نانومقیاس
Nanoscale
www.nanomeghyas.ir

سنتز و بررسی خواص فیزیکی آئروژل نانوکامپوزیت سلولز- هیدروکسید منیزیم به منظور کاربرد به عنوان عایق حرارتی

سعید صفاری[۱] | مهدی عادلی فرد[۱*] | سید احمد نبوی امری[۲]

[۱] گروه فیزیک حالت جامد، دانشکده فیزیک، دانشگاه دامغان، دامغان، سمنان
[۲] دانشکده شیمی، دانشگاه دامغان، دامغان، سمنان

چکیده: آئروژل سلولز بدلیل فراوانی منافذ داخلی، چگالی پایین، رسانش حرارتی پایین و استحکام مکانیکی بالا بعنوان یکی از نویدبخش‌ترین مواد عایق حرارتی زیست‌سازگار پذیر در نظرگرفته شده است. با این وجود، این آئروژل به آسانی مشتعل می‌شود که این امر امکان کاربرد آن را به عنوان مصالح ساختمانی و نیز لوازم خانگی غیرممکن می‌سازد. براین اساس، در این تحقیق ابتدا نانوسلولز با استفاده از روزنامه باطله تهیه گردید و سپس به منظور اصلاح بازدارندگی شعله در آن، آئروژل‌های نانوکامپوزیت سلولز- هیدروکسید منیزیم سنتز شدند. این روش زیست‌سازگار پذیر برای تهیه نانوکامپوزیت‌های بازدارنده شعله، نه تنها منجر به کاهش آلودگی روزنامه باطله بلکه سبب ترویج کاربرد آنها در مواد عایق حرارتی نیز می‌شود. برای نمونه‌های مورد مطالعه، مشخصه‌یابی‌هایی از قبیل الگوی پراش پرتو ایکس، مورفولوژی سطح، محاسبه چگالی و میزان تخلخل و نیز خواص بازدارندگی شعله صورت گرفت. مقادیر چگالی نشان داد که با افزودن نانوذرات هیدروکسید منیزیم در آئروژل نانوسلولز، مقدار چگالی از ۰/۱۹ به ۰/۲۹ گرم بر سانتی‌متر مکعب افزایش و میزان تخلخل کاهشی از ۸۷/۳ به ۸۰/۶ درصد را داشته است. بررسی عملکرد بازدارندگی شعله نشان داد که آئروژل نانوسلولز خالص به‌سرعت با انتشار شعله، مشتعل گردید. بااین‌حال، آئروژل نانوکامپوزیت حاوی بیشترین غلظت هیدروکسید منیزیم خود خاموش‌شونده بود.

واژگان کلیدی: آئروژل نانوسلولز، هیدروکسید منیزیم، روزنامه باطله، بازدارندگی شعله، تخلخل

adelifard@du.ac.ir

۱- مقدمه

در سال‌های اخیر نانوفناوری با ورود خود به عرصه‌های مختلف علمی تحول شگرفی را در زندگی روزمره انسان بوجود آورده است. در بسیاری از حوزه‌ها از قبیل ساختمان که صنایع در آن به حد رشد رسیده است، استفاده از نانومواد در واقع تلاش برای بهبود زندگی است که از جمله این نانومواد می‌توان به آئروژل‌ها اشاره نمود. آئروژل (هوا + ژل) برای اولین بار توسط کیستلر در سال ۱۹۳۱ نام‌گذاری شد چرا که جزء مایع در داخل ژل مرطوب، بدون آسیب-رساندن به ساختار جامد با هوا جایگزین می‌شود [۱]. با توجه به میزان تخلخل زیاد و همچنین ویژگی‌های ساختاری در مقیاس نانو و نیز مقیاس بزرگتر از آن، آئروژل نمایانگر خواص منحصر به فردی از قبیل رسانش گرمایی بسیار پایین، سطح ویژه زیاد و ضریب شکست بالایی می‌باشد. این خصوصیات، آئروژل را به‌عنوان ماده‌ای کاربردی در حسگرهای شیمیایی، عایق حرارتی، جاذب‌های-شیمیایی، کاتالیزور یا حامل کاتالیستی و فضانوردی مورد توجه قرار داده است [۴-۲]. از جمله مواد آئروژل جدیدی که اخیرا توجه

تاریخ دریافت : ۱۳۹۶/۰۳/۰۲
تاریخ پذیرش : ۱۳۹۷/۰۷/۲۱

زیادی را به خود معطوف نموده است می‌توان به آئروژل نانوسلولز متخلخل اشاره‌نمود. آئروژل سلولزی بدلیل چگالی پایین، استحکام مکانیکی زیاد و هدایت گرمایی پایین به عنوان کاندید نوید بخشی برای مواد عایق حرارتی سازگار با محیط زیست می باشد.

بطورکلی آئروژل‌های نانوسلولزی ابتدا توسط واکنش‌های پلیمریزاسیون ترکیبات مختلف به‌صورت ژل تهیه شده و سپس این ژل‌های مرطوب به‌وسیله روش‌های مختلفی خشک می‌شوند که نتیجه آن تولید موادی با بافت بسیار متخلخل و سبک می‌باشد. یکی از حساس‌ترین مراحل سنتز آئروژل، فرآیند خشک‌کردن مواد است. در مرحله خشک‌کردن آئروژل روش‌های مختلفی وجود دارد که می‌توان به خشک‌کردن به روش فوق بحرانی، انجمادی، محیطی، امواج ماکروویو و ... اشاره نمود [۵]. قابل ذکر است که قابلیت کاربرد آئروژل‌ها در مقیاس صنعتی و بهینه‌سازی هزینه‌های تولید آنها باید مبتنی بر استفاده از مواد ارزان قیمت اولیه جهت تهیه سل اولیه و بهره‌گیری از سازوکار خشک‌سازی در فشار محیط بدون نیاز به تجهیزات پیچیده و گران قیمت باشد.

در این تحقیق کارهای آزمایشگاهی در ۳ بخش اصلی: (۱) آماده سازی سل اولیه نانوسلولز مبتنی بر پیش‌ماده روزنامه باطله و بکارگیری فرایند خشک‌سازی نوین در شرایط محیطی بدون نیاز به تجهیزات خلا به منظور سنتز سبز آئروژل نانوسلولز، (۲) سنتز نانوذرات هیدروکسید منیزیم با استفاده از سنگ معدنی منیزیت و (۳) تهیه، مشخصه‌یابی و مطالعه تاثیر غلظت هیدروکسید منیزیم بر روی خواص فیزیکی آئروژل‌های نانوکامپوزیت سلولز-هیدروکسید منیزیم ارائه شده است که در ادامه به نتایج حاصل از آنها پرداخته شده است.

۲- بخش تجربی

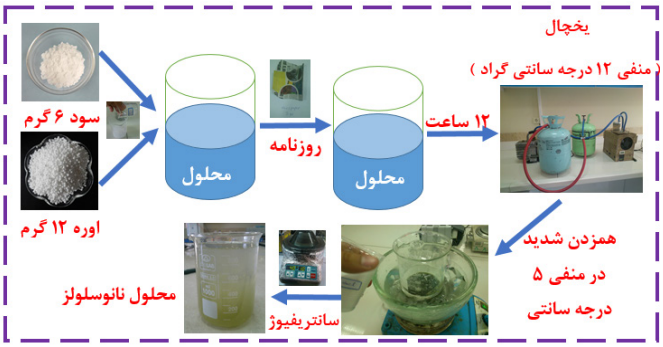
۲-۱- مواد آزمایشگاهی و تجهیزات

روزنامه باطله، سنگ معدنی منیزیت (تهیه شده از معدن منیزیت شهرستان دامغان)، اوره (ساخت شرکت مرک آلمان)، هیدروکسید سدیم (ساخت شرکت مرک آلمان) و دیگر مواد نظیر آب دوبار یونیزه شده با گرید آزمایشگاهی بکاربرده شد. مشخصه‌یابی ساختاری نمونه‌ها با استفاده از دستگاه پراش پرتو ایکس وابسته به خط طیفی Cu-Kα با طول موج ۱/۵۴ آنگستروم در گستره زاویه‌ای $2\theta = 5-70^\circ$ در آزمایشگاه تحقیقاتی حالت جامد دانشگاه دامغان صورت گرفت. تصاویر مربوط به خواص سطحی نمونه‌های مورد مطالعه با استفاده از میکروسکوپ الکترونی روبشی گسیل میدانی (FESEM) مدل TESCAN در شرکت آریا الکترون اپتیک تهیه شدند. بررسی خواص حرارتی و کنترل احتراق نیز در آزمایشگاه تحقیقاتی نانوفیزیک دانشگاه دامغان صورت گرفت.

۲-۲- روش آزمایشگاهی

۲-۲-۱- تهیه نانو سلولز با استفاده از پیش ماده روزنامه باطله

برای تهیه نانو الیاف سلولزی، ابتدا روزنامه باطله را به اجزای کوچک برش داده و در محلول آبی شامل هیدروکسید سدیم و اوره به‌ترتیب با درصد وزنی ۶ و ۱۲ که برای همگن‌سازی بیشتر قرار داده شد و محلول حاصل با استفاده از همزن مکانیکی تحت هم زدن شدید قرار گرفت. سپس محلول به‌دست‌آمده به‌مدت ۸ ساعت در یخزن در دمای منفی ۱۸ درجه سانتی‌گراد جهت تجزیه سلولز قرار داده شد. در ادامه جهت جلوگیری از ته‌نشینی محلول، از اسیدسولفوریک با درصد وزنی ۶ استفاده شد و به‌مدت ۴۸ ساعت در دمای اتاق نگهداری شد. طرحواره‌ای از فرآیند انجام عملیات آماده سازی نانوسلولز در شکل (۱) آورده شده است.



شکل۱: طرحواره‌ای از فرآیند سنتز نانو سلولز با استفاده از روزنامه باطله.

۲-۲-۲- سنتز آئروژل نانوسلولز با استفاده از فرایند خشک‌سازی محیطی

به منظور سنتز آئروژل نانوسلولز، از الیاف نانوسلولزی مشتق شده از روزنامه باطله که در بخش قبل سازوکار آماده‌سازی آن شرح داده شد، استفاده گردید. بدین‌منظور، ابتدا مقدار ۰/۷ گرم از الیاف نانو سلولز در ۳۰ میلی‌لیتر از مخلوط اتانول و متانول با نسبت حجمی

۱:۲ تحت هم زدن شدید مغناطیسی قرار گرفت، سپس مقدار ۵ گرم بنزوئیک اسید به محلول فوق اضافه شد و به مدت ۳۰ دقیقه در دمای ۵۰ درجه سانتی‌گراد تحت هم زدن شدید مغناطیسی قرار داده شد. سپس محلول فوق به مدت ۲۰ دقیقه در دمای محیط قرار داده شد. پس از این مرحله با بکارگیری روش حرارت دهی غیرمستقیم به مدت ۶ ساعت اسید بنزوئیک به‌طور کامل از بشر خارج شد که انجام این فرآیند به‌صورت ظهور بلورهای سفیدی بر روی لبه‌های ظرف نگهدارنده نمایان شد. در نهایت آئروژل سلولزی شامل حفره‌های بسیار ریز که ناشی از فشار بخار اسید بنزوئیک طی فرایند فرار از محلول می‌باشد سنتز شد. نکته‌ای که باید در اینجا مورد توجه قرار گیرد، ساز وکار تصعید ناشی از فشار بخار ماده جامد است. توانایی مولکول‌ها برای غلبه بر نیروهای جاذبه بین‌مولکولی به انرژی جنبشی آن‌ها بستگی دارد. ازاین‌رو، فشار بخار جامدات با افزایش دما زیاد می‌شود و به همین دلیل، بعضی ترکیبات جامد بدون اینکه از فاز مایع عبور کنند به‌آسانی و مستقیماً به بخار تبدیل می‌شوند که این فرایند، تصعید نامیده می‌شود. اسید بنزوئیک به دلیل دارا بودن فشار بخاری در حدود ۰/۱۹ کیلو پاسکال در دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد به‌راحتی از فاز جامد به بخار تبدیل می‌شود. همچنین قابل ذکر است که با توجه به مطالعات میدانی صورت گرفته، تا کنون گزارشی مبنی بر استفاده از اسید بنزوئیک در شرایط محیطی و غیر محیطی جهت خروج حلال از ماده و سنتز آئروژل سلولزی گزارش نشده‌است.

شکل۲: طرحواره‌ای از سنتز آئروژل سلولزی با استفاده از اسید بنزوئیک در شرایط محیطی.

شکل (۲) طرحواره‌ای از فرآیند انجام عملیات آماده سازی آئروژل نانوسلولز را نشان می‌دهد.

۲-۲-۳- تهیه نانو ذرات هیدروکسید منیزیم

سنتز نانو ذرات هیدروکسید منیزیم می‌تواند به‌روش‌های مختلفی، از قبیل آبکاری، سل-ژل، هیدروترمال و ماکروویو صورت گیرد. به‌طورکلی، خواص نهایی نانوبلورها به‌شدت در روند شکل‌پذیری، تراکم و آماده‌سازی آن‌ها بستگی دارد [۶]. در این تحقیق، سنتز نانوذرات هیدروکسید منیزیم با استفاده از سنگ معدنی منیزیت انجام پذیرفت. بدین منظور، ابتدا سنگ منیزیت استخراج‌شده از معدن با استفاده از دستگاه سنگ‌شکن تبدیل به پودر شد. سپس مقدار ۱/۲ گرم از پودر تهیه‌شده با ۵ سی‌سی اسید هیدروکلریدریک حل شد که این فرآیند در دمای محیط به مدت ۱ ساعت به طول انجامید و نهایتاً با استفاده از هیدروکسید سدیم PH ماده در حدود ۱۱ تنظیم گردید. پس از انجام مراحل فوق، لایه‌ی ابری شکل از نانوذرات هیدروکسید منیزیم تشکیل و به مدت ۴ ساعت در دمای ۶۰ درجه سانتیگراد تحت امواج فراصوت قرارگرفت. طرحواره‌ای از روند آماده‌سازی نمونه بدست‌آمده در شکل (۳) نشان داده‌شده است و ساز و کار شیمیایی تشکیل هیدروکسید منیزیم نیز مطابق روابط زیر بیان می‌گردد:

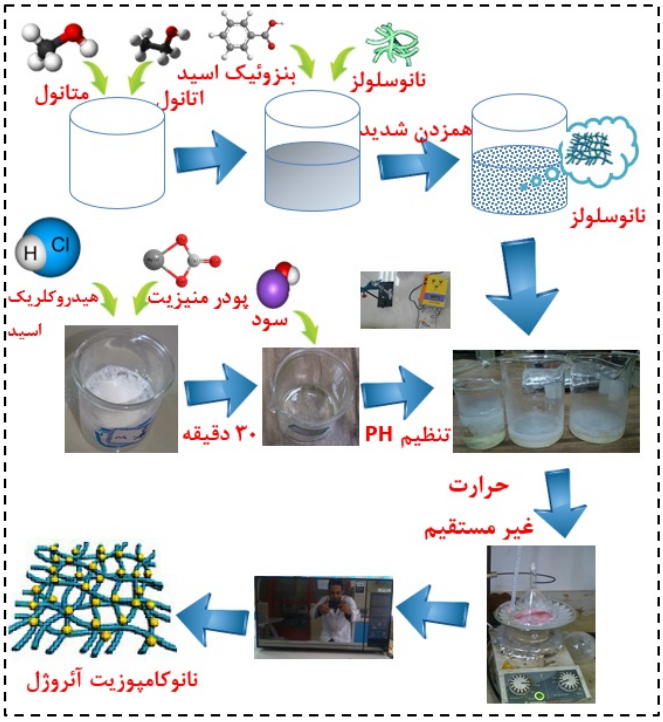
$$MgCO_3 + HCl = MgCl_2 + HO + CO_2 \qquad (۱)$$

$$MgCl_2 + 2NaOH = Mg(OH)_2 + 2NaCl \qquad (۲)$$

شکل۳: طرحواره‌ای از فرایند سنتز نانو ذرات هیدروکسید منیزیم.

۲-۲-۴- سنتز آئروژل نانو کامپوزیت سلولز- نانو ذرات هیدروکسید منیزیم

همانطور که در طرحواره فرایند سنتز آئروژل نانوکامپوزیت سلولز- هیدروکسید منیزیم در شکل (۴) نشان داده شده است، ابتدا ۱ گرم نانوسلولز همراه با ۵ گرم اسید بنزوئیک وارد محلول اتانول و متانول با نسبت حجمی ۱:۲ شد و سپس تحت هم زدن شدید مغناطیسی قرار گرفت. محلول فوق به ۴ قسمت مساوی تقسیم شد و به‌مدت ۳۰ دقیقه در دمای محیط نگهداری شدند. از طرفی، محلول حاوی نانوذرات هیدروکسید منیزیم نیز طی فرایند شرح داده‌شده در بخش قبل آماده‌گردید و در انتها، پس از واردکردن نانوسلولز در محلول هیدروکسید منیزیم، محلول حاصل به‌مدت به مدت ۲۴ ساعت در دمای اتاق قرارداده شد. اسید بنزوئیک موجود در نمونه‌های فوق با استفاده از حرارت غیرمستقیم و امواج ماکروویو خارج شدند و آئروژل‌های نانوکامپوزیت سلولز-هیدروکسید منیزیم تشکیل شدند. نانوکامپوزیت‌های آماده‌شده با غلظت‌های مختلف هیدروکسید منیزیم با عنوان‌های NC-MH1، NC-MH2، NC-MH3 و نمونه بدون اضافه کردن هیدروکسید منیزیم با NC-MH0 نام‌گذاری شدند.



شکل۴: طرحواره‌ای از سنتز آئروژل نانوکامپوزیت سلولز- نانو ذرات هیدروکسید منیزیم.

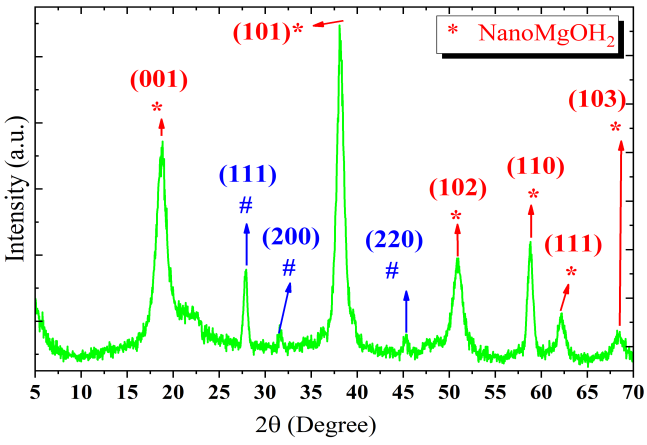
۳- بحث و نتیجه گیری

در این بخش، ابتدا خواص فیزیکی نانوذرات هیدروکسید منیزیم که با استفاده از سنگ منیزیت سنتز شد و جزئیات آماده‌سازی آن در بخش ۲-۲-۳ ارائه شد، مورد بررسی قرار می‌گیرد و در ادامه تاثیر این نانوذرات بر روی خواص آئروژل نانوکامپوزیت سلولز- هیدروکسید منیزیم مورد ارزیابی قرارخواهد گرفت.

۳-۱- مشخصه‌یابی نانوذرات هیدروکسید منیزیم

۳-۱-۱- تحلیل الگوی پراش پرتو ایکس نانوذرات هیدروکسید منیزیم سنتز شده از سنگ منیزیت

الگوی پراش پرتو ایکس مربوط به هیدوکسید منیزیم در شکل (۵) نشان داده شده است. نتایج حاکی از تشکیل ساختار بلوری هگزاگونال هیدروکسید منیزیم (مطابق با کارت استاندارد JCPDS شماره ۰۰-۰۴۴-۱۴۸۲) و نیز وجود قله‌هایی با ساختارمکعبی مربوط به کلریدسدیم (مطابق با کارت استاندارد JCPDS شماره ۰۱-۰۷۷-۲۰۶۴) در نتیجه واکنش‌های شیمیایی صورت‌گرفته برای سنتز هیدروکسید منیزیم مطابق رابطه (۱-۲) می‌باشد. همانگونه که ملاحظه می‌شود، قله ترجیحی مربوط به فاز هگزاگونال هیدروکسید منیزیم در راستای (۱۰۱) و در زاویه 2θ برابر ۳۸/۲۶ درجه رخ داده است.



شکل۵: الگوی پراش پرتو ایکس نانو ذرات هیدروکسید منیزیم

برای تعیین ابعاد میانگین بلورک‌ها از رابطه شرر [۷] استفاده شد:

$$D = \frac{0.9\lambda}{\beta cos\theta} \qquad (۳)$$

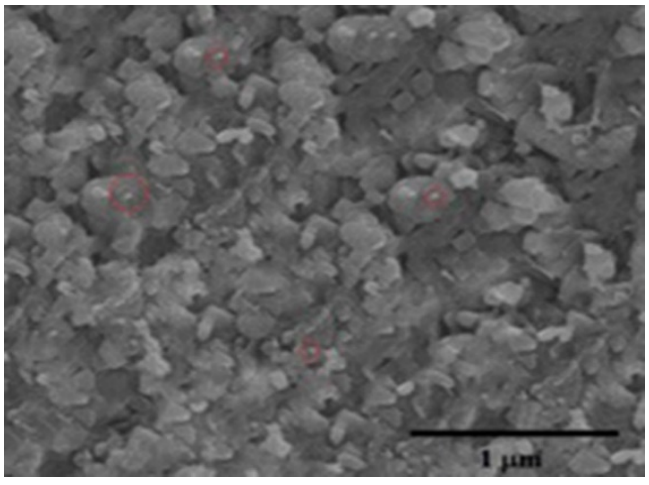
که در آن λ طول‌موج پرتو X و β پهنای‌کامل در نیمه ارتفاع بیشینه (FWHM) قله پراش ترجیحی در زاویه براگ (θ۲) است. مقادیر ابعاد بلورک‌ها برای سه قله با شدت بیشینه در جدول (۱) آورده شده است.

جدول ۱: مقادیر اندازه نانو بلورک های مربوط به قله های ترجیحی

شماره	2θ	l	k	h	FWHM	اندازه نانو بلورک (nm)
۱	۱۸/۶	۱	۰	۰	۰/۷	۱۱/۵
۲	۳۸/۲۶	۱	۰	۱	۰/۵۵	۱۵/۵
۳	۵۸/۷	۱	۱	۱	۰/۴۷	۲۰/۱

۳-۱-۲- بررسی مورفولوژی سطحی نانوذرات هیدروکسید منیزیم

در شکل (۶) تصویر FESEM مربوط به نانوذرات هیدروکسید منیزیم در بزرگنمایی ۱ میکرومتر نشان داده شده است. چنانچه پیداست، نانوذرات هیدروکسید منیزیم ساختارهای چندوجهی متراکمی را نشان می‌دهند که بطور نامنظم در کنار یکدیگر قرار گرفته اند. ابعاد نانوذرات بطور متوسط کمتر از ۱۰۰ نانومتر برآورد گردید.



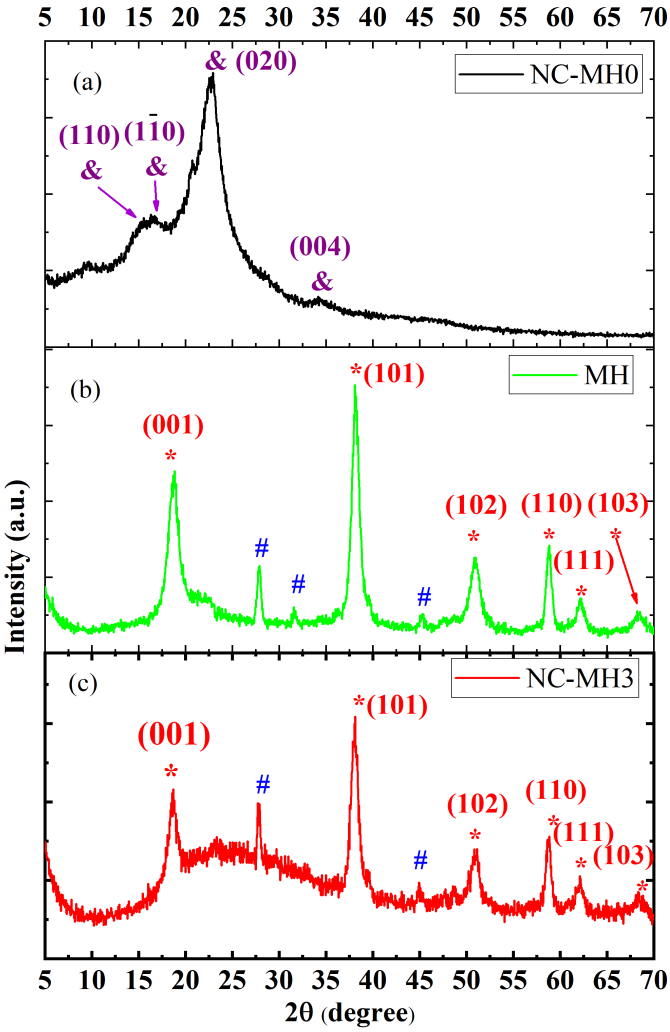
شکل۶: تصویر FESEM مربوط به نانو ذرات هیدروکسید منیزیم

۳-۲- بررسی خواص فیزیکی آئروژل نانوکامپوزیت سلولز- هیدروکسید منیزیم

۳-۲-۱- بررسی الگوهای پراش پرتو X و تصاویر FESEM

در شکل (۷) الگوهای پراش پرتوایکس مربوط به نانوسلولز مبتنی بر روزنامه باطله (NC-MH0)، نانوذرات هیدروکسید منیزیم (MH) و آئروژل نانوکامپوزیت سلولز- هیدروکسید منیزیم (NC-MH3) برای مقایسه نشان داده‌شده‌اند. نتایج بیانگر آن است که نانوسلولز در قسمت بلوری خود دارای قله‌ای با مشخصه (۰۲۰) و در قسمت آمورف دارای قله‌هایی با شدت بسیار پایین با راستاهای (۱۱۰)، (۱$\bar{1}$۰) و (۰۰۴) می‌باشد. برای نانوذرات هیدروکسید منیزیم نیز همانطور که در بخش قبل نیز الگوی پراش آن مورد مطالعه قرار گرفت، قله ترجیحی در راستای (۱۰۱) و قله‌های دیگری نیز مربوط به فاز هگزاگونال دیده می‌شود. در شکل ۷ (c) نیز الگوی- پراش مربوط به آئروژل نانوکامپوزیت سلولز- هیدروکسید منیزیم آورده شده‌است. نتایج نشان داد که علاوه برآنکه قله های مربوط به بخش آمورف نانوسلولز در کامپوزیت مشاهده نمی‌شود، همچنین کاهشی نیز در شدت قله‌های مربوط به نانوذرات هیدروکسید منیزیم نیز رخ داده است. این موضوع بیانگر آن است که نانوذرات هیدروکسید منیزیم توانسته در ساختار متخلل نانوسلولز قرارگیرد و ساختار بلوری آن متاثر از زمینه آمورف می‌باشد. این نتایج همانطور که در ادامه به آن پرداخته خواهد شد، با تصاویر FESEM نانوکامپوزیت مورد مطالعه در توافق می‌باشد.

به منظور مقایسه تاثیر نانوذرات هیدروکسید منیزیم بر روی خواص- سطحی نانوکامپوزیت‌های مورد مطالعه، ابتدا در شکل (۸) تصاویر FESEM مربوط به آئروژل نانوسلولز (نمونهNC-MH0) و سپس در شکل (۹) تصاویر مربوط به نمونه NC-MH3 در بزرگنمایی- های متفاوت آورده شده اند. مطابق شکل (۸) ملاحظه می‌شود آئروژل نانوسلولز دارای ساختار بسیار متخلل شامل حفره‌های باز و بسته فراوانی است که حفره‌ها در اثر تصعید اسید بنزوئیک در طول فرایند خشک‌سازی ایجاد شده‌اند. نانوساختار متخلل دارای رشته های الیافی پیچ خورده با قطر کمتر از ۶۰ نانومتر و نیز دارای حفره های بسته‌ای به کوچکی ۶۳ نانومتر می‌باشد. با اضافه نمودن غلظت خاصی از هیدروکسید منیزیم به ساختار زمینه نانوسلولز (نمونه NC-MH3)، همانگونه که از تصاویر شکل (۹) پیداست، تجمعی از نانوذرات بخوبی سطح الیاف نانوسلولزی را پوشش داده- اند. شکل‌گیری نانوکامپوزیت حاصل با نانوساختاری پیچ‌خورده و حاوی نانوذرات هیدروکسید منیزیم از اهمیت ویژه‌ای بخصوص در



شکل ۷: الگوهای XRD (a) نانوسلولز، (b) هیدروکسید منیزیم و (c) آئروژل نانوکامپوزیت سلولز–هیدروکسید منیزیم.

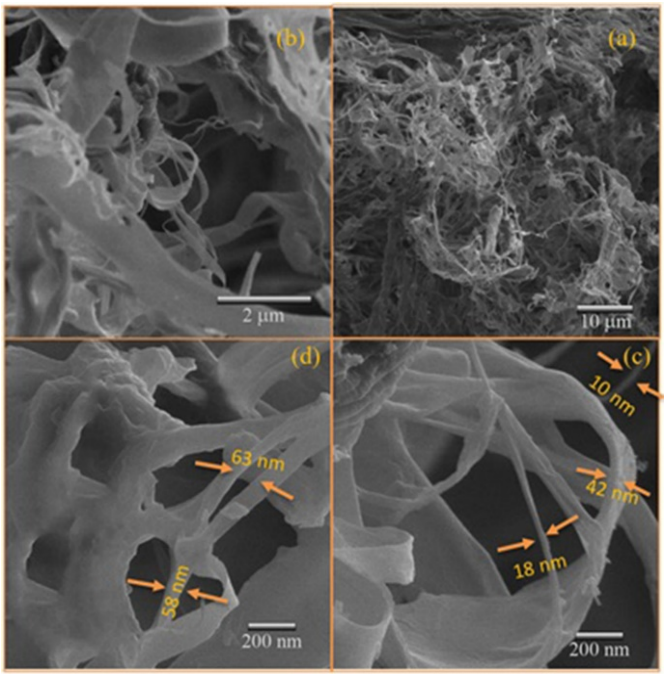
بحث کنترل احتراق برخوردار می‌باشد که در ادامه به آن پرداخته شده است.

۳-۲-۲- محاسبه چگالی و تخلخل آئروژل‌های کامپوزیت سلولز- هیدروکسید منیزیم

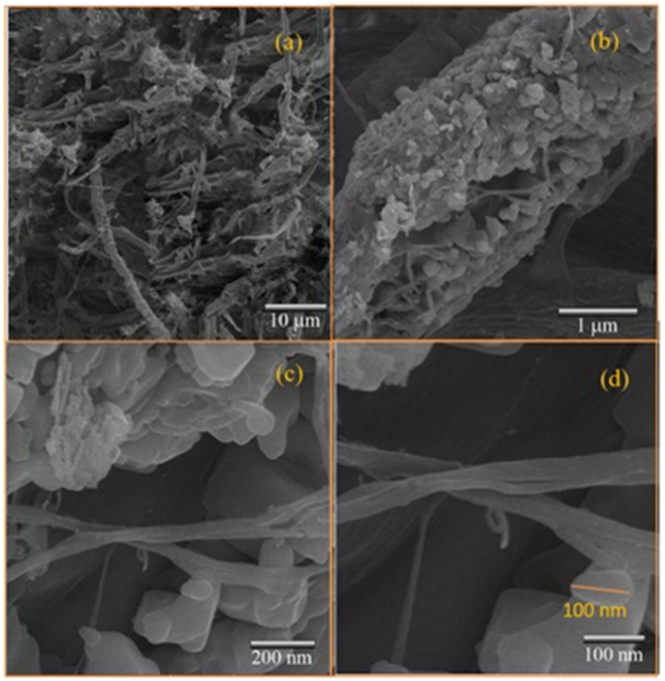
در شکل (۱۰) نمودار مقایسه‌ای مربوط به مقادیر چگالی و تخلخل آئروژل نانوسلولز (نمونه NC-MH0) و نیز آئروژل‌های نانوکامپوزیت سلولز–هیدروکسید منیزیم با غلظت‌های متفاوت هیدروکسید منیزیم نشان داده شده‌است. میزان چگالی با وزن کردن نمونه‌ها و محاسبه حجمشان صورت گرفت. از طرفی درصد تخلخل آنها نیز با استفاده از رابطه زیر مورد ارزیابی قرارگرفت:

$$\left(1-\frac{\rho^*}{\rho}\right)\times 100 \qquad (۴)$$

که در آن ρ^* چگالی آئروژل نانوسلولز خالص و نانوکامپوزیت‌های



شکل ۸: تصاویر FESEM آئروژل نانو متخلخل سلولز در بزرگنمایی های متفاوت.

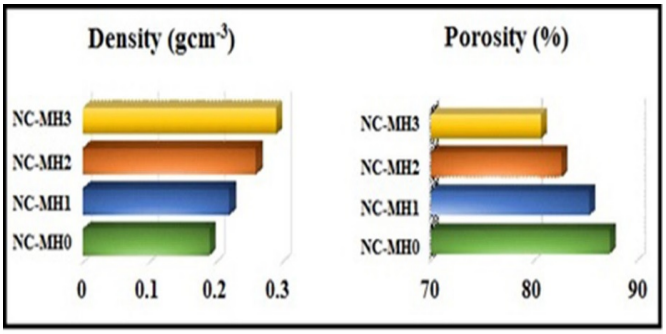


شکل ۹: تصاویر FESEM آئروژل نانو کامپوزیت سلولز/-هیدروکسید منیزیم (نمونه NC-MH3).

مربوطه و ρ نیز چگالی نظری سلولز است (در محاسبات انجام شده مقدار ρ نظری ۱/۵ گرم بر سانتی‌متر مکعب برای سلولز در نظر گرفته شد) [۸].

ارزیابی‌ها نشان‌داد که با افزایش غلظت هیدروکسید منیزیم در نانوکامپوزیت‌های سلولز–هیدروکسید منیزیم، مقدارچگالی از ۰/۱۹

به ۰/۲۹ گرم بر سانتی‌متر مکعب افزایش و میزان تخلخل نیز کاهشی از ۸۷/۳ درصد به ۸۰/۶ درصد را داشته است.



شکل ۱۰: نمودارهای مقادیر چگالی و درصد تخلخل آئروژل نانو سلولز خالص و نانوکامپوزیت‌های سلولز–هیدروکسید منیزیم.

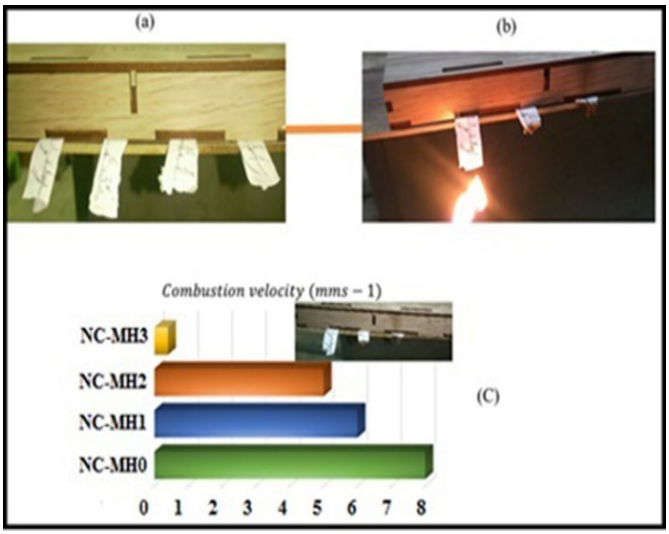
۳-۲-۳- خاصیت بازدارندگی شعله (کنترل احتراق) در نمونه‌های مورد مطالعه

به‌منظور بررسی عملکرد بازدارندگی شعله در نمونه‌های مورد-مطالعه، آزمایش مربوطه برای آئروژل نانوسلولز خالص (نمونه NC-MH0) و آئروژل‌های نانوکامپوزیت سلولز–هیدروکسید منیزیم با غلظت‌های مختلف نانو ذرات هیدروکسید منیزیم (نمونه‌های NC-MH1، NC-MH2 و NC-MH3) صورت گرفت. روند انجام آزمایش در شکل (۱۱) نشان داده شده است.

نمونه NC-MH0 به‌سرعت با انتشار شعله، مشتعل گردید و به‌طور کامل پس از ۵ ثانیه احتراق سوخته شد. بااین‌حال، نانوکامپوزیت-های حاوی نانو ذرات هیدروکسید منیزیم هنوز هم تا حدی پس از ۵ ثانیه سوزاندن سطح باقی‌مانده است و طول باقی‌مانده در آنها تغییر زیادی نکرد که این موضوع با مقایسه تصاویر دیجیتال شکل ۱۱ (a) و (b) ملاحظه می‌شود. از طرفی مطابق تصویر ۱۱ (c)، با افزایش مقدار نانو ذرات هیدروکسید منیزیم، سرعت احتراق آئروژل کاهشی در حدود ۰/۸–۵ میلی‌متر بر ثانیه را نشان‌داد. نتایج نشان‌داد که تشکیل آئروژل‌های نانوکامپوزیت سلولز–هیدروکسید منیزیم می‌تواند مؤثر و باعث افزایش بازدارندگی شعله شود. جالب توجه است که نمونه NC- MH3 خود خاموش‌شونده نیز می‌باشد.

۴- نتیجه‌گیری

در این تحقیق، آئروژل‌های نانوکامپوزیت سلولز–هیدروکسید منیزیم با بکارگیری نانوذرات هیدروکسید منیزیم با غلظت‌های متفاوت سنگ منیزیت در ژل سلولز آماده‌شده از روزنامه باطله سنتز شدند. روش بکارگرفته علاوه بر مزایای سادگی و هزینه پایین، از



شکل۱۱: مراحل آزمایش بازدارندگی شعله (a) مرحله قبل از شروع آزمایش، (b) در حین آزمایش و (c) پس از آزمایش و نمودار سرعت احتراق نمونه‌ها برحسب میلی‌متر بر ثانیه

راندمان بالا و دارای ویژگی زیست‌سازگار پذیر می‌باشد. مشخصه-یابی های گوناگونی از قبیل ساختاری، موفولوژی، محاسبه چگالی، درصد تخلخل و خواص بازدارندگی شعله (کنترل احتراق) برای نمونه‌های مورد مطالعه انجام گرفت. تحلیل الگوی پراش مربوط به آئروژل نانوکامپوزیت سلولز/هیدروکسید منیزیم که از اضافه نمودن نانوذرات هیدروکسید منیزیم در ساختار الیافی سلولزی ایجاد شده‌است حاکی از حذف قله‌های مربوط به بخش آمورف سلولز و نیز کاهش در شدت قله‌های مربوط به نانوذرات هیدروکسید منیزیم در نانوکامپوزیت بود. از طرفی بررسی خواص سطحی نانو سلولز بیانگر حفره‌های باز و بسته فراوانی است که این حفره‌ها در اثر تصعید بنزوئیک اسید در طول فرایند خشک‌سازی حاصل شده‌اند. اضافه نمودن غلظت خاصی از نانوذرات هیدروکسید منیزیم به ساختار زمینه سلولز با توجه به تصاویر FESEM نانوکامپوزیت های مورد مطالعه، حاکی از قرارگیری این نانو ذرات بر روی سطوح الیاف سلولزی و نیز تا حدودی پر شدن برخی حفره‌های باز زمینه بود. از طرفی، مقایسه مقادیر چگالی و میزان تخلخل آئروژل نانوسلولز خالص و آئروژل‌های نانوکامپوزیتی سلولز–هیدروکسید منیزیم نشان داد که با افزودن نانوذرات هیدروکسید منیزیم در

آئروژل نانوسلولز، مقدار چگالی از ۰/۱۹ به ۰/۲۹ گرم بر سانتی‌متر مکعب افزایش و میزان تخلخل نیز کاهشی از ۸۷/۳ به ۸۰/۶ درصد را داشته است. از بررسی عملکرد بازدارندگی شعله در نمونه-های مورد مطالعه ملاحظه شد که آئروژل نانوسلولز خالص به‌سرعت با انتشار شعله، مشتعل گردید و به‌طور کامل پس از ۵ ثانیه احتراق سوخته‌شد. بااین‌حال، آئروژل‌های نانوکامپوزیت سلولز- هیدروکسید منیزیم هنوز هم تا حدی پس از ۵ ثانیه سوزاندن سطح باقی‌ماند و سرعت احتراق در آنها در حدود ۰/۸–۵ میلی‌متر بر ثانیه ارزیابی گردید. نکته قابل ذکر آن است که آئروژل نانوکامپوزیت حاوی بیشترین غلظت هیدروکسید منیزیم خود خاموش‌شونده نیز بود. به‌طورکلی، این روش زیست سازگار پذیر برای تهیه آئروژل‌های نانوکامپوزیت بازدارنده شعله با استفاده از مواد ارزان قیمت و فراوان در طبیعت از قبیل روزنامه باطله و سنگ منیزیت، نه تنها منجر به کاهش آلودگی روزنامه باطله بلکه سبب ترویج کاربرد آنها در مواد عایق حرارتی نیز می‌شود.

مراجع

[1] A. Du, B. Zhou, Zh. Zhang, J. Shen, “A special material or a new state of matter: a review and reconsideration of the aerogel,” Materials, 6941-968, 2013.

[2] J. Fricke, “Aerogels-highly tenuous solids with fascinating properties,” Journal of non-Crystalline solids, 100, 169-173, 1988.

[3] T. Burger, J. Fricke, “Aerogels: Production, modification and applications,” Berichte der Bunsengesellschaft für physikalische Chemie, 102, 1523-1528, 1998.

[4] H. Gesser, P. Goswami, “Aerogels and related porous materials,” Chemical Reviews, 89, 765-788, 1989.

[5] A. C. Pierre, G. M. Pajonk, “Chemistry of aerogels and their applications,” Chemical Reviews, 102, 4243-4266, 2002.

[6] L. Kumari, W. Z. Li, Charles H. Vannoy, Roger M. Leblanc, D. Z. Wanget, “Synthesis, characterization and optical properties of $Mg(OH)_2$ micro/nano structure and its conversion to MgO,” Ceramics International, 35, 3355-3364, 2009.

[7] P. Scherrer, Göttinger Nachrichten Math. Phys., 2, 98–100, 1918.

[8] Y. Han, X. Zhang, X. Wu, C. Lu, “Flame retardant, heat insulating cellulose aerogels from waste cotton fabrics by in situ formation of magnesium hydroxide nanoparticles in cellulose gel nanostructures,” ACS Sustainable Chemistry & Engineering, 3, 1853-1859, 2015.

Nanoscale
www.nanomeghyas.ir
نانومقیاس

Synthesis and Investigation on Physical Properties of Cellulose-Magnesium Hydroxide Nanocomposite Aerogel for Application as Heat Insulating

S. Saffari[1], M. Adelifard*[1], A. Nabavi Amri[2]

[1]Faculty of physics, Damghan University, Damghan
[2]Faculty of chemistry, Damghan University, Damghan

Abstract: Cellulose aerogels is considered as one of the most promising eco-friendly heat insulating materials due to its abundant internal pores, low density, low thermal conductivity and high mechanical strength. However, cellulose aerogel is easy to ignite, which makes it impossible to be used as building materials or domestic appliances. In this regards, in this research first nanocellulose aerogel prepared from waste newspaper and then for the flame retardant modification to it, cellulose /magnesium hydroxide nanocomposite aerogels synthesized. This environmentally friendly method for the preparation of flame retardant nanocomposites not only reduces the waste newspaper pollution but also promotes the application of cellulose aerogels in heat insulating materials. For the studied samples some characterizations such as X-ray diffraction, Surface morphology, density and porosity calculation and the flame retardant properties was carried out**.** Density values showed that the addition of magnesium hydroxide nanoparticles in the nanocellulose aerogel increased the density from 0.19 to 0.29 grams per cubic and reduced the porosity from 87.3 to 80.6 percent. Investigating the flame retardant performance showed that pure nanocelllose aerogels quickly ignited with flame release. However, the nano-composite aerogel containing the highest magnesium hydroxide concentration was self-extinguishing.

Keywords: Nanocellulose Aerogel, Magnesium hydroxide, Waste newspaper, Flame retardant, Porosity

*Correspondent Author Email: *adelifard@du.ac.ir*