

## عملکرد کایتوزان و پلی آمید اپی کلروهیدرین (PAE) بر مقاومت تر و جذب آب خمیر کاغذ جوهرزدایی شده

حسین جلالی ترشیزی<sup>۱\*</sup>، الهه چیانی<sup>۲</sup>، حمیدرضا رودی<sup>۱</sup>، محمدرضا نبید<sup>۲</sup>

۱. استادیار، مهندسی پالایش زیستی، دانشگاه شهید بهشتی

۲. دانشجوی کارشناسی ارشد، مهندسی پالایش زیستی، دانشگاه شهید بهشتی

۳. دانشیار، شیمی کاربردی، دانشگاه شهید بهشتی

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۳/۱۶، تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۶/۰۲

### چکیده

کاربرد روزافزون کاغذهای بهداشتی و بازار رقابتی آن به‌ویژه از منظر جذب آب و مقاومت تر، حائز اهمیت بوده و کاربرد افزودنی‌های شیمیایی مورد نیاز به‌ویژه با منشأ زیستی برای تأمین ویژگی‌ها رو به گسترش است که هدف این پژوهش نیز به‌شمار می‌رود. مقایسه تأثیر زیست‌بسیار کایتوزان با ماده متداول مصنوعی پلی آمید اپی کلروهیدرین (PAE) بر مقاومت‌های خشک و تر، سفیدی، براقیت و جذب آب کاغذهای تولیدی؛ در سطوح افزودن ۰/۵، ۰/۷۵ و ۱ درصد به خمیر کاغذ جوهرزدایی شده از کاغذهای باطله مخلوط اداری صورت گرفت. تصاویر SEM، نشست افزودنی‌ها و برتری حضور رشته‌های کایتوزان نسبت به PAE را تأیید کرد. برتری مقاومت‌های کششی و ترکیدن خشک و کششی تر، کاهش مقدار و سرعت جذب آب در تیمارهای کایتوزان مشخص شده که اغلب ناشی از اتصالات عرضی به‌وجودآمده بین اجزا به‌هنگام خشک شدن است؛ چراکه شباهت ساختاری زیاد کایتوزان با سلولز و نیز گروه‌های عاملی آمینی و هیدروکسیلی فراوان آن، سبب افزایش اتصالات و از طرفی کاهش موقعیت‌های جذب آب می‌شود. همچنین درگیر شدن گسترده اجزا در پیوندیابی، سبب کاهش انعطاف‌پذیری و افزایش سختی خمشی شده که البته در کمترین مقدار کاربرد (۰/۵ درصد)، سختی کایتوزان از PAE کمتر بود. علی‌رغم ایجاد روند کاهش، سفیدی (۱۱۱ درصد) و براقیت (۸۶ درصد) کاغذ آزمایشگاهی در کاربرد کایتوزان، تغییرات ملموسی نداشتند. به‌طور کلی، جایگزینی ۰/۵ درصد کایتوزان با ۱ درصد PAE، علاوه بر تأمین ویژگی‌های مقاومتی بیشتر، از کمترین کاهش مقدار جذب آب (حدود ۱۰ درصد) و ویژگی‌های نوری برخوردار شد و انعطاف‌پذیری بیشتری را نیز برای کاغذ به‌همراه داشت. بهبود مقاومت تر شبکه الیاف، ممکن است سبب بهبود قابلیت گذر در ماشین کاغذ شود.

واژه‌های کلیدی: پلی آمید اپی کلروهیدرین، جذب آب، کایتوزان، مقاومت تر.

### مقدمه

جذابیت‌های این زیست فراورده را دست‌کم از حیث بهداشتی بدون جایگزین کرده است [۱]؛ راه‌اندازی واحدهای متعدد و رو به رشد تولید کاغذهای بهداشتی در کشور شاهی بر این مدعاست. علاوه بر مقدار و سرعت جذب آب، از مهم‌ترین شاخص‌های ارزیابی کاغذهای بهداشتی، مقاومت در حالت خیس‌شدگی برای حفظ ساختار و جلوگیری از گسیختگی

علاوه بر کاربردهای نوشتاری، بسته‌بندی و نیز موارد ویژه‌ای همچون کاربرد در اسناد بهادار، کاغذ به‌طور گسترده و روزافزونی در مصارف بهداشتی استفاده می‌شود و

\* نویسنده مسئول، تلفن: ۰۹۱۲۸۹۱۷۶۲۷

برای کاغذ به‌همراه دارد [۷]. در این پژوهش و همسو با درخواست صنعت، از کایتوزان به‌عنوان افزودنی مقاومت‌تر استفاده شده و ضمن بررسی تأثیر آن بر کاغذ تولیدی از لیاف جوهرزدایی شده بازاریافتی از کاغذهای باطله مخلوط اداری، با افزودنی مصرفی (PAE) در کارخانه تولید فرآورده‌های بهداشتی لطیف مقایسه شد. کاربرد زیست‌بسیار کایتوزان به‌عنوان پسماند صنایع آبیان، رواج فرایندهای در صنایع مختلف یافته است و دسترس‌پذیری و رقابتی بودن آن با مواد شیمیایی سنتزی نیز شایان توجه است.

### مواد و روش‌ها

لیاف استفاده‌شده در این پژوهش از قبل جعبه تغذیه ماشین کاغذ کارخانه لطیف (فاقد افزودنی) و در پی بازیافت و جوهرزدایی کاغذهای باطله مخلوط اداری (خاکستر ۳ درصد) با درجه روانی SR ۲۲ و pH ۵/۶-۶ تهیه شد. کایتوزان از شرکت Sigma Aldrich با وزن مولکولی متوسط (۳۱۰,۰۰۰-۱۹۰,۰۰۰) و میزان استیل‌زدایی ۸۵-۷۵ درصد خریداری و به‌منظور کاربرد در کاغذسازی، در اسید استیک ۱ درصد به مدت ۱ ساعت در دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد حل شد و به مقدار صفر، ۰/۵، ۰/۷۵ و ۱ درصد وزن خشک خمیر کاغذ به دوغاب در حال تلاطم اضافه شد. کاربرد پلی‌آمید اپی‌کلروهیدرین (PAE) نیز به‌عنوان رزین مصرفی کارخانه با نام تجاری AK-PEK202 محصول شرکت AKKIM و با غلظت ۱۲/۵ درصد در مقادیر مشابهی مقایسه شد. تهیه کاغذ آزمایشگاهی با گرماژ (g/m<sup>2</sup>) ۸۰ (T205 sp-02) و خشک کردن در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد و اندازه‌گیری ویژگی‌ها براساس استانداردهای آیین‌نامه TAPPI T 456 om-2) به شرح زیر صورت گرفت: مقاومت کششی تر (T 456 om-2) و مقاومت کششی خشک (T 494 om-01)، مقاومت به ترکیدن (T 403 om-02)، سفتی خمشی (T 556 om-05)، سفیدی<sup>۱</sup> (T 560 om-05) و براقیت<sup>۲</sup> (T 452 om-02).

کاغذ است که با کاربرد رزین‌های سنتزی در خمیر کاغذ و انعقاد در خشک‌کن یا زمان انبارداری کاغذ به‌وجود می‌آید [۲]. ممنوعیت انتشار فرمالدهید به‌همراه گرایش شدید کاغذسازی و به‌ویژه فرایندهای کاغذ بهداشتی به pHهای خنثی و قلیایی، کاربرد رزین‌های اوره‌فرمالدهید و ملامین‌فرمالدهید، به‌عنوان پرمصرف‌ترین رزین‌های پیشین مقاومت‌تر سامانه‌های اسیدی را محدود و حتی ممنوع کرده و سبب جایگزینی رزین پلی‌آمید اپی‌کلروهیدرین (PAE) شده است [۳]. با این حال، رزین مزبور نیز مولد ترکیبات آلی هالوژن‌دار جذب‌شدنی<sup>۱</sup> (AOX) نظیر دی‌کلروپروپانول و مونوکلروپروپان دی‌ول در پساب است که برای محیط زیست و انسان خطرناک است [۴]. به‌طور کلی، بیشتر بسپارهای سنتزی با وجود ویژگی‌های عملکردی مطلوب، نه‌تنها تجزیه‌پذیر و سازگار با محیط زیست نیستند، بلکه به‌واسطه تبعیت از شرایط متغیر اقتصادی و سیاسی بازارهای نفت، ضریب اطمینان و حاشیه سود واحدهای تولیدی استفاده‌کننده را نیز تحت‌شعاع قرار می‌دهند [۵]؛ بنابراین جست‌وجو به‌منظور یافتن بسپاری جایگزین با کارایی بسپارهای مرسوم و نیز عاری از مشکلات آنها، همیشه مدنظر محققان و صنعتگران بوده و زیست‌موادی همچون پلی‌وینیل آمین، بسپارهای حاوی آلدهید و پلی‌کربوکسیلیک‌ها، مشتقات نشاسته، کایتوزان، کربوکسی‌متیل سلولز و پروتئین‌ها به‌عنوان افزودنی‌های مقاومت‌تر سازگار با محیط زیست در کانون پژوهش‌ها قرار داشته است [۶]. کایتوزان زیست‌بسیاری غیرسمی، آنتی‌باکتریال و به‌دست‌آمده از استیل‌زدایی کیتین (فراوان‌ترین زیست‌بسیار بعد از سلولز) است که تنها تفاوت منومرهای گلوکز آمینی آن (واحدهای گلوکزی واجد گروه عاملی آمین) با منومرهای سازنده سلولز، وجود گروه‌های آمینی (NH<sub>2</sub>) در حلقه گلوکز است که عامل ویژگی‌های منحصر به فرد کایتوزان به‌ویژه در تعامل با لیاف سلولزی است؛ چراکه در واقع به‌عنوان چسب شبکه لیاف سلولزی در هر دو حالت خشک و خیس، استحکام بالقوه‌ای را

2. Whiteness  
3. Brightness

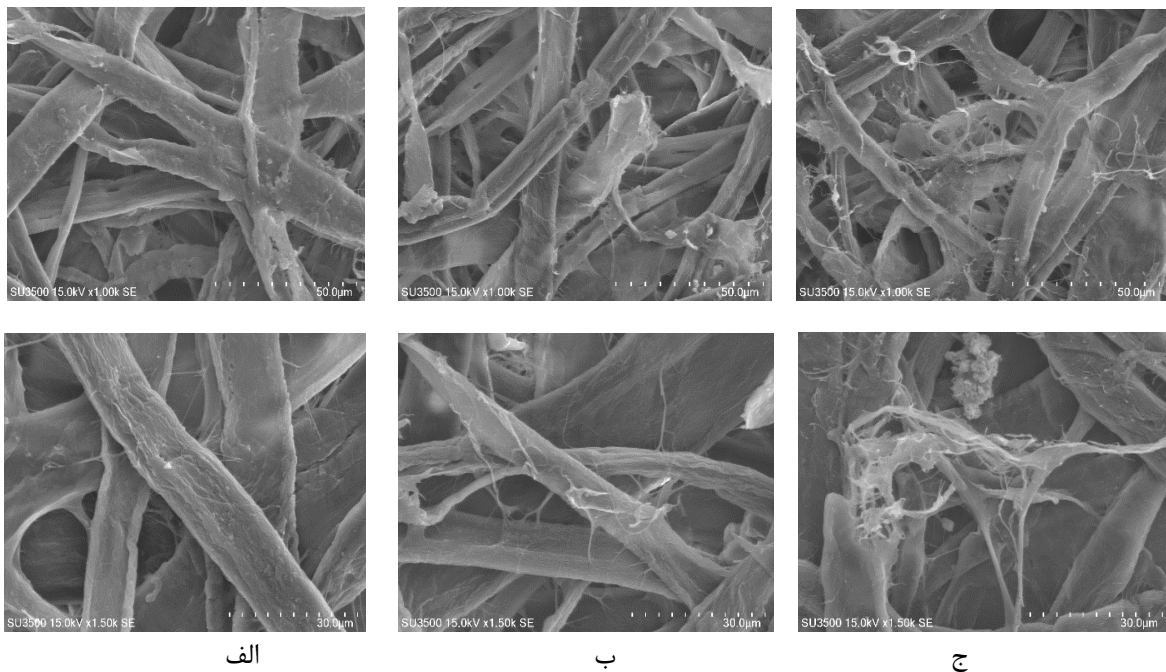
1. Absorbable Organic Halide (AOX)

**تصاویر SEM:** بررسی ریزنگاره‌های سطح کاغذ توسط میکروسکوپ الکترونی روبشی، حاکی از نشست و برقراری پیوند بین افزودنی‌های مقاومت تر با الیاف شبکه سلولزی است (شکل ۱). وجود رشته‌هایی روی سطوح و نقاط اتصال الیاف با یکدیگر، در تأیید روندهایی است که در ادامه در ویژگی‌های کاغذ مشاهده می‌شود. نبود رشته‌های پل مانند مزبور در تیمار شاهد (الف) و پهن و فراوان بودن این رشته‌ها در تیمار حاوی کایتوزان (ج) نسبت به تیمار حاوی PAE (ب) که همان چسب مقاومت تر هستند، انتظار برتری ویژگی‌ها را تداعی می‌کند که در ادامه تأیید می‌شود.

درصد جذب آب و زمان جذب کاغذ براساس استاندارد ملی ایران به شماره ۶۲۷ (۱۳۹۴) و به ترتیب از نسبت مقدار آب جذب شده به جرم خشک کاغذ و نیز زمان لازم برای جذب ۶۰ میکرولیتر آب مقطر ( $20 \pm 2^\circ\text{C}$ ) تزریق شده با زاویه حدود ۲۰ درجه اندازه‌گیری شد. تهیه ریزنگاره از نمونه‌های کاغذ توسط میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) مدل HITACHI صورت گرفت.

### نتایج و بحث

در شکل‌های ۲ تا ۹ مقایسه تأثیر کاربرد کایتوزان و PAE در سطوح بررسی شده و نیز مقایسه با تأثیر تیمار شاهد بر ویژگی‌های مقاومتی، نوری و جذب آب کاغذ ارائه شده است.



شکل ۱. ریزنگاره‌های SEM سطح کاغذها در بزرگنمایی‌های ۱۰۰۰ (تصاویر بالا) و ۱۵۰۰ (تصاویر پایین) از (الف) نمونه شاهد، (ب) نمونه حاوی PAE (ج) نمونه حاوی کایتوزان.

سبب از دست رفتن مقاومت کاغذ در برابر نیروهای اعمالی می‌شود. بر این اساس و نیز از آنجا که سلولز قادر به برقراری پیوندهای مقاوم در برابر آب نیست، تنها از طریق آن دسته از افزودنی‌های واجد برقراری پیوندهای غیربازشونده بر اثر آب (پیوندهای کووالانسی)، می‌توان

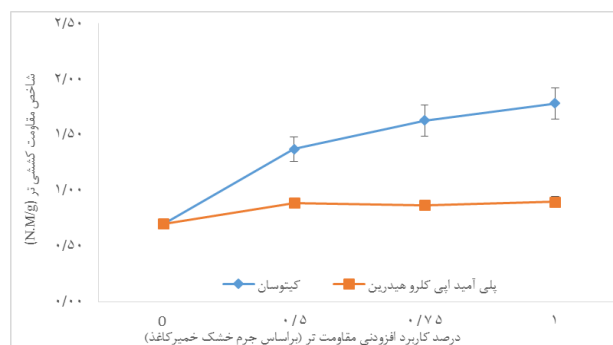
**شاخص مقاومت کششی تر:** بسیاری از فرآورده‌های کاغذی با قرار گرفتن در معرض آب، متلاشی می‌شوند که دلیل آن قرارگیری مولکول‌های آب در حد فاصل نقاط پیوند الیاف با یکدیگر و تبدیل پیوندهای هیدروژنی الیاف-الیاف به پیوندهای هیدروژنی الیاف-آب است که

افزایش بیش از ۶ درصدی مقاومت شد و در تمامی مقادیرهای کاربرد بیشتر نیز، نسبت به PAE کارآمدتر بود؛ تا جایی که کمترین مقدار کاربرد کایتوزان (۰/۵ درصد) به طور تقریبی رده مقاومتی مشابهی (۴۱/۴ N.M/g) با ۱ درصد کاربرد PAE (۴۲/۲ N.M/g) داشت. افزایش چشمگیر مقاومت با افزودن کایتوزان به خمیر کاغذ باطله قهوه‌ای نیز گزارش شده است. بدیهی است که عوامل موجد بهبود مقاومت تر کاغذ، مقاومت کششی خشک را نیز ارتقا داده است که از بررسی شکل‌های ۲ و ۳ دریافت می‌شود.

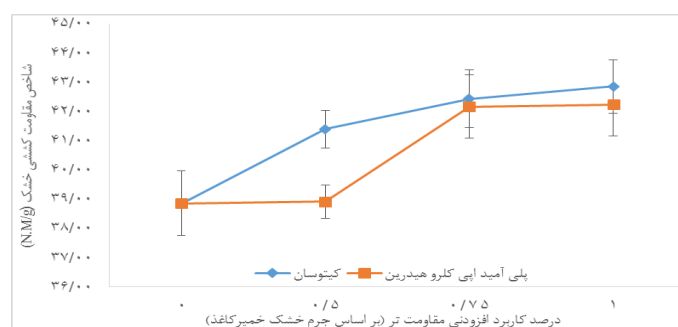
**شاخص مقاومت به ترکیدن کاغذ:** مقاومت به ترکیدن تر در کاغذهای بهداشتی از نظر تحمل به مچاله شدن در حین جذب مایعات و در عین حال عدم اضمحلال آن مورد توجه است که در روش استاندارد (TAPPI T 570 pm 00) به کمک میله بازرسی<sup>۱</sup> فرورونده در مرکز کاغذ خیس، رصد می‌شود؛ اما به دلیل دسترسی نداشتن آن در کشور و نیز تأثیرگذاری تأییدشده مقاومت تر بر مقاومت خشک [۸، ۱۲]، مقاومت به ترکیدن خشک بررسی شد. همانند مقاومت کششی خشک و تر، میزان بهبود مقاومت ترکیدن در تمامی مقادیر کاربرد کایتوزان به طور پیوسته‌ای برتر از PAE بود که دلایل آن همانند موارد پیشین ذکر شده است (شکل ۴). ارتقا نیافتن مقاومت‌های خشک کششی و ترکیدن و نیز کششی تر در کاربرد ۱ درصد نسبت به ۰/۷۵ درصد افزودنی PAE در تأیید عدم بازآرایی مناسب این افزودنی سنتزی و احتمالاً ناشی از ساختار درشت و تناسب نداشتن درجه کاتیونی بودن آن شایان ذکر است که مانع فرارگیری مناسب بین اجزا و ایجاد نقش مؤثر در مقاومت‌های مورد اشاره می‌شود.

این شرایط را ایجاد و تحمل کرد. کایتوزان و PAE هر دو واجد برقراری اتصالات عرضی بین اجزای دوغاب خمیر کاغذ هستند. با این حال فراوانی بیشتر گروه‌های کاتیونی آمینی در کایتوزان، امکان بیشتری را برای برقراری جاذبه‌های الکترواستاتیکی و پیوندهای قوی‌تر یونی فراهم آورده که در مجموع برتری مقاومت تر را در تیمارهای واجد کایتوزان موجب شده است [۸]. از طرف دیگر، شباهت زیاد ساختاری سلولز و کایتوزان، بازآرایی کایتوزان برای سازگاری و نزدیکی هرچه بیشتر با الیاف سلولزی را فراهم آورده که به پیوندهای کووالانسی و یونی بیشتر می‌انجامد. امکان وقوع واکنش‌های تراکمی بین گروه‌های کربونیل انتهای کاهنده زنجیره‌های پلی‌ساکاریدی الیاف با گروه‌های آمینی کایتوزان نیز گزارش و توسط طیف‌سنجی تأیید شده است [۹]. نکته جالب توجه این است که با افزایش درصد کاربرد کایتوزان، نسبت مقاومت تر (شکل ۲) به مقاومت خشک (شکل ۳) ورقه کاغذ بهبود یافت و از ۳/۳ درصد در سطح افزودن ۰/۵ درصد به ۴/۱ درصد در مقدار کاربرد ۱ درصد ارتقا یافت. با این حال میزان بهبود نسبت مقاومت کششی تر به خشک ناشی از کاربرد کایتوزان، بیش از حد متعارف افزودنی‌های مقاومت تر (۱۵ درصد) است [۱۰].

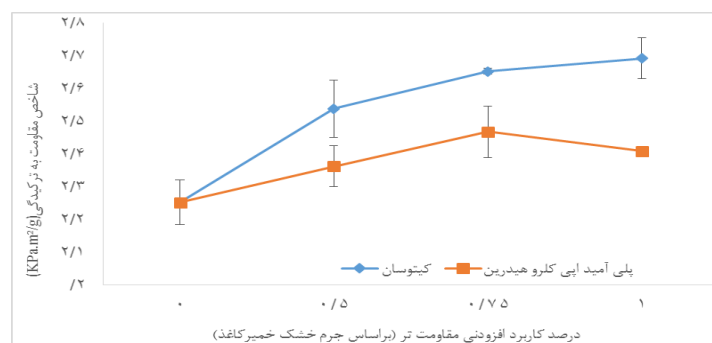
**شاخص مقاومت کششی خشک:** مقاومت خشک کاغذ اغلب توسط پیوندهای بین لیفی تأمین می‌شود که این ویژگی در کاغذهای بهداشتی از حیث سهولت کاربرد و نیز فرایندهای تبدیلی آن حائز اهمیت است. شباهت نزدیک کایتوزان به سلولز و نیز وجود گروه‌های فراوان واکنش‌پذیر آمین کاتیونی ( $\text{NH}_2$ ) در کایتوزان، سبب تشدید و تقویت جذب آن بر سطوح سلولزی و در نتیجه افزایش پیوندپذیری اجزای شبکه لیفی می‌شود [۱۱]. با توجه به شکل ۳، برخلاف افزودنی مقاومت تر سنتزی که کمترین مقدار کاربرد آن هیچ تغییری در شاخص مقاومت خشک کششی ایجاد نکرد، کایتوزان در همان مقدار کاربرد، سبب



شکل ۲. تأثیر افزودنی‌های کایتوزان و PAE بر شاخص مقاومت کششی تر کاغذ بازبافتی



شکل ۳. تأثیر افزودنی‌های کایتوزان و PAE بر شاخص مقاومت کششی خشک کاغذ بازبافتی



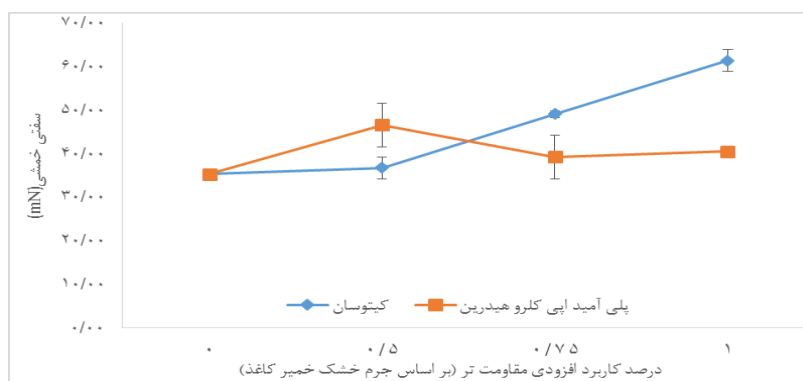
شکل ۴. تأثیر افزودنی‌های کایتوزان و PAE بر شاخص مقاومت به ترکیب کاغذ بازبافتی

هر دو افزودنی طبیعی و سنتزی را نشان می‌دهد و اغلب همانند روند دیگر مقاومت‌های مکانیکی افزایش پیوسته توأم با بیشتر بودن مقادیر در کاربرد کایتوزان نسبت به PAE را سبب شد (شکل ۵)؛ اما کمترین مقدار شقی مشاهده شده با کاربرد افزودنی‌های موصوف، در افزودن ۰/۵ درصد کایتوزان بود که افزایش سفتی به مراتب کمتری (۴ درصد) را در مقایسه با سطح متناظر PAE (۳۲ درصد) و نیز دیگر سطوح بررسی شده موجب شد.

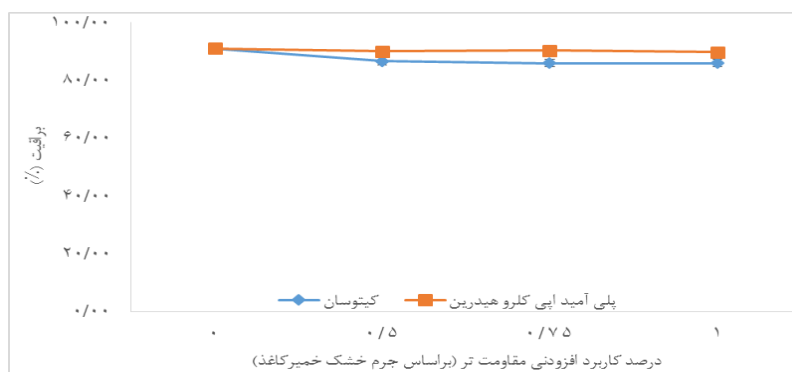
**سفتی خمشی:** از جمله ویژگی‌های حائز اهمیت در کاغذهای بهداشتی، انعطاف‌پذیری زیاد و به عبارتی سفتی کم در برابر خمش و میچاله شدن است که احساس نرمی را نیز تداعی می‌کند. بدیهی است که با افزایش پیوندیابی همه فرآورده‌های سلولزی، آزادی اجزا برای منعطف ماندن، محدود می‌شود که برخلاف کاغذهای بهداشتی، در بسیاری از فرآورده‌های کاغذی مطلوب است. نتایج ارزیابی سفتی خمشی کاغذ آزمایشگاهی بازبافتی از خمیر کاغذ جوهرزدایی شده نیز افزایش سفتی بر اثر کاربرد

**ویژگی‌های نوری:** کیفیت ظاهری کاغذها به‌ویژه مواردی که تحت فرایند چاپ قرار می‌گیرند و در تماس مستقیم روزمره‌اند، حائز اهمیت است. به همین دلیل سفیدی زیاد و براقیت مطلوب، همیشه مورد انتظار است. کاربرد افزودنی‌های مقاومت‌تر بررسی شده، تغییر محسوسی را در کیفیت ظاهری کاغذهای تولیدی ایجاد نکرد و سبب براقیت بیشتر از ۸۵ درصد (شکل ۶) و

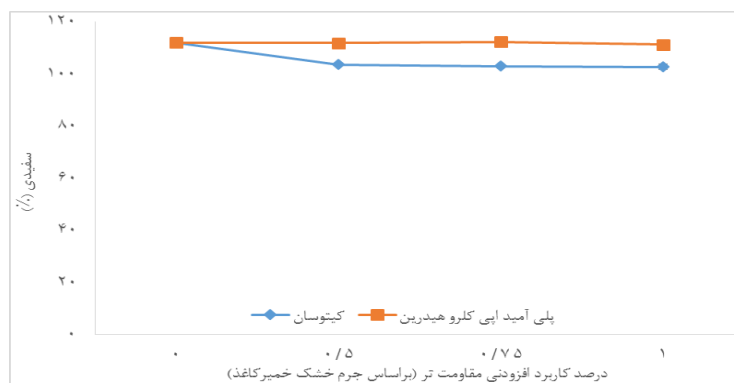
سفیدی بیشتر از ۱۰۰ درصد (شکل ۷) شد؛ اما میزان کاهش سفیدی و براقیت ناشی از کاربرد کایتوزان بیشتر از PAE بود. ماهیت مایل به زرد کمرنگ در پودر کایتوزان و امکان تشکیل پیوندهای دوگانه جاذب نور را می‌توان از دلایل افت ویژگی‌های نوری کاغذهای آزمایشگاهی ذکر کرد.



شکل ۵. تأثیر افزودنی‌های کایتوزان و PAE بر سفتی خمشی کاغذ بازیافتی



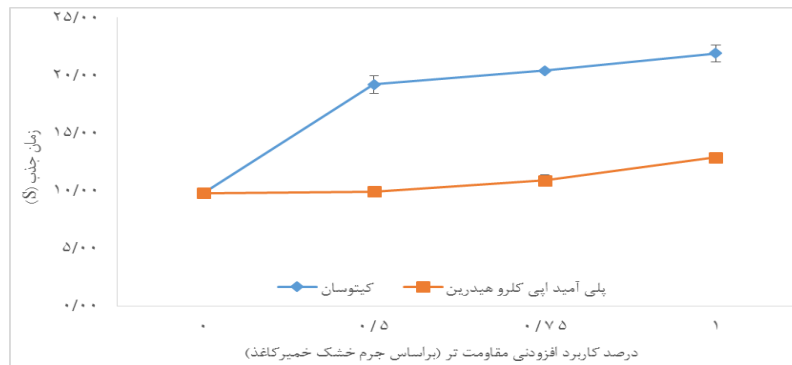
شکل ۶. تأثیر افزودنی‌های کایتوزان و PAE بر براقیت کاغذ بازیافتی



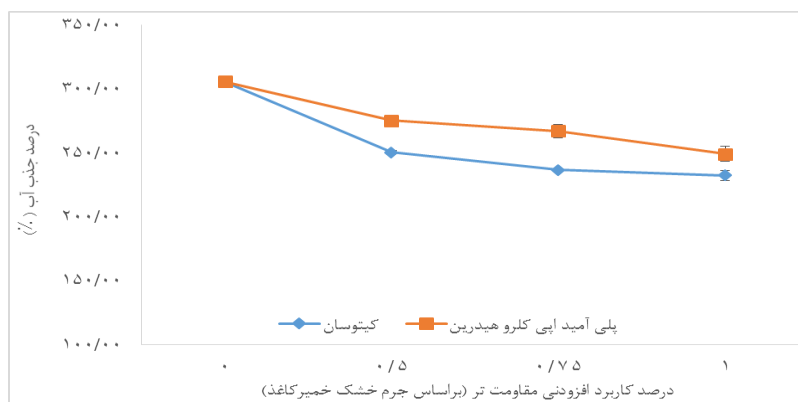
شکل ۷. تأثیر افزودنی‌های کایتوزان و PAE بر سفیدی کاغذ بازیافتی

عرضی) بوده و فراوانی وقوع آنها نیز زیاد باشد، شدت کاهش پتانسیل جذب آب به طور چشمگیری بارز خواهد بود (شکل های ۸ و ۹). افزایش پیوندیابی بین لیفی، فضاهای خالی شبکه ییاف را که مستعد پرشدن با مولکول های آب است نیز کاهش می دهد. بنابراین و مستند به برتری مقاومتی کاغذهای تیمار شده با کایتوزان نسبت به PAE که حاکی از اتصالات شدیدتر بین اجزاست، توانایی جذب آب کاغذهای متناظر نیز به طور معکوس تحت تأثیر قرار می گیرد و کاهش توانایی جذب آب را به ویژه در مقادیر زیاد کاربرد کایتوزان نشان می دهد. با این حال و علی رغم دوبرابر بودن زمان جذب آب در تیمار کایتوزان نسبت به تیمار PAE، از منظر مقدار آب جذب شده، تفاوت این دو افزودنی کمتر بود و حدود ۱۰ درصد مشاهده شد.

**زمان و درصد جذب آب:** سهولت و فراوانی دسترسی به گروه های آبدوست، تعیین کننده سرعت و مقدار جذب آب توسط فراورده های سلولزی است که تأثیر بسزایی در ارزیابی کیفیت فراورده های بهداشتی دارد. تولیدکنندگان انواع درجات کاغذ و مقوا، همواره در پی یافتن نقطه بهینه بین جذب آب (سرعت و مقدار جذب) و مقاومت های خشک کاغذ بوده اند. درگیر شدن هرچه بیشتر گروه های عاملی آبدوست نظیر هیدروکسیل، کربوکسیل و کربونیل موجود در الیاف لیگنوسلولزی توسط نیروهای متنوع جاذبه الکترواستاتیکی، هیدروژنی، یونی و کووالانسی، ضمن اینکه مقاومت های بیشتر خشک و تر کاغذ را در پی دارد، توانایی آنها در جذب سریع و زیاد مولکول های آب را کاهش می دهد. حال اگر اتصالات بین اجزای لیگنوسلولزی از نوع مقاوم به آب (پیوندهای



شکل ۸. تأثیر افزودنی های کایتوزان و PAE بر زمان جذب آب کاغذ بازیافتی



شکل ۹. تأثیر افزودنی های کایتوزان و PAE بر زمان جذب آب کاغذ بازیافتی

## نتیجه گیری

فرآورده‌های کاغذی به‌عنوان کامپوزیتی از مواد و ویژگی‌های متنوع و گاه متناقض، به‌طور گسترده و روزافزونی نیازمند درک و بهینه‌یابی است. قوانین و الزامات زیست‌محیطی در محدود کردن کاربرد افزودنی‌های غیرزیستی و تجزیه‌ناپذیر، گستره زیست‌بسپارها را معرفی کرده که باید نحوه و شدت اثرگذاری آنها در شرایط متغیر کاغذسازی بررسی شود. به‌طور کلی، کایتوزان به‌عنوان یکی از فراوان‌ترین زیست‌بسپارها، از تأثیرگذاری بیشتری بر ویژگی‌های خمیر کاغذ بازیافتی به‌کاررفته در کاغذهای بهداشتی برخوردار است و دامنه تغییرات شدیدتری نسبت به رزین

سنتزی سنتی PAE، که واجد نگرانی‌های زیست‌محیطی است، را رقم زده است؛ به‌طوری که مقاومت تر و خشک بیشتر و نیز جذب آب کاغذ کمتر آن نسبت به کاغذ تیمار شده با PAE گزارش شده است. در جست‌وجوی نقطه بهینه ویژگی‌های واگرایی متضاد مدنظر در کاغذهای بهداشتی (مقاومت تر و نیز جذب آب زیاد)، کاربرد کمترین مقدار بررسی شده کایتوزان (۰/۵ درصد)، به برتری مقاومتی منجر شد و نیز کمترین کاهش جذب آب کاغذ نسبت به کاغذهای حاوی PAE را در پی داشت. همچنین در سطح مزبور، کمترین سفتی خمشی در میان تیمارهای مواد افزودنی بررسی شده مشاهده شد که به مفهوم نرمی بیشتر کاغذ حاوی کایتوزان است.

## References

- [1]. Hamzeh, Y., and Rostampour Haftkhani, A. (2008). Principals of papermaking chemistry. University of Tehran press, Tehran.
- [2]. Chen, N., Hu, Sh., and Pelton, R. (2002). Mechanisms of aldehyde-containing paper wet-strength resins. *Industrial and Engineering Chemistry Research*, 41(22): 5366-5371.
- [3]. Chen, Z., Zhang, H., Song, Z., and Qian, X. (2013). Preparation and Application of Maleic anhydride-Acylated Chitosan for Wet Strength Improvement of Paper. *BioResources*, 8(3): 3901-3911.
- [4]. Saito, T., and Isogai, A. (2005). A Novel method to improve wet strength of paper. *TAPPI Journal*, 4(3): 3-8.
- [5]. Jalali Torshizi, H., Mirshokraie, S. A., Faezipour, M., Hamzeh, Y., and Resalati, H. (2010). Application of galbanum gum (*ferula gummosa*) polysaccharide as a natural polymer to improve dry strength properties of recycled papers obtained from old corrugated cartons. *Iranian Journal of Polymer Science and Technology*, 23(4): 345-353.
- [6]. Chiani, E., and Jalali Torshizi, H. (2016). Chitosan: A Biopolymer for Reduction of Environmentally Concerns of Cellulosic Products Mill Industries. In: 3rd Conference on New Findings in Environment and Agricultural Ecosystems. Summer 2016. Tehran.
- [7]. Adel, M. A., Dupont, A. L., Abou-Yousef, H., El-Gendy, A., Paris, S., and El-Shinnawy, N. (2014). A study of wet and dry strength properties of unaged and hygrothermally aged paper sheets reinforced with biopolymer composites, *Journal of Applied Polymer Science*, 131(18):40761: 1-13.
- [8]. Espy, H. H. (1995). The Mechanism of Wet-Strength Development in Paper: A Review, *TAPPI Journal*, 78(4): 9-99.
- [9]. Umemura, K., and Kawai, Sh. (2007). Modification of chitosan by the Maillard reaction using cellulose model compounds. *Carbohydrate Polymers*, 68(2): 242-248.
- [10]. Qian, L., Guan, Y., He B., and Xiao, H. (2008). Synergy of wet strength and antimicrobial activity of cellulose paper induced by a novel polymer complex. *Materials Letters*, 62(21): 3610-3612.
- [11]. Rowland, S. P. (1977). Cellulose: pores, internal surfaces, and water interface. In *textile and paper chemistry and technology*. American chemical society, New Orleans, USA.
- [12]. Lindström, T., Wågberg, L., and Larsson, T. (2005). On the nature of joint strength in paper— a review of dry and wet strength resins used in paper manufacturing. 13th Fundamental Research Symposium, September 2005, Cambridge, UK, pp. 457-562.



## Performance of chitosan and polyamide epichlorohydrin (PAE) on wet strength and water absorption of deinked pulp

**H. Jalali Torshizi\***; Assist. Prof., Biorefinery Eng. Dept., Shahid Beheshti University, I.R. Iran

**E. Chiaani**; M.Sc. Student, Biorefinery Eng. Dept., Shahid Beheshti University, I.R. Iran

**H. Rudi**; Assist. Prof., Biorefinery Eng. Dept., Shahid Beheshti University, I.R. Iran

**M. R. Nabid**; Assoc. Prof., Applied Chemistry Dept., Shahid Beheshti University, I.R. Iran

(Received: 06 June 2017, Accepted: 24 August 2017)

### ABSTRACT

Increasing the application of tissue papers and its competitive market, particularly in respect to the water absorbency and wet strength, is important and utilization of necessary chemicals especially bio-based ones, for required specification is extensive. Therefore, the aim of this is to focus on the bio-based chemical and its efficiency. Effects of the chitosan biopolymer compared to the common synthetic polyamide epichlorohydrin (PAE) on the wet and dry strengths, whiteness, brightness and water absorbency of handsheets prepared from deinked pulp of mixed office waste paper were carried out at 0.5, 0.75 and 1% addition levels of the wet strengths agents. SEM images proved the sedimentation of additives and higher advent of chitosan fibers than PAE. Higher dry tensile, burst and wet tensile strengths, lower rate and content of water absorption of treatment with chitosan were determined mainly caused due to creation of cross links among the paper ingredients during the drying. Due to the high similarity between the cellulose and chitosan and also plenty of amine and hydroxyl functional groups of the chitosan, the bonding increased while water uptake sites decreased. Extensive bonding resulted in lower flexibility and higher bending stiffness, which was higher in PAE than chitosan treatments at 0.5%. In spite of declining trend, variations in whiteness (111%) and brightness (86%) of chitosan reinforced handsheets were insignificant. Generally, 0.5% of the chitosan compared to 1% of PAE, provided higher strengths values and minimum reduction in water absorption (~10%) and optical properties while higher flexibility donated to the paper. Also an improvement in the wet strengths of the fibrous network could be resulted in better machine runnability.

**Keywords:** Wet strength, Water absorption, Chitosan, Polyamide epichlorohydrin.

---

\* Corresponding Author, Email: H\_Jalali@sbu.ac.ir, Tel : +989128917627