

ارزیابی استفاده از مواد بازدارنده آتش و کاربرد آن در کاغذهای بسته بندی

سلیمان ظاهری^{۱*}، علی قاسمیان^۲

۱- دانشجوی دکتری، رشته مهندسی صنایع، گرایش صنایع سلولزی، ۲- دانشیار، گروه علوم و مهندسی کاغذ، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی

گرگان، گرگان، ایران

(دریافت: ۱۴۰۰/۰۱/۱۵، پذیرش: ۱۴۰۰/۰۹/۰۹)

چکیده

سلولز یک پلی ساکارید متشکل از گلوکز است که معمولاً با همی سلولز، پکتین و لیگنین ترکیب می‌شود. این مواد آلی بسیار قابل اشتعال هستند، بنابراین کاغذهای سنتی بسیار قابل اشتعال هستند و به راحتی می‌سوزند. هدف این تحقیق معرفی جامع استفاده از مواد شیمیایی بازدارنده آتش از جمله بوراکس (BX)، اسید بوریک (BA)، آلفا ایکس (AX) و آمونیوم پلی فسفات (APP) به عنوان مواد بازدارنده آتش (FR) می‌باشد. استفاده از این ترکیبات می‌تواند موجب افزایش باقیمانده یا زغال شده و به عنوان یک مانع حرارتی برای محافظت از مواد در برابر گرمای خارجی و جلوگیری از احتراق بیشتر عمل کند. FR دارای نقطه ذوب نسبتاً پایینی است و لایه‌های شیشه‌ای تشکیل می‌دهد. بازدارنده‌های شعله حاوی فسفر و نیتروژن، مقاومت در برابر اشتعال بسیار خوبی از خود نشان می‌دهند، زیرا فسفر باعث تسریع تشکیل سد زغالی در برابر احتراق می‌شود و نیتروژن می‌تواند اثر رقیق کننده آمونیاک را افزایش دهد. وجود یک بازدارنده شعله به طور کلی بر روند تخریب حرارتی سلولز با افزایش کل زغال باقی مانده تأثیر می‌گذارد. بازدارنده‌های هالوژن و بازدارنده‌های آتش به طور تجاری برای بهبود خواص واکنش به آتش عایق حرارتی استفاده می‌شوند. در مقایسه با اولی، دومی سازگارتر با محیط زیست و ایمن تر است، زیرا هیچ گاز سمی در طی احتراق آن تولید نمی‌شود.

کلیدواژه‌ها: سلولز، مواد بازدارنده آتش، کاغذ مقاوم به آتش

۱- مقدمه

می‌شوند. به خصوص بازدارنده‌های شعله حاوی هالوژن، رایانامه دیوکسینی را تولید می‌کنند که ممکن است در بدن انسان انباشته شود و باعث سرطان شود [۳]. پرمصرفترین مواد ضد حریق در حال حاضر برای چوب، پلیمرها و محصولات مبتنی بر الیاف طبیعی آلی بازدارنده‌های آتش برومه و کلردار (BFRS) و CFRS) است. متأسفانه، استفاده از ضد حریق هالوژنه در چند دهه اخیر منجر به آلودگی محیطی نگران کننده‌ای شده است که انسان و محیط زیست را تحت تأثیر قرار داده است. عواقب مضر استفاده از آن (CFRS و BFRS) در نهایت منجر به ممنوعیت این محصولات در سال ۲۰۱۰ به دنبال «بیانیه سن آنتونیو» شده است. این بازدارنده‌ها (CFRS و FRS) به عنوان جهش‌زا، سرطان‌زا و بسیار سمی شناخته شده‌اند و نیازمند به جایگزینی فوری آن‌ها با مواد سازگار با محیط زیست می‌باشد. جایگزین‌ها ترکیبات مبتنی بر سیلیکون [۴] فسفورات، و بوراکس [۵]، نیتروژن [۶] سایر نانوکامپوزیت‌ها. متابورات سدیم هیدراته (SMB) یک فلز هیدرات معدنی است که علیرغم داشتن مولکول‌های آب و بور در ساختار خود، به سختی به عنوان یک ضد شعله استفاده شده است، که می‌تواند تخریب حرارتی چوب و الیاف طبیعی را کاهش

چوب طبیعی عمدتاً حاوی سلولز، همی سلولز، لیگنین، موم و پلیمرهایی که قابل اشتعال و حساس به تخریب در دمای بالا هستند. کاغذ نقش بسیار مهمی در زندگی روزمره ما ایفا می‌کند که به طور گسترده به عنوان مواد بسته بندی، بسترهای نوشتاری و چاپ، مواد تزئینی و سایر مواد استفاده می‌شود. انواع بسیاری از کاغذها وجود دارد در کاربردهای مختلف که به طور گسترده برای خوشنویسی و کارهای نقاشی سنتی در چین استفاده می‌شود [۱]. کاغذ چینی ژوان یکی از برجسته‌ترین روش متداول برای کاهش اشتعال کاغذ از طریق اختلاط افزودنی‌های بازدارنده شعله در الیاف خمیر در طول فرآیند ساخت کاغذ است.

پرکاربردترین مواد بازدارنده شعله فسفر و هالوژن هستند [۲]. با این حال، این بازدارنده‌های شعله باعث ایجاد مشکلات شدید و خطرناک زیست محیطی و آسیب به سلامت انسان

نیاز دارند. بنابراین، یافتن افزودنی‌های بدون آلودگی با فرآیند سنتز ساده مهم است. کیتین از محصولات غذاهای دریایی مشتق شده است و فیبرهای آن مدول الایسیته ۶۰ گیگاپاسکال دارند. بنابراین، پتانسیل در بهبود بازدارندگی آتش و استحکام کششی به‌طور همزمان را دارد. ما با تجزیه به کمک آسیاب گلوله‌ای و به دنبال آن فسفوریلاسیون با P_2O_5 ، یک بازدارنده بر پایه نانوفیبریل کیتین تولید کردیم. این محصول روی کاغذ بارگذاری شد و در عین حال که استحکام کششی خشک و مرطوب بالایی را ارائه می‌کرد، خاصیت ضد شعله قابل توجهی از خود نشان داد. آزمایش اشتعال‌پذیری با اعمال شعله گاز بر روی قطعه آزمایش ($150 \times 10 \times 0.2$ میلی‌متر مکعب)، به مدت ۵ ثانیه انجام شد. شاخص محدودکننده اکسیژن (LOI) توسط FTT II (UK) مطابق با GB/T 2406.2-2009 برای قطعه آزمایشی ($140 \times 52 \times 0.2$ میلی‌متر مکعب) خواص مکانیکی نمونه‌های کاغذ توسط (MTS Sintech) ارزیابی شد. برای هر نمونه ۶ تکرار اندازه‌گیری شد. مقاومت به خشک کاغذ در دمای اتاق و رطوبت نسبی ۵۵ درصد (RH) اندازه‌گیری شد. مقاومت مرطوب کاغذها بر اساس GB/T 24328.4-2009 اندازه‌گیری شد. مقاومت در برابر شعله کاغذ کرافت توسط یک فسفیت آمونیوم که بر روی کاغذ کرافت سازگار با محیط‌زیست، حاوی فسفر و بازدارنده شعله مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که شاخص محدودکننده اکسیژن کاغذ کرافت تیمار شده می‌تواند از ۱۹/۱ به ۴۸/۲ درصد افزایش یابد.

نتایج آزمایش‌های اشتعال‌پذیری عمودی نشان می‌دهد که طول اندازه نمونه تیمار شده از ۲۱۰ به ۴۵ میلی‌متر کاهش یافته است. تجزیه و تحلیل حرارتی (TGA) نشان داد که کاغذ کرافت تیمار شده دمای تجزیه اولیه کمتر و باقیمانده‌های بیشتری نسبت به نمونه شاهد دارد. تجزیه و تحلیل حرارتی / طیف سنجی مادون قرمز نشان داد که گونه‌های فرار قابل اشتعال کاغذ کرافت تیمار شده در مقایسه با نمونه شاهد به وضوح کاهش یافته است. طیف‌سنجی مادون قرمز نشان داد که فسفیت آمونیوم بر روی مولکول‌های سلولز توسط پیوندهای کووالانسی P-O-C پیوند زده شده است و بازدارنده شعله در فاز متراکم واکنش‌پذیر است.

میکروسکوپ الکترونی روبشی نشان داد که این اصلاح تأثیر کمی بر سطح کاغذ کرافت دارد و زغال باقیمانده کاغذ کرافت تیمار شده شکل فیبر را پس از احتراق حفظ می‌کند. نتایج EDX نشان داد که بازدارنده شعله مقدار زیادی فسفر و نیتروژن وارد کاغذ کرافت می‌کند. پراش اشعه ایکس نشان داد که این اصلاح به‌طور قابل توجهی بر ساختار کریستالی کاغذ کرافت تأثیر نمی‌گذارد. و استحکام کاغذهای کرافت پس از اصلاح اندکی کاهش یافت، اما همچنان خوب باقی ماند. در سال‌های اخیر،

دهد. غیر سمی، کم‌هزینه، داشتن پایداری حرارتی بالا و توانایی با رهاسازی کنترل شده مولکول‌های آب، به‌عنوان یک ماده مقاوم در برابر آتش، جایگزین خوبی شناخته شده است SMB و سایر هیدرات‌های فلزی همچنین می‌توانند در حین احتراق به‌عنوان یک جذب کننده حرارت شیمیایی عمل کنند زیرا تحت تجزیه گرماگیر قرار می‌گیرند که می‌تواند باعث تاخیر در اشتعال شود. رقیق شدن گازهای قابل اشتعال و مهار واکنش‌های شیمیایی برای مقاومت در برابر احتراق. برای برآورده کردن الزامات رایج ضد حریق موثر است، گرافن با خواص مطلوب، پایداری حرارتی بالا، نفوذناپذیری گازی و یونی، خواص غیرقابل اشتعال [۷] به‌عنوان یک ماده جدید ضد حریق توجه زیادی را به خود جلب کرده است، گرافن نوظهور که به صورت ساختار لایه‌ای دوبعدی با اثر مسدودکننده لاملا فرموله شده است، می‌تواند چندین ویژگی منحصر به فرد را نه تنها برای جلوگیری از دسترسی به اکسیژن، بلکه برای به تاخیر انداختن انتقال حرارت بین رابط‌ها، می‌تواند به‌عنوان دهنده کربن (عامل زغال‌کننده) برای ایجاد یک لایه کربنی عایق (Char) بین ساختارهای سوخته و نسوخته در طی احتراق عمل کند. برای بهبود بیشتر این ویژگی‌ها، گرافن با سایر ترکیبات ضد حریق رایج (مانند مولکول‌های حاوی Si P- یا N- حاوی گرافن، نانوکامپوزیت) ترکیب شد تا ضد حریق جدید و بسیار مؤثر مبتنی بر گرافن را فرموله کند [۷] بازدارنده شعله مبتنی بر نانوفیبریل کیتین با تجزیه کیتین توسط آسیاب گلوله‌ای و به دنبال آن فسفوریلاسیون با P_2O_5 ایجاد شد [۴۶]. عملکرد احتراق کاغذ بارگذاری شده با محصول توسط یک کالری‌سنج ریز احتراق و شاخص اکسیژن محدود (LOI) و آزمایش اشتعال‌پذیری ارزیابی شد. کاغذ بارگذاری شده با ۳۰ درصد بازدارنده، منجر به افزایش ۳۰ درصدی شاخص محدودکننده اکسیژن شد، حداکثر سرعت انتشار گرما را ۶۲ درصد کمتر از کاغذ کنترل و رفتار خود خاموش شونده بدون روشنی پس از آن نشان داد [۸]. کاغذهای سلولزی به‌طور گسترده در زندگی ما به خصوص در ائانیه منزل، کتاب، منسوجات، بسته‌بندی و غیره استفاده می‌شود. با این حال، اشتعال‌پذیری کاربرد گسترده‌تر آن را محدود می‌کند. مقاومت کاغذ در برابر آتش توسط افزودنی‌های بازدارنده شعله مانند نیتريد بور، کیتوزان، پلی فسفات آمونیوم [۹ و ۱۰] و هیروپوبین‌ها افزایش می‌یابد. بیوماکرومولکول‌های خاک رس، حاوی فسفر یا نیتروژن، توجه زیادی را به بازدارندگی در شعله جلب کرده است [۱۱ و ۱۲]. استحکام عامل مهمی برای محصولات کاغذی مانند دستمال‌های صورت، برجسب بطری‌ها و کاغذ حوله‌ای است. نمونه‌هایی از افزودنی‌های مقاوم شامل پلی‌اتیلن آمین، پلی‌آمینوآمید-اپی کلروهیدرین، و کیتوزان [۱۳] فرمالدئید آزاد می‌کنند یا برای آماده‌سازی به فرآیندهای متعددی

به‌دست آمد. در این تحقیق از کاج قرمز ترکیه (*Pinus brutia*) Ten) به‌عنوان ماده اولیه استفاده شد. آنالیز شیمیایی، آماده‌سازی مواد خام، خواص فیزیکی و نوری و آزمایش‌های احتراق کاغذها با توجه به روش‌های مربوطه تعیین شد. مواد شیمیایی مورد استفاده در این مطالعه بوراکس (BX)، اسید بوریک (BA)، آلفا ایکس (AX) و پلی فسفات‌آمونیم (APP) به‌عنوان بازدارنده آتش بودند.

۲- اثرات FR بر نرخ احتراق کاغذها

نرخ احتراق کاغذهای آغشته به FR در جدول (۱) ارائه شده است. طبق جدول، مواد شیمیایی FR به‌طور قابل‌توجهی خواص بازدارندگی کاغذها را افزایش داده است.

جدول (۱): احتراق کاغذهای آغشته به مواد بازدارنده آتش

مواد بازدارنده آتش	مناطق احتراق (cm ²)	(%) نرخ احتراق
نمونه کنترل	۲۰۰	۱۰۰
۳٪ بوراکس	۱۰۴	۵۲
۶٪ بوراکس	مشاهده نشد	۰
۹٪ بوراکس	مشاهده نشد	۰
۳٪ اسید بوریک	۱۱۰	۵۵
۶٪ اسید بوریک	مشاهده نشد	۰
۹٪ اسید بوریک	مشاهده نشد	۰
آلفا ایکس ۳٪	۱۰۲	۵۱
۶٪ آلفا ایکس	۱۰۰	۵۰
۹٪ آلفا ایکس	مشاهده نشد	۰
آمونیم پلی فسفات ۳٪	۱۱۹	۵۹٫۵
آمونیم پلی فسفات ۶٪	۷۵	۳۷٫۵
آمونیم پلی فسفات ۹٪	۲۸	۱۴

هنگامی که نرخ احتراق مورد بررسی قرار گرفت، BX موثرترین در تست احتراق بود. BA و AX نیز مقاومت موثری در برابر سوختن نشان دادند [۲۵ و ۲۶].

نرخ احتراق کاغذها علاوه بر اثر معمول کاتالیزوری تشکیل زغال، هنگامی که در معرض دماهای بالای آتش قرار گیرد لایه‌های شیشه‌ای تشکیل می‌دهد، FR دارای نقطه ذوب نسبتاً پایینی است و APP به خوبی سایرین عمل نکرد [۲۷] (شکل ۱).

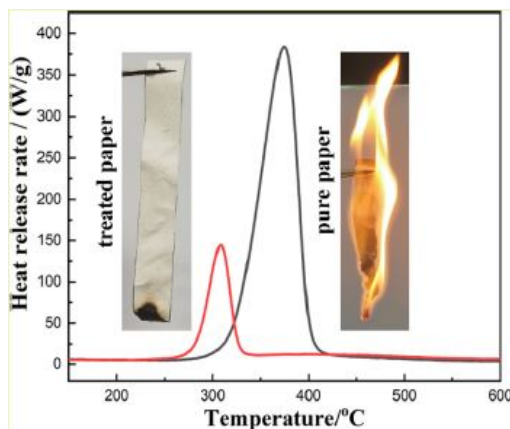
محققان روش‌ها و بازدارنده‌های شعله مختلفی را برای بهبود خاصیت بازدارنده‌ی شعله کاغذ سلولزی پیشنهاد کرده‌اند. با توجه به این روش‌ها، بازدارنده‌های شعله را می‌توان به بازدارنده‌های شعله از نوع افزودنی و بازدارنده‌های شعله واکنشی طبقه‌بندی کرد [۱۵]. بازدارنده‌های شعله از نوع افزودنی همیشه مستقیماً به خمیرکاغذسازی اضافه می‌شوند تا کاغذ بازدارنده شعله تولید کنند. بازدارنده‌های اصلی آتش از نوع افزودنی، اکسیدهای فلزی، هیدروکسیدهای فلزی، ترکیبات بور و ترکیبات سیلیکونی هستند [۱۶]. ثابت شده است که فسفینات‌ها و هیپوفسفات‌ها مانند ایزوبوتیل فسفینات‌آلمونیم [۱۷]، فنیل فسفینات‌آلمونیم [۱۸] هیپوفسفات‌آلمونیم هستند [۱۹] به‌طور موثر بازدارنده شعله هستند.

محصولات کاغذی به سرعت قابل اشتعال هستند. برای غلبه بر این عیب، می‌توان آن را با مواد شیمیایی بازدارنده آتش مقاوم کرد. ضد حریق (FR) در کاغذهای مورد استفاده در برخی از کاربردها مانند لاینیت تخته‌های کاغذی، درج لانه‌زنبوری برای در و دیوار، کاغذهای خرید در مراکز خرید، بازارها و غیره استفاده می‌شود. در سال ۱۸۲۰، جوزف لوئیس گیلوساک برخی از تیمارها را با بوراکس و فسفات‌آمونیم به منظور افزایش مقاومت در برابر آتش پیشنهاد کرد. امروزه از فرآیندهای مشابهی استفاده می‌شود و بسیاری از مواد شیمیایی آلی نیز به‌عنوان FR استفاده می‌شوند. قلع، فسفات‌ها، بورات‌ها، سیلیکات‌ها، روی و فرمولاسیون‌های مبتنی بر کلسیم برای چوب استفاده شد [۲۰]. ترکیبات بور در فرآیندهای اشباع چوب استفاده می‌شود [۲۱] و [۲۲]. و از این ترکیبات برای افزایش خواص فیزیکی و نوری برخی از کاغذها و تخته‌ها استفاده می‌شود [۲۳].

رایج‌ترین مواد شیمیایی مقاوم در برابر آتش عبارتند از فسفات‌های آمونیم، اسید بوریک، کلرید روی، بورات سدیم، بوراکس، سولفات آمونیم، اکسید آنتیموان و اسید فسفریک [۲۳] و [۲۴] سه آزمایش مختلف خمیرکاغذ با روش سودا-آنتراکینون (AQ) و اعداد کاپا، ویسکوزیته انجام شد. عملکرد، و خواص نوری و فیزیکی خمیرها به منظور یافتن شرایط مطلوب پخت تعیین شد. بوراکس (BX)، اسید بوریک (BA)، (AX) alpha-x و آمونیم پلی فسفات (APP) به‌عنوان FR در نرخ‌های معینی (۳، ۶، ۹) استفاده شد. کاغذهای FR مورد آزمایش احتراق قرار گرفتند و خواص آتش کاغذها به‌عنوان نرخ احتراق تعیین شد. نتایج اصلی، نتایج نشان داد که افزودن AQ به مایع پخت، عملکرد خمیر را حدود ۴/۶ افزایش می‌دهد. همچنین، تعداد کاپای خمیرها با افزودن AQ از ۱۲۰ به ۵۰ کاهش یافت. افزودن AQ بر خواص فیزیکی کاغذ تأثیر قابل‌توجهی داشت. بهترین نتایج در خواص آتش به ترتیب از BX (۶٫۹) BA (۶٫۶) و AX (۹٫۶)

برابر احتراق می‌شود و نیتروژن می‌تواند اثر رقیق‌کننده آمونیاک را افزایش دهد [۳۵] علاوه بر این، بازدارنده‌های آتش‌زای حاوی یون‌های فلزی مانند $Al(OH)_3$ ، [۱۰] و $Mg(OH)_2$ [۳۷] نیز مورد مطالعه قرار گرفته‌اند. اما این محصولات در استفاده عملی دچار کاهش استحکام مکانیکی می‌شوند در این تحقیق استفاده از بازدارنده‌های شعله همراه با بیوماکرومولکول‌ها مورد توجه قرار گرفته است محققان استفاده از سلولز فسفریله اصلاح شده $(NH_4)_2PO_4$ در حضور اوره و سپس تهیه شده به نانوفیبریل سلولزی گزارش کرده‌اند [۴۳].

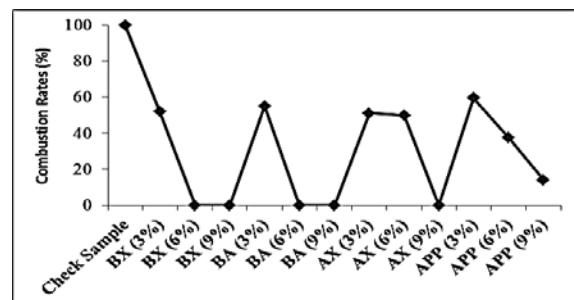
یک بازدارنده شعله مبتنی بر نانوفیبریل سلولز با فسفوریلاسیون سلولز و P_2O_5 ساخته شده است که توسط آسیاب گلوله‌ای ارتقاء یافته و به دنبال آن تیمار با ملامین انجام می‌شود. نتایج نشان داد که بازدارنده شعله کاغذ بارگذاری شده با بازدارنده شعله مبتنی بر نانوفیبریل سلولز با افزایش غلظت مواد افزایش یافت. شاخص اکسیژن محدودکننده ۳۰ درصد برای کاغذهای دارای ۳۰ درصد وزنی بازدارنده به دست آمد و اوج میزان انتشار گرما ۶۲/۸ درصد کمتر از کنترل بود. در شکل (۲) استحکام بهبود یافته کاغذ، حفظ سفیدی کاغذ نشان داده شده است.



شکل (۲): کاغذ کنترل و تیمار شده آن بر مبنای ۳۰ درصد وزنی به مدت ۵ ثانیه مشتعل شدند مواد بازدارنده

کاغذ تکمیلی ضد شعله

در این تحقیق خمیر کاغذ بامبو (۱۰ گرم) در ۹۹۰ گرم آب توسط مخلوط‌کن Waring به مدت ۳۰ دقیقه (۵ دقیقه کار و ۱۰ دقیقه استراحت) الیاف زدایی نمودند. مقادیر مختلف $P_2C_{10}NM-10$ با سوسپانسیون خمیر ۱ درصد به مدت ۱۰ دقیقه مخلوط شد. سوسپانسیون خمیر به همراه مواد بازدارنده (۳۰۰ گرم) در یک ظرف پلاستیکی ۴۵ سانتی‌متری به صورت افقی ریخته شد و در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد در کوره خشک شد. (۳۰ درصد وزنی بازدارنده» به معنای ۳۰ گرم بازدارنده در برابر ۷۰ گرم خمیر کاغذ در وزن خشک است) [۴۵].



شکل (۱): نرخ احتراق کاغذها

۳- تولید خمیر و کاغذ

در تحقیقی نمونه‌های خشک شده در هوا جهت سهولت فرایند پخت ابتدا برش خورده و به چپیس تبدیل و از ناخالصی‌ها پاکسازی شدند. خمیرها تا درجه روانی ۵۰ * (Schopper SR (Riegler) پالایش شدند و سپس، ۱۰ ورق کاغذ با گرماژ ۷۰ گرم بر مترمربع با استفاده از شکل‌دهنده ورق (Kothen, Rapid-) مطابق ISO 5269/2 تهیه شد. کدورت (TAPPI T 425 om-) (96، روشنایی (ISO 2469)، شاخص پارگی (TAPPI T 414 om-12)، طول شکست (TAPPI T 494 om-01)، شاخص انفجار (TAPPI T 403. om-2). [۲۸] ارزیابی شد.

هنگامی که نرخ احتراق مورد بررسی قرار گرفت، BX موثرترین ممانعت‌کننده در تست احتراق بود. BA و AX نیز مقاومت موثری در برابر سوختن نشان دادند. با افزایش نرخ FR، منجر به کاهش احتراق در منطقه شد. مواد شیمیایی FR کربنیزاسیون را در دماهای نسبتاً پایین افزایش می‌دهند و عایق حرارتی را ایجاد می‌کنند [۲۵ و ۲۶]. مواد پلیمری، مانند کاغذ سلولزی، کالاهای ضروری در بسته‌بندی و مواد تزئینی خانه هستند. با این حال، اشتعال‌پذیری کاربرد گسترده‌تر آن را محدود می‌کند. بنابراین، بازدارندگی در شعله به مواد پلیمری، این دسته از مواد را برای کاربرد امکان‌پذیرتر و ایمن‌تر می‌کند. برای این منظور، بازدارنده‌های شعله‌ای متعددی تولید شده‌اند، مانند ترکیبات مبتنی بر هالوژن، فسفر [۱۱]، نیتروژن [۲۹] یا نانو پرکننده‌ها [۳۰] یون‌های فلزی [۳۱ و ۳۰] اگرچه بازدارنده‌های شعله حاوی هالوژن کاملاً مؤثر هستند، اما ممکن است به تاکسید دیوکسین تبدیل شوند [۳۲]. دیوکسین سمی زمانی که در دمای بالا قرار می‌گیرند در محل‌های دفن زباله آزاد می‌شوند [۳۳] قرار گرفتن در معرض بازدارنده شعله هالوژنه می‌تواند باعث ایجاد بیماری‌های متعدد در انسان، به ویژه اختلالات غددی شود. از این رو گازدارهای شعله مبتنی بر هالوژن به دلیل چالش‌های زیست‌محیطی مورد انتقاد قرار گرفته‌اند [۳۴]. بازدارنده‌های شعله حاوی فسفر و نیتروژن، مقاومت در برابر اشتعال بسیار خوبی از خود نشان می‌دهند، زیرا فسفر باعث تسریع تشکیل سد زغالی در

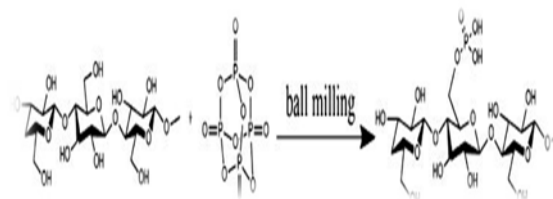
بازدارنده‌های آتش به‌طور گسترده در فوم‌های عایق حرارتی تولید شده از منابع فسیلی استفاده شده‌اند [۴۴] اما چنین کاربردهایی در فوم‌های سلولزی بندرت گزارش شده است در تحقیقی، وزن سنجی کاغذ توسط تجزیه و تحلیل حرارتی (TGA) برای نمونه خشک شده در دمای ۶۰ درجه سانتیگراد به مدت ۲۴ ساعت، از دمای اتاق تا ۸۰۰ درجه سانتیگراد در دمای ۱۰ درجه سانتیگراد در دقیقه تحت نیتروژن یا هوای محیط مورد بررسی قرار گرفت. قابلیت احتراق توسط یک کالری‌سنجی ریز احتراق Govmark MCC-2 از ۹۰ تا ۷۵۰ درجه سانتی‌گراد در ۱ درجه سانتی‌گراد بر ثانیه تحت O_2-N_2 مورد آزمایش قرار گرفت. مخلوط (۱:۴) با سرعت جریان حدود ۱۰۰ میلی‌لیتر در دقیقه. شاخص محدودکننده اکسیژن (LOI) توسط یک FTT II (U.K.) مطابق با GB/T 2406.2-2009 برای قطعه آزمایش ۰/۰۲ × ۵۲ × ۱۴۰ میلی‌متر مکعب تعیین شد و چهار تکرار برای هر نمونه اندازه‌گیری شد.

طیف‌سنج مادون‌قرمز تبدیل فوریه: (FTIR)

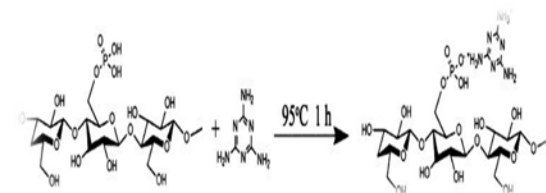
طیف‌های نمونه‌ها در محدوده فرکانسی ۴۰۰۰ تا ۵۰۰ سانتی‌متر ثبت شد. میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) و میکروسکوپ الکترونی عبوری (TEM) مورفولوژی سطح ورق کنترل و ورق‌های پوشش داده شده با مشاهده SEM با استفاده از Zeiss ULTRAS5) با ولتاژ شتاب ۱۵ کیلو ولت ارزیابی شد. هر نمونه با آلیاژ طلا/پالادیوم قبل از مشاهده با استفاده از یک سیستم پوشش‌دهنده پراکنده (Edwards Sputter Coater: BOC) پوشش‌دهنده پراکنده (Edwards, Sussex, UK) پوشانده شد. تصاویر با میکروسکوپ الکترونی JEOL JEM-2100 با بزرگنمایی ۱۰۰ kx، با ولتاژ شتاب ۱۲۰ کیلو ولت گرفته شده است. طیف‌سنجی پراش اشعه ایکس (XRD) الگوی پراش پودر پرتو ایکس با استفاده از هدف پيشروی پراش پرتو ایکس بروکر D8 با منبع تابش Cu Ka تعیین شد ۲ تابش از ۰ تا ۶۰ درجه در ۲۰ زاویه ثبت شد [۴۵].

تجزیه و تحلیل حرارتی: (TGA)

مراحل تخریب و باقیمانده خاکستر از طریق Shimadzu TGA-50 Instrument (ژاپن) مورد بررسی قرار گرفت. آزمایش با وزن ۸ میلی‌گرم از نمونه در هر آزمایش با دمای بین ۲۷ تا ۷۵۰ درجه سانتی‌گراد، سرعت گرمایش ۱۰ درجه سانتی‌گراد در دقیقه و سرعت جریان ۳۰ میلی‌لیتر در دقیقه در اتمسفر گاز N_2 انجام شد. برای مطالعه رفتار دمایی نمونه‌هایی که کلاس آتش E را به‌دست آورده‌اند، با استفاده از Mettler TGA/SDTA 851e استفاده شد. زوریخ، سوئیس) استفاده شد. نمونه‌ها از ۲۵ تا ۸۰۰ درجه سانتی‌گراد با سرعت ۱۰ درجه سانتی‌گراد در



شکل (۳): مسیر سنتز PCN [۳۸]



شکل (۴): بازدارنده شعله مبتنی بر نانوفیبریل سلولزی

[۳۸] (PCNM)

۴- پایداری حرارتی

تخریب حرارتی سلولز خالص در یک اتمسفر بی‌اثر بین ۳۰۰ تا ۴۰۰ درجه سانتیگراد در یک مرحله انجام می‌شود. محققان نشان دادند [۴۵] که رفتار محصولات NM-10، P_2C از نظر کیفی مشابه بود و کاهش وزن تک مرحله‌ای را در همان محدوده نشان داد. اما مقدار تشکیل زغال به‌طور قابل ملاحظه‌ای بزرگتر با میزان سطح بارگیری بازدارنده افزایش می‌یافت. کاغذ تیمار نشده بازده کم زغال ۶/۸ درصدی را به همراه داشت، در حالی که کاغذ بارگذاری شده ۳۰ درصد وزنی ۳۱/۵ درصد زغال می‌دهد. وجود یک بازدارنده شعله به‌طور کلی بر روند تخریب حرارتی سلولز با افزایش کل زغال باقی‌مانده تأثیر می‌گذارد [۳۹]. تأثیر P_2C NM-10 اضافه شده یک مثال برجسته است.

افزایش زغال‌ها ناشی از حضور گروه فسفات و ملامین است. سفر، زغال‌شدن واحدهای گلیکوزیل را در دماهای پایین کاتالیز می‌کند، در حالی که ملامین آمونیاک تولید می‌کند که اکسیژن را رقیق می‌کند و احتراق را به تأخیر می‌اندازد [۴۰].

عایق حرارتی ساخته شده از الیاف مبتنی بر سلولز نسبت به سایر انواع مواد از نقطه نظر پایداری مزایایی دارد [۴۱] برای به‌دست آوردن خاصیت عایق حرارتی خوب سلولزی، مواد عایق حرارتی باید چگالی کم داشته باشند تا از هدایت حرارتی پایین اطمینان حاصل شود [۴۲]. با این حال، به‌عنوان اجزای تشکیل دهنده، واکنش ضعیف در برابر آتش، خواص عایق حرارتی سلولزی با چگالی کم باید بهبود یابد تا ایمنی آتش‌سوزی تضمین شود. برای بهبود خواص واکنش به آتش از بازدارنده‌های هالوژن و بازدارنده‌های آتش به‌عنوان عایق حرارتی استفاده می‌شود. اولی در مقایسه با دومی سازگارتر با محیط‌زیست و ایمن‌تر است، زیرا در طی احتراق آن هیچ گاز سمی تولید نمی‌شود [۴۳].

آزمایش سوزاندن، نمونه در خشک کن به مدت بیش از ۴۸ ساعت و رطوبت ۴۵ درصد خشک می‌شود. نمونه در قاب U به صورت عمودی بسته شدند. از مشعل با شعله ۲ سانتی‌متر برای احتراق نمونه به مدت ۱۵ ثانیه در نقطه‌ای از لبه بالایی آن استفاده می‌شود. رفتار پخش شعله برای نمونه‌های آزمایش شده مشاهده شد [۴۷].

شاخص اکسیژن: Oxygen Index

آزمایشی است که برای اندازه‌گیری کمترین درصد گاز اکسیژن در حضور گاز نیتروژن تا سوختن کامل نمونه استفاده می‌شود. در این آزمایش نمونه‌ها با ابعاد ۵ سانتی‌متر در ۱۵ سانتی‌متر به صورت عمودی آویزان شده و با گاز پروپان به مدت ۳۰ ثانیه از سمت آزاد مشتعل می‌شوند [۴۷].

برای محاسبه قابلیت بازداردگی شعله از این فرمول زیر استفاده می‌شود.

که در آن m_1 و m_2 به ترتیب وزن خشک الیاف خمیر و فوم عایق با بازدارنده آتش است [۴۹].

$$Retention = \frac{m_2 - m_1}{m_1} \times 100\%$$

۵- نتیجه‌گیری

این تحقیق معرفی جامع نوع جدیدی از کاغذ مقاوم در برابر آتش با استفاده از خمیر و کاغذ که به‌عنوان ماده اولیه استفاده خواهد شد. از مواد شیمیایی بازدارنده آتش از جمله بوراکس (BX)، اسید بوریک (BA)، α -x (AX) و آمونیوم پلی فسفات (APP) به‌عنوان FR استفاده شده است. هنگامی که نرخ احتراق مورد بررسی قرار گرفت، BX موثرترین ممانعت کننده در تست احتراق بود. BA و AX نیز مقاومت موثری در برابر سوختن نشان دادند. مواد شیمیایی FR کربنیزاسیون را در دماهای نسبتاً پایین افزایش می‌دهند و عایق حرارتی را ایجاد می‌کنند با افزایش نرخ FR، منجر به کاهش احتراق در منطقه شد بازدارنده شعله بر پایه نانوفیبریل سلولز با فسفوریلاسیون سلولز با P_2O_5 ایجاد شده است. نانوفیبریل سلولز فسفریله شده از طریق پیوند یونی با ملامین ترکیب شده و به منظور بهبود تاخیرپذیری شعله به خمیر و کاغذ بامبو اضافه شده است. عقب‌ماندگی شعله کاغذ تیمار شده بر پایه نانوفیبریل سلولز با افزایش غلظت افزایش یافت. افزایش ۳۰٪ شاخص محدودکننده اکسیژن برای ۳۰٪ وزنی کاغذهای مقاوم در برابر شعله بود؛ و حداکثر سرعت انتشار گرما ۶۲/۸٪ کمتر از کنترل بود. افزایش باقیمانده یا زغال می‌تواند به‌عنوان یک مانع حرارتی برای محافظت از مواد در برابر گرمای

دقیقه در جریان ۵۰ میلی‌لیتر دقیقه نیتروژن گرم شدند. دو تکرار از هر نمونه دمای تجزیه (دمایی که در آن ۱۰ درصد وزن کم ظاهر می‌شود)، حداکثر دمای تجزیه (دمای اوج که در آن حداکثر سرعت تجزیه رخ می‌دهد) و باقیمانده در ۸۰۰ درجه سانتی‌گراد انجام شد [۴۷].

تست آتش‌سوزی: Cone-Calorimeter

یک کالریمتر مخروطی (Fire Testing Technology Ltd. UK) برای مطالعه رفتار احتراق استفاده شد. نمونه‌ها (۱۰۰ میلی‌متر در ۱۰۰ میلی‌متر در ۱۵ میلی‌متر) در معرض ۲۵ کیلووات مترمربع شار حرارتی تابشی به دنبال روشی که در استاندارد ISO 5660-1 توضیح داده شده است (ISO, 2015 #80) قرار گرفتند. زمان اشتعال (s, TTI)، سرعت انتشار حرارت اوج (kW, peak-HRR) و انتشار حرارت کل ($MJ m^{-2}$, THR) مورد ارزیابی قرار گرفت. دو تکرار از هر نمونه انجام شد [۴۸].

هدایت حرارتی: Thermal Conductivity

هدایت حرارتی فوم‌های عایق ضد حریق توسط دستگاه Hot Disk TPS 2500S (Hotdisk AB، گوتنبرگ، سوئد)، با توان خروجی ۲۰ میلی‌وات و زمان اندازه‌گیری ۴۰ ثانیه در حالت همسانگرد تعیین شد. یک حسگر سیم نیکل ۶/۴ میلی‌متری و یک حالت حجیم برای تعیین هدایت حرارتی استفاده شد (آنالایزر حرارتی دیسک داغ ۷/۲). سه اندازه‌گیری از هر نمونه در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد انجام شد [۴۸].

محفظه شعله: Flame Chamber (UL/94)

این آزمایش برای طبقه‌بندی نمونه‌های آزمایش شده بر اساس روش استاندارد استفاده شد. نرخ سوختن (BR) محاسبه شد.

نرخ سوختن: Burn Rate

$$Burn Rate(BR) = 60 \times \frac{Burning Distance}{Burning Time [mm/min]}$$

$$(BR) = 60 \times \text{میزان سوختن}$$

فاصله سوختن / زمان سوختن mm/min

تست شعله: Shape of Flame Spread

این آزمایش بر روی نمونه‌های تیمار نشده (کاغذ سلولزی خالص) و تیمار شده با ابعاد ۵×۱۵ سانتی‌متر مربع اعمال شد. قبل از

- 928, 2012.
- [12] D. A. Pethsangave, R. V. Khose, P. H. Wadekar, S. Some, "Novel Approach Toward the Synthesis of a Phosphorus-Functionalized Polymer-Based Graphene Composite as an Efficient Flame Retardant," *ACS Sustainable Chem. Eng.*, vol. 7, pp. 11745-11753, 2019.
- [13] J. Alongi, R. A. Carletto, F. Bosco, F. Carosio, A. Di Blasio, F. Cuttica, V. Antonucci, M. Giordano, G. Malucelli, "Caseins and Hydrophobins as Novel Green Flame Retardants for Cotton Fabrics," *Polym. Degrad. Stab.*, vol. 99, pp. 111-117, 2014.
- [14] H. Pan, L. Song, L. Ma, Y. Pan, K. M. Liew, Y. Hu, "Layer-by-Layer Assembled Thin Films Based on Fully Biobased Polysaccharides: Chitosan and Phosphorylated Cellulose for Flame-Retardant Cotton Fabric," *Cellulose*, vol. 21, pp. 2995-3006, 2014.
- [15] S. L. Wag, J. L. Huang, F. S. Chen, "Study on Mg-Al Hydrotalcites in Flame-Retardant Paper Preparation," *BioResources*, vol. 7, no. 1, pp. 997-1007, 2012.
- [16] Z. Y. Mo, H. F. Zhao, C. L. Wu, et al "Resin Microencapsulated Ammonium Polyphosphate," *Paper Paper Making*, vol. 35, no. 7, pp. 35-38, 2016.
- [17] W. He, W. Bi, K. Yang, et al "Flame Retarded Paper Prepared with Hexamidocyclotriphosphazene," *Paper Sci. Technol.* Vol. 34, no. 4, pp. 24-26, 2015.
- [18] B. Zhao, L. Chen, J. W. Long, et al "Aluminum hypophosphite Versus Alkyl-Substituted Phosphinate in Polyamide 6: Flame Retardance, Thermal Degradation, And Pyrolysis Behavior," *Ind. Eng. Chem. Res.* vol. 52, pp. 2875-2886, 2013.
- [19] B. Zhao, Z. Hu, L. Chen, et al "A Phosphorus-Containing Inorganic Compound as an Effective Flame Retardant for Glassfiber-Reinforced Polyamide 6," *J. Appl. Polym. Sci.*, vol. 119, pp. 2379-2385, 2011.
- [20] C. McIntyre, J. Burley, J. Evans, "Protection from Fire in Encyclopedia of Forest Science," In: Academic Press, San Diego, CA, 2004.
- [21] N. Ayrilmis, Z. Candan, R. White, "Physical, Mechanical, and Fire Properties of Oriented Strandboard with Fire Retardant Treated Veneers," *Holz als Roh-und Werkstoff*, vol. 65, no. 6, pp. 449-458, 2004.
- [22] J. E. Winandy, Q. Wang, R. H. White, "Fire-retardant-treated Strandboard: Properties and Fire Performance," *Wood and Fiber Science*, vol. 40, no. 1, pp. 62-71, 2008.
- [23] A. Tutus, M. Cicekler, N. Kucukbey, "Pulp and Paper Production From Bitter Orange (*Citrus aurantium* L.) Woods with Soda-AQ Method," *Kastamonu Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, vol. 16, no. 1, pp. 14-18, 2016.
- [24] R. Kozłowski, M. Helwig, A. Przepiera, "Light-weight, Environmentally Friendly Fire Retardant Composite Boards for Panelling and Construction," *Inorganic Bonded Wood and Fiber Composite Materials*, vol. 4, no. 1, pp. 6-11, 1995.
- [25] E. Baysal, M. K. Yalinkilic, M. Altinok, A. S. Onmez, H. Peker, M. Colak, "Some Physical, Biological, Mechanical, and Fire Properties of Wood Polymercomposite (WPC) Pretreated with Boric Acid and Borax Mixture," *Construction and Building Materials*, vol. 21, no. 9, pp. 1879-1885, 2007.
- [26] Anonymous. "TAPPI Test Methods, Standard Methods for Pulp and Paper, Technical Association of Pulp and Paper Industry," Tappi Press. Atlanta, 1992.
- [27] F. F. P. Kollman, W. A. Côté, "Principles of Wood Science And Technology: Solid Wood," Allen & Unwin, 1968.
- [28] A. Tutus, M. Cicekler, I. Deniz, "Using of Burnt Red Pine Wood for Pulp And Paper Production (Turkish, Abstract in English)," *KSU Journal of Engineering Sci.*, pp. 90-95, 2012.
- [29] J. Feng, Y. Sun, P. Song, W. Lei, Q. Wu, L. Liu, Y. Yu, H.

خارجی و جلوگیری از احتراق بیشتر عمل کند. FR دارای نقطه ذوب نسبتاً پایینی است و لایه‌های شیشه‌ای تشکیل می‌دهد. بازدارنده‌های شعله حاوی فسفر و نیتروژن، مقاومت در برابر اشتعال بسیار خوبی از خود نشان می‌دهند، زیرا فسفر باعث تسریع تشکیل سد زغالی در برابر احتراق می‌شود و نیتروژن می‌تواند اثر رقیق‌کننده آمونیاک را افزایش دهد. وجود یک بازدارنده شعله به‌طور کلی بر روند تخریب حرارتی سلولز با افزایش کل زغال باقی‌مانده تأثیر می‌گذارد. بازدارنده‌های هالوژن و بازدارنده‌های آتش به‌طور تجاری برای بهبود خواص واکنش به آتش عایق حرارتی استفاده می‌شوند. در مقایسه با اولی، دومی سازگارتر با محیط‌زیست و ایمن‌تر است، زیرا هیچ گاز سمی در طی احتراق آن تولید نمی‌شود.

۶- مراجع

- [1] O. Köklükaya, F. Carosio, J. C. Grunlan, & L. Wågberg, "Flame-retardant Paper from Wood Fibers Functionalized Via Layer-By-Layer Assembly," *ACS Applied Materials & Interfaces*, vol. 7, pp. 23750-23759, 2015.
- [2] Q. Wu, E. Jungstedt, M. Soltesova, N. E. Mushi, L. A. Berglund, "High Strength Nanostructured Films Based on Well-Preserved Betachitin Nanofibrils," vol. 11, pp. 11001-11011, 2019.
- [3] M. M. Nassar, O. A. Fadali, M. A. Khattab, E. A. Ashour, "Thermal Studies on Paper Coated with Flame-Retardant," *Fire and Materials*, vol. 23, pp. 125-129, 1999.
- [4] S. Wang, J. Huang, and F. Chen, "Study on Mg-Al Hydrotalcites in Flame Retardant Paper Preparation," *BioResources*, vol. 7, pp. 0997-1007, 2012.
- [5] R. John, J. Hall, "The Total Cost of Fire in the United States," National Fire Protection Association: Quincy, MA, 2014.
- [6] J. Jiang, J. Li, J. Hu, D. Fan, "Effect of Nitrogen Phosphorus Flame Retardants on Thermal Degradation of Wood," *Construction and Building Materials*, vol. 24, no. 12, pp. 2633-2637, 2010.
- [7] Y. Altun, M. Dogan, E. Bayramli, "The Effect of Red Phosphorus on the Fire Properties of Intumescent Pine Wood Flour - Ldpe Composites," *Fire Mater.*, vol. 40, no. 697, 2016.
- [8] M. J. Nine, M. A. Cole, L. Johnson, D. N. H. Tran, D. Losic, "Robust Superhydrophobic Graphene-Based Composite Coatings with Self-Cleaning and Corrosion Barrier Properties," *ACS Appl. Mater. Interfaces*, vol. 7, no. 51, pp. 28482-28493, 2015.
- [9] M. Zhang, A. Buekens, X. Li, "Brominated Flame Retardants and the Formation of Dioxins and Furans in Fires and Combustion," *J. Hazard. Mater.*, vol. 304, pp. 26-39, 2016.
- [10] Q. Wu, E. Jungstedt, M. Soltesova, N. E. Mushi, L. A. Berglund, "High Strength Nanostructured Films Based on Well-Preserved Betachitin Nanofibrils," *Nanoscale*, vol. 11, pp. 11001-11011, 2019.
- [11] Y. Gao, A. Gu, Y. Jiao, Y. Yang, G. Liang, J. T. Hu, W. Yao, L. Yuan, "High-performance Hexagonal Boron Nitride/Bismaleimide Composites with High Thermal Conductivity, Low Coefficient of Thermal Expansion, and Low Dielectric Loss," *Polym. Adv. Technol.*, vol. 23, pp. 919

- Retardant," ACS Nano, vol. 8, pp. 2820–2825, 2014.
- [40] I. Bribián, R. Delobel, B. Eling, C. Lindsay, T.Z. Roels, A.V. Capilla, and A.A. Usión, "Life Cycle Assessment of Building Materials: Comparative Analysis of Energy and Environmental Impacts and Evaluation of the Eco-Efficiency Improvement Potential," *Build. Environ.*, vol. 46, no. 5, pp. 1133-1140, 2011.
- [41] J. Xu, R. Sugawara, R. Widyorini, G. Han, and S. Kawai, "Manufacture and Properties of Low-Density Binderless Particleboard From Kenaf Core," *J. Wood. Sci.*, vol. 50, no. 1, pp. 62-67, 2004.
- [42] M. Ghanadpour, F. Carosio, P.T. Larsson and L. Wågberg, "Phosphorylated Cellulose Nanofibrils: a Renewable Nanomaterial for the Preparation of intrinsically Flame-Retardant Materials," *Biomacromolecules*, vol. 16, no. 10, pp. 3399-3410, 2015.
- [43] M. Modesti, A. Lorenzetti, F. Simioni, and G. Camino, "Expandable Graphite as an Intumescent Flame Retardant in Polyisocyanurate–Polyurethane Foams," *Polym. Degrad. Stab.*, vol. 77, no. 2, pp. 195-202, 2002.
- [44] Zhang, T., Wu, M., Kuga, S., Ewulonu, C. M., & Huang, Y. Cellulose Nanofibril-Based Flame Retardant and Its Application to Paper. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*, 8(27), 10222-10229, 2020.
- [45] T. Zhang, S. Kuga, M. Wu, Y. Huang, "Chitin Nanofibril-Based Flame Retardant for Paper Application," *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*, vol. 8, no. 33, pp. 12360-12365, 2020.
- [46] A. A. Younis, S. A. Mohamed, M. A. El-Samahy, A. H. A. Kader, "Novel Fire-Retardant Bagasse Papers Using Talc/Cyclodiphosphazane and Nanocellulose as Packaging Materials. *Egyptian Journal of Petroleum*, vol. 30, no. 1, pp. 25-32, 2021.
- [47] C. Zheng, D. Li, M. Ek, "Cellulose-Fiber-Based Insulation Materials with Improved Reaction-To-Fire Properties," *Nordic Pulp & Paper Research Journal*, vol. 32, no. 3, pp. 466-472, 2017.
- [48] Y. Arao, S. Nakamura, Y. Tomita, K. Takakuwa, T. Umemura, T. Tanaka, "Improvement on Fire Retardancy of Wood Flour/Polypropylene Composites Using Various Fire Retardants," *Polymer degradation and stability*, vol. 100, pp. 79-85, 2014.
- Wang, "Fire-resistant, Strong, and Green Polymer Nanocomposites Based on Poly(Lactic Acid) and Core–Shell Nanofibrous Flame Retardants," *ACS Sustainable Chem. Eng.*, vol. 5, pp. 7894–7904, 2017.
- [30] H.-B. Chen, P. Shen, M.-J. Chen, H.-B. Zhao, D. A. "Schiraldi, Highly Efficient Flame Retardant Polyurethane Foam with Alginate/Clay Aerogel Coating," *ACS Appl. Mater. Interfaces*, vol. 8, pp. 32557–32564, 2016.
- [31] X. Shi, S. Jiang, Y. Hu, X. Peng, H. Yang, X. Qian, "Phosphorylated Chitosan-Cobalt Complex: a Novel Green Flame Retardant for Poly(lactic Acid)," *Polym. Adv. Technol.*, vol. 29, pp. 860–866, 2018.
- [32] K. Zhou, G. Tang, S. Jiang, Z. Gui, Y. Hu, "Combination Effect of MoS₂ with Aluminum Hypophosphite in Flame Retardant Ethylenevinyl Acetate Composites," *RSC Adv.*, vol. 6, pp. 37672–37680, 2016.
- [33] J. Cristale, T. G. Araga^o Bele, S. Lacorte, M. R. R. de Marchi, "Occurrence of Flame Retardants in Landfills: a Case Study in Brazil," *Environ. Res.* vol. 168, pp. 420–427, 2019.
- [34] B. A. Howell, G. W. Lienhart, V. J. Livingstone, D. Aulakh, "1-Dopyl-1,2-(4-hydroxyphenyl)ethene: a Flame Retardant Hardner for Epoxy Resin," *Polym. Degrad. Stab.* vol. 175, pp. 109-110, 2020.
- [35] P. Li, B. Wang, Y.-J. Xu, Z. Jiang, C. Dong, Y. Liu, P. Zhu, "Ecofriendly Flame-Retardant Cotton Fabrics: Preparation, Flame Retardancy, Thermal Degradation Properties, and Mechanism," *ACS Sustainable Chem. Eng.* vol. 7, pp. 19246–19256, 2019.
- [36] Y. Guo, Y. Xue, X. Zuo, L. Zhang, Z. Yang, Y. Zhou, C. Marmorat, S. He, M. Rafailovich, "Capitalizing on the Molybdenum Disulfide/Graphene Synergy to Produce Mechanical Enhanced Flame Retardant Ethylene-Vinyl Acetate Composites with Low Aluminum Hydroxide Loading," *Polym. Degrad. Stab.*, vol. 144, pp. 155–166, 2017.
- [37] G. Fei, Y. Liu, Q. Wang, "Synergistic Effects of Novolac-Based Char Former with Magnesium Hydroxide in Flame Retardant Polyamide-6.Polym," *Degrad. Stab.* vol. 93, pp. 1351–1356, 2008.
- [38] Q. Fu, L. Medina, Y. Li, F. Carosio, A. Hajian, L. A. Berglund, "Nanostructured Wood Hybrids for fire-retardancy Prepared by Clay Impregnation into the Cell Wall," *ACS Appl. Mater. Interfaces*, 9,36154–36163, 2017.
- [39] M.-J. Kim, I.-Y. Jeon, J.-M. Seo, L. Dai, J.-B. Baek, "Graphene Phosphonic Acid as an efficient Flame

Time Evaluation of the Use of Fire Retardants and its Application in Flame Retardant Packaging Papers

Soleiman Zaheri^{*} , Ali Ghasemian

^{*}Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University Faculty of Natural Resources, Iran.

(Received: 04/04/2021; Accepted: 27/02/2022)

Abstract

Cellulose is a polysaccharide composed of glucose that is usually combined with hemicellulose, pectin and lignin. These organic materials are highly flammable, so traditional papers are highly flammable and burn easily. The aim of this study was to comprehensively introduce the use of fire retardant chemicals including borax (BX), boric acid (BA), alpha-x (AX) and ammonium polyphosphate (APP) as a fire retardant Used. The use of these compounds can increase the residue or charcoal and act as a thermal barrier to protect the material from external heat and prevent further combustion. FR has a relatively low melting point and forms glassy layers. Flame retardants containing phosphorus and nitrogen show excellent ignition resistance, as phosphorus accelerates the formation of a coal barrier against combustion, and nitrogen can enhance the diluting effect of ammonia. The presence of a flame retardant generally affects the process of thermal degradation of cellulose by increasing the total residual coal. Halogen and fire retardants are used commercially to improve the thermal insulation properties of fire retardants. Compared to the former, the latter is more environmentally friendly and safer because no toxic gases are produced during combustion.

Keywords: Cellulose, Fire Retardants, Fire Resistant Paper