحقیق باهدف بررسی تأثیر استفاده از نانو الیاف سلولزی و نشاسته کاتیونی بر ویژگی‌های نوری و مقاومتی خمیرکاغذ شیمیایی- مکانیکی (CMP) انجام شد. به همین منظور، ابتدا مقداری از خمیرشیمیایی- مکانیکی (CMP) رنگبری شده کارخانه چوب و کاغذ مازندران به عنوان نمونه شاهد انتخاب شد. سپس نانو الیاف سلولزی به صورت ژل سفیدرنگ خریداری و در ۴ سطح ۰، ۲، ۳ و ۴ درصد استفاده گردید. همچنین نشاسته کاتیونی با ۳ سطح ۰، ۳/۳ و ۰/۶ درصد و خمیر الیاف بلند وارداتی در دو سطح ۰ و ۵ درصد به سوسپانسیون خمیرکاغذ CMP حاصل اضافه شد. از خمیرکاغذهای مذکور کاغذهایی با وزن پایه  $60 \text{ gr/m}^2$  تهیه و خواص نوری و مقاومتی آنها طبق آزمون‌های استاندارد TAPPI اندازه‌گیری و مقایسه گردید. نتایج نشان داد که با افزودن نانو سلولز روشنی، فاکتور  $a^*$ ، مقاومت‌های پارگی، کششی، ترکیدن و مقاومت به عبور هوا در کاغذ حاصل افزایش، اما ماتی و سبزرنگی در کاغذ حاصل کاهش یافته است. نتایج نشان داد که با افزودن ۵ درصد الیاف بلند وارداتی، همزمان با افزودن ۳ تا ۴ نانو سلولز، باعث بهبود تمامی ویژگی‌های مقاومتی و نوری کاغذ حاصل بجز سبزرنگی و مقاومت به ترکیدن شده است. همچنین نتایج نشان داد که استفاده از ۰/۶ درصد نشاسته کاتیونی به همراه ۴ درصد نانو سلولز نیز باعث بهبود اکثر ویژگی‌ها بجز روشنی و مقاومت کششی شده است.

**واژگان کلیدی:** نانو سلولز، خمیر کاغذ CMP، نشاسته کاتیونی، الیاف بلند وارداتی.

رامین ویسی\*

مجید کیانی<sup>۱</sup>

علیرضا نیکبخت<sup>۲</sup>

<sup>۱</sup> دانشیار، گروه صنایع چوب و کاغذ، واحد چالوس، دانشگاه آزاد اسلامی، چالوس، ایران

<sup>۲</sup> دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، گروه صنایع چوب و کاغذ، واحد چالوس، دانشگاه آزاد اسلامی، چالوس، ایران

مسئول مکاتبات:

[vaysi\\_r452@yahoo.com](mailto:vaysi_r452@yahoo.com)

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۸/۰۸

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۱۲/۱۴

## مقدمه

خمیرکاغذهای شیمیایی- مکانیکی و مکانیکی در مقایسه با خمیرکاغذهای شیمیایی به دلیل استفاده بیشتر از انرژی مکانیکی و تخریب بیشتر در الیاف، متوسط طول الیاف کمتر، نرمه‌های بیشتر و ماندگاری کمتر نرمه‌ها و پرکننده‌ها، لیگنین باقیمانده بیشتر و ویژگی‌های مقاومتی کمتر، در ساخت کاغذهای باکیفیت، از مطلوبیت کمتری برخوردار هستند؛ اما به خاطر راندمان بیشتر و خصوصیات چاپ پذیری بهتر، از این خمیرکاغذها معمولاً برای تولید

کاغذهای روزنامه، چاپ و تحریر مدارس و مقوا استفاده می‌گردد. در این ارتباط، سالیانه حدود ۵۲۰۰۰ تن کاغذ روزنامه و ۳۸۰۰۰ تن کاغذ چاپ و تحریر در کارخانه چوب و کاغذ مازندران و از خمیرکاغذ شیمیایی- مکانیکی (CMP) و از چوب‌های ممرز، راش و صنوبر تولید می‌گردد. برای بهبود قابلیت حرکت‌پذیری کاغذ در حین تولید و چاپ، نیاز به بکارگیری حدود ۱۵ درصد الیاف بلند وارداتی است [۱]. وارداتی بودن این نوع خمیرکاغذ باعث ایجاد وابستگی و همچنین صرف و خروج مقادیر زیادی ارز

از کشور می‌گردد. در این ارتباط، نانو ذرات سلولزی از پتانسیل زیادی در تقویت شبکه کاغذ برخوردارند و از سلولز یعنی فراوان‌ترین ماده آلی خام موجود در طبیعت تهیه می‌شوند، که علاوه بر فراوانی، تجدید پذیری، سختی و مقاومت زیاد، بار الکتریکی منفی، وزن ملکولی کم و قابلیت تقویت و برقراری پیوندهای قوی در کاغذ را داشته و مورد توجه در این تحقیق قرار گرفته است. نانو ذرات سلولزی قطری در حدود ۱ تا ۱۰۰ نانومتر دارند و بخاطر حذف منطقه آمورف سلولزی در آن‌ها، باعث بهبود ویژگی‌های مقاومتی کاغذ می‌گردند [۲]. نانو سلولز مهم-ترین و فراوان‌ترین نانو پلیمر زیستی است که در طبیعت وجود دارد و به دلیل ویژگی‌های زیست سازگاری، زیست تخریب پذیری، ایمنی و ارزان بودن، سطح ویژه زیاد، مقاومت‌های مکانیکی زیاد، خواص ممانعتی و نوری مطلوب، باهدف بهبود ویژگی‌ها در محصولات و تعدد از جمله کاغذسازی کاربرد فراوان دارد [۳]. از طرف دیگر، نشاسته به دلیل قیمت مناسب و قابلیت بهبود مقاومت-های 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 فرآیندی بخصوص در آب سفید را به شدت تشدید می‌کند [۴]. با توجه به اینکه نشاسته کاتیونی به دلیل دارا بودن بارهای مثبت و بارهای مخالف مواد سلولزی (با بار منفی)، موجب ماندگاری بیشتر و تشکیل پیوندهای قوی تر و تولید کاغذ مقاوم تر می‌شود. در این ارتباط، Lakani و همکاران (۲۰۱۶) با بررسی استفاده از سلولز نانوفیبریل شده به منظور بهبود ویژگی-های خمیر کاغذ شیمیایی- مکانیکی (CMP) گزارش دادند که با افزودن نانوفیبریل‌های سلولزی بهبود قابل توجهی در خواص کششی و مقاومت به عبور هوای کاغذ مشاهده شد [۵]. Tajik (۲۰۱۵) با بکارگیری نانو سلولز، پلی اکریلامید و نشاسته کاتیونی در کاغذ چاپ و تحریر باگاس گزارش داد که با توجه به تقویت پیوندهای هیدروژنی داخلی، بهترین مقاومت‌ها در کاغذ حاصل از اختلاط ۳ درصد نانو سلولز و ۰/۶ درصد نشاسته کاتیونی حاصل شده است [۶].

Hasanzadeh و همکاران (۲۰۱۳) تأثیر استفاده از نانو الیاف سلولزی و نشاسته کاتیونی بر ویژگی‌های خمیر کاغذ سودای برنج را مورد بررسی قرار دادند. نتایج این تحقیق نشان داد که مقاومت‌های مکانیکی خمیر کاغذ با افزودن نانو فیبر سلولزی در سه سطح (۲، ۵ و ۱۰ درصد) به صورت خطی افزایش یافته است [۷]. Joybari و همکاران (۲۰۱۵) تأثیر کاتیونی کردن الیاف سوزنی برگ به وسیله EPTMAC و اختلاط آن با خمیر کاغذ CMP را بررسی کردند. نتایج این تحقیق نشان داد اختلاط الیاف بلند کاتیونی شده با خمیر کاغذ CMP خواص مقاومتی و ماندگاری نرمه‌ها را افزایش می‌دهد [۸]. Asadi و همکاران (۲۰۱۶) با تهیه نانو سلولز از جلبک رشته‌ای کلادوفورا و استفاده از آن جهت بهبود ویژگی‌های مقاومتی خمیر کاغذ CMP گزارش دادند که با استفاده از ۸ درصد نانو سلولز، بیشترین دانسیته، مقاومت به کشش و ترکیدن و کمترین مقاومت به پاره شدن در مقایسه با نمونه شاهد مشاهده شده است [۹]. به همین منظور، این تحقیق باهدف بررسی اثرات استفاده از نانو سلولز و نشاسته کاتیونی در بهبود ویژگی‌های خمیر کاغذ شیمیایی- مکانیکی (CMP) (نسبت به شرایط موجود کارخانه (شاهد)) انجام شد تا بهترین نتایج حاصل گزارش گردد.

## مواد و روش‌ها

### تهیه نمونه‌های آزمونی

در این تحقیق ابتدا از واحد ۶۰۰ کارخانه چوب و کاغذ مازندران، خمیر شیمیایی- مکانیکی (CMP) رنگبری و پالایش شده با درجه روانی حدود CSF ۳۰۰ تهیه و مقداری از خمیر کاغذ اولیه به عنوان نمونه شاهد انتخاب شد.

### تهیه و آماده‌سازی نانو الیاف سلولزی

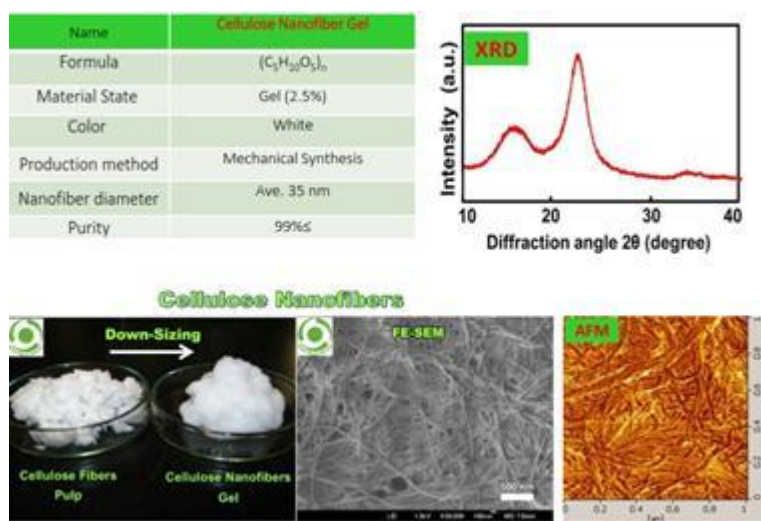
نانو سلولز از نوع نانو سلولز فیبریل شده، با پتانسیل زتا منفی و تهیه شده به روش مکانیکی، از شرکت دانش بنیان نانونوین پلیمر (پارک علم و فن آوری مازندران) به صورت ژل سفید رنگ با درصد خشکی ۳/۵ درصد، متوسط قطر الیاف ۳۵ نانومتر و درصد خلوص حدود ۹۹ درصد خریداری (شکل ۱) و پس از رقیق سازی با درصد

بعد از پخت (محلول ۰.۲٪) حدود ۸۰ سانتی پوآز و رطوبت آن نیز حدود ۱۱ درصد بود و از شرکت فلوکاء تهیه شد. به منظور انحلال پذیر شدن نشاسته در آب، بشر محتوی آب و نشاسته با غلظت ۵ درصد به مدت ۲۰ دقیقه در دمای ۸۰ درجه سانتی گراد نگهداری شد و در نهایت به منظور پخش و جذب بهینه بر روی سطح الیاف به دوغاب خمیر با درصد خشکی ۰/۰۵ درصد و در ۳ سطح ۰/۰۳، ۰/۰۶ و ۰/۰۶ درصد نسبت به وزن خشک خمیر کاغذ به نمونه‌ها اضافه گردید [۶].

خشکی ۰/۱ درصد آماده‌سازی و در ۴ سطح ۰، ۳، ۲، ۰ و ۶، ۱ درصد به سوسپانسیون خمیر کاغذ اضافه گردید [۶، ۱۰].

### آماده‌سازی نشاسته کاتیونی

نشاسته کاتیونی مورد استفاده در این تحقیق دارای pH حدود ۶، درجه استخلاف (DS) حدود (مول/مول) ۰/۰۲۰-۰/۰۱۶، مقدار پروتئین حدود ۱/۵ درصد، نیتروژن حدود ۰/۲۵ درصد، خاکستر کمتر از ۲ درصد، ویسکوزیته



شکل ۱- ویژگی‌های ژل نانو الیاف سلولزی (تهیه شده از شرکت دانش بنیان نانو نوین پلیمر، ۲۰۱۷)

فاکتورهای  $L^*$ ،  $a^*$  و  $b^*$  بر این اساس و همچنین روشنی و ماتی کاغذها به ترتیب با استفاده از آزمون استاندارد ۹۸-T ۴۵۲ om و ۹۶-T ۴۲۵ om تعیین شد. سپس ویژگی‌های مقاومتی کاغذهای حاصل مانند مقاومت‌های به پارگی، ترکیدن، کششی، طول پارگی و مقاومت به عبور هوا به ترتیب با استفاده از آزمون‌های ۹۸-T ۴۱۴ om، ۰۲-T ۴۰۳ om، ۹۶-T ۴۹۴ om، ۸۸-T ۴۹۸ om و ۹۶-T ۴۶۰ om استاندارد TAPPI اندازه‌گیری و مقایسه گردید.

### تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها

تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم افزار آماری SPSS انجام گرفت. برای بررسی اثر متقابل متغیرها و گروه بندی میانگین‌ها از طرح کاملاً تصادفی، آزمون تجزیه

### اندازه‌گیری ویژگی‌های نوری و مقاومتی

#### کاغذهای دست‌ساز

برای اندازه‌گیری خواص نوری و مقاومتی کاغذهای حاصل از خمیر کاغذهای تیمار شده و همچنین خمیر کاغذ CMP رنگبری شده کارخانه چوب و کاغذ مازندران (شاهد)، ابتدا، کاغذهای دست‌ساز با وزن پایه  $60 \text{ gr/m}^2$  بر اساس استاندارد TAPPI و به شماره ۸۸-۲۰۵ om تهیه شدند. با توجه به بکارگیری الیاف بلند وارداتی در خمیر-کاغذ شیمیایی-مکانیکی برای بهبود مقاومت‌ها، در یکی از تیمارها از ۵ درصد الیاف بلند وارداتی نیز استفاده گردید. برای اندازه‌گیری خواص نوری کاغذهای تهیه شده از دستگاه اسپکتروفتومتری استفاده شد. این دستگاه در سیستم CIElab قادر به تشخیص رنگ فرآورده‌های کاغذی می‌باشد. عملکرد این سیستم بر اساس خاصیت انعکاس نور از سطح مورد مطالعه استوار است. به طوری که

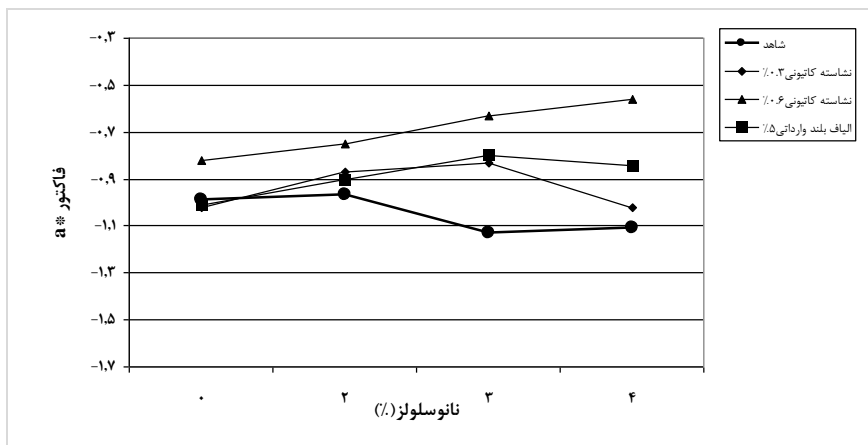


مقایسه فاکتور a\* کاغذ حاصل از

خمیر کاغذهای CMP

در سیستم جهانی رنگ (CIE L\*a\*b\*)، فاکتور a\* نشان‌دهنده طیف رنگی سبز تا قرمز در کاغذ می‌باشد، در کاغذ روزنامه و چاپ و تحریر، سبزرنگی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. نتایج نشان داد که با افزایش نانو سلولز فاکتور a\* کاهش و سبزرنگی کاغذ افزایش را نشان می‌دهد. به طوری که کمترین فاکتور a\* (-۱/۱۳) و بیشترین سبزی در کاغذ حاصل ۳ درصد نانو سلولز به نمونه شاهد

مشاهده شد. همچنین بیشترین فاکتور a\* و کمترین سبزی در کاغذ حاصل از افزودن ۰/۶ درصد نشاسته کاتیونی و ۴ درصد نانو سلولز (-۰/۵۶) مشاهده شد. به طور کلی افزودن الیاف بلند وارداتی و نشاسته کاتیونی برخلاف نانو سلولز باعث افزایش فاکتور a\* و کاهش سبزرنگی کاغذ حاصل از خمیر کاغذ CMP شده است. تجزیه تحلیل آماری داده‌ها نشان داد که بین میانگین فاکتور a\* تیمارها در سطح ۱ درصد تفاوت معنی‌داری وجود دارد (شکل ۳).

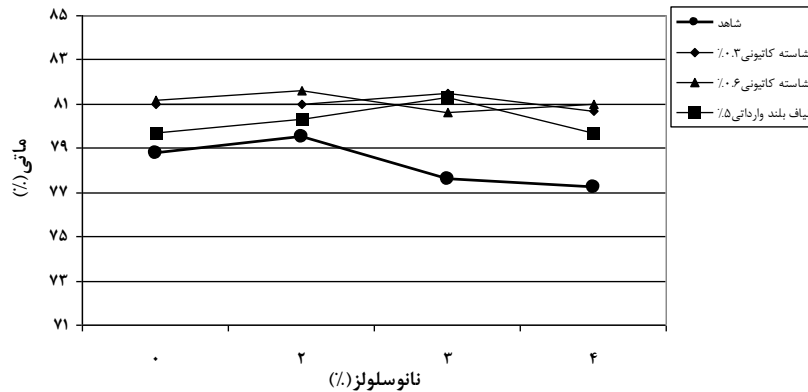


شکل ۳- مقایسه فاکتور a\* کاغذ حاصل از افزودن نانو سلولز و نشاسته کاتیونی به خمیر کاغذ CMP

افزایش محسوسی را نشان داد، ماتی کاغذ به عبور نور بستگی دارد، استفاده از نشاسته کاتیونی و نانو الیاف سلولزی باعث افزایش دانسیته، افزایش ماندگاری، کاهش تخلخل، افزایش پیوند بین الیاف، افزایش نسبی سطح و همگن شدن سطح الیاف در کاغذ شده و در نتیجه باعث بهبود ماتی می‌شود [۱۱، ۱۲، ۱۳]. تجزیه تحلیل آماری داده‌ها نشان داد که بین میانگین ضریب پخش نور تیمارها در سطح ۱ درصد تفاوت معنی‌داری وجود دارد (شکل ۴).

مقایسه ماتی کاغذ حاصل از خمیر کاغذهای CMP

نتایج نشان داد که با افزایش نانو سلولز ماتی در کاغذ حاصل از خمیر کاغذ CMP کاهش جزئی یافته است. در بین تیمارهای مختلف، بیشترین ماتی در کاغذ حاصل از افزودن ۰/۶ درصد نشاسته کاتیونی و ۲ درصد نانو سلولز (۸۱/۶٪) و کمترین آن در با افزودن ۴ درصد نانو سلولز در خمیر کاغذ شاهد (۷۷/۲٪) مشاهده شد. نتایج نشان داد که با افزودن نشاسته کاتیونی ماتی در کاغذ حاصل



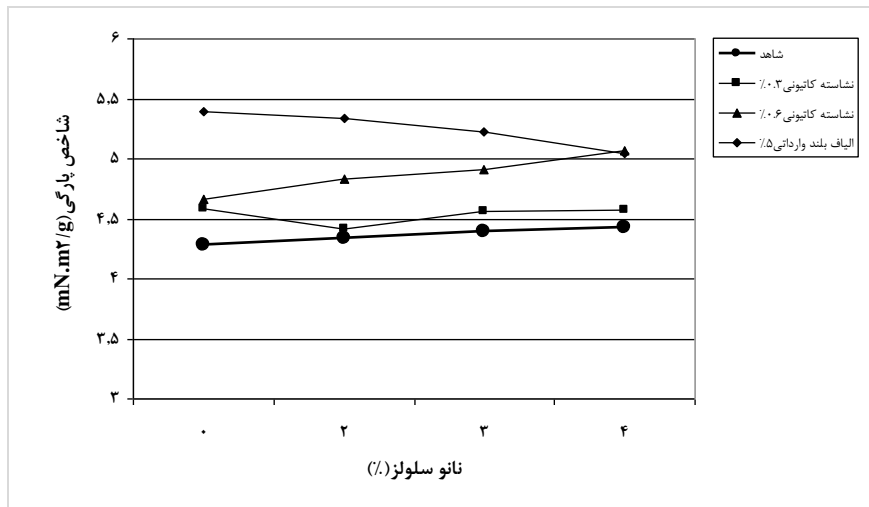
شکل ۴- مقایسه ماتی کاغذ حاصل از افزودن نانو سلولز و نشاسته کاتیونی به خمیر کاغذ CMP

نانو سلولز به سوسپانسیون خمیر کاغذ موجب شکل گیری بهتر خمیر کاغذ در ماشین کاغذ، افزایش سطح پیوند بین فیبرها و افزایش خواص مکانیکی در کاغذ تولیدی می شود [۱۵،۲]. با افزودن نشاسته کاتیونی مقاومت به پارگی کاغذ حاصل افزایش محسوسی را نشان می دهد، به طوری که مناسب ترین مقاومت به پارگی با افزودن ۰/۶ درصد نشاسته کاتیونی همزمان با ۴ درصد نانو سلولز حاصل شده است. افزودن نشاسته کاتیونی به الیاف، توان اتصال بین این نوع الیاف را افزایش می دهد و در نهایت باعث بهبود این ویژگی می شود [۶]. افزودن نشاسته کاتیونی باعث باردار شدن سطح الیاف (بار کاتیونی) خواهد شد که در مرحله بعد با افزودن نانو الیاف سلولز (با بار آنیونی) آن را جذب خواهد کرد. در واقع، استفاده متوالی از پلی الکترولیت های مثبت و منفی مقدار بیشتری از آن ها را بر الیاف ماندگار می کند و مقاومت خشک بیشتری حاصل می شود [۱۷،۱۸]. تجزیه تحلیلی آماری داده ها نشان داد که بین میانگین مقاومت به پارگی تیمارها در سطح ۱ درصد تفاوت معنی داری وجود دارد (شکل ۵).

### مقایسه شاخص مقاومت به پارگی کاغذ حاصل از

#### خمیر کاغذ های CMP

نتایج نشان داد که با افزایش نانو سلولز مقاومت به پارگی در کاغذ حاصل از خمیر کاغذ CMP افزایش جزئی یافته است. در بین تیمارهای مختلف، بیشترین مقاومت به پارگی در کاغذ حاصل از افزودن ۵ درصد الیاف بلند وارداتی (۵/۳۹ mN.m<sup>2</sup>/g) و کمترین آن (۴/۲۸ mN.m<sup>2</sup>/g) در خمیر کاغذ CMP شاهد بدون نانو سلولز (۰ درصد) مشاهده شد. نتایج نشان داد که با افزودن ۵ درصد الیاف بلند وارداتی، همزمان با افزودن نانو سلولز (۴ تا ۴ درصد) باعث کاهش جزئی مقاومت به پارگی کاغذ حاصل شده است. در طی افزودن نانو سلولز، افت مقاومت به پارگی با توجه به کوتاه شدن متوسط طول الیاف و همچنین کاهش متوسط دانسیته خطی الیاف که خود باعث کاهش مقاومت به پارگی شده است. به عبارت دیگر مقاومت به پاره شدن با متوسط طول الیاف به توان سوم متناسب است. البته افزایش نسبت الیاف کوتاه به الیاف بلند نیز باعث کاهش این مقاومت می گردد [۱۴]. افزودن



شکل ۵- مقایسه مقاومت به پارگی در کاغذ حاصل از افزودن نانو سلولوز و نشاسته کاتیونی به خمیر کاغذ CMP

کششی کاغذ را افزایش داده است [۲۰]. تجزیه تحلیل آماری داده‌ها نشان داد که بین میانگین مقاومت کششی تیمارها در سطح ۱ درصد تفاوت معنی‌داری وجود دارد (شکل ۶).

#### مقایسه شاخص مقاومت به ترکیدن کاغذ حاصل

##### از خمیر کاغذهای CMP

نتایج نشان داد که با افزایش نانو سلولوز مقاومت به ترکیدن کاغذ حاصل از خمیر کاغذ CMP افزایش جزئی یافته است. در بین تیمارهای مختلف، بیشترین مقاومت به ترکیدن در کاغذ حاصل از افزودن ۵ درصد الیاف بلند وارداتی (۲/۶ kpa.m<sup>2</sup>/g) و کمترین آن در خمیر کاغذ CMP با افزودن ۰/۶ درصد نشاسته کاتیونی همزمان با ۴ درصد نانو سلولوز (۲/۰۸ kpa.m<sup>2</sup>/g) مشاهده شد. نتایج نشان داد که با افزودن ۵ درصد الیاف بلند وارداتی، همزمان با افزودن نانو سلولوز باعث کاهش مقاومت به ترکیدن کاغذ حاصل از خمیر کاغذ CMP شده است. با افزودن ۰/۳ و ۰/۶ درصد نشاسته کاتیونی مقاومت به ترکیدن کاغذ حاصل افزایش را نشان می‌دهد، به طوری که مناسب‌ترین مقاومت به ترکیدن با افزودن ۰/۶ درصد نشاسته کاتیونی همزمان با ۳ درصد نانو سلولوز حاصل شده است. نتایج سایر تحقیقات نشان داد که به کارگیری نانو الیاف سلولزی به همراه نشاسته کاتیونی در ارتقای ویژگی‌های مقاومتی خمیر کاغذ مؤثر و موفق بوده است [۷].

#### مقایسه شاخص مقاومت کششی کاغذ حاصل از

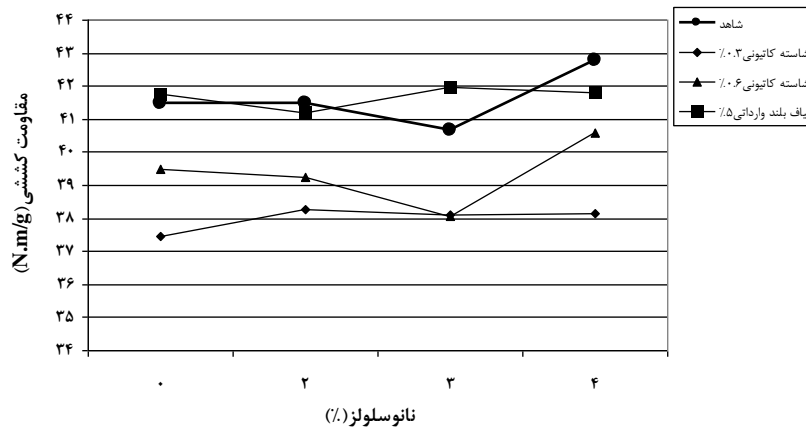
##### خمیر کاغذهای CMP

نتایج نشان داد که با افزایش نانو سلولوز مقاومت کششی کاغذ حاصل از خمیر کاغذ CMP افزایش جزئی داشته است. در بین تیمارهای مختلف، بیشترین مقاومت کششی در نمونه شاهد و همزمان با افزودن ۴ درصد نانو سلولوز (۴۲/۸ N.m/g) و کمترین آن با افزودن ۰/۳ درصد نشاسته کاتیونی در خمیر کاغذ (۳۷/۵ N.m/g) اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد که با افزودن ۵ درصد الیاف بلند وارداتی، همزمان با افزودن نانو سلولوز باعث بهبود مقاومت کششی کاغذ حاصل از خمیر کاغذ CMP در مقایسه با نمونه شاهد شده است، در این حالت، بهترین مقاومت کششی (۴۲ N.m/g) با افزودن ۴ درصد نانو سلولوز به نمونه شاهد مشاهده شد. نانو سلولوز به واسطه سطح ویژه زیاد، از طریق افزایش پیوندهای بین الیاف ویژگی‌های مقاومتی کاغذ را افزایش می‌دهد [۱۹]. با افزودن نشاسته کاتیونی مقاومت کششی کاغذ حاصل افزایش را نشان می‌دهد، به طوری که مناسب‌ترین مقاومت کششی با افزودن ۰/۶ درصد نشاسته کاتیونی همزمان با ۴ درصد نانو سلولوز حاصل شده است. نتایج سایر تحقیقات نیز نشان داد که با بکارگیری و حضور نشاسته کاتیونی و بار مثبت در الیاف خمیر کاغذ، ماندگاری و مقاومت

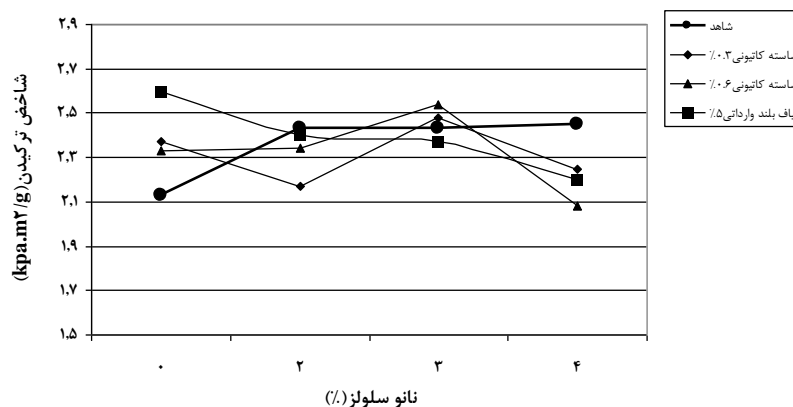


[۲۱،۱۲]. تجزیه تحلیل آماری داده‌ها نشان داد که بین میانگین مقاومت به ترکیدن تیمارها در سطح ۱ درصد تفاوت معنی‌داری وجود دارد (شکل ۷).

در این ارتباط هر چه سطح ویژه در الیاف بیشتر، الیاف نازک‌تر و انعطاف‌پذیرتر باشد، به دلیل ایجاد اتصال هیدروژنی بیشتر، پیوندهای بین الیاف افزایش یافته و در نتیجه مقاومت کاغذ به ترکیدن افزایش می‌یابد



شکل ۶- مقایسه شاخص مقاومت کششی کاغذ حاصل از افزودن نانو سلولز و نشاسته کاتیونی به خمیر کاغذ CMP



شکل ۷- مقایسه مقاومت به ترکیدن کاغذ حاصل از افزودن نانو سلولز و نشاسته کاتیونی به خمیر کاغذ CMP

و سطح پیوند بین لیفی باعث کاهش خلل و فرج و روزنه‌ها موجود در ساختار کاغذ شده، همچنین درازای مسیر عبور ملکول‌های هوا از کاغذ به دلیل ایجاد مسیر زیگزاکی طی شده در کاغذ بیشتر می‌شود، لذا حجم مشخص از هوا به زمان بیشتری برای عبور از کاغذ نیاز دارد، نفوذپذیری در کاغذ کاهش و مقاومت به عبور هوا افزایش می‌یابد [۲۳،۲۲]. با افزودن ۰/۶ درصد نشاسته کاتیونی به کاغذ حاصل، مقاومت به عبور هوا افزایش محسوسی را نشان داد، در این ارتباط نتایج سایر تحقیقات نشان داد که بهترین مقاومت‌ها در کاغذ چاپ و تحریر حاصل از باگاس از ۳

### مقایسه مقاومت به عبور هوا کاغذ حاصل از

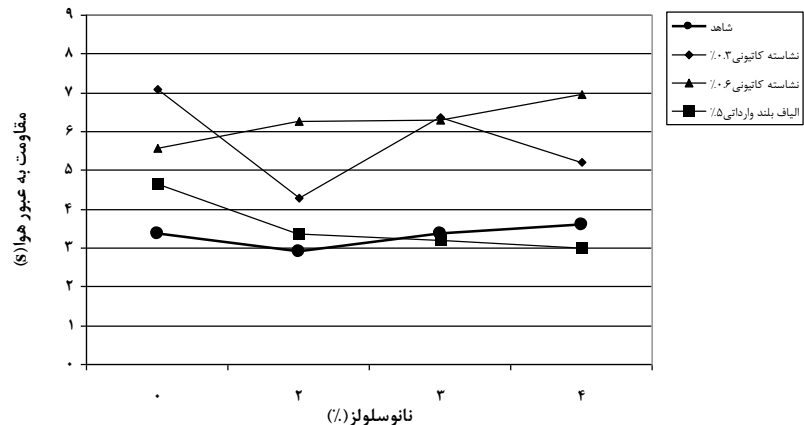
#### خمیر کاغذهای CMP

نتایج نشان داد که با افزایش نانو سلولز مقاومت به عبور هوا در کاغذ حاصل از خمیر کاغذ CMP افزایش یافته است. در بین تیمارهای مختلف، بیشترین مقاومت به عبور هوا در کاغذ حاصل از افزودن ۰/۳ درصد نشاسته کاتیونی (۷/۱ ثانیه) و همچنین افزودن همزمان ۰/۶ درصد نشاسته کاتیونی و ۴ درصد نانو سلولز مشاهده شد. پراکنش یکنواخت‌تر نانو فیبرهای سلولزی و در نتیجه افزایش شبکه



مقاومت به عبور هوا شده است. تجزیه تحلیل آماری داده‌ها نشان داد که بین میانگین مقاومت به عبور هوای تیمارها در سطح ۱ درصد تفاوت معنی‌داری وجود دارد (شکل ۸).

درصد نانو سلولز و ۰/۶ درصد نشاسته کاتیونی حاصل شده است [۶]. نتایج نشان داد که با افزودن ۵ درصد الیاف بلند وارداتی مقاومت به عبور هوا در کاغذ حاصل از خمیر کاغذ CMP (در مقایسه با نمونه شاهد) افزایش داشته است، اما در این ارتباط افزودن همزمان نانو سلولز باعث کاهش جزئی



شکل ۸- مقایسه مقاومت به عبور هوا در

کاغذ حاصل از افزودن نانو سلولز و نشاسته کاتیونی به خمیر کاغذ CMP

مقایسه با نمونه شاهد شده است. مقایسه داده‌ها در بین تیمارهای مختلف نشان داد که استفاده از ۰/۶ درصد نشاسته کاتیونی به همراه ۴ درصد نانو سلولز و همچنین بکارگیری ۵ درصد الیاف بلند وارداتی به همراه ۳ تا ۴ درصد نانو سلولز باعث بهبود اکثر ویژگی‌ها در کاغذ حاصل از خمیر کاغذ CMP شده است را می‌توان به‌عنوان تیمار-های برتر انتخاب و معرفی کرد. در این ارتباط، افزودن نشاسته کاتیونی باعث باردار شدن سطح الیاف (بار کاتیونی) خواهد شد، که در مرحله بعد با افزودن نانو الیاف سلولز (با بار آنیونی) آن را جذب خواهد کرد، در واقع استفاده متوالی از پلی‌الکترولیت‌های مثبت و منفی مقدار بیشتری از نانوسلولزها و نرمه‌ها را در الیاف کاغذ تر ماندگار می‌کند و مقاومت بیشتری در کاغذ حاصل می‌شود. نتایج سایر تحقیقات نیز نشان داد که استفاده از ۵ درصد نشاسته کاتیونی به همراه ۳ درصد نانو الیاف سلولزی باعث بهبود طول پارگی کاغذ حاصل شده و می‌تواند به‌عنوان تیمار برتر بجای پالایش در خمیر کاغذ بازیافتی معرفی گردد [۲۵].

## نتیجه‌گیری

این تحقیق باهدف تأثیر استفاده از نانو سلولز و نشاسته کاتیونی بر ویژگی‌های مقاومتی خمیر کاغذ شیمیایی- مکانیکی (CMP) انجام شد. نتایج نشان داد که با افزایش نانو سلولز روشنی، فاکتور  $a^*$ ، مقاومت کششی، مقاومت به پارگی و مقاومت به عبور هوا در کاغذ حاصل از خمیر کاغذ CMP افزایش، اما مات و سبز رنگی کاهش یافته است. نتایج سایر تحقیقات نیز نشان داد که با افزودن نانو الیاف سلولزی به خمیر شیمیایی- مکانیکی باعث افزایش مقاومت کششی، مقاومت به عبور هوا و روشنی کاغذ شده، اما مقاومت به پارگی، زبری و ماتی کاغذ کاهش یافته است [۲۴]. با بکارگیری نشاسته کاتیونی بخصوص در سطح ۰/۶ درصد، ویژگی‌های مات، مقاومت به عبور هوا و فاکتور  $a^*$  افزایش و روشنی و مقاومت کششی کاغذ حاصل کاهش یافته است. افزودن ۵ درصد الیاف بلند وارداتی، همزمان با افزودن نانو سلولز باعث بهبود تمامی ویژگی‌های مقاومتی و نوری بجز سبز رنگی و مقاومت به ترکیدن کاغذ حاصل از خمیر کاغذ CMP در

- [1] Barzan, A. and Soraki, S., 2002. Procedure of experimental for pulp and paper, Mazandaran Wood and Paper Industries, Sari, Iran, 111-121(in Persian).
- [2] Henriksson, M., Berglund, L.A., Laksson, P. and Nishino, T., 2008. Cellulose nano-paper structures of high toughness. *Biomacromolecules*, 9(6):1579-1585.
- [3] Yousefi, H., Nishino, T., Faezipour, M., Ebrahimi, G. and Shakeri, A., 2011. Direct fabrication of all-cellulose nanocomposite from cellulose microfibrils using ionic liquid-based Nanowelding. *Bio macromolecules*, 12 (11):4080-4085.
- [4] Yoon, S. Y. and Deng, Y., 2006. Clay-starch composites and their application in papermaking. *Journal of Applied Polymer Science*, 100(2):1032-1038.
- [5] Lakani, S., Afra, E. and Yousefi, H., 2016. Studing the effect of pulp refining and paper pressing and using nano fibrillated cellulose to improve the CMP pulp properties, *Iranian Journal of Wood and Paper Science Research*, 31(2): 224-236 (in Persian).
- [6] Tajik, M., 2015. Using of nano-cellulose, polyacrylamide and cationic starch in internal H-bond reinforced of bagasse printing paper, M.S. thesis, Shahid-Behesti University (in Persian).
- [7] Hasanzadeh, H., Hejazi, S., Yosofi, H., Mahdavi, M. and Abdolkhani, A., 2013. Effect of using cellulosic nanofibers and cationic starch on properties of rice stalk soda antraquinon pulp. *Journal of Forest and Wood Products*, 67(1):105-117 (in Persian).
- [8] Joybari, I., Azadfalsh, M., Resalati, H., Hamzeh, Y. and Yosofi, H., 2015. Investigation of effect cationic soft wood fiber by EPTMAC and mixed it's with CMP pulp. *Journal of Forest and Wood Products*, 68(2): 235-245 (in Persian).
- [9] Asadi, F., Nazarnezhad, N. and Asadpour Attoei, Gh., 2016. Preparation of nano-cellulose from cladophora, fibrous algae, and utilizing at the product to improve the strength properties of CMP pulp. *Iranian Journal of Wood and Paper Science Research*, 31(4): 695-702 (in Persian).
- [10] Luiss, A.J. and Jackson, C., 2002. Text book of pulping technology, McGraw-Hill, New York, NY, 126-132.
- [11] Glittenberg, D., 1993. Starch alternatives for improved strength, retention and sizing. *TAPPI journal*, 79(11): 215-219.
- [12] Vaysi, R. and Kord, B., 2013. The effects of H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> bleaching and DTPA spraying on the brightness stability of hornbeam CMP pulp following accelerated irradiation aging. *BioResource Journal*, 8 (2):1909-1917.
- [13] Nogi, M. Iwamoto, S., Nakagaito, N.A. and Yano, H., 2009. Optically transparent nano-fiber paper. *Advanced Materials*, 21:1595-1598.
- [14] 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.
- [15] Costa, M.M., and Colodette, J. L., 2007. The impact of kappa number composition on eucalyptus kraft pulp bleach ability, *Brazilian Journal of Chemical Engineering*, 24(1): 61-71.
- [16] 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.

- [17] 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.
- [18] 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.
- [19] Limmatainen, H., Visanko, M., Sirvio, J. A., Hormi, O.E.O. and Niinimäki, J., 2012. Enhancement of nano-fibrillation of wood cellulose through sequential periodate-chlorite oxidation, *Bio-macromolecules*, (13):1592-1597.
- [20] Brouwer, P.H., Baas, J., and Wielema T.A., 2002. Anionic wet-end starch: a wealth of possibilities to improve paper quality and/or reduce paper costs, *Technology Summit proceedings*.
- [21] Mirshokraie S. A., 2009. *Pulp and paper technology*, Aeeizh publication, Tehran, Iran, 209-210p (in Persian).
- [22] Xu, E. C., 2002. H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> bleaching of mechanical pulps. *Journal of Pulp and Paper Science* 28 (1): 26-30
- [23] Syverud, K. and Stenius, P., 2009. Strength and barrier properties of MFC films. *Cellulose*, (16):75-85.
- [24] Samariha, A. and Ebrahimpou Kasmani, J., 2019. Effect of nano-cellulose on the improvement of the properties of paper newspaper produced from chemi-mechanical pulping. *Journal of Bioresources*, 14(4):8935-8949.
- [25] Rezaayati Charani, P. and Moradian, M. H., 2019. Utilization cellulose nanofibers and cationic polymers to improve breaking length of paper. *Journal of Cellulose Chemistry and Technology*, 53(7-8):767-774.

## The effect of cellulose nano-fibers and Cationic starch on optical and mechanical properties of chemi-mechanical pulp

### Abstract

In this study, the effect of using cellulose nano-fibers and cationic starch on optical and mechanical properties of chemi-mechanical pulp was investigated. For this purpose, first some of bleached CMP pulps were randomly selected from Mazandaran Wood and Paper Industries (MWPI) as control. Then, cellulose nano-fibers were bought as white gel and used in 0, 2, 3 and 4 % levels. The cationic starch was added in 0, 0.3 and 0.6 % levels and imported long fibers with 0 and 5 % levels were added to CMP pulps suspensions, too. The hand sheets were prepared from above-mentioned pulps with 60 gr/m<sup>2</sup> basis weight and then the optical and mechanical properties were measured and compared according to TAPPI standard test methods. The results showed that brightness, a\* factor greenness, tear, tensile, burst strengths and air resistance were increased and light scattering opacity and greenness a\* factor were decreased. The results showed that by adding 5% imported long fibers as well as 3 and 4 % cellulose nano-fibers, all optical and mechanical properties improved expect for greenness and burst. Moreover, the results showed that using 0.6 % cationic starch with 4 % cellulose nano fibers improved the most properties of paper, expect brightness and tensile strength

**Keywords:** Nanocellulose, CMP pulp, Cationic starch, Imported long fiber.

**R. Vaysi**<sup>1\*</sup>  
**M. Kiaie**<sup>1</sup>  
**A. Nikbakht**<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Associate Prof., Department of Wood and Paper Technology, Islamic Azad University of Chalous, Iran. Email

<sup>2</sup> M.Sc. graduated student, Department of Wood and Paper Technology, Islamic Azad University of Chalous, Iran

Corresponding author:  
[vaysi\\_r452@yahoo.com](mailto:vaysi_r452@yahoo.com)

Received: 2019/10/30  
Accepted: 2020/03/04