کاغذ بازیافتی سوپرآب‌گریز عامل‌دار شده و بازدارنده آتش

مقدسه اکبری [1*]، الیاس افرا[2]، حسین رسالتی[3]

تاریخ دریافت مقاله: اسفند ماه ۱۳۹۵

تاریخ پذیرش مقاله: مرداد ماه ۱۳۹۶

چکیده

کاغذ یک محصول ضروری در زندگی روزمره ما و همچنین در صنعت است. آب و آتش، دو عامل از بین رفتن کاغذ در مصارف مختلف مانند بسته‌بندی هستند. مقاومت کاغذ به طور قابل توجّهی به علت کاهش اتصال فیبر - فیبر به وسیله مولکول‌های آب آسیب می‌بیند، به طوری‌که ویژگی‌های عملی و زیبایی شناختی آن، تحت تأثیر قرار خواهند گرفت. کاغذ، به عنوان یک کالای به شدّت اشتعال‌پذیر، عواقب ناشی از آتش‌سوزی‌اش بسیار مخرب است. بنابراین، تیمار بازدارندگی آتش بر روی کاغذ می‌تواند آتش سوزی را به تأخیر بیندازد و مانع از انتشار آتش شود و نیز برای افزایش عمر مفید آن و کاهش خطر آتش سوزی ضروری است. از سوی دیگر، سوپر-آبدوست بودن و قابلیت اشتعال، به طورچشمگیری کاربردهای کاغذ را به خصوص در بسته‌بندی، صنایع دستی و زمینه‌های حمل‌ونقل محدود کرده است. کاغذ بازیافتی سوپر- آبگریز و بازدارنده -آتش را به دلیل اقدام هم افزایی پودر ژل دوپامین - سیلیس تری متیل سیلیل اصلاح شده و منیزیم هیدروکسید اصلاح شده با اسید استئاریک می‌توان تولید کرد. این کاغذ بازیافتی حاصل، خاصیت خود تمیزشوندگی و توانایی ضدرسوب خوبی دارد.

واژه‌های کلیدی

کاغذ بازیافتی، سوپر آبگریز، بازدارنده آتش

۱- مقدمه

کاغذ محصول متداول و ضروری در زندگی روزمره ما و در صنعت است. امروزه تأمین ماده اولیه سلولزی مناسب، مهم‌ترین چالش پیش‌روی صنایع خمیر و کاغذ کشور ما و دنیا می‌باشد. از آن‌جایی که بخش عمده ماده اولیه آن نیز از چوب تأمین می‌شود.

برداشت‌های بسیار زیاد قانونی و غیرقانونی از جنگل‌ها همراه با پدیده تبدیل اراضی جنگلی به زمین‌های زراعی و نیز نوسان‌های آب و هوایی نسبتاً شدید، موجب کاهش روزافزون سطح جنگل‌ها و در نتیجه هر چه سخت‌تر شدن وضعیت صنایع چوب و کاغذ از نظر تأمین ماده اولیه سلولزی شده است. کاغذهای بازیافتی یکی از منابع مهم الیاف در صنایع خمیر و کاغذ محسوب می‌شوند[۱]. در طی چند دهه اخیر استفاده از کاغذ باطله برای تولید انواع محصولات کاغذی افزایش یافته و به عنوان یک ضرورت در جهان مطرح گردیده است. به طوری که در اکثر کشورها به دلیل افزایش مصرف سرانه کاغذ، کمبود فزایندهٔ چوب و منابع سلولزی جنگلی، نیاز به سرمایه‌گذاری برای ایجاد مجتمع‌های جدید چوب و کاغذ و مشکلات زیست‌محیطی ناشی از این‌گونه مجتمع‌ها، توسعه صنعت بازیافت الیاف

۱- کارشناس ارشد، تکنولوژی خمیر و کاغذ دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان.

(* نویسنده مسئول:Akbari_moghadase@yahoo.com)

۲- دانشیار تکنولوژی خمیر و کاغذ، دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی گرگان (elyasafra@yahoo.com).

۳- - استاد تکنولوژی خمیر و کاغذ، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری (hnresalati@yahoo.com).

سلولزی از کاغذهای باطله را امری اجتناب‌ناپذیر نموده است[۲].

۲- مزایای بازیافت

این مزایا شامل موارد زیر می‌باشند:

- صرفه‌جویی در مصرف چوب آلات جنگلی به میزان ۲۰ تا ۳۰ درصد .
- کم شدن حجم ضایعات برای دفع در زمین و تأثیر بر روی سایر مراحل مدیریت مواد زائد جامد از جمله کاهش هزینه‌های جمع‌آوری، حمل‌ونقل و دفع زباله[۳].
- صرفه‌جویی در مصرف مواد شیمیایی و در نتیجه کاهش آلودگی‌های زیست محیطی و کاهش هزینه‌های تصفیه پساب حاصل از تولید کاغذ.
- صرفه‌جویی در مصرف انرژی به میزان ٦٤ درصد به جهت حذف مراحل خرد کرن و پخت خرده‌چوب‌ها، نیاز به پالایش کمتر برای تولید خمیر کاغذ[٤ و ٥].
- صرفه‌جویی در مصرف آب و امکان استفاده از فنّاوری سامانه‌های بسته بدون تولید پساب[٤ و ٥].
- کاهش آلودگی‌های هوا (کاهش گازهای گلخانه‌ای) به علت سمیّت کمتر فرآیند بازیافت نسبت به دفع و سوزاندن[۳، ٤ و ٥]
- کاهش حمل‌ونقل و در نتیجه، کاهش مصرف سوخت‌های فسیلی و کاهش انتشار گاز دی اکسید کربن [۳ و ٥]
- کاهش مصرف مواد شیمیایی
- ایجاد اشتغال
- حفظ سرمایه (جلوگیری از واردات و ایجاد درآمد حاصل از فروش مواد بازیافتی)

لذا با توجّه به مزایای فراوان فرآیند بازیافت و با توجّه به اهمیت مبحث توسعه پایدار، راه‌هایی جهت حفظ و بهبود ویژگی‌های محصولات کاغذی ضمن بازیافت در کاربردهای مختلف مانند صنعت بسته‌بندی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است.

۳- اهمیت تولید کاغذهای سوپرآب‌گریز و ضدآتش در صنعت بسته‌بندی

بسته‌بندی علم، هنر و فن‌آوری محافظت از محصول برای نگهداری، انبارش، انتقال و توزیع، ذخیره، فروش و استفاده از آن است. بسته‌بندی به‌طور بسیار جامعی بر زندگی ما سایه افکنده است، به‌طوری‌که ما در تمام اطراف خود آن‌را مشاهده می‌کنیم. از اقلام مواد غذایی و دارویی گرفته تا کالاهای مصرفی، لوازم خانگی، کالاهای صنعتی و راهبردی مانند محصولات پتروشیمیایی همه با بسته‌بندی مرتبط هستند. وظیفه اصلی بسته-بندی محافظت از محصول است.

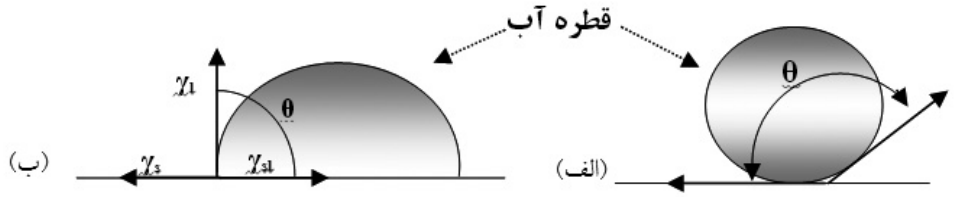
کاغذ یکی از انواع مواد اشتعال‌پذیر است که کاربردهای مختلفی از جمله بسته‌بندی دارد. آب‌دوستی و اشتعال‌پذیری، تا حد زیادی برنامه‌های کاربردی کاغذ را، به خصوص در صنعت بسته‌بندی، صنایع دستی و حمل و نقل محدود کرده است. ممانعت از انتشار آتش برای طولانی شدن عمر کاغذ و کاهش خطر آتش سوزی آن ضروری است. بنابراین، تولید کاغذ خاص با توانایی بازدارندگی آتش، ضروری و مهم است.

٤- مبانی تئوری

٤-۱- معادله یانگ

آب‌گریزی یک ویژگی از ماده است که چسبندگی و نفوذ آب به سطح ماده را کاهش داده و منجر به غلتیدن آسان قطره بر سطح نمونه می‌شود. متداول‌ترین روش برای تعیین رفتار ترشوندگی سطح، اندازه‌گیری زاویه تماس سطح است (شکل ۱). همچنین سطوح آب‌گریز عموماً دارای انرژی سطحی بسیار پایینی هستند[۷].

میزان آب‌گریزی سطح بر اساس زاویه تماس مایع در فصل مشترک سه فاز جامد، مایع و گاز در محل تماس قطره با سطح جامد بیان می‌شود. اگر زاویه تماس بیشتر از ۹۰ درجه باشد، سطح آب‌گریز و اگر بیشتر از ۱۵۰ درجه باشد سوپرآب‌گریز نامیده می‌شود[۸].



شکل ۱- الف) تصویر نمادین از زاویه تماس یک قطره آب بر روی سطح صاف و تخت و ب) موازنه نیروی کشش فصل مشترک فازها

در طبیعت سطح برخی از گیاهان و حشرات دارای خاصیت سوپرآب‌گریزی است[۹]. به عنوان مثال، قطره آب قرار گرفته روی برگ نیلوفر آبی دارای زاویه تماس بالا (حدود ۱۶۹ درجه) و زاویه لغزش پایین (کم‌تر از ۵ درجه) می‌باشد. زاویه لغزش پایین، باعث می‌شود که قطره قرار گرفته روی آن به راحتی حرکت کند. این پدیده اثر نیلوفر آبی نیز نامیده می‌شود[۹].

زاویه تماس، زاویه‌ای است که فصل مشترک بخار – مایع با فصل مشترک جامد – مایع می‌سازد. این زاویه توسط قطره مایع و فازهای اطراف آن تعریف می‌شود و متأثر از نیروی کشش فصل مشترک (γ_l انرژی کشش سطحی مایع – بخار، γ_s انرژی کشش سطحی جامد – بخار و γ_{sl} انرژی کشش سطحی مایع – جامد) این فازها است. اولین تئوری در رابطه با ترشوندگی سطوح توسط یانگ[1] (معادله ۱) مطرح شد. این تئوری حاکی از آن بود که آن‌چه در کنترل ترشوندگی مؤثر است تنها منشأ شیمیایی دارد. همان‌طور که در معادله ۱ مشاهده می‌شود در ارائه این تئوری، یانگ سطح را ایده‌آل فرض کرده و هیچ‌گونه ناهمگونی فیزیکی و شیمیایی را مدنظر قرار نداده است.

معادله(۱)

$$\gamma_s = \gamma_{sl} + \gamma_l \cos\vartheta$$

٤-۲- معادله ونزل

در سال ۱۹۳٦ ونزل[1] دریافت که اگرچه مشخصات شیمیایی سطح بر خاصیت آب‌گریزی سطوح تأثیرگذار است، لیکن علاوه بر منشأ شیمیایی، ریزبافت سطح نیز در تعیین خواص آن مؤثر است. معادله (۲) که توسط ونزل ارائه شده است، نشان می‌دهد آن‌چه تحت عنوان زبری سطح (r) به صورت نسبت مساحت سطح واقعی به ظاهری تعریف می‌گردد ($r>1$) می‌تواند شدت رفتار ترشوندگی سطح را کنترل کند. این معادله پیش‌بینی می‌کند که بر روی یک سطح آب‌گریز، افزایش زبری موجب افزایش زاویه تماس $\theta^* > \theta$ و آب‌گریزتر شدن سطح می‌شود (θ زاویه تماس بر اساس مدل یانگ و θ^* زاویه تماس بر اساس مدل ونزل). همچنین در مورد یک سطح آب‌دوست، افزایش زبری موجب کاهش زاویه تماس و آب‌دوست‌تر شدن سطح می‌گردد. اگرچه بر اساس معادله ارائه شده، افزایش زبری به افزایش آب‌گریزی یک سطح آب‌گریز منجر می‌شود؛ اما در عمل، درجه این افزایش دارای محدودیت است و دستیابی به سطوح با درجه آب‌گریزی بسیار بالا نیازمند ایجاد یک بافت با الگوی خاص می‌باشد[۱۰].

معادله(۲)

$$\cos\vartheta^* = r\cos\vartheta$$

1- Wenzel

٤-٣- معادله کسی- باکستر

پس از گذشت یک دهه از تئوری ونزل، کسی و باکستر[1] حالتی را مطرح نمودند که در آن مایع تنها با نوک برجستگی‌های سطح، تماس دارد. این کسر از مایع که با سطح جامد در تماس است با φs نشان داده می‌شود و φs -1 کسری از مایع است که با هوا در تماس می‌باشد. از آنجایی که اگر قطره تنها با هوا در تماس باشد زاویه θ برابر ۱۸۰ درجه خواهد بود، هر چه φ_s کمتر باشد به بالاترین حد از آب‌گریزی نزدیک‌تر خواهیم بود. معادله (۳) مدل کسی – باکستر را ارائه می‌دهد که در آن θ زاویه تماس بر اساس مدل یانگ و θ^* زاویه تماس بر اساس مدل کسی – باکستر است[۱۱].

معادله(۳)

$$\cos\vartheta^* = -1+\varphi_s\,(\cos\vartheta+1)$$

به هر ترتیب منشأ شیمیایی پدیده آب‌گریزی را که ناشی از انرژی سطحی کم و قطبیت پایین ماده می‌باشد می‌توان با انتخاب مواد آب‌گریز یا اصلاح ماده مورد نظر با عامل‌های آب‌گریز تأمین کرد. این در حالی است که منشأ فیزیکی به زبری سطح مرتبط است که خود تابع شکل، ارتفاع، پهنا و فاصله میان ناهمواری‌ها می‌باشد. برای ایجاد زبری در سطح از روش‌های مختلفی مانند الکتروریسندگی[2] حکاکی، اکسیداسیون[3] رسوب‌دهی الکتریکی، لایه نشانی و ... استفاده می‌شود.

۵- کاغذ سوپرآبگریز و کاغذ مقاوم در برابر آتش

در سال‌های اخیر، مطالعات زیادی در زمینه ساخت سطوح آب‌گریز و ایجاد میکرو- نانو ساختار بر روی سطح صورت گرفته است. از جمله کاربردهای سطوح سوپرآب-گریز می‌توان به ساخت شناورهای تندرو، بهبود انتقال حرارت، ریزتراشه‌های تشخیص طبی، الکترونیکی و تولید کاغذهای سوپرآبگریز اشاره کرد.

ناهمواری سطح و انرژی سطحی کم، دو عامل کلیدی برای رسیدن به سطوح سوپر آبگریزی شناخته شده است. با این حال، ترکیباتی که برای کاهش انرژی سطحی مورد استفاده قرار می‌گیرد، مواد حاوی فلوئور[4]هستند که به علت سمیت و هزینه زیاد آن، استفاده از این ترکیبات محدود شده است[۱۲ و ۱۳]. کاغذهای ضدآب می‌توانند در زمینه‌های مختلفی مانند بسته‌بندی مایعات/مواد غذایی، فنجان‌ها و جعبه‌های کاغذی، بشقاب‌های غذا، ظروف آزمایشگاه یکبار مصرف، کاغذهای میکروسیالی، کتاب‌ها یا مجلات ضد آب، نقشه‌های نظامی و تولید فیلترهای سوپرآب‌گریز – سوپر اولئوفیلیک[5]جهت جداسازی آب – نفت مورد استفاده قرار گیرند[١٤].

به طور مشابه، پژوهش در زمینه مواد مقاوم در برابر آتش بسیار مورد توجّه قرار گرفته است[١٥، ١٦ و ١٧]. آتش‌سوزی، به طور مکرّر اتفاق می‌افتد که گاهی‌اوقات غیرقابل کنترل است و همیشه سبب آسیب‌های زیادی می‌شود. کاغذ یکی از انواع مواد اشتعال‌پذیر است که کاربردهای مختلفی از جمله بسته‌بندی دارد و همیشه در معرض خطر آتش‌گیری قرار دارد. بنابراین، تولید کاغذ خاص با توانایی بازدارندگی آتش ضروری و مهم است. خوشبختانه، کاغذ بازیافتی سوپرآب‌گریز و بازدارنده آتش می‌تواند این نیازمندی‌ها را تأمین کند. بازدارنده‌های آتش هالوژنه[6]شده، رایج‌ترین انتخاب است؛ اما محدودیت آن تجمع زیستی و سمیت آن است. در حال حاضر، توسعه کاغذ دوست‌دار محیط زیست، بازدارنده آتش و سوپر آب‌گریز هنوز یک چالش بزرگ است[۱۸].

با الهام از طبیعت و روش کاغذسازی سنتی، با استفاده از اقدام هم‌افزایی پودر ژل اصلاح شده دوپامین – سیلیس

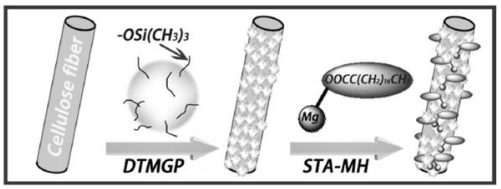
1- Cassie, and Baxter
2- Electrospinning
3- Oxidation
4- Fluorine-Containing Substances
5- Superhydrophobic-Super Oleophilic Filters
6- Halogenated Flameretardant Recycled Paper

تری‌متیل‌سیلیل (DTMGP[1]) و منیزیم هیدروکسید اصلاح شده با اسید استئاریک (STA-MH[2]) می‌توان یک کاغذ بازیافتی سوپر آب‌گریز و مقاوم در برابر آتش و سازگار با محیط زیست را تولید کرد. کاغذهای بازیافتی سوپر آب‌گریز و بازدارنده آتش نه تنها می‌توانند در بسته‌بندی کاغذی با خواص خود تمیزشوندگی و ضد رسوب به کار برده شوند، بلکه همچنین پتانسیل جداسازی مخلوط آب – نفت را نیز دارند. شایان ذکر است که نفت جذب شده را می‌توان از طریق روش احتراق ساده حذف کرد و کاغذ بازیافتی سوپر آب‌گریز و بازدارنده آتش را می‌توان برای چندین بار مورد استفاده مجدّد قرار داد.

٦- خصوصیات سوپرآب‌گریزی و بازدارندگی کاغذ بازیافتی

منیزیم‌هیدروکسید یک افزودنی دوست‌دار محیط‌زیست است که به دلیل خصوصیات پایداری حرارتی زیاد، بازدارندگی آتش و بازداری از تشکیل دود می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد[۱۹]؛ اما به علت آب‌دوست بودن منیزیم‌هیدروکسید، استفاده از آن در ترکیب کاغذ سبب افزایش آب‌دوستی کاغذ حاصل می‌شود، در نتیجه پیش‌فرآوری این ترکیب ضروری است. فرآیند آب‌گریزی هیدروکسید منیزیم[3]از طریق واکنش اسید- باز بین اسید استئاریک[4]و هیدروکسید منیزیم و با روش غوطه‌وری یک مرحله‌ای انجام می‌شود. بعد از این که منیزیم‌هیدروکسید به وسیله اسید استئاریک اصلاح شد، منیزیم‌هیدروکسید آب‌دوست به منیزیم‌هیدروکسید سوپرآب‌گریز تبدیل می‌شود و زاویه تماس آب[5](WCA) از صفر درجه به ۱۵۰ درجه افزایش می‌یابد.

پودر ژله‌ای دی اکسید سیلسیم SiO_2 سوپر آب‌گریز از طریق روش سل- ژل و روش سالواترمال[6]تهیه می‌شود[۲۰]. پودرهای تری‌متیل‌سیلیل دوپامین- سیلیکا اصلاح شده، قهوه‌ای مایل به سفید است که حاوی ذرّات کلوئیدی سیلیکا (حدود ۳۰ نانومتر) است که با $OSi(CH3)3$ پوشش داده شده است(شکل ۲)[۲۱].



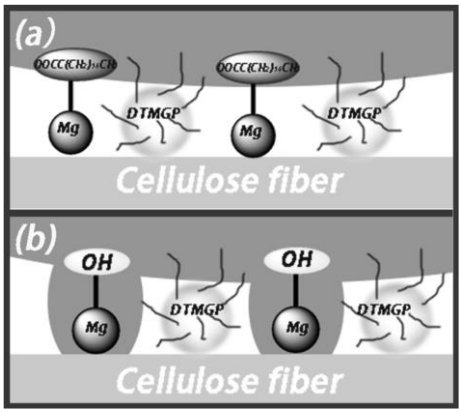
شکل ۲- تصویر شماتیک از روش سنتز الیاف کاغذی بازیافتی بازدارنده آتش و سوپر آب‌گریز

با افزایش مقدار دوپامین سیلیس تری‌متیل‌سیلیل، بدون شک، سوپرآب‌گریزی بهبود خواهد یافت. افزایش اندک نسبت وزنی دوپامین سیلیس‌تری‌متیل‌سیلیل از صفر تا ۱۰ درصد سبب افزایش زاویه تماس آب از ۰ درجه به ۱۳۲ درجه می‌شود. برای ۲۰ درصد و ۳۰ درصد (بر مبنای وزن کاغذ بازیافتی)، زاویه تماس آب به ترتیب ۱۴۳ و ۱۵۱ درجه است. هنگامی که نسب وزنی دوپامین سیلیس‌تری‌متیل‌سیلیل ٤٠ درصد است، زاویه تماس آب به ۱۵۵ درجه می‌رسد و قطره آب می‌تواند بر روی سطح کاغذ بایستد[۲۱].

با جایگزینی منیزیم هیدروکسید اصلاح شده با اسید استئاریک با مقادیر مشابهی از منیزیم‌هیدروکسید، زاویه تماس آب به آهستگی کاهش می‌یابد. یک بخش از هوا بین مایع و ماده زمینه محبوس شده و این هوا، زاویه تماس بین مایع و ماده زمینه را کاهش می‌دهد[۲۰]. مدل کسی- باکستر یک مدل تجربی است که اغلب برای توضیح این وضعیت مورد استفاده قرار می‌گیرد[۱۰]. به هر حال، منیزیم‌هیدروکسید آب‌دوست ساختار سلسله‌ای کسی – باکستر را از بین می‌برد. از دست دادن مقداری از

1- Dopamine-Silica Trimethylsilyl Modified Gel Powder
2- Stearic Acid Modified Mg(OH)2
3- Magnesium Hydroxide
4- Stearic Acid
5- Water Contact Angle
6- Solvothermal

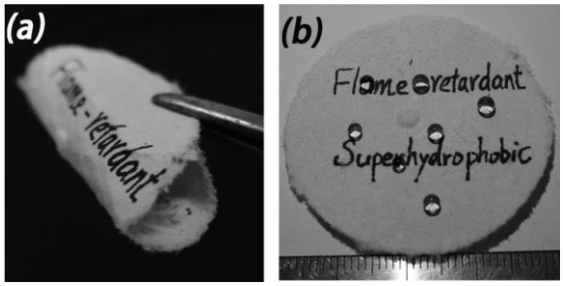
هوای محبوس شده، زاویه تماس بین مایع و سطح زمینه را افزایش خواهد داد و آن دلیل اصلی و عمده افزایش زاویه لغزش به وسیله منیزیم‌هیدروکسید است که دیاگرام این پدیده در (شکل ۳) نشان داده شده است[۲۱].



شکل ۳- تصویر شماتیک ترشوندگی مختلف (a) کاغذ بازیافتی سوپرآب‌گریز و بازدارنده آتش با منیزیم هیدروکسید اصلاح شده با اسید استاریک و (b) کاغذ بازیافتی سوپرآب‌گریز و بازدارنده آتش با منیزیم‌هیدروکسید

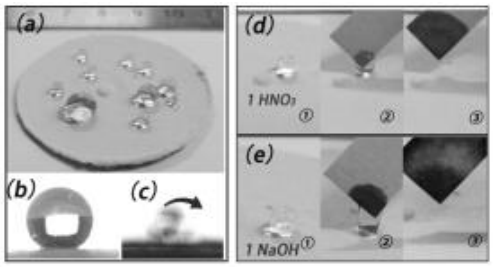
کاغذ بازیافتی سوپرآب‌گریز و ضد آتش، انعطاف‌پذیر و با قابلیت نوشتن است. به دلیل خصوصیات سوپرآب‌گریزی و سوپر اولئوفیلیک، کاغذ بازیافت شده، سوپرآب‌گریز و ضدآتش فقط به وسیله جوهر مبتنی بر روغن قابل نوشتن است که در (شکل ٤) a و b نشان داده شده است[۲۱].

قطرات اسید و باز برای یک مدت طولانی بر روی سطح کاغذ، حالت کروی باقی می‌مانند، درصورتی که هر دو قطره به سرعت به وسیله کاغذ تست pH جذب می‌شوند که نشان‌دهنده چسبندگی کمتر کاغذ بازیافتی سوپرآب‌گریز و بازدارنده آتش است (شکل ۵ d-e)[۲۱].



شکل ٤- تصویر کاغذ بازیافتی سوپرآب‌گریز و بازدارنده آتش خم شده (a) و (b)کاغذ بازیافتی سوپرآب‌گریز و بازدارنده آتش با قابلیت نوشتار

قطرات آب با حجم مختلف می‌تواند بر روی سطح کاغذ بایستد (شکل ۵ a). مقدار زاویه تماس قطره آب می‌تواند به ۱۵۵ درجه برسد و زاویه لغزش کمتر از ۵ درجه است (شکل ۵ b و c). فرآیند سوپرآب‌گریزی خصوصیات ذاتی کاغذ را تحت تأثیر قرار نمی‌دهد. کاغذ بازیافتی سوپرآبگریز و ضد آتش در برابر اسید قوی (HNO3 ۱ مولار) و باز (NaOH ۱ مولار) پایداری شیمیایی دارند.



شکل ۵- (a) کاغذ بازیافتی سوپرآب‌گریز و بازدارنده آتش با قطرات آب بر روی آن؛ (b) زاویه تماس آب و (c) زاویه لغزش کاغذ بازیافتی سوپرآب‌گریز و بازدارنده آتش؛ قطرات ۱ NaOH M (d) و ۱ HNO3 M (e) بر روی سطح کاغذ بازیافتی سوپرآب‌گریز و بازدارنده آتش جذب شده به وسیله کاغذهای تست pH؛ فرآیند خود تمیزشوندگی کاغذ بازیافتی سوپرآب‌گریز و بازدارنده آتش

۷- نتیجه گیری

کاغذ بازیافتی عامل‌دار شده سوپرآبگریز و ضد آتش دارای پتانسیل کاربردی زیادی در تولید کتاب ضد آب، حذف نفت و بسته‌بندی انواع محصولات و ... است. کاغذ و مقوای سوپرآبگریز و ضد آتش جهت بسته بندی کالای حساس و یا نگهداری کالاها در محل انبارش به دور از گزند و آسیب شعله و یا آتش احتمالی است. با استفاده از دوپامین سیلیس‌تری‌متیل‌سیلیل و منیزیم هیدروکسید اصلاح شده با اسید استئاریک به عنوان پرکننده‌های سازگار با محیط زیست، کاغذ بازیافتی سوپرآبگریز و بازدارنده آتش ساخته می‌شود. این کاغذ بازیافتی عامل‌دار شده نه تنها توانایی خود تمیزشوندگی و ضدرسوب داشته بلکه همچنین توانایی خوبی برای جداسازی آب – نفت نیز دارد. البته، در آینده تحقیقات در زمینه بهبود مقاومت مکانیکی و بهینه‌سازی ظاهر کاغذ بازیافتی سوپر آب‌گریز و ضد آتش متمرکز خواهد بود.

۸- منابع

1. S.A. Mirshokraee , H. Sadeghifar, (2003). "**Paper Chemistry, (Translate),"** aejh press, IRAN.
2. S.A. Mirshokraee. (2007). **"Wood Chemistry, (Translate),"** aejh press, IRAN
3. S. Salhofer, F. Schneidera, and G. Obersteinera. (2007). **"The ecological relevance of transport in waste disposal systems in Western."**
4. M, Misman, , SH.R, Wan Alwi, and Z.A, Manam. Stale of the art for paper recycling. (2008). **"International Conference on Science and Technology (ICSTIL)."** University Technology MARA, Pulau Pinang, Malaysia.
5. A, Villanueva, and H, Wenzel. (2007). **"Paper wast-Recycling, incineration or landfilling A review of existing life cycle assessments."** Waste Management. 27: 29-46.
6. V. Merk, M. Chanana, T. Keplinger, S. Gaan, I. Burgert, **.** (2015). **"Hybrid wood materials with improved fire retardance by bio-inspired mineralisation on the nano-and submicron level, Green Chem."** 17 2015. 1423–1428.
7. R. Blossey, Self-cleaning surfaces—virtual realities, (2003)**."*Nature materials"*,** Vol. 2, No. 5, pp. 301-306.
8. M. Barberoglou, V. Zorba, E. Stratakis, E. Spanakis, P. Tzanetakis, S. Anastasiadis, C. Fotakis, (2009)."**Bio-inspired water repellent surfaces produced by ultrafast laser structuring of silicon,"** *Applied Surface Science*, Vol. 255, No. 10, pp. 5425-5429.
9. W. Barthlott, C. Neinhuis, (1997). **"Purity of the sacred lotus, or escape from contamination in biological surfaces",** *Planta*, Vol. 202, No. 1, pp. 1-8.

10. R. N. Wenzel. (1936). **"Resistance of solid surfaces to wetting by water. Industrial and Engineering Chemistry Research,"** 28, 988–994.
11. A. B. D. . Cassie, and S. Baxter, (1944).**"Wettability of porous surfaces."** Transactions of the Faraday Society. 40, 546–551.
12. Z. Chu, S. Seeger, (2014). **"Superamphiphobic surfaces, Chem."** Soc. Rev. 43. 2498–2784.
13. T. Chen, I. Popov, O. Zenasni, O. Daugulis, O.S. Miljanic, (2013). **"Superhydrophobic perfluorinated metal–organic frameworks",** Chem. Commun. 49. 6846– 6848.
14. B. Balu, A.D. Berry, D.W. Hess, V. Breedveld, (2009). **"Patterning of superhydrophobic paper to control the mobility of micro-liter drops for two-dimensional lab-onpaper applications,"** Lab Chip 9. 3066–3075.
15. J. Wan, B. Gan, C. Li, J. Molina-Aldareguia, Z. Li, X. Wang, D. Wang, (2015), **"A novel biobased epoxy resin with high mechanical stiffness and low flammability: synthesis, characterization and properties",** 3. 21907–21921.
16. S. Chen, X. Li, Y. Li, J. Sun, (2015). **"Intumescent flame-retardant and self-healing superhydrophobic coatings on cotton fabric,"** ACS Nano 9. 4070–4076.
17. H. Zhu, D. Chen, W. An, N. Li, Q. Xu, H. Li, J. He, J. Lu, (2015). **"A robust and cost-effective superhydrophobic graphene foam for efficient oil and organic solvent recovery"**, Small 11. 5222–5229.
18. O. Köklükaya, F. Carosio, J.C. Grunla, L. Wågberg, (2015). **"Flame-retardant paper from wood fibers functionalized via layer-by-layer assembly",** ACS Appl. Mater. Interfaces 7. 23750–23759.
19. H. Cao, H. Zheng, J. Yin, Y. Lu, S. Wu, X. Wu, B. Li, (2010). **"Mg(OH)2 complex nanostructures with superhydrophobicity and flame retardant effects,"** J. Phys. Chem. C 114. 17362–17368.
20. Y. Si, Z. Guo, (2015). **"Superhydrophobic nanocoatings: from materials to fabrications and to applications,"** Nanoscale 7. 5922–5964.
21. Y. Si, Z. Guo. (2016). **"Eco-friendly functionalized superhydrophobic recycled paper with enhanced flame-retardancy".** Journal of Colloid and Interface Science 477. 74–82.

آدرس نویسنده

گلستان- دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان- دانشکده مهندسی چوب و کاغذ- گروه صنایع خمیر و کاغذ.