مقاله کامل علمی- پژوهشی

نشریه پژوهش‌های علوم و فناوری چوب و جنگل
جلد بیست و هشتم، شماره سوم، ۱۴۰۰
۹۱-۱۰۹
http://jwfst.gau.ac.ir
DOI: 10.22069/JWFST.2021.16554.1808

تأثیر ترکیب آلی گلاناپون بر ویژگی‌های خمیرکاغذ روزنامه بازیافتی

مژده مشکور*[۱] و احمدرضا سرائیان[۲]

[۱]استادیار گروه علوم و مهندسی کاغذ، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران،
[۲]دانشیار گروه علوم و مهندسی کاغذ، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۲/۰۳؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۷/۱۲

چکیده

سابقه و هدف: امروزه فرآیند بازیافت کاغذ به‌عنوان یک ضرورت اقتصادی و زیست‌محیطی بسیار مهم مطرح می‌باشد. یکی از فرآیندهای مهم در بازیافت کاغذ، مرکب‌زدایی می‌باشد. برای مرکب‌زدایی کاغذهای باطله از مواد شیمیایی مختلفی استفاده می‌شود که یکی از مهم‌ترین آن‌ها سیلیکات سدیم است. ترکیبات سیلیکاتی به‌سبب رسوب در تجهیزات، موجب کاهش عمر مفید دستگاه‌ها و مشکلاتی در سیستم تصفیه پساب می‌شوند. در این پژوهش با توجه به مشکلات مرتبط با سیلیکات سدیم، بازیافت کاغذ روزنامه باطله با استفاده از ترکیب آلی گلاناپون به‌عنوان جایگزین سیلیکات سدیم مورد بررسی قرار گرفت. گلاناپون دارای بار سطحی آنیونی می‌باشد و در صنایع خمیر و کاغذ به‌عنوان عامل پراکنده‌ساز و جلوگیری‌کننده از ایجاد رسوب و ته‌نشست و به‌عنوان تثبیت‌کننده پروکسید هیدروژن در فرآیند رنگبری و جوهرزدایی کاغذهای باطله استفاده می‌شود.

مواد و روش‌ها: در این پژوهش تهیه خمیرکاغذ شیمیایی از کاغذهای روزنامه باطله، با استفاده از مواد شیمیایی در شرایط ثابت خشکی ۱۰ درصد، درجه حرارت ۱ ± ۵۰ درجه سانتی‌گراد و مدت‌زمان ۲۰ دقیقه انجام شد. مواد شیمیایی مورد استفاده برای مرکب‌زدایی شیمیایی عبارت‌اند از: پروکسید هیدروژن، سود سوزآور، ماده فعال‌ساز سطحی (پلی سوربات ۸۰)، عامل کی‌لیت‌ساز DTPA و ترکیب آلی گلاناپون. همه مواد شیمیایی براساس وزن خشک کاغذ باطله اضافه شدند. در ابتدا خمیرکاغذ شاهد از کاغذ روزنامه باطله در شرایط ثابت فرآیندی و با استفاده از مواد شیمیایی ۱ درصد هیدروکسید سدیم، ۱ درصد پروکسید هیدروژن، ۰/۱۵ درصد ماده فعال‌ساز سطحی (پلی‌سوربات ۸۰) و ۰/۳ درصد عامل کی‌لیت ساز DTPA در حضور ۰/۵ درصد سیلیکات سدیم تهیه شد. سپس در تیمارهای بعدی، سیلیکات سدیم از ترکیب مواد شیمیایی حذف شده و ترکیب گلاناپون در سطوح مختلف (۰/۳، ۰/۵، ۰/۷، ۱، ۲ و ۳ درصد) به‌جای آن به‌کار گرفته شد. همه تیمارهای شیمیایی در داخل کیسه‌های پلاستیکی در حمام آب گرم انجام شد. خمیرهای کاغذ تیمار شده با مواد شیمیایی در درصدهای مختلف گلاناپون، با استفاده از فرآیند شستشو مرکب‌زدایی شدند. تأثیر درصدهای مختلف گلاناپون بر میزان تشکیل پیوندهای هیدروژنی توسط طیف‌سنجی

* مسئول مکاتبه: m.mashkour@gau.ac.ir

مادون‌قرمز (ATR-FTIR) بررسی شد. تأثیر درصدهای مختلف ترکیب آلی ذکرشده بر ویژگی‌های فیزیکی، نوری و مقاومتی خمیرکاغذ مرکب‌زدایی شده در مقایسه با خمیرکاغذ شاهد (خمیرکاغذ روزنامه مرکب‌زدایی شده با ۰/۵ درصد سیلیکات سدیم) ارزیابی شد.

یافته‌ها: نتایج به‌دست‌آمده از مقایسه ویژگی‌های فیزیکی کاغذهای ساخته‌شده نشان داد که افزودن گلاناپون تا سطح ۰/۷ درصد، کاغذهای با ضخامت کم‌تر و دانسیته بیش‌تر را نتیجه داد. تصاویر میکروسکوپی گرفته‌شده از پروفیل ضخامتی کاغذها نیز بیانگر این مطلب می‌باشد. با افزایش مصرف از ۰/۷ تا ۲ درصد ضخامت کاغذها افزایش و دانسیته آن‌ها کاهش یافت. این در حالی است که مقادیر دانسیته کاغذهای تهیه‌شده در مقایسه با کاغذ شاهد افزایش یافت. نتایج به‌دست‌آمده از مقایسه ویژگی‌های نوری کاغذهای ساخته‌شده نشان داد که با افزایش مصرف ترکیب گلاناپون تا ۳ درصد، درجه روشنی کاغذ به حداکثر مقدار ۵۱/۲۱ درصد ایزو و زردی به حداقل ۷/۳ درصد ایزو رسیده است. ماتی کاغذ با افزایش مصرف ترکیب تا ۰/۷ درصد کاهش یافت. هم‌چنین مقادیر مقاومت به ترکیدن، با افزایش مصرف ترکیب گلاناپون تا سطح ۲ درصد در مقایسه با کاغذ شاهد افزایش معنی‌داری نشان داد.

نتیجه‌گیری: به‌طورکلی با توجه به نتایج به‌دست‌آمده با استفاده از ۰/۳-۲ درصد از ترکیب آلی گلاناپون در فرآیند مرکب‌زدایی در مقایسه با کاغذ شاهد، کاغذهای با ضخامت کم‌تر، دانسیته، مقاومت به ترکیدن و درجه روشنی بیش‌تر، زردی کم‌تر و ماتی مطلوب از کاغذ روزنامه باطله می‌توان تولید کرد.

واژه‌های کلیدی: بازیافت کاغذ، ترکیب آلی گلاناپون، مرکب‌زدایی، ویژگی‌های فیزیکی، ویژگی‌های نوری

مقدمه

امروزه تأمین ماده اولیه سلولزی مناسب مهم‌ترین چالش پیش روی صنایع خمیر و کاغذ دنیا می‌باشد. ازآنجاکه بخش عمده مواد اولیه این صنایع از چوب و یا به‌عبارت بهتر از جنگل تأمین می‌شود، این امر موجب فشار بسیار زیاد بر جنگل‌ها می‌شود. بازیافت کاغذ باطله، فرآیندی جایگزین است که فشار بر جنگل‌ها را کاهش می‌دهد و موجب صرفه‌جویی در منابع هم‌چون آب و انرژی و کاهش آلودگی زیست‌محیطی می‌شود (۹، ۱۶). براساس پژوهش‌های انجام‌شده، تولید یک تن کاغذ خطرات متعددی را برای محیط‌زیست ایجاد می‌کند درحالی‌که تولید یک تن کاغذ بازیافتی سبب ۵۰ درصد صرفه‌جویی در مصرف آب، ۶۴ درصد صرفه‌جویی در مصرف انرژی و ۷۴ درصد کاهش آلودگی هوا می‌شود و ۹۰ درصد کاهش آلودگی آب‌ها را نسبت به تولید آن از منابع اولیه موجب می‌شود (۸). بنابراین امروزه بازیافت و استفاده مجدد از الیاف ثانویه به‌عنوان منبع ماده خام برای تولید کاغذ، موضوع زیست‌محیطی مهمی می‌باشد. بعضی از انواع کاغذهای بازیافتی، با توجه به مصرف نهایی، نیاز به مرحله مرکب‌زدایی دارند. کاغذهای بازیافتی مورد استفاده در صنعت چاپ و فرآورده‌های بهداشتی، از این دسته می‌باشند.

مرکب‌زدایی، فرآیند خارج کردن مرکب از کاغذ باطله است. ضروری است که از کاغذ باطله و الیاف بازیافتی، محصولی با کیفیت مطلوب به‌دست آید و این محصول از سفیدی، میزان براقی و خواص مقاومتی خوبی برخوردار باشد (۸). برای مرکب‌زدایی

کاغذهای باطله از مواد شیمیایی مختلفی استفاده می‌شود که مهم‌ترین آن‌ها شامل: پراکسید هیدروژن، هیدروکسیدسدیم، سیلیکات سدیم، عوامل کی‌لیت‌کننده و مواد فعال‌ساز سطحی[1] می‌باشند.

سیلیکات سدیم به‌عنوان یک عامل بافرکننده موجب نرم شدن مرکب چاپ‌شده و با جذب یون‌های فلزی، میزان تأثیر پروکسید هیدروژن را افزایش می‌دهد (۷، ۱۲). به‌تازگی برای کاهش و حل مشکلات مربوط به رسوب ترکیبات سیلیکاتی در دستگاه‌ها، استفاده از ترکیب‌های آلی به‌جای سیلیکات سدیم در رنگبری خمیرهای کاغذ بکر و همچنین مرکب‌زدایی کاغذهای باطله پیشنهاد شده است. دهقانی (۲۰۰۴) با جایگزینی مواد شیمیایی مختلف به‌جای سیلیکات سدیم در فرآیند رنگبری خمیرکاغذ CTMP[2] گونه غان با پروکسید قلیایی با استفاده از ۲ درصد پروکسید هیدروژن، ۱/۵ درصد هیدروکسید سدیم و ۰، ۱، ۱/۵، ۲ و ۳ درصد سیلیکات سدیم، به‌ترتیب به مقادیر درجه روشنی ۵۱/۶، ۵۸/۳، ۶۲، ۶۴/۵، ۶۸ و ۷۱/۱ درصد ایزو دست یافت. ماده شیمیایی ترکیب آلی آکریلیک اسید و نمک‌های معدنی (با نام تجاری پاف[3]) در مقایسه با سایر مواد شیمیایی به‌کار گرفته‌شده به‌عنوان بهترین جایگزین سیلیکات سدیم معرفی شد. هم‌چنین با استفاده از ۰/۸ درصد پاف در رنگبری با پروکسید قلیایی، درجه روشنی ۶۸/۷ درصد ایزو به‌دست آمد که این مقدار در شرایط مشابه بیش از درجه روشنی خمیرکاغذ سفید شده با سیلیکات سدیم می‌باشد (۵). جایگزینی ترکیب آلی فسفونیک اسید و نمک معدنی به‌جای سیلیکات سدیم در رنگبری خمیرهای کاغذ CMP تهیه‌شده از مخلوط پهن‌برگان نشان داد که در صورت حذف کامل سیلیکات سدیم از مواد شیمیایی رنگبری با پروکسید هیدروژن، با استفاده از ۰/۷ درصد و یا ۱/۵ درصد از این ماده می‌توان به‌ترتیب به حداکثر درجه روشنی مشابه ۶۵/۵ درصد ایزو و حداقل درجه زردی ۲۱/۸ و ۲۱/۶ درصد ایزو رسید. این در حالی است که در صورت استفاده از اختلاط ۰/۷ درصد سیلیکات سدیم به‌طور ثابت با درصدهای مختلف گلاناپون، استفاده از ۰/۵ درصد گلاناپون از نظر ویژگی‌های نوری بهینه می‌باشد و اختلاف معنی‌داری بین ویژگی‌های نوری در درصدهای مختلف ۰/۷، ۱ و ۱/۵ درصد از ماده گلاناپون مشاهده نشده است. هم‌چنین درصد سود و پروکسید بهینه در همه شرایط مورد نظر از دو حالت بدون سیلیکات سدیم و شرایط اختلاطی از سیلیکات سدیم و گلاناپون به‌ترتیب حدود ۲/۵ و ۵ درصد تعیین شد. افزایش زمان رنگبری تا ۱۲۰ دقیقه، منجر به تولید کاغذهای با درجه روشنی بیش‌تر و زردی کم‌تر شد (۲).

اکبرپور و رسالتی (۲۰۰۸) با جایگزینی ترکیب آلی پلی‌هیدروکسیل آکریلیک اسید و نمک سدیم[4] به‌جای سیلیکات سدیم در رنگبری خمیرهای کاغذ CMP مخلوط پهن‌برگان با پروکسید هیدروژن استفاده نمودند. نتایج به‌دست‌آمده از مقادیر درجه روشنی و زردی کاغذهای ساخته‌شده نشان داد که با جایگزینی ترکیب آلی Sulvy-x می‌توان کاغذهای با ویژگی‌های نوری مطلوب و یا حتی بهتر تولید کرد. با حذف کامل سیلیکات سدیم و استفاده از ماده شیمیایی با نام تجاری Sulvy-x در سطوح مختلف، بیش‌ترین درجه روشنی و کم‌ترین زردی با ۰/۵ درصد Sulvy-x مشاهده شد که این مقادیر به‌ترتیب ۶۶/۱ و ۲۸/۱ درصد ایزو می‌باشند. با افزایش درصد مصرف Sulvy-x تا ۰/۵ درصد همراه با مقدار ثابت ۰/۷ درصد سیلیکات سدیم، درجه روشنی کاغذها از ۶۱/۲ به ۶۱/۳ درصد ایزو افزایش یافت و زردی از

1- Surface active agents
2- Chemi-termo mechanical pulp
3- Paf
4- Sulvy-x

۲۴/۶ به ۲۱/۴ درصد کاهش یافت. با افزایش زمان سفیدسازی در حالت بدون سیلیکات سدیم همراه با جایگزینی ۰/۵ درصد Sulvy-x، درجه روشنی کاغذ به‌طور معنی‌داری تا ۶۶/۱ درصد ایزو افزایش یافت و زردی آن نیز به‌طور معنی‌داری تا ۲۱/۸ درصد ایزو کاهش یافت. درحالی‌که با اختلاط ۰/۵ درصد Sulvy-x و ۰/۷ درصد سیلیکات سدیم، افزایش زمان سفیدسازی تا ۱۲۰ دقیقه منجر به تولید کاغذهای با درجه روشنی بیش‌تر و زردی کم‌تر شد (۴).

نتایج پژوهش اکبرپور و رسالتی (۲۰۱۰) با استفاده از ترکیب آلی گلاناپون[1] به‌جای سیلیکات سدیم در رنگبری خمیرهای کاغذ CMP مخلوط پهن‌برگان با پروکسید هیدروژن نشان داد با حذف کامل سیلیکات سدیم و استفاده از ترکیب آلی گلاناپون (۰/۷ یا ۱/۵ درصد) امکان تولید کاغذهای با ویژگی‌های نوری مشابه و یا حتی بهتر وجود دارد (۳).

هم‌چنین در پژوهش قاسمیان و همکاران (۲۰۱۱) در ارتباط با جایگزینی ترکیب پلی‌هیدروکسیل آکریلیک اسید و نمک سدیم به‌جای سیلیکات سدیم در مرکب‌زدایی کاغذهای باطله، نتایج به‌دست‌آمده از مقادیر درجه زردی و درجه روشنی کاغذهای ساخته‌شده نشان داد که با جایگزین نمودن ترکیب آلی Sulvy-x می‌توان کاغذهای با ویژگی‌های نوری مطلوب تولید کرد. با حذف کامل سیلیکات سدیم از مواد شیمیایی مرکب‌زدایی و استفاده از ماده شیمیایی Sulvy-x تا ۰/۹ درصد، درجه روشنی کاغذ تا ۵۰/۹ درصد ایزو افزایش و درجه زردی تا ۱۱/۹ درصد ایزو کاهش نشان داد. هم‌چنین بیش‌ترین درجه ماتی، با استفاده از کم‌ترین درصدهای Sulvy-x به‌دست آمدند. نتایج به‌دست‌آمده از مقایسه ویژگی‌های فیزیکی کاغذهای ساخته‌شده نشان داد که با افزایش درصد مصرف Sulvy-x تا ۰/۹ درصد، ضخامت کاغذها به حداقل مقدار ۱۰۹/۸ میکرومتر کاهش یافت و مقادیر بیش‌تر Sulvy-x در مرکب‌زدایی، کاغذهای با دانسیته بیش‌تر را نتیجه داد. به‌طورکلی استفاده از مقادیر مختلف Sulvy-x در مقایسه با خمیرکاغذ شاهد کاغذهای با درجه روشنی مشابه، درجه ماتی بیش‌تر و ضخامت کم‌تر را نتیجه داد. افزایش درصد Sulvy-x تا ۰/۹ درصد در فرآیند مرکب‌زدایی، موجب تولید کاغذهای با درجه روشنی و دانسیته بیش‌تر، درجه زردی کم‌تر و درجه ماتی مطلوب شد (۸).

در پژوهش اکبرپور و همکاران (۲۰۱۳) با جایگزینی سیلیکات سدیم، مرکب‌زدایی مخلوط‌های متفاوت کاغذهای بازیافتی شامل ۱۰۰ درصد ONP[2]، ۸۰ درصد ONP و ۲۰ درصد OMG[3] و ترکیبی از ۷۰ درصد ONP/ ۲۰ درصد OMG/ ۱۰ درصد MOW[4] با استفاده از ترکیب آلی شامل پلی هیدروکسیل آکریلیک اسید و نمک سدیم[5] انجام شد. PHAAS در چهار سطح ۰/۳، ۰/۵، ۰/۷ و ۱ درصد (بر مبنای وزن خشک کاغذ بازیافتی) به‌جای سیلیکات سدیم استفاده شد. ویژگی‌های نوری و فیزیکی خمیر مرکب‌زدایی شده با خمیر شاهد (خمیر مرکب‌زدایی شده با ۲ درصد سیلیکات سدیم) مقایسه شدند. نتایج نشان داد که با افزایش درصد ترکیب تا ۰/۹ درصد درجه روشنی کاغذ بهبود یافت و زردی، تعداد و سطح ذرات مرکب به‌طور قابل‌ملاحظه‌ای کاهش یافت. هم‌چنین مخلوط کاغذهای بازیافتی متفاوت ذکرشده، با استفاده از مقادیر متفاوت ترکیب، اثرات متفاوتی روی ماتی کاغذ داشتند. با استفاده از مقادیر متفاوت ترکیب آلی PHAAS (به‌خصوص ۰/۷-۰/۹ درصد) ضخامت کاهش یافت، مقاومت به

1- Glanapone Stab

2- Old news paper
3- Old magazine
4- Mixed office wastepaper
5- PHAAS

عبور هوا و درجه روانی افزایش یافت و شاخص مقاومت به پارگی مشابه بود و یا کمی بهتر شد (۱).

در پژوهش سرائیان و مشکور (۲۰۱۳)، با جایگزینی کمپلکس آلی پلی‌آکریلیک اسید- نمک سدیم پیوندزنی‌شده با پلی‌اتیلن اکسید[1] در سطوح مختلف ۰/۳، ۰/۵، ۰/۷، ۱، ۲ و ۳ درصد (براساس وزن خشک کاغذ باطله) به‌جای سیلیکات سدیم در مرکب‌زدایی شیمیایی کاغذ روزنامه باطله، نتایج به‌دست‌آمده از مقایسه ویژگی‌های فیزیکی کاغذهای ساخته‌شده نشان داد که با افزایش درصد مصرف این ترکیب تا ۲ درصد، کم‌ترین ضخامت کاغذ (۱۴۳/۰۷ میکرومتر) و بیش‌ترین دانسیته (۰/۴۳ گرم بر سانتی‌مترمکعب) مشاهده شد. هم‌چنین بیش‌ترین و کم‌ترین درجه روانی در سطوح مختلف ترکیب به‌ترتیب در سطوح ۳ درصد (CSF ۴۲۶/۶۶) و ۲ درصد (CSF۳۵۰) مشاهده شد که در مقایسه با درجه روانی خمیر شاهد (CSF ۴۶۶/۶) کم‌تر می‌باشد. نتایج به‌دست‌آمده از مقایسه ویژگی‌های نوری کاغذهای ساخته‌شده نشان داد که با افزایش مصرف ترکیب تا ۱ درصد، درجه روشنی کاغذ به حداکثر مقدار ۴۸/۰۱ درصد ایزو و زردی به حداقل ۶/۲۳ درصد ایزو رسیده است. هم‌چنین ماتی با افزایش میزان مصرف ترکیب کاهش یافته است. به‌طورکلی با توجه به نتایج به‌دست‌آمده، می‌توان با استفاده از ۲-۰/۷ درصد از ترکیب آلی پلی‌آکریلیک اسید- نمک سدیم پیوندزنی شده با پلی‌اتیلن اکسید در فرآیند مرکب‌زدایی، کاغذهای با دانسیته و درجه روشنی بیش‌تر، زردی کم‌تر و ماتی مناسب از کاغذ روزنامه باطله تولید کرد (۱۴). تاکنون پژوهش‌های کمی در رابطه با استفاده از ترکیب‌های آلی به‌جای سیلیکات سدیم در بخش مرکب‌زدایی کاغذهای باطله انجام شده است. ازآن‌جاکه سیلیکات سدیم در صنعت موجب خوردگی و ایجاد رسوب در تجهیزات و دستگاه‌ها و درنتیجه کاهش عمر مفید تجهیزات می‌شود، بنابراین در این پژوهش این ماده از مواد شیمیایی مورد مصرف در مرکب‌زدایی حذف شد. با حذف کامل سیلیکات سدیم از مواد شیمیایی مرکب‌زدایی، ترکیب آلی گلاناپون در سطوح مختلف ۰/۳، ۰/۵، ۰/۷، ۱، ۲ و ۳ درصد براساس وزن خشک کاغذ باطله مورد استفاده قرار گرفت. تأثیر درصدهای مختلف این ترکیب بر ویژگی‌های فیزیکی، نوری و مقاومتی کاغذهای ساخته‌شده ارزیابی شد و سپس با کاغذ شاهد (کاغذ روزنامه بازیابی‌شده با مواد شیمیایی در حضور ۰/۵ درصد سیلیکات سدیم) مقایسه شد. در پایان میزان مصرف بهینه ترکیب گلاناپون در مرکب‌زدایی کاغذهای روزنامه باطله تعیین شد.

مواد و روش‌ها

ترکیب آلی گلاناپون: ترکیب آلی گلاناپون به‌صورت مایع قهوه‌ای‌رنگ از ترکیبی از فسفونیک اسید و نمک سدیم ساخته‌شده است که در آب کاملاً انحلال‌پذیر می‌باشد. مشخصات فیزیکی و شیمیایی این ماده در جدول ۱ آمده است. این ماده دارای بار سطحی آنیونی می‌باشد و در صنایع خمیر و کاغذ به‌عنوان عامل پراکنده‌ساز و جلوگیری‌کننده از ایجاد رسوب و ته‌نشست و به‌عنوان تثبیت‌کننده پروکسید هیدروژن در فرآیند رنگبری و جوهرزدایی کاغذهای باطله استفاده می‌شود. گلاناپون با یون‌های فلزی سنگین مانند منگنز و آهن که موجب تجزیه پروکسید هیدروژن در فرآیند رنگبری می‌شوند، تشکیل ترکیب‌های پایدار محلول در آب می‌دهد و موجب بهبود فرآیند رنگبری می‌شود (۳).

1- Poly Acrylic Acid- Sodium Salt grafted to Polyethylene Oxide (P.S.P)

جدول ۱- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی ترکیب آلی گلاناپون.

Table 1. Physical and chemical properties of Glanapone organic complex.

pH (در دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد) pH (at 20 ◦C)	8-9
دمای جوش (درجه سانتی‌گراد) Boiling temperature (°C)	100
دانسیته نسبی در دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد Relative density at 20 °C	1.26-1.3
انحلال‌پذیری در آب Solubility in water	کاملاً انحلال‌پذیر Completely soluble
نقطه اشتعال Flash point	مشتعل نمی‌شود Does not ignite

کاغذ روزنامه باطله: کاغذهای روزنامه همشهری از دفاتر مرکزی فروش روزنامه خریداری شد. خمیر کاغذسازی مجدد با کاغذهای روزنامه در دستگاه پراکنده‌ساز به مدت ۱۰ دقیقه با تعداد دور ۲۶۵۰۰ و درصد خشکی ۵ درصد انجام شد. خمیرکاغذ حاصل پس از آب‌گیری بر روی غربال با مش ۲۰۰، با استفاده از مواد شیمیایی در شرایط مورد بررسی تیمار شیمیایی شد. (۱۴، ۸).

خمیرکاغذسازی شیمیایی: خمیرکاغذسازی شیمیایی کاغذهای روزنامه باطله با استفاده از مواد شیمیایی در شرایط ثابت خشکی ۱۰ درصد، درجه حرارت ۱ ± ۵۰ درجه سانتی‌گراد و مدت‌زمان ۲۰ دقیقه انجام شد. مواد شیمیایی مورد استفاده برای خمیرسازی شیمیایی در این پژوهش عبارت‌اند از: ۱ درصد پروکسید هیدروژن، ۱ درصد سود سوزآور، ۰/۱۵ درصد ماده فعال‌ساز سطحی (پلی‌سوربات ۸۰) و ۰/۳ درصد عامل کی‌لیت‌ساز DTPA[1] و ۶ سطح مختلف ۰/۳، ۰/۵، ۰/۷، ۱، ۲ و ۳ درصد از ترکیب آلی گلاناپون. در ابتدا خمیرکاغذ شاهد از کاغذهای روزنامه باطله در شرایط ثابت فرآیندی و با استفاده از مواد شیمیایی ۱ درصد هیدروکسید سدیم، ۱ درصد پروکسید هیدروژن، ۰/۱۵ درصد ماده فعال‌ساز سطحی (پلی‌سوربات ۸۰) و ۰/۳ درصد عامل کی‌لیت‌ساز DTPA در حضور ۰/۵ درصد سیلیکات سدیم ساخته شد. سپس در تیمارهای بعدی، سیلیکات سدیم از ترکیب مواد شیمیایی حذف شده و ترکیب گلاناپون در سطوح مختلف اشاره‌شده به‌جای آن به‌کار گرفته شد. مواد شیمیایی مورد استفاده در ساخت خمیرکاغذ براساس وزن خشک کاغذ باطله اضافه شدند. همه تیمارهای شیمیایی در داخل کیسه‌های پلاستیکی در حمام آب گرم انجام شد. لازم به یادآوری است که pH اولیه و نهایی خمیرهای کاغذ قبل و بعد از تیمار شیمیایی اندازه‌گیری شد. خمیرهای کاغذ تیمار شده با مواد شیمیایی در درصدهای مختلف گلاناپون، با استفاده از فرآیند شستشو مرکب‌زدایی شدند. فرآیند شستشو بر روی غربال با اندازه مش ۲۰۰ به مدت ۱۰ دقیقه تحت‌فشار آب یکنواخت در زیر شیر آب انجام شد (۱۴). کاغذهای دست‌ساز ۱±۶۰ گرمی مطابق استاندارد TAPPI T205 om-88 تهیه شدند. بررسی ساختار کاغذهای تهیه‌شده با استفاده از میکروسکوپ الکترونی روبشی[2] با ولتاژ ۱۰ کیلوولت انجام شد. بررسی اثر تیمار با ترکیب گلاناپون بر میزان تشکیل پیوندهای هیدروژنی توسط طیف‌سنجی مادون‌قرمز (ATR-FTIR)[3] انجام شد. ویژگی‌های فیزیکی شامل ضخامت کاغذ مطابق با

1- Diethylenetriamine pentaacetice acid

2- Pemtron PS-230 scanning electron microscope, Korea.

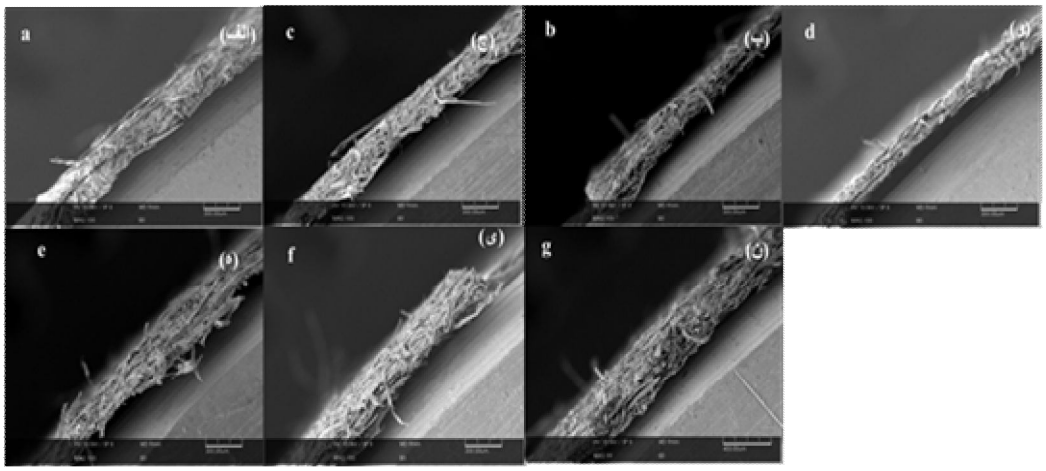
3- Tensor-27, Bruker, Germany

استاندارد TAPPI T411 om-05 اندازه‌گیری شدند. مقادیر دانسیته کاغذها نیز مطابق با روابط بین ضخامت و وزن پایه کاغذ محاسبه شدند. همچنین ویژگی‌های نوری کاغذها مانند درجه روشنی و زردی مطابق با استاندارد TAPPI T452 om-02 و ماتی مطابق با استاندارد TAPPI T425 om-02 اندازه‌گیری شدند. اندازه‌گیری مقاومت به ترکیدن مطابق دستورالعمل استاندارد شماره T403om-02 آئین‌نامه تاپی انجام شد. پس از مقایسه ویژگی‌های فیزیکی، نوری و مقاومتی کاغذهای ساخته‌شده در درصدهای مختلف ترکیب گلاناپون، میزان مصرف بهینه این ماده در مرکب‌زدایی شیمیایی کاغذهای روزنامه باطله تعیین شد.

روش تجزیه‌وتحلیل آماری: تجزیه‌وتحلیل آماری با استفاده از نرم‌افزار SPSS در قالب طرح کامل تصادفی و درنهایت مقایسه و گروه‌بندی میانگین‌ها به کمک آزمون دانکن (در سطح ۵ درصد) انجام شد.

نتایج و بحث

خصوصیات ساختاری: تصاویر میکروسکوپی گرفته شده از پروفیل ضخامتی کاغذهای به‌دست‌آمده از درصدهای مختلف ترکیب گلاناپون در شکل ۱ نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود افزایش درصد گلاناپون از ۰/۳ تا ۲ درصد موجب کاهش ضخامت و افزایش دانسیته کاغذهای ساخته‌شده در مقایسه با نمونه شاهد شده است. همچنین نتایج اندازه‌گیری ضخامت و دانسیته کاغذهای ساخته‌شده نیز مؤید این امر می‌باشد (شکل‌های ۳ و ۴).

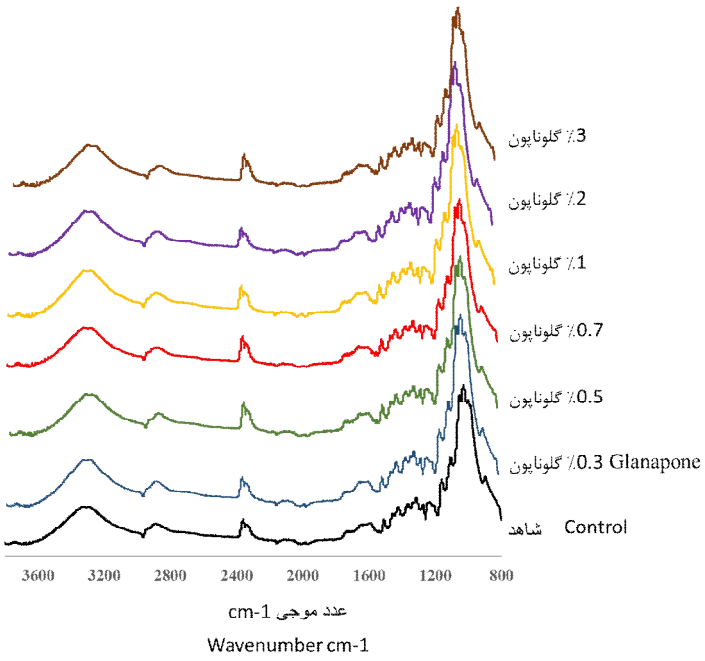


شکل ۱- تصاویر SEM از پروفیل ضخامتی کاغذ شاهد (الف) و کاغذهای تیمارشده با ترکیب گلاناپون ۰/۳ درصد (ب)، ۰/۵ درصد (ج)، ۰/۷ درصد (د)، ۱ درصد (ه)، ۲ درصد (ی) و ۳ درصد (ن).

Figure 1. SEM images of thickness profile of the reference paper (a) and papers treated with Glanapon complex 0.3% (b), 0.5% (c), 0.7% (d), 1% (e), 2% (f), and 3% (g).

با توجه به نتایج به‌دست‌آمده، استفاده از ترکیب گلاناپون تا سطح ۲ درصد در مقایسه با کاغذ شاهد، اتصالات بین الیاف را بهبود بخشیده، منجر به افزایش دانسیته کاغذ شده است. با توجه به این‌که در ترکیب شیمیایی این ترکیب فسفونیک اسید و نمک سدیم وجود دارد به نظر می‌رسد که در اثر واکنش افزایشی، تعداد گروه‌های هیدروکسیل سلولز افزایش یافته و درنتیجه با افزایش تعداد پیوندهای هیدروژنی بین الیاف، ضخامت کاغذ کاهش می‌یابد (۸).

طیف‌سنجی مادون‌قرمز (ATR-FTIR): طیف‌های مادون‌قرمز حاصل از بررسی کاغذهای تیمار شده و شاهد، در دامنه عدد موجی ۸۰۰–۳۶۰۰ در شکل ۲ ارائه شده است. با توجه به شکل‌ها، در همه نمونه‌ها پیک جذبی در محدوده ۳۳۰۰–۳۵۰۰ مربوط به ارتعاش کششی گروه‌های هیدروکسیل آزاد مولکول سلولز است (۶). پیک جذبی در ناحیه ۱۰۵۹ مربوط به کشش پیوندهای C-O در پیوندهای گلیکوزیدی C-O-C سلولز است (۱۰).



شکل ۲- طیف‌های مادون‌قرمز (ATR-FTIR) کاغذهای تیمار شده و شاهد.

Figure 2. ATR- FTIR spectra of treated papers and reference paper.

ارزیابی اثر تیمار با ترکیب گلاناپون بر میزان نسبی گروه‌های هیدروکسیل سلولز از روی طیف IR، با مقایسه نسبت R1 (رابطه ۱) انجام شد (۱۱).

$$R_1 = I_{3326\text{-}3334} / I_{1059} \qquad (۱)$$

که در آن، R_1 میزان گروه‌های هیدروکسیل، $I_{3326\text{-}3334}$ شدت باند کششی گروه هیدوکسیل آزاد مولکول گلوکز در محدوده $۱۳۳۴cm^{-1}$ – ۱۳۲۶، I_{1059} شدت ارتعاش کششی پیوندهای C-O سلولز در ناحیه $۱۰۵۹ cm^{-1}$.

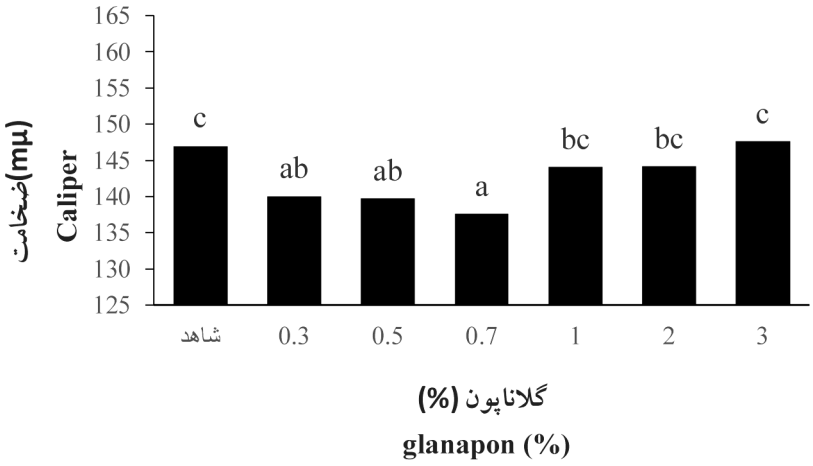
نتایج در جدول ۲ ارائه شده است. با توجه به نتایج با افزایش درصد تیمار تا سطح ۳ درصد، میزان نسبی گروه‌های هیدروکسیل در مقایسه با نمونه شاهد افزایش یافت. بیش‌ترین میزان نسبی گروه‌های هیدروکسیل با تیمار ۰/۷ درصد به‌دست آمد.

جدول ۲- میزان نسبی گروه‌های هیدروکسیل تعیین‌شده با مطالعه طیف‌های مادون‌قرمز کاغذهای تیمار شده و شاهد.

Table 2. The relative amount of hydroxyl groups determined by studying the infrared spectra for treated and reference papers.

$I_{3326-3334}$ / I_{1059}	سطح تیمار با ترکیب گلاناپون (٪) (%) Treatment level with Glanapone Stab
0.23	0
0.29	0.3
0.30	0.5
0.33	0.7
0.28	1
0.27	2
0.24	3

ویژگی‌های فیزیکی، نوری و مقاومتی: نتایج به‌دست آمده از آزمون تجزیه واریانس مقادیر ضخامت کاغذهای تهیه‌شده از تیمار مرکب‌زدایی کاغذ روزنامه باطله با درصدهای مختلف ترکیب گلاناپون به‌جای سیلیکات سدیم در مقایسه با خمیرکاغذ شاهد نشان داد که استفاده از این ترکیب تأثیر معنی‌داری بر مقادیر ضخامت کاغذها دارد. در بین تیمارهای انجام شده، بین مقادیر ضخامت کاغذهای ساخته‌شده با ۰/۳، ۰/۵، ۰/۷ درصد ترکیب گلاناپون تفاوت معنی‌داری در سطح اعتماد آماری ۹۵ درصد مشاهده نشده است. به‌طورکلی مصرف ۰/۳ تا ۰/۷ درصد از ترکیب گلاناپون، به کاهش ضخامت کاغذهای ساخته‌شده منتج خواهد شد و با استفاده از ۰/۷ درصد از این ترکیب، می‌توان به کم‌ترین مقدار ضخامت رسید. کاهش ضخامت کاغذ را می‌توان به افزایش اتصالات بین الیاف و هم‌چنین افزایش ظرفیت تشکیل اتصال در الیاف نسبت داد. این نتایج با آن‌چه از مطالعه طیف‌های مادون‌قرمز (جدول ۲) به‌دست آمد و هم‌چنین بررسی تصاویر میکروسکوپی از پروفیل ضخامتی کاغذها هم‌خوانی داشته است. هم‌چنین بین مقادیر ضخامت در درصدهای ۱، ۲ و ۳ درصد ترکیب گلاناپون و خمیرکاغذ شاهد اختلاف معنی‌داری مشاهده نشده است. بیش‌ترین و کم‌ترین ضخامت به‌ترتیب به کاغذهای به‌دست‌آمده از ۳ و ۰/۷ درصد ترکیب گلاناپون مربوط می‌باشند. این مقادیر به‌ترتیب ۱۴۷/۶۲ و ۱۳۷/۵۶ میکرومتر هستند (شکل ۳).

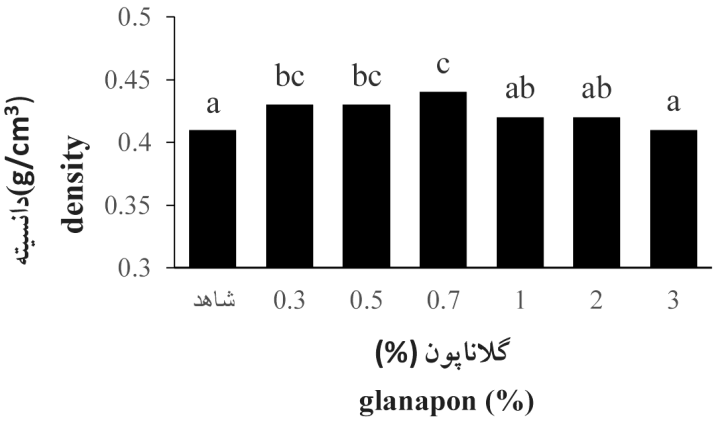


شکل ۳- تأثیر سطوح مختلف ترکیب گلاناپون بر ضخامت کاغذ.

Figure 3. The effect of different glanapone levels on paper caliper.

نتایج به‌دست‌آمده از آزمون تجزیه واریانس مقادیر دانسیته کاغذهای ساخته‌شده بیانگر آن است که در مقایسه با کاغذ شاهد، اختلاف معنی‌داری بین مقادیر دانسیته کاغذهای به‌دست‌آمده از درصدهای مختلف ترکیب گلاناپون وجود دارد. این در حالی است که اختلاف معنی‌داری بین مقادیر دانسیته در درصدهای ۱، ۲ و ۳ درصد از این ترکیب و کاغذ شاهد مشاهده نشده است. درمجموع در مقایسه با کاغذ شاهد، استفاده از درصدهای ۰/۳ تا ۲ درصد به‌جای سیلیکات سدیم منجر به افزایش دانسیته شده است. نتایج حاصل از تصاویر میکروسکوپی بیانگر این امر می‌باشد. هم‌چنین بیش‌ترین و کم‌ترین مقادیر دانسیته کاغذ به‌ترتیب به کاغذهای به‌دست‌آمده با تیمار ۰/۷ و ۳ درصد ترکیب گلاناپون مربوط می‌باشند. این مقادیر به‌ترتیب ۰/۴۴ و ۰/۴۱ گرم بر سانتی‌متر مکعب می‌باشند (شکل ۴). دانسیته کاغذ از ویژگی‌های مهم فیزیکی در کاغذ بوده و تقریباً بر روی تمام ویژگی‌های مکانیکی، فیزیکی، الکتریکی و نیز جذب و قابلیت چاپ‌پذیری کاغذ مؤثر می‌باشد. با افزایش ضخامت در اثر کاهش اتصالات بین الیاف، مقدار دانسیته کاغذ کاهش خواهد یافت. در این پژوهش درصدهای بیش‌تر ترکیب گلاناپون تا سطح ۰/۷ درصد کاغذهای با ضخامت کم‌تر و دانسیته بیش‌تر را نتیجه داده است. هم‌چنین با افزایش مصرف از ۰/۷ تا ۲ درصد ضخامت کاغذها افزایش و دانسیته آن‌ها کاهش یافته است و این در حالی است که مقادیر دانسیته کاغذهای تهیه‌شده تا سطح ۲ درصد در مقایسه با کاغذ شاهد افزایش یافته است. روند تغییرات ضخامت و دانسیته با نتایج قاسمیان و همکاران (۲۰۱۱) با استفاده از ترکیب Sulvy-x همخوانی دارد، به‌طوری‌که در کار تحقیقاتی این پژوهشگران با استفاده از ۰/۳-۰/۹ درصد از ترکیب آلی Sulvy-x، با افزایش مصرف ترکیب آلی Sulvy-x تا ۰/۹ درصد، ضخامت و دانسیته به ترتیب کاهش و افزایش نشان داد (۸). نتیجه به‌دست‌آمده از این پژوهش نشان داد که استفاده از ترکیب گلاناپون تا سطح ۲ درصد در مقایسه با کاغذ شاهد، اتصالات بین الیاف را بهبود بخشیده، منجر به افزایش دانسیته کاغذ شده است. نتایج حاصل از بررسی تصاویر میکروسکوپی و طیف‌سنجی مادون‌قرمز بیانگر این امر می‌باشد. با توجه به این‌که در ترکیب شیمیایی این ترکیب فسفونیک اسید و نمک سدیم وجود دارد

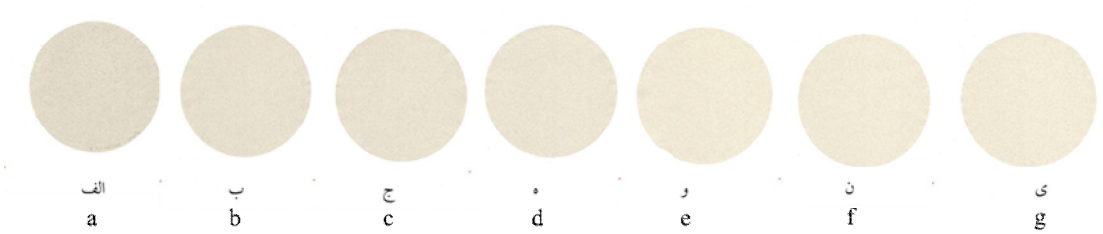
به‌نظر می‌رسد که در اثر واکنش افزایشی، تعداد گروه‌های هیدروکسیل سلولز افزایش یافته و درنتیجه با افزایش تعداد پیوندهای هیدروژنی بین الیاف، ضخامت کاغذ کاهش می‌یابد. نتایج آزمون طیف‌سنجی مادون‌قرمز (جدول ۲) نیز این موضوع را تأیید می‌کند. هم‌چنین احتمالاً در اثر واکنش افزایشی یون‌های سدیم موجود در ترکیب این ترکیب آلی با الیاف سلولزی، به نظر می‌رسد که ترکیب پایداری به‌وجود آمده باشد به‌طوری‌که این ترکیب پایدار می‌تواند به‌عنوان عامل جفت‌کننده بین گروه‌های هیدروکسیل زنجیر سلولز باشد (۱۴).



شکل ٤- تأثیر سطوح مختلف ترکیب گلاناپون بر دانسیته کاغذ.

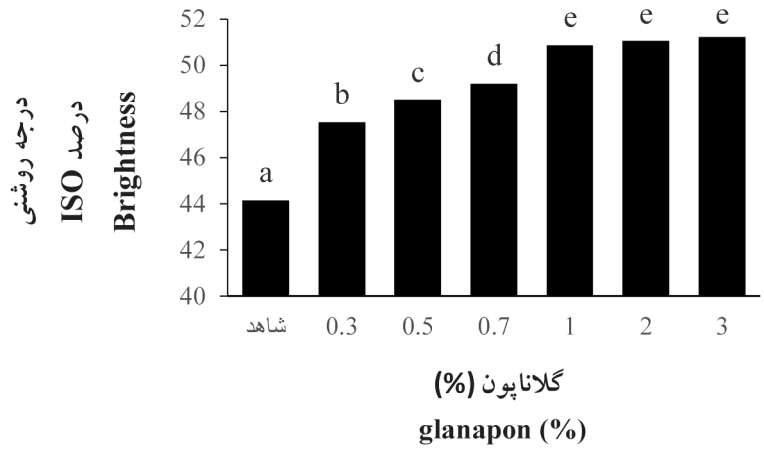
Figure 4. The effect of different glanapone complex levels on paper density.

نتایج به‌دست‌آمده از آزمون تجزیه واریانس مقادیر درجه روشنی کاغذهای ساخته‌شده بیانگر آن است که در مقایسه با کاغذ شاهد، اختلاف معنی‌داری بین درجه روشنی کاغذهای به‌دست‌آمده از درصدهای مختلف ترکیب گلاناپون وجود دارد. به‌طورکلی مصرف ۰/۳ تا ۳ درصد از این ترکیب، به افزایش روشنی کاغذهای ساخته‌شده منتج خواهد شد که در مقایسه با تیمار شاهد معنی‌دار می‌باشد. تصاویر کاغذهای تیمار شده و شاهد در شکل ۵ نشان داده شده است. با توجه به شکل‌ها درجه روشنی با افزایش درصد تیمار از ۰/۳ تا ۳ درصد افزایش یافته است که با نتایج آزمون درجه روشنی همخوانی دارد. افزایش مصرف این ترکیب از ۰/۳ تا ۱ درصد، تأثیر معنی‌داری را بر افزایش مقدار درجه روشنی نشان داده و این در حالی است که افزایش مصرف آن از ۱ تا ۳ درصد، تأثیر معنی‌داری بر افزایش درجه روشنی در سطح اعتماد آماری ۹۵ درصد نشان نداده است. حداکثر درجه روشنی ۵۱/۲۱ درصد ایزو با استفاده از ۳ درصد ترکیب گلاناپون و حداقل درجه روشنی ۴۴/۱۳ درصد ایزو برای کاغذ شاهد مشاهده شده است (شکل ۶). هم‌چنین آزمون تجزیه واریانس مقادیر زردی به‌دست‌آمده بیانگر آن است که بین زردی کاغذ شاهد و کاغذهای ساخته‌شده با درصدهای مختلف ترکیب گلاناپون اختلاف معنی‌داری در سطح اعتماد آماری ۹۵ درصد وجود دارد. درمجموع در مقایسه با کاغذ شاهد، استفاده از درصدهای ۰/۳ تا ۳ درصد گلاناپون به‌جای سیلیکات سدیم منجر به کاهش زردی کاغذها شده است. کم‌ترین درجه زردی کاغذهای ساخته‌شده ۷/۳ درصد ایزو و با استفاده از ۳ درصد ترکیب گلاناپون و بیش‌ترین درجه زردی ۸/۸۰ درصد ایزو برای کاغذ شاهد مشاهده شده است (شکل ۷).



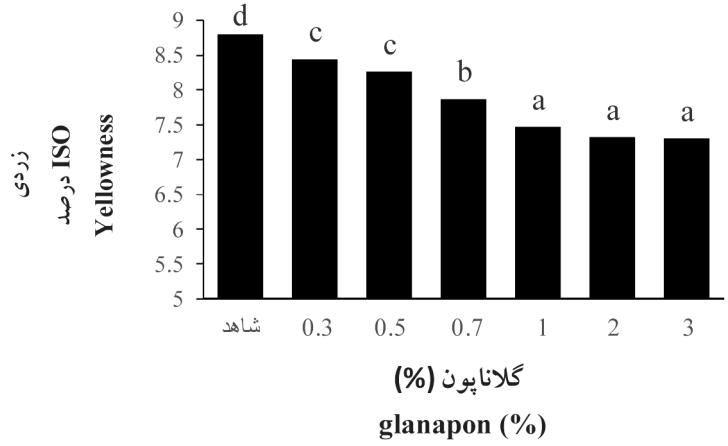
شکل ۵- تصاویر کاغذ شاهد (الف) و کاغذهای تیمارشده با ترکیب گلاناپون ۰/۳ درصد (ب)، ۰/۵ درصد (ج)، ۰/۷ درصد (د)، ۱ درصد (و)، ۲ درصد (ن) و ۳ درصد (ی).

Figure 5. Images of reference paper (a) and papers treated with Glanapon complex 0.3% (b), 0.5% (c), 0.7% (d), 1% (e), 2% (f), and 3% (g).



شکل ٦- تأثیر سطوح مختلف ترکیب گلاناپون بر درجه روشنی کاغذ.

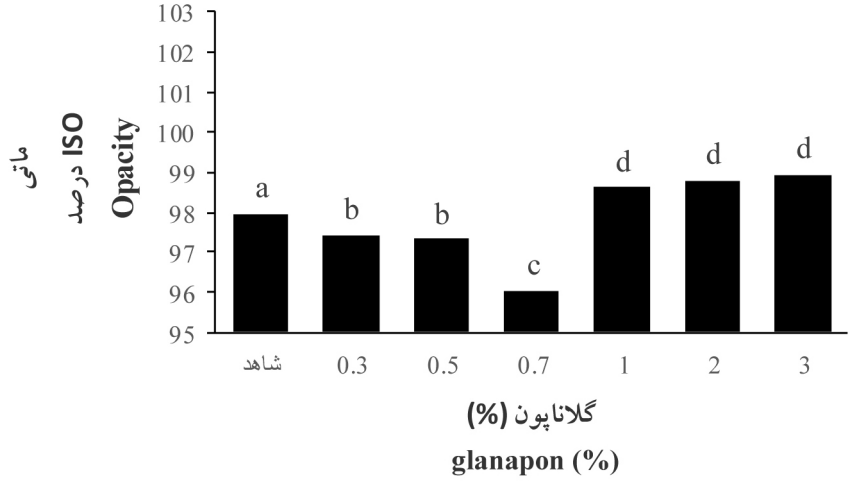
Figure 6. The effect of different glanapone complex levels on paper brightness.



شکل ۷- تأثیر سطوح مختلف ترکیب گلاناپون بر زردی کاغذ.

Figure 7. The effect of different glanapone complex levels on paper yellowness.

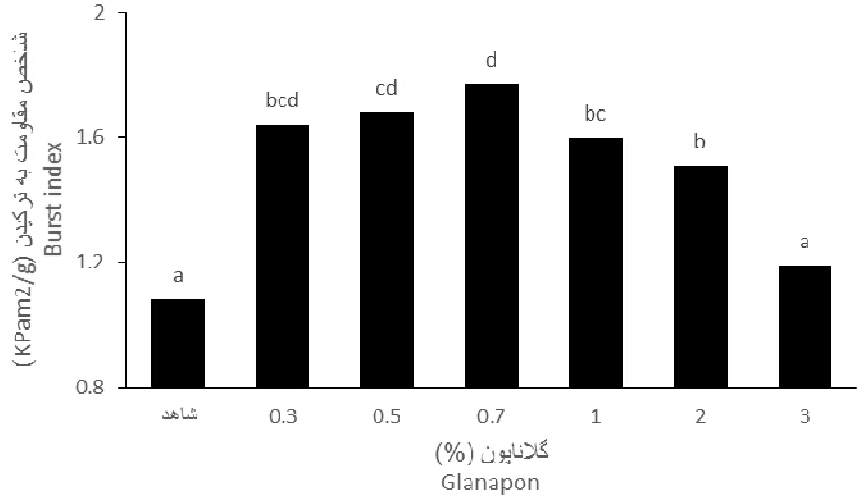
نتایج به‌دست‌آمده از آزمون تجزیه واریانس مقادیر ماتی کاغذهای ساخته‌شده بیانگر آن است که در مقایسه با کاغذ شاهد، اختلاف معنی‌داری بین ماتی کاغذهای به‌دست‌آمده از درصدهای مختلف ترکیب گلاناپون در سطح اعتماد آماری ۹۵ درصد وجود دارد. به‌طورکلی مصرف ۰/۳ تا ۰/۷ درصد از این ترکیب، به کاهش ماتی کاغذهای ساخته‌شده منتج خواهد شد که در مقایسه با تیمار شاهد معنی‌دار می‌باشد. هم‌چنین افزایش مصرف این ترکیب از ۰/۷ تا ۳ درصد، تأثیر معنی‌داری را بر افزایش مقدار درجه ماتی نشان داده و این در حالی است که افزایش مصرف آن از ۱ تا ۳ درصد، تأثیر معنی‌داری بر افزایش درجه ماتی در سطح اعتماد آماری ۹۵ درصد نشان نداده است. حداکثر ماتی ۹۸/۹۴ درصد ایزو با استفاده از ۳ درصد گلاناپون و حداقل ماتی ۹۶/۰۳ درصد ایزو با استفاده از ۰/۷ درصد از این ترکیب مشاهده شده است. به‌طورکلی درصدهای بیش‌تر ترکیب گلاناپون کاغذهای با ماتی بیش‌تری را نتیجه می‌دهد (شکل ۸). به‌طورکلی مقایسه ویژگی‌های نوری کاغذهای ساخته‌شده نشان داد که با افزایش مصرف ترکیب گلاناپون تا ۳ درصد، درجه روشنی کاغذ به حداکثر مقدار ۵۱/۲۱ درصد ایزو و زردی به حداقل ۷/۳ درصد ایزو رسیده است. ماتی با افزایش مصرف ترکیب تا ۰/۷ درصد کاهش و سپس افزایش یافته است. سرائیان و مشکور (۲۰۱۳) دریافتند که استفاده از ترکیب P.S.P برای جوهرزدایی کاغذ روزنامه باطله به‌عنوان جایگزینی برای سیلیکات سدیم، از ۰/۳–۱ درصد، موجب افزایش درجه روشنی و کاهش درجه زردی کاغذهای به‌دست‌آمده شد (۱۴). اکبرپور و رسالتی (۲۰۱۱) در کار تحقیقاتی خود در ارتباط با رنگبری خمیرهای CMP بدون استفاده از سیلیکات سدیم با استفاده از درصدهای مختلف گلاناپون، به نتیجه رسیدند که افزایش درصد گلاناپون از ۰/۷–۰/۴، موجب افزایش معنی‌دار روشنی و کاهش معنی‌دار زردی شد. هم‌چنین بین مقادیر ماتی خمیرهای رنگبری‌شده با درصدهای مختلف گلاناپون اختلاف معنی‌داری وجود نداشت (۲). قاسمیان و همکاران (۲۰۱۱) در ارتباط با جوهرزدایی کاغذ روزنامه باطله با استفاده از سطوح مختلف ترکیب آلی Sulvy-x، به نتیجه رسیدند که با افزایش درصد این ترکیب، درجه روشنی، زردی و ماتی کاغذهای ساخته‌شده به‌ترتیب افزایش، کاهش و کاهش یافت (۸). افزایش و یا کاهش ماتی را می‌توان به کاهش و یا افزایش ظرفیت تشکیل اتصالات در الیاف بازیابی شده نسبت داد. به‌طوری‌که با کاهش اتصالات بین الیاف، سطح تقابل نوری بین آن‌ها نیز کاهش می‌یابد. درنتیجه نور به‌جای این‌که هنگام خروج از فیبر اول وارد فیبر دیگر شود وارد فضای خالی بین الیاف شده و در اثر کاهش تقابل نوری و افزایش شکست نور، مقدار ماتی کاغذ افزایش می‌یابد. به‌طورکلی درصدهای بیش‌تر کمپلکس گلاناپون کاغذهای با ماتی بیش‌تری را نتیجه داد که می‌تواند به سبب کاهش اتصالات بین الیاف و کاهش سطح تقابل نوری و درنتیجه افزایش شکست نور باشد که درنهایت منجر به افزایش ماتی کاغذ شده است.



شکل ۸- تأثیر سطوح مختلف ترکیب گلاناپون بر ماتی کاغذ.

Figure 8. The effect of different glanapone complex levels on paper opacity.

شاخص مقاومت به ترکیدن: شکل ۹ تأثیر استفاده از سطوح مختلف ترکیب آلی گلاناپون را بر شاخص مقاومت به ترکیدن کاغذ نشان می‌دهد. نتایج به‌دست‌آمده از آزمون تجزیه واریانس مقادیر مقاومت به ترکیدن کاغذهای ساخته‌شده بیانگر آن است که در مقایسه با کاغذ شاهد، اختلاف معنی‌داری بین مقاومت به ترکیدن کاغذهای به‌دست‌آمده از درصدهای مختلف ترکیب گلاناپون در سطح اعتماد آماری ۹۵ درصد وجود دارد. همچنین اختلاف معنی‌داری بین مقادیر مقاومت به ترکیدن کاغذ شاهد و کاغذ به‌دست‌آمده با تیمار ۳ درصد از این ترکیب مشاهده نشده است. درمجموع در مقایسه با کاغذ شاهد، استفاده از درصدهای ۰/۳ تا ۳ درصد به‌جای سیلیکات سدیم منجر به افزایش مقاومت به ترکیدن شده است. هم‌چنین بیش‌ترین و کم‌ترین مقادیر مقاومت به ترکیدن کاغذ به‌ترتیب به کاغذهای به‌دست‌آمده با تیمار ۰/۷ و ۳ درصد ترکیب گلاناپون مربوط می‌باشند. این مقادیر به‌ترتیب ۱/۷۷ و ۱/۱۹ کیلوپاسکال مترمربع بر گرم می‌باشند (شکل ۸). مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار بر مقاومت‌های مکانیکی کاغذ، شامل سطح پیوند نسبی، مقاومت پیوند و مقاومت الیاف می‌باشند (۱۵). ازآن‌جاکه پیوندیابی در کاغذ از طریق پیوندهای هیدروژنی موجود در الیاف صورت می‌گیرد، بنابراین هر چه الیاف موجود در شبکه کاغذ از گروه‌های هیدروکسیل بیش‌تری برخوردار باشند، کاغذ مقاوم‌تر و با استحکام بیش‌تری تولید می‌شود (۱۳). نتایج به‌دست‌آمده از آزمون طیف‌سنجی (جدول ۲) نشان داد که استفاده از ترکیب گلاناپون تا سطح ۲ درصد در مقایسه با کاغذ شاهد، موجب افزایش گروه‌های هیدروکسیل شده است؛ بنابراین اتصالات بین الیاف را بهبود بخشیده است و منجر به افزایش دانسیته کاغذ و مقاومت به ترکیدن شده است.



شکل ۹- تأثیر سطوح مختلف ترکیب گلاناپون بر شاخص مقاومت به ترکیدن کاغذ.

Figure 9. The effect of different glanapone complex levels on paper burst index.

نتیجه‌گیری کلی

ارزیابی نتایج به‌دست‌آمده از مقایسه ویژگی‌های فیزیکی، مقاومتی و تصاویر میکروسکوپی کاغذهای ساخته‌شده نشان داد که با افزودن ترکیب گلاناپون تا سطح ۰/۷ درصد، ضخامت کاغذهای ساخته‌شده کاهش و دانسیته و مقاومت به ترکیدن آن‌ها افزایش یافته است. هم‌چنین با افزایش مصرف گلاناپون از ۱ تا ۳ درصد، ضخامت کاغذهای ساخته‌شده افزایش و دانسیته و مقاومت به ترکیدن آن‌ها کاهش یافته است. بین مقادیر ضخامت و هم‌چنین بین مقادیر دانسیته کاغذهای ساخته‌شده با استفاده از ۱ تا ۳ درصد گلاناپون و کاغذ شاهد در سطح اعتماد ۹۵ درصد، اختلاف معنی‌داری مشاهده نشده است. درمجموع در مقایسه با کاغذ شاهد، استفاده از درصدهای ۰/۳ تا ۲ درصد به‌جای سیلیکات سدیم منجر به افزایش دانسیته شده است. در مقایسه با کاغذ شاهد، استفاده از درصدهای ۰/۳ تا ۳ درصد به‌جای سیلیکات سدیم منجر به افزایش مقاومت به ترکیدن شده است و هم‌چنین بین مقادیر مقاومت به ترکیدن در کاغذ شاهد و کاغذ تیمارشده با ۳ درصد از این ترکیب اختلاف معنی‌داری مشاهده نشده است. با توجه به نتایج طیف‌سنجی مادون‌قرمز (جدول ۲)، با افزایش سطح تیمار از ۰/۳-۳ درصد میزان نسبی گروه‌های هیدروکسیل افزایش یافته است. بدین‌ترتیب افزایش گروه‌های هیدروکسیل منجر به افزایش پیوندیابی و سطح پیوند در کاغذ شده و درنتیجه ضخامت کاغذ کاهش و دانسیته و مقاومت به ترکیدن آن افزایش می‌یابد. نتایج حاصل از تصاویر میکروسکوپ الکترونی نیز با این نتایج همخوانی دارد. هم‌چنین احتمالاً در اثر واکنش افزایشی یون‌های سدیم موجود در ترکیب این ترکیب به الیاف سلولزی، به نظر می‌رسد که ترکیب پایداری به وجود آمده باشد به‌طوری‌که این ترکیب پایدار می‌تواند به‌عنوان عامل جفت‌کننده بین گروه‌های هیدروکسیل زنجیر سلولز باشد. نتایج به‌دست‌آمده از مقایسه ویژگی‌های نوری کاغذهای ساخته‌شده نشان داد که با افزایش مصرف ترکیب گلاناپون تا ۳ درصد، درجه روشنی کاغذ به حداکثر مقدار ۵۱/۲۱ درصد ایزو و زردی به حداقل ۷/۳ درصد ایزو رسیده است. ماتی با افزایش مصرف ترکیب تا ۰/۷ درصد کاهش و سپس افزایش یافته

است. افزایش و یا کاهش ماتی را می‌توان به کاهش و یا افزایش ظرفیت تشکیل اتصالات در الیاف بازیابی شده نسبت داد. به‌طوری‌که با کاهش اتصالات بین الیاف، سطح تقابل نوری بین آن‌ها نیز کاهش و مقدار ماتی کاغذ افزایش می‌یابد. به‌طورکلی با توجه به نتایج به‌دست‌آمده از مقایسه ویژگی‌های نوری و فیزیکی و مقاومتی کاغذهای ساخته‌شده از بازیافت کاغذ روزنامه باطله و با در نظر گرفتن جنبه‌های اقتصادی، می‌توان گفت که در صورت حذف کامل سیلیکات سدیم از مواد شیمیایی در بخش مرکب‌زدایی، با استفاده از ۰/۳-۲ درصد از ترکیب آلی گلاناپون می‌توان کاغذهای با ضخامت کم‌تر، دانسیته بیش‌تر، مقاومت به ترکیدن بیش‌تر، درجه روشنی بیش‌تر، زردی کم‌تر و ماتی مطلوب تولید کرد.

منابع

1. Akbarpour, I., Ghaffari, M., and Ghasemian, A. 2013. Deinking of different furnishes of recycled MOW, ONP, and OMG pulps in silicate-free conditions using organic complex of PHASS. BioResources. 8: 1. 31-44.
2. Akbarpour, I., and Resalati, H. 2011. Utilization of organic complex of glanapone stab rather than sodium silicate in peroxide bleaching of mixed hardwood CMP pulp. Iranian J. of Wood and Paper Science Research. 26: 1. 193-217. (In Persian)
3. Akbarpour, I., and Resalati, H. 2010. Utilization of organic complex of glanapone stab rather than sodium silicate in peroxide bleaching of mixed hardwood CMP pulp. Iranian J. of Wood and Paper Science Research. 26: 1. 193-217. (In Persian)
4. Akbarpour, I., and Resalati, H. 2008. Silicate-free peroxide bleaching of mixed hardwood CMP pulp, European Workshop on lignocelluloses and pulp, Advances in pulping, bleaching and related analytics Conference proceedings, pp. 145-157.
5. Dehghani, M.R. 2004. Preparation of bleached chemi-thermo mechanical pulp from birch. Ph.D. Thesis, Forest State University, Moscow, pp. 90-12.
6. Elakiya, N., and Arulmozhiselvan, K. 2021. Characterization of substrates of growing media by Fourier transform infrared (FT-IR) spectroscopy for containerized crop production. J. of Natural and Applied science. 13: 35-42.
7. Ghalandari, E., Mohammadlou, A., and Dehghani firouzabadi, M. 2014. Status and importance of paper recycling in Iran and the world. The 2nd conference on modern technologies in the wood and paper industry, Chalus, Iran. 6p. (In Persian)
8. Ghasemian, A., Ghafari, M., and Akbarpour, I. 2011. Effect of organic complex of polyhydroxyl acrylic acid and sodium salt on optical and physical properties of ONP deinked Pulp. J. of Wood and Forest Science and Technology. 18: 2. 89-102. (In Persian)
9. Imamoglu, S. 2006. Deinkability efficiency of waste office paper printed using a duplicating machine. J. of Applied Sciences. 6: 9. 2006-2009.
10. Mashkour, M., Afra, E., and Resalati, H. 2019. Direct esterification of reinforced papers by immersion method and evaluation of their properties. Wood Science and Technology. 53: 1035-1050.
11. Mashkour, M., Afra, E., Resalati, H., and Mashkour, M. 2015. Moderate surface acetylation of nanofibrillated cellulose for the improvement of paper strength and barrier properties. RSC Advances. 5: 60179-60187.
12. Mckinney, T., and Hache, M. 1991. Technology of paper recycling. Blackie Academic and Professional.UK, 401p.
13. Purchangiz, M.J. 1392. Production and evaluation of nanowhisker cellulose from microcrystal cellulose and its use to improve paper properties. M.Sc. thesis. 73p.

14. Saraeian, A., and Mashkour, M. 2013. The effect of poly acrylic acid, sodium salt grafted to poly ethylene oxide complex on the physical and optical properties of old newsprint paper deinked pulp. Iranian J. of Wood and Paper Science Research. 28: 3. 405-416. (In Persian)

15. Sehaqui, H., Zhou, Q., and Berglund, L.A. 2013. Nanofibrillated cellulose for enhancement of strength in high density paper structures. Nordic Pulp and Paper Research J. 28: 2. 182-189.

16. Singh, A., Yadav, R.D., Kaur, A., and Mahajan, R. 2012. An ecofriendly cost effective enzymatic methodology for deinking of school waste paper. Bioresource Technology. 120: 322-327.

Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources
J. of Wood & Forest Science and Technology, Vol. 28 (3), 2021
http://jwfst.gau.ac.ir
DOI: 10.22069/JWFST.2021.16554.1808

Full Length Research Paper

The effect of glanapone organic complex on the Properties of ONP Deinked Pulp

M. Mashkour*[1] and A.R. Saraeyan[2]
[1]Assistant Prof., Dept. of Paper Science and Engineering, Faculty of Wood and Paper Engineering, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran,
[2]Associate Prof., Dept. of Paper Science and Engineering, Faculty of Wood and Paper Engineering, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran
Received: 04.23.2019; Accepted: 10.04.2021

Abstract

Background and Objectives: Today, paper recycling is considered as a very important economic and environmental necessity. Deinking is one of the important processes in paper recycling. Different types of chemicals are used for deinking that one of the most important of them is sodium silicate. Silicate compounds reduce the useful life of processing equipments and cause problems in the wastewater treatment system due to the sedimentation of them in the equipment. In this research, Recycling of old newspaper using glanapon organic complex, as a substitute for sodium silicate, was investigated due to related problems with sodium silicate.

Materials and Methods: In this study, chemical repulping of ONP was carried out using chemicals at pulp consistency of 10%, temperature of 50 °C and duration of 20 min. The chemicals used for deinking were hydrogen peroxide, sodium hydroxide, Surfactant (Tween 80), DTPA, and glanapon stab organic complex. All chemicals were added based on oven-dry paper basis. In the first step, the control pulp was prepared from ONP using 1% sodium hydroxide, 1% hydrogen peroxide, 0.15% Surfactant (Tween 80) and 0.3% DTPA in the presence of 0.5% sodium silicate. Then, in subsequent treatments, sodium silicate was removed from the chemical compound and the glanapone complex was used at various levels (0.3, 0.5, 0.7, 1, 2 and 3%) instead of it. All chemical treatments were carried out in plastic bags in a hot water bath. The treated pulps were deinked by washing method. The effect of various charges of glanapone on the formation of hydrogen bonds was investigated by infrared spectroscopy (ATR-FTIR). The effect of various charges of the organic complex on the physical, optical and strength properties of deinked pulp was studied and compared with the control (ONP deinked using 0.5% sodium silicate).

Results: The results of physical properties measurements showed that the addition of glanapon stab complex up to 0.7% level caused to production of papers with lower caliper and higher density. Microscopic images taken from the thick profiles of the papers also confirm this. As well as, Paper thickness increased and their density was decreased by increasing consumption of glanapon from 0.7 to 2%. While the density of the prepared paper increased as compared to the reference paper. The results of optical properties analysis indicated that the brightness increased to 51.21% ISO and the yellowness was reduced to 7.3% ISO as the dosage of organic complex was increased up to 3%. The opacity of paper was decreased by increasing the organic complex

*Corresponding author: m.mashkour@gau.ac.ir

charge up to 0.7%. The bursting strength was significantly increased by increasing the organic complex charge up to 2% as compared to the reference paper.

Conclusion: In general, the paper with lower caliper, higher density and brightness, lower yellowness and suitable opacity could be produced using 0.3-2% glanapon complex in comparison with the reference paper by deinking of old newspaper.

Keywords: Deinking, Glanapon organic complex, Optical properties, Paper recycling, Physical properties