

استفاده از نانو ورقه‌های هیدروکسید منیزیم برای حفاظت و مرمت اسناد با ارزش و آرشیوی

رقیه محمودی

چکیده:

نانو ورقه‌های هیدروکسید منیزیم ($Mg(OH)_2$)، به‌عنوان ماده مؤثر برای حفاظت و مرمت از منابع آرشیوی کاغذی مورد مطالعه و کاربرد آن با نانوذرات $Ca(OH)_2$ معمولی، مورد مقایسه قرار گرفته است. نانو ذرات $Mg(OH)_2$ روی کاغذ صافی (واتمن)، برای نمونه‌های جدید و قدیمی کاغذ به‌عنوان مرجع، استفاده می‌شود. اثر بخشی نانو ورقه‌های $Mg(OH)_2$ توسط آزمایش (۱) pH از سطح و (۲) اندازه‌گیری ذخایر قلیایی و ارتباط آن با افزایش ماندگاری کاغذ، (۳) از نظر قدرت مکانیکی، مورد بررسی قرار گرفت. تست ذخایر قلیایی نشان‌دهنده افزایش مقدار ذخایر قلیایی بود که منجر به کاهش قابل توجه میزان اسیدیته در نمونه‌ها شد. نانو ورقه‌های $Mg(OH)_2$ ، به‌صورت ورقه نازک پوشش داده شده روی سطوح کاغذ، به‌عنوان یک لایه محافظ، در برابر عوامل مضر زیست محیطی به‌شمار می‌آید. علاوه بر این، حضور آن در داخل کاغذ به‌عنوان یک منبع قلیایی و عامل تقویت کننده به شکل نانو ذرات معدنی است. نتایج نشان می‌دهد که نانو ورقه‌های هیدروکسید منیزیم، برای تثبیت و ترمیم نمونه‌های قدیمی و جدید کاغذ مؤثر هستند.

کلیدواژه‌ها

نانو ورقه‌های هیدروکسید منیزیم؛ حفاظت؛ مرمت؛ میراث؛ منبع قلیایی؛ مایکروویوها.

آرشیو ملی، سال پنجم، شماره اول و دوم، بهار و تابستان ۱۳۹۸، شماره پیاپی ۱۷ و ۱۸؛

صص: ۱۴۲-۱۷۷



استفاده از نانو ورقه‌های هیدروکسید منیزیم برای حفاظت و مرمت اسناد با ارزش و آرشیوی^۱

خالد سعود، شوکت سعید، رولا الصبائیچی، ایمان سامارا، ایمن ایبالا، دالا اللدکی، و عمر عزالدین

ترجمه: رقیه محمودی^۲

مقدمه:

حفظ میراث فرهنگی برای درک و فهم گذشته یک کشور بسیار مهم است، زیرا این امر دریچه‌ی منحصر به فردی به سوی تاریخ و فرهنگ یک ملت می‌گشاید. حفظ و مرمت منابع آرشیوی که توسط عوامل محیطی در معرض تخریب و نابودی هستند، باعث غنی‌سازی فرهنگ انسان‌ها شده و به حفظ آن برای نسل‌های آینده کمک می‌کند. کتاب‌ها و اسناد کاغذی از مهم‌ترین میراث‌های یک ملت هستند. میلیون‌ها کتاب در کتابخانه‌ها رو به نابودی است و فرسودگی آن‌ها باعث شکنندگی آن‌ها شده است. نگاهی به مقالات علمی نشان می‌دهد که تاکنون اقدامات حفاظت پیشگیرانه، برای حفاظت و مرمت چنین اسناد با ارزشی انجام شده است.

علت اصلی تخریب کاغذ، وجود مواد اسیدی است که در فرایند تولید و فرسودگی کاغذ، ایجاد می‌شوند. مواد اسیدی به الیاف سلولز در کاغذ حمله کرده و از طریق فرایند هیدرولیز شدن با اسید، آن را تخریب می‌کند. عوامل دیگری همچون اکسیداسیون، تغییرات دما و رطوبت نسبی، قرار گرفتن در معرض نور، آلاینده‌های هوا، در فضاهای ذخیره‌سازی منابع کاغذی و همچنین میزان استفاده از این منابع، نقش مهمی در از بین رفتن منابع کاغذی ایفا می‌کنند.

یکی از راهبردهایی که برای بررسی مسئله حفظ و مرمت منابع کاغذی اسیدی شده مطرح می‌شود، عدم احیای کاغذها با مواد مناسب است

(Baty, Maitland, Minter, Hubbe, & Jordan-Mowery, 2010)، چنین موادی ممکن است

مقدار اسید موجود در کاغذ را خنثی کنند و همچنین به‌عنوان یک بافر قلیایی برای خنثی کردن

۱. این مقاله ترجمه‌ای است از:

Khaled M. Saoud, Shaukat Saeed, Rola Al Soubaihi, Ayman Samara, Imen Ibala, Dana El Ladki, and Omar Ezzeldeen (2018). Application of Mg(OH)₂ Nanosheets for Conservation and Restoration of Precious Documents and Cultural Archives. *BioResources*, 13(2), pp.3259-3274.

۲. کارشناس گروه آسیب‌شناسی و آزمایشگاه، اداره مرمت و حفاظت، سازمان اسناد و کتابخانه ملی ایران؛ reyhaneh.mahmoodi.1969@gmail.com



اسید عمل کنند که ممکن است بعدها برای حفظ طول عمر منابع کاغذی مفید باشد. بازهای ضعیف، مانند بیکربنات‌ها، کربنات‌ها، اکسیدهای مختلف برخی از هیدروکسیدها و آمین‌ها، اغلب برای اسیدزدایی کردن منابع کاغذی استفاده می‌شوند.

سایر بازهای مورد استفاده برای این منظور توسط سدزوا و گالوا و کاتوسکا^۱ (2006) فهرست شده است، از جمله هیدروکسیدباریم، اکسیدهای قلیایی، هگزا متیلن تترامین گازی، مورفلین گازی، کربنات متیل منیزیم، دی‌اتیل‌روی، اکسید منیزیم، کربنات‌روی، کربنات‌سدیم، ترکیبات آمینی، آمونیاک، اتوکسید پلی متوکسی منیزیم اتوکسی کربناته، کربنات آلومینیوم، کربنات اتیل منیزیم، دی‌بوتیل منیزیم، تترا بوتیل تیتانات و آلکوکسیدهای فلزات قلیایی خاکی. ترکیباتی مانند کربنات منیزیم، متیل و کربنات منیزیم، متیل متوکسی به‌عنوان کربنات‌های محلول در حلال استفاده شده است (Kelly, 1976). هیدروکسید کلسیم Ca(OH)_2 به‌طور گسترده‌ای برای کاهش هیدراتاسیون استفاده شده است

(William, 1994; Kolar & Novak, 1996; Kolar et al., 1998). جورجی، بوزی، دی، گابینی، نینهام و باگلیونی^۲ (2005 الف) اشاره کردند، هنگامی که ذرات Ca(OH)_2 روی کاغذ قرار داده می‌شوند، آن‌ها با CO_2 هوا واکنش می‌دهند و CaCO_3 را تشکیل می‌دهند که منجر به رسوب سطحی CaCO_3 نامحلول می‌شود. برای جلوگیری از رسوب CaCO_3 قبل از نفوذ هیدروکسید کلسیم به شبکه فیبر، یک محلول اشباع آب Ca(OH)_2 رقیق شده با آب دیونیزه شده ۱:۱ استفاده می‌شود. محققان دیگر (Guerra et al., 1995; Giorgi, 1998; Giorgi et al., 2002)، استفاده مؤثر از یک سوسپانسیون Ca(OH)_2 در ترکیب با عامل تقویت‌کننده مانند متیل سلولز را گزارش کرده‌اند. اگرچه، هیدروکسید کلسیم به‌طور گسترده مورد بررسی قرار گرفته است، استفاده مستقیم از محلول آب به‌دلیل انحلال‌پذیری پایین آن (۱/۳ گرم بر لیتر) محدود است.

پراکندگی آهک در آب به‌عنوان راهی برای افزایش غلظت آهک بررسی شده است. با این حال، پراکندگی آب در محصولات تجاری Ca(OH)_2 ، به‌دلیل اندازه ذرات بزرگ (Sequeira, Casanova, & Cabrita, 2006) و میزان رسوب سریع، علاوه بر تولید لعاب سفید روی سطوح باعث می‌شود که نه تنها آسیب به ساختار کاغذ وارد شود، بلکه قدرت مکانیکی کاغذ را نیز کاهش می‌دهد. در برخی مطالعات دیگر گزارش شده است که هر دو سوسپانسیون محلول آبی و غیر آبی Ca(OH)_2 ، برای کاهش قدرت اسیدی مؤثر است (Deli & Salvadori, 2001; Salvadori, 2006).

نانوذرات هیدروکسید منیزیم نیز به‌دلیل کاربرد بالا و عملکرد مورفولوژی قابل کنترل، نظر بسیاری را به خود جلب کرده است (Kim, Kim, & Moon, 2013). به‌طور کلی Mg(OH)_2 ، با واکنش یک نمک منیزیم با یک محلول قلیایی به‌دست می‌آید

1. Cedzova, Gallova, & Katuscak
2. Giorgi, Bozzi, Dei, Gabbiani, Ninham, & Baglioni

$Mg(OH)_2$ (Cherkezova-Zheleva et al., 2008). همچنین می‌تواند از طریق واکنش هیدروترمال پودر Mg به دست آید (Jin, Gu, Yu, Ding, Zhu, & Yao, 2008; An, Ding, Wang & Liu, 2010) و یا از بلورهای اکسید منیزیم تجاری تولید شود (Yu, Xu, Zhang, Song & Wu, 2004). پیشینه تحقیقات نشان می‌دهد که محصولات $Mg(OH)_2$ با نانوساختارهایی با مورفولوژی مختلف مانند اشکال سوزنی، میله‌ای، سیمی و بلورهای گل‌مانند از طریق روش‌های مختلف سنتز می‌شوند (Ding, Zhang, 2003; Wu, Hai, Wang, & Qian, 2001a; Henrist, Mathieu, Vogels, Rulmont & Cloots, 2003) و برای کاربردهای مختلف مورد استفاده قرار می‌گیرند. تهیه ترکیبات گل‌مانند $Mg(OH)_2$ با استفاده از روش هیدروترمال گزارش شده است (Lv, Qiu, & Qu, 2004). کنترل مورفولوژی نانو بلورهای $Mg(OH)_2$ معمولاً از طریق مسیرهای تشکیل دهنده سورفاکتانت به دست می‌آید (Sharma, McKelvy, Bearat, Chizmeshya & Carpenter, 2004; Dei & Salvadori, 2006). گروه‌های تحقیقاتی (Giorgi, Chelazzi, & Baglioni, 2005; Baglioni, Giorgi, & Poggi 2009). در مطالعات جداگانه، نانو ذرات هیدروکسید منیزیم را تولید کردند و استفاده از آن‌ها را برای حفاظت از کاغذ را مورد بررسی قرار دادند (Panayiotou, 2010 Stefanis &). کاغذ اسیدزدایی شده را با پراکندگی میکرو و نانو ذرات $Ca(OH)_2$ یا $Mg(OH)_2$ انجام دادند. سنتز نانو ورقه‌های $Mg(OH)_2$ با کنترل فرایند رسوب یک محلول Mg^{2+} حل شده، (Wu, Hu, Wang, & Yang, 2008; Yang, Wu, Hu, & Wang, 2008) یا تجزیه ذرات بروسیت توده‌ای به نانو ذرات نازک $Mg(OH)_2$ بدون یک فرایند انحلال-کریستال شدن مجدد انجام دادند (Pang, Ning, Gong, Ye, &). (Lin, 2011). باین حال، استفاده از نانو ورقه‌های $Mg(OH)_2$ برای حفاظت و مرمت آثار فرهنگی و قدیمی تاکنون گزارش نشده است.

علاوه بر سنتز ذرات با مورفولوژی مورد نظر برای حفظ کاغذ، پراکندگی آن‌ها یکی دیگر از مسائل مهم است. محققان به این نتیجه رسیده‌اند که با افزایش اندازه ذرات، اثربخشی آن‌ها به عنوان یک ماده حفاظتی یا بازتولید به علت پراکندگی ضعیف به میزان قابل توجهی کاهش می‌یابد (El-Sayed, 2001). محققان همچنین مسائل مربوط به مکانیزم و سرعت تعادل در کاغذ را مورد بحث قرار دادند؛ زمانی که ذرات بزرگ رسوب می‌کنند، مسائل پراکندگی را می‌توان با کاهش اندازه میانگین ذرات تقویت کننده به مقیاس کوچکتر از میکرومتر بهبود داد. پراکندگی ذرات نانو در حلال‌های غیرآبی، سیستم‌های پایدار سینتیکی را ایجاد کرده و اکثر مشکلات مرتبط را حل می‌کند. همچنین به نفوذ عمیق تر پراکندگی، ثبات بهتر و جلوگیری از تشکیل لعاب سفید در سطح تیمار شده کمک می‌کند (Dei, & Salvadori, 2006).

پیش‌بینی می‌شود که $Mg(OH)_2$ ، به دلایل مورفولوژی خاص، دارا بودن ماهیت بازی

متوسط، توانایی آن برای غلبه بر موانع مربوط به سایر فرایندهای تیمار، استفاده از این نانو ذرات به عنوان مواد حفاظتی و مرمتی ارزش مطالعه و تحقیق را دارد. علاوه بر این، انتظار می رود که پوشش دهی با نانوساختارهایی مانند ورقه لمینت روی سطح کاغذ به عنوان اولین خط دفاع در برابر هرگونه حمله اسیدی در خارج از آن محافظت می کند. علاوه بر این، قرار دادن این ساختارهای نانو ورقه ای در داخل کاغذ، نه تنها کاغذ را تقویت می کند بلکه به عنوان تقویت کننده نانو، همچنین باعث جلوگیری از تولید اسید در کاغذ و جلوگیری از تخریب کاغذ و باعث افزایش طول عمر مفید آن می شود. بنابراین، نانو-ورقه های $(\text{Mg}(\text{OH})_2)$ از طریق روش آماده سازی جدید با مایکروویو (گزارش شده در حافظی، نادرزاد، محمدی، بزرگر و محمدی (2014))¹ تهیه و برای هر دو نمونه کاغذ جدید و کاغذ صد ساله برای بررسی اثربخشی آن ها استفاده شده است. نمونه های مشابه کاغذ نیز با نانو ورقه های $\text{Ca}(\text{OH})_2$ تحت تیمار قرار گرفتند و یک ارزیابی مقایسه ای ارائه شده است تا ویژگی های تیمار با نانو ذرات $\text{Mg}(\text{OH})_2$ مشخص شود.

بخش تجربی

مواد مورد استفاده

نیترات کلسیم $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ ، متعلق به شرکت Labchem، Zelienople، ایالات متحده آمریکا، (۹۸٪ خلوص)، سولفات منیزیم (MgSO_4) ، با خلوص و کاربرد پزشکی، متعلق به شرکت Lab-chem، Zelienople، PA، ایالات متحده آمریکا، خلوص ۹۹٪، و هیدروکسید سدیم (NaOH) ، سیگما آلد ریچ، (St. Louis, MO, USA) تهیه شده و بدون خلوص سازی بیشتر مورد استفاده قرار گرفتند. آب مقطر و اتانول خلوص در تمام آماده سازی ها استفاده شد. کاغذ صافی (واتمن ۱۴۴۱-۰۵۵ درجه ۴۱، متعلق به شرکت Capitol Scientific, Inc., TX) تولید شده از ۱۰۰٪ سلولز و فاقد هرگونه مواد افزودنی در مطالعه به عنوان مرجع استفاده شد. کاغذ قدیمی از یک کتاب به دست آمد که تقریباً صد سال پیش چاپ شده بود، کاغذ جدید تولید شده در ۲ تا ۵ سال گذشته تهیه شده بود و همچنین روزنامه های قدیمی نیز استفاده شدند.

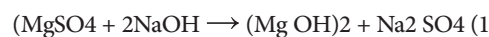
سنتز نانو ذرات هیدروکسید منیزیم

نانو ورقه های $(\text{Mg}(\text{OH})_2)$ توسط احیا به کمک امواج مایکروویو و با استفاده از سولفات فلز و با استفاده از هیدروکسید سدیم (NaOH) به عنوان عامل احیا کننده در دوز مناسب pH و مایکروویو مورد استفاده قرار گرفتند و روش پیش بینی شده (Hafezi et al. 2014) و گروهی از نویسندگان (Saoud, Saeed, Al-Soubaihi, & Bertino, 2014) بود. $(\text{Mg}(\text{OH})_2)$ ، با استفاده از

1. Hafezi, Naderzad, Mohammadi, Barzegar, & Mohammadi



روش تابش مایکروویو سنتز شد. این روش بر اساس احیا سولفات فلز با استفاده از ستیل تری میتیل آمونیوم برومید (CTAB) به عنوان عامل هدایت کننده و NaOH به عنوان عامل احیا کننده و با روش رسوب دهی همگن خیس در حضور سورفکتانت پراکنده کننده (CTAB)، با pH بین ۸ تا ۱۰ بر اساس واکنش زیر به دست آمد:



در یک سنتز معمول، ۵ گرم سولفات منیزیم $MgSO_4$ متعلق به شرکت بل و پسران: UK (Labchem، ۹۹٪) در ۱۰۰ میلی لیتر آب دیونیزه شده حل شد. این محلول سپس به یک میلی لیتر محلول سورفکتانت ستیل تری میتیل آمونیوم برمید (CTAB، سیگما آلدریج، ۹۹٪) در ۲۵۰ میلی لیتر آب مقطر و اتانول با نسبت ۱:۱ به یک بالن ژوژه واکنشگر اضافه شد. محلول به شدت همزده شد، در حالی که محلول به محلول NaOH یک مولار اضافه شد. سپس، محلول، به محلول سفیدرنگ تبدیل شد. پس از آن، محلول در یک راکتور شیمیایی مایکروویو (MCR-3) قرار گرفت که با قدرت ۲۶۶ وات به مدت ۱۰ تا ۱۵ دقیقه عمل می کرد و پس از شروع به جوش برداشته شد. سپس اجازه داده شد تا محلول تا رسیدن به دمای محیط خنک شود تا یک ساختار ژل مانند ایجاد شود. در نهایت ذرات رسوب دهی شده پس از چندین بار شستشو با آب مقطر و اتانول صاف شد و جمع آوری شد. نمونه های پودر خشک در دمای بالای ۳۰۰ درجه سانتی گراد حرارت داده شدند تا CTAB حذف شود. نانو ورقه های تهیه شده (۱۵ گرم در لیتر) در اتانول خالص یا مخلوطی از آب آن پراکنده شدند و در ورق کاغذ نمونه اسپری شدند. روش تیمار کردن نیز به سطح اسیدی شده کاغذ صافی و اتمن اعمال شد. این کار ابتدا با خیساندن کاغذ در محلول اسید سولفوریک (pH ۲,۵) انجام شد و پس از آن اسیدزایی با غوطه ور شدن آن در محلول پراکنده نانو ذرات الکلی $(Ca(OH)_2)$ و $(Mg(OH)_2)$ انجام شد. سپس مقدار pH، نمونه ها مورد ارزیابی قرار گرفت. روش تیمار با اسیدزایی نیز به طور طبیعی و به صورت مصنوعی (به روش پیری هیدروترمال و ۹۰ درجه سانتی گراد) مورد استفاده قرار گرفت. کاغذ صافی با غوطه ور شدن آن در محلول اسید رقیق H_2SO_4 با pH تقریباً ۳، پیرسازی شد. کاغذ صافی پس از خشک شدن به مدت ۱ تا ۶ ساعت در یک کوره در دمای ۹۰ درجه سانتی گراد و رطوبت ۸۰ درصد نگهداری شد. مقدار pH هر ساعت یک بار اندازه گیری شد.

مواد و روش ها

تست ذخایر قلیایی

یک نمونه از کاغذ نمونه خشک یک میلی گرمی انتخاب شد. این نمونه در حدود ۲۵ میلی لیتر آب در یک ارلن مایر ۱۲۵ میلی لیتری قرار داده شد. حجم ۲۰ میلی لیتر از HCl ۰/۱ نرمال



استاندارد شده به داخل بالن ژوژه اضافه و حدود ۱ دقیقه جوش داده شد. پس از خنک کردن آن تا دمای اتاق، سه قطره شناساگر متیل رد به آن اضافه می‌شود. مقدار ذخیره قلیایی به روش استاندارد در om-10، (2010) TAPPI T553 گزارش شد.

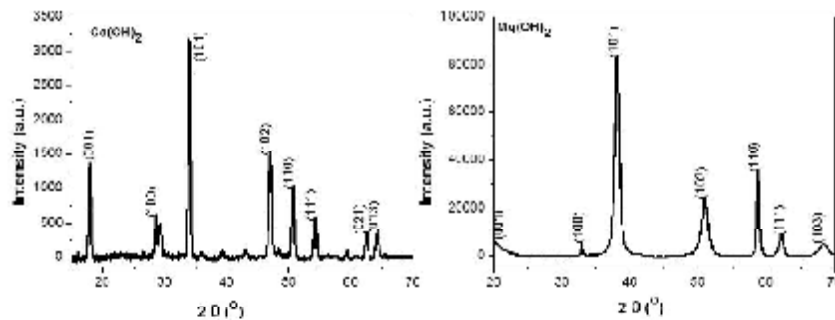
شناسائی

پراش اشعه ایکس (XRD)، نانوذرات مورد استفاده در این مطالعه با استفاده از دستگاه مدل Rigaku MiniFlex ۶۰۰، ساخت شرکت Rigaku، ویلمینگتون باتاوش CuK α و طول موج ۱/۵۴ (انگستروم) در ۴۰ کیلو ولت و ۱۵ میلی آمپر کار می‌کند. میکروسکوپ انتقال الکترونی با وضوح بالا (HRTEM، JEOL JEM-2100F، JEOL Ltd.، Peabody، MA) برای مشخص کردن ویژگی‌های مورفولوژیکی و کریستالوگرافی نانوذرات استفاده شد. اسکن میکروسکوپ الکترونی (SEM)، بادستگاه SEM ۷۰-SU هیتاچی (شرکت هیتاچی، چولا ویستا، کالیفرنیا)، با ولتاژ شتاب‌دهنده ۵ کیلووات گرفته شد. برای آزمایش کشش از یک سلول بارگذاری ۱۰۰ نانومتری و با فرمت ۲ میلی‌متر بر دقیقه متعلق به شرکت Donggun در هنگ‌کنگ مورد استفاده قرار گرفت. نمونه به نواری به عرض ۱۰ میلی‌متر و طول ۸۰ میلی‌متر برش داده شد. الکترودهای pH متر درون نمونه فرو برده شد. pH نمونه‌ها نیز اندازه‌گیری شدند.

نتایج و بحث

آنالیز XRD

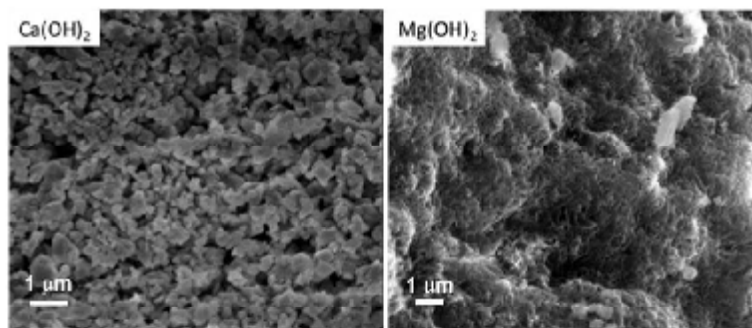
نمودار ۱، الگوی XRD نانو ذرات $(Ca(OH)_2)$ و $(Mg(OH)_2)$ مورد استفاده در این مطالعه را نشان می‌دهد. الگوی XRD، با الگوهای استاندارد کریستالی نانو ذرات $(Ca(OH)_2)$ و $(Mg(OH)_2)$ سازگار بود. داده‌های گزارش شده در نمودار ۱ و در جاهای دیگر توضیح داده شده است، پیشنهاد کردند که مواد مورد نظر برای کاغذ مورد استفاده در این مطالعه مورد استفاده قرار بگیرد.



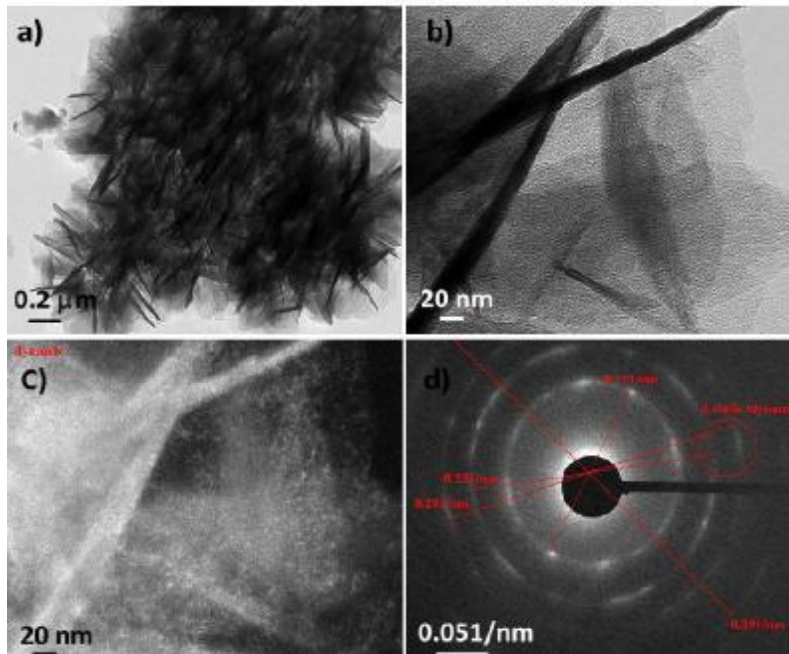
نمودار ۱- الگوهای XRD نانو ذرات $(Ca(OH)_2)$ و $(Mg(OH)_2)$

آنالیز SEM

نمودار ۲، میکروگراف SEM حاصل از نانو ذرات $(Ca(OH)_2)$ و $(Mg(OH)_2)$ سنتز شده در این مطالعه را نشان می‌دهد. میکروگرافها به وضوح ساختار بسیار متخلخل $(Mg(OH)_2)$ را نسبت به $(Ca(OH)_2)$ نشان می‌دهد. جزئیات بیشتر از طریق اندازه‌گیری HRTEM مورد بررسی قرار گرفت. میکروگرافهای HRTEM نانو-ورقه‌های $(Mn(OH)_2)$ که در نمودار ۳ نشان داده شده است، به وضوح نشان می‌دهد که ذرات $(Mg(OH)_2)$ یک ساختار بسیار متخلخل منحصربه‌فرد با اندازه ذرات کمتر از ۲۰ نانومتر دارند. ضخامت این ورقه‌ها و صفحات در محدوده چند نانومتر است، در حالی که دیگر ابعاد مسطح در حدود چند صد نانومتر بود. مساحت سطح Brunauer-Emmet-Teller یا همان آنالیز BET برای این نانو ذرات $(Mg(OH)_2)$ نشان‌دهنده این است که مساحت سطح $۸۰/۳$ مترمربع بر گرم است. مورفولوژی با استفاده از تجزیه و تحلیل HRTEM مشخص شد و الگوهای پراش الکترونی منطقه انتخاب شده دینامیکی (SAED) و مساحت سطح BET نشان داد که $(Mg(OH)_2)$ در واقع از نانوساختارهایی با ساختار بسته‌بندی منحصربه‌فرد تشکیل شده است که نانوساختار بسیار متخلخل را برای مواد تشکیل می‌دهد.



نمودار ۲- میکروگراف (تصویر میکرو) SEM مربوط به $(Ca(OH)_2)$ و $(Mg(OH)_2)$

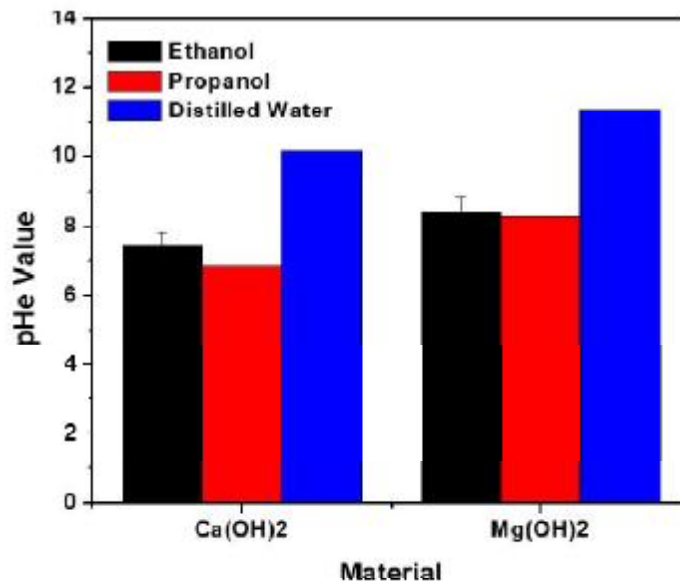


نمودار ۳- نمودارهای HRTEM (a) نانو ورقه های $Mg(OH)_2$ که ابعاد جانبی زیرمیکرون و با ضخامت ۱ نانومتر تا ۲ نانومتر را نشان می‌دهد، (b) میکروگراف یک منطقه انتخاب شده از چند نانو-ورقه تک با الگوی SAED دینامیک آن (c) و (d)

اثر حلال‌ها

به‌خوبی شناخته شده است که بسیاری از هیدروکسیدهای فلزی گروه II، وقتی در آب حل می‌شوند، مقدار pH بالا دارند، درحالی‌که مقدار pH آن‌ها موقع انحلال در الکل‌ها کمتر می‌باشد. مقادیر pH در هر دو حالت در حد قابل‌قبول نیست زیرا ممکن است با این محدوده pH، روند تخریب منابع کاغذی آغاز شده باشد. مشخص شده است که کاغذ با یک pH قلیایی یا pH نزدیک به خنثی خیلی آهسته‌تر از کاغذی با pH اسیدی شروع به تخریب شدن می‌کند. یک هیدروکسید با pH بالا در محلول آبی، باعث آسیب‌رساندن به منابع آرشیوی کاغذی شد. بنابراین، حلالی موردنظر است که آسیب قابل‌توجهی را ایجاد نکند؛ از این رو، به حلالی با قدرت تخریبی پایین نیاز داریم. اندازه‌گیری pH در سه حلال مختلف یعنی اتانول، پروپانول و آب مقطر انجام شد. نمودار ۴، نشانگر گرافیکی مقدار pH محلول‌های $(Ca(OH)_2)$ و $(Mg(OH)_2)$ در این حلال‌ها بر اساس روش (ASTM D6423-99, 199) ASTM D6423 است. واضح است که هر

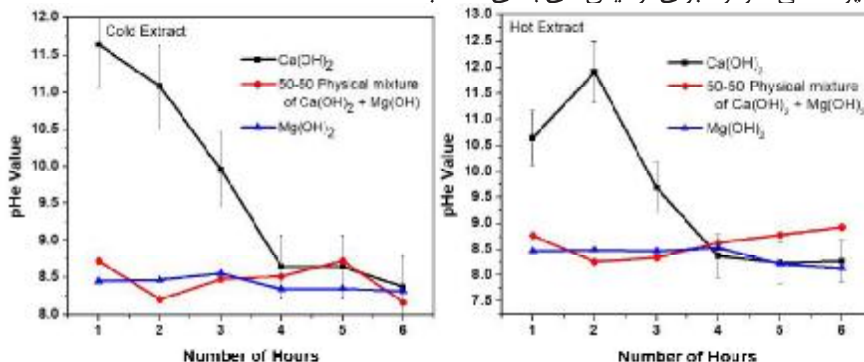
دو هیدروکسید در هنگام حل شدن در آب مقدار pH بالا $\text{Ca(OH)}_2 = 10.2$ و Mg(OH)_2 ، $10/4$ را به دست می آورند. مقدار pH این مواد رفتار مشابهی در اتانول و پروپانول نشان داد که در آن مقادیر به صورت قابل توجهی پایین تر بود و نزدیک به مقدار pH خنثی بودند. نتایج نشان داد که اتانول مناسب ترین حلال در مقایسه با آب مقطر و پروپانول است. علاوه بر این، نقطه جوش پایین تر اتانول باعث خشک شدن سریع تر در دمای پایین می شود. سرعت تبخیر سریع اتانول، زمان صرف شده برای تیمار با نگهدارنده را کاهش می دهد. اثر حلال روی مقدار pH کاغذ صافی،



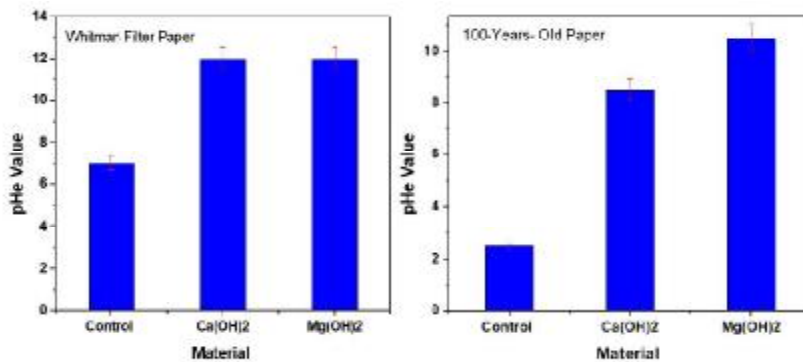
نمودار ۴- اثر مقدار pH محلول های Ca(OH)_2 و Mg(OH)_2 در حلال های مختلف

مشخص شده است که آب به عنوان تعلیق کننده ذرات منجر، به کاهش استحکام کششی و مکانیکی نمونه های کاغذی می شود و استحکام کششی نمونه های کاغذی را به ۱۰ درصد اولیه کاهش می دهد و در مقایسه حلال الکلی، به نسبت آب به مقدار ناچیزی استحکام کششی و نمونه های کاغذی را کاهش می دهد و جایگزینی بهتری نسبت به آب است. سایر مزایای سوسپانسیون الکلی عبارتند از، دوستدار محیط زیست، فرار و سمیت کم در مقایسه با سایر حلال های با فراریت یکسان است. کشش سطحی الکل ها به اندازه کافی کم است، که باعث رطوبت پذیری بهینه، نفوذ و پراکندگی ذرات در ساختار متخلخل نمونه های کاغذ

یا سایر مواد متخلخل می‌شود. این مایع توسط تفنگ اسپری، روی نمونه‌های کاغذی اسپری شد. این راهبرد کاربردی، یک لایه نازک یکنواخت روی سطح نانو ورقه‌ها نیز ایجاد کرد که مانند لمینیت کردن کاغذ بود. با در نظر گرفتن تمام جنبه‌های مثبت اتانول، به‌عنوان وسیله‌ای برای پراکندگی نانومواد برای آزمایش‌های بعدی انتخاب شد.



نمودار ۵- اندازه‌گیری مقدار pH نسبت به متغیر زمان بر حسب ساعت پس از تیمار با هر دو نمونه بازی (a) استخراج سرد (b) استخراج گرم



نمودار ۶- سطح pH کاغذهای تحت تیمار با نانوذرات: (a) کاغذ صافی، (b) کاغذ ۱۰۰ ساله

اثر نانومواد روی نمونه‌های کاغذ صافی و نمونه کاغذ قدیمی با اندازه‌گیری pH سطح نمونه‌ها



نمودار ۷- اندازه‌گیری pH با قلم نشانگر pH روی سطح کاغذ صافی که با نانو ورقه‌های $Mg(OH)_2$ و $Ca(OH)_2$ مورد آزمایش قرار گرفته است

از روند نمودارها واضح بود که برای نمونه کاغذ صافی که از سلولز خالص تشکیل شده بود، میزان pH قبل از استفاده از نانو مواد ۷ بود. با این حال، برای هر دو هیدروکسیدها به عدد ۱۲، تغییر کرد.

به‌طور خلاصه، مقدار pH برای نمونه کاغذ قدیمی در حدود ۲/۵ باقی می‌ماند و بعد از تیمار با هیدروکسید کلسیم به ۸/۵ و برای نمونه‌های تحت تیمار با نانو ذرات هیدروکسید منیزیم به ۱۲/۵ می‌رسد. این داده‌ها به‌وضوح اثرات نسبتاً مؤثر نانو ساختارها را به دلیل سطوح بزرگتر آن‌ها در محتوای اسیدی موجود در کاغذ قدیمی نشان می‌دهد؛ نانو مواد و نانو ساختارها روی ورقه‌های کاغذی به حفظ ذخایر قلیایی کاغذ و کاهش میزان اسیدیته آن‌ها عمل می‌کند.

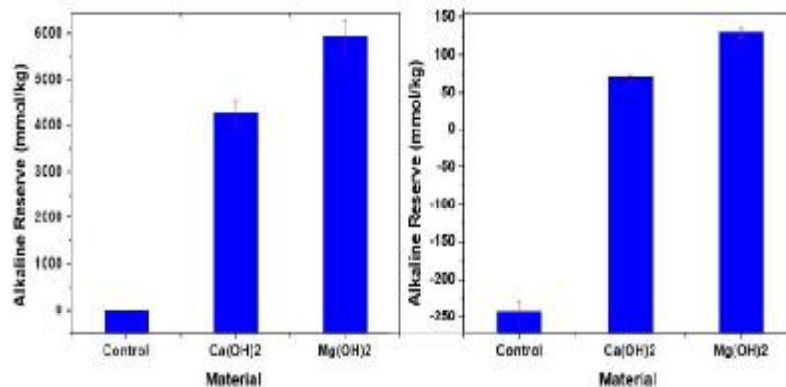
مشخص شده است که برای کاغذی که حداقل ۱۰۰ سال عمر داشته باشد، باید سطح کاغذ دارای ذخایر قلیایی ۲٪ یا بیشتر باشد (یا مقدار آن باید بیشتر از ۴۰۰ میلی‌مول/کیلوگرم، کاغذهایی با ماندگاری ۵۰۰ تا ۱۰۰۰ سال، البته بسته به ماهیت کاغذ).

آزمون استاندارد ایزو ۱۰۷۱۶ (۱۹۹۴) برای تعیین مقدار ذخیره قلیایی در نظر گرفته شده است. نمودار ۹ نشان می‌دهد که با استفاده از فقط ۰/۱ گرم از نانو مواد، مقادیر تقریباً ۱۱ و ۱۵ برابر بیشتر از مقادیر ۴۰۰ میلی‌مول بر کیلوگرم برای کاغذ صافی که تحت تیمار با سوسپانسیون‌های نانو ذرات $Ca(OH)_2$ و نانو ورقه‌های $Mg(OH)_2$ بود، به‌دست آمد. با این حال، تیمار نانو ورقه‌های $Mg(OH)_2$ برای نمونه کاغذ قدیمی، راندمانی بیش از دوبرابر مقدار نانو ذرات Ca

2 (OH) داشت.

مهم است که توجه داشته باشیم که اگر ۲۴۲ میلی مول/کیلوگرم به عنوان صفر در نظر گرفته شود، و پس از آن نانو ورقه‌های قلیایی ۱۳۰ میلی مول در کیلوگرم معادل ۳۷۲ میلی مول در کیلوگرم باشد، این مقدار نزدیک به مقداری است که برای حفظ بیشتر کاغذهای قدیمی مورد نیاز باشد حداقل برای ماندگاری ۵۰۰ سال (Bukovský, 2005). بنابراین، ممکن است نتیجه‌گیری شود که



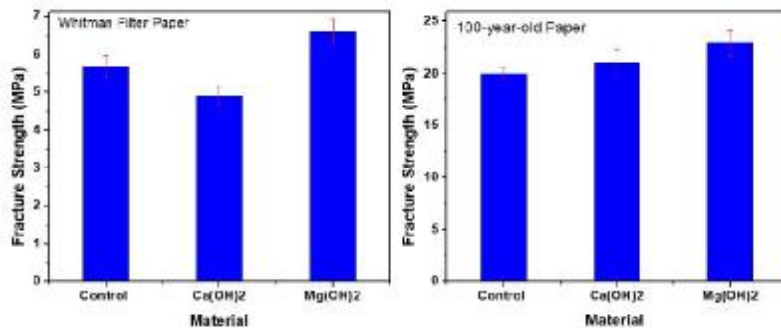


نمودار ۹- مقایسه تست‌های ذخیره قلیایی روی (a) کاغذ صافی واتمن و (b) کاغذ قدیمی ۱۰۰ ساله

تست مقاومت مکانیکی

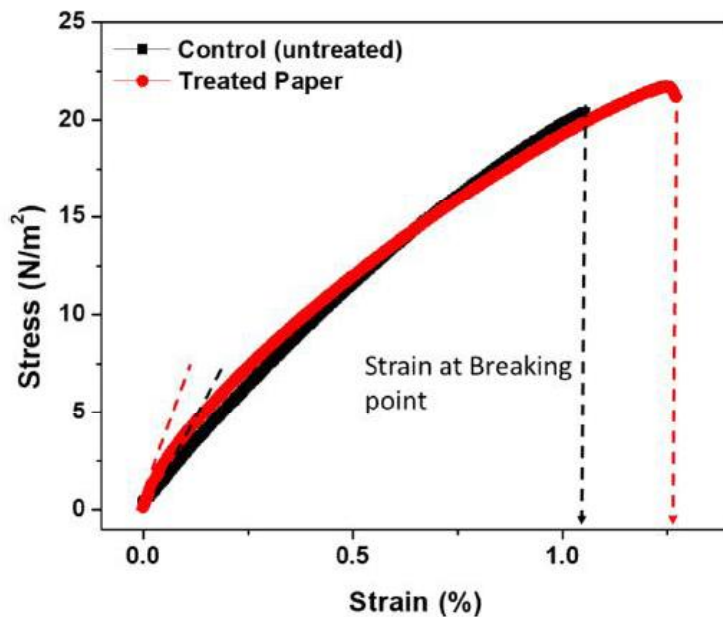
استحکام مکانیکی نمونه‌ها یکی دیگر از جنبه‌های مهم ارزیابی اثربخشی تیمار است. هر دو نمونه کاغذ صافی و نمونه‌های کاغذی قبل و بعد از کاربرد تیمار، مورد آزمایش قرار گرفتند. استحکام کششی و شکست نمونه‌ها با استفاده از دستگاه سنجش کشش شکست انجام شد. طول نمونه بین ۱۵ تا ۲۱ میلی‌متر، عرض نمونه‌ها بین ۴ تا ۵ میلی‌متر و ضخامت آن‌ها حدود ۰/۱۳ میلی‌متر آزمون توسط رمپ‌کردن فشار روی یک نمونه با سرعت ثابت و اندازه‌گیری فشار انجام شد.

قدرت شکست نمونه‌ها در نمودار ۱۰ (a، b) نشان داده شده است. نمونه‌های کاغذ صافی تیمار شده با نانو ذرات $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ، در مقایسه با نمونه‌هایی که نانو ورقه‌های $\text{Mg}(\text{OH})_2$ تحت تیمار قرار گرفتند، مقاومت مکانیکی کمتری را از خود نشان می‌دهند. به نظر می‌رسد نانو ذرات $\text{Ca}(\text{OH})_2$ موجب کاهش شفافیت کاغذ شده و منجر به کاهش استحکام آن نیز می‌شود، در حالی که تیمار با نانو ورقه‌های $\text{Mg}(\text{OH})_2$ باعث تقویت مقاومت مکانیکی شده است و ساختارهای نانوکامپوزیت‌های ساخته شده از $\text{Mg}(\text{OH})_2$ ، باعث افزایش مقاومت کششی کاغذ با ساختارهای آلی بدون ذرات نانو می‌شود.



نمودار ۱۰- مقایسه استحکام شکست نمونه‌هایی که با نانو ورقه‌های $\text{Ca}(\text{OH})_2$ و $\text{Mg}(\text{OH})_2$ تیمار شدند، (a) نمونه‌های کاغذ صافی و (b) نمونه کاغذ قدیمی ۱۰۰ ساله

نانوساختارها، با اشغال فضاهای بزرگ در کاغذ باعث افزایش استحکام کاغذ می‌شوند. بهبود استحکام برای نمونه کاغذ قدیمی برای هر دو روش هیدروکسید مشاهده شد و به بهبود مشابه رسید. در مورد کاغذ قدیمی، بخش عمده‌ای از نانو ذرات به کاررفته، صرف کاهش اسیدیته کاغذ و مقداری نیز صرف افزایش استحکام کاغذ شد.



نمودار ۱۱- مقایسه مقاومت مکانیکی کاغذ قدیمی قبل از پوشش‌دهی با نانو ورقه‌های $\text{Mg}(\text{OH})_2$

همچنین، مقاومت مکانیکی کاغذ قبل و بعد از پوشش‌دهی با نانو ورقه‌های $Mg(OH)_2$ اندازه‌گیری شد و نتایج در نمودار ۱۱ نشان داده شده است. همان‌طور که در جدول ۱ نشان داده شده، نتایج نشان می‌دهد که نمونه‌ای که تحت تیمار با نانو ورقه‌های $Mg(OH)_2$ قرار دارد، بالاترین مقدار حدود ۶ GPa، را دارد و پس از نمونه‌گیری بدون تیمار، حدود ۲/۵ GPa است.

Sample	Maximum Stress at Breaking point (MPa)	Maximum Strain at Breaking point (%)	Young's Modulus (GPa)
Control (uncoated)	20.3	1.05	2.488
Treated Paper (coated with $Mg(OH)_2$)	21.73	1.25	6.5

جدول ۱- مقاومت مکانیکی کاغذ قدیمی قبل و بعد از تیمار با نانو ورقه‌های $Mg(OH)_2$

در نهایت، به‌وضوح دیده می‌شود که تیمار قلیایی نانو ورقه‌های $Mg(OH)_2$ کاغذ قدیمی، باعث افزایش استحکام کششی کاغذ می‌شود. فشار کششی کاغذ پس از تیمار نیز افزایش می‌یابد.

جهت‌گیری و برنامه‌ریزی برای اهداف آتی

پس از اثبات اثربخشی تیمار با نانو ورقه‌های $Mg(OH)_2$ در اسید زدایی از سطح کاغذ، برای حفظ طولانی‌مدت کاغذ و برای دستیابی و ارزیابی احتمال تخریب کاغذ در طول دوره طولانی، بسیار مهم است. برای دستیابی و ارزیابی ثبات و عملکرد تیمار با نانو ورقه‌های $Mg(OH)_2$ استفاده از پیرسازی مصنوعی کاغذ در آزمایشگاه ضروری است.

روش پیرسازی تهاجمی باید برای نشان‌دادن نقش نانو ورقه‌ها برای حفظ و بازسازی نمونه‌های کاغذی قدیمی در یک زمان کوتاه اعمال شود. همچنین، آزمایشات مکانیکی و سایر آزمایش‌های مربوط باید روی نمونه‌های تحت درمان انجام شود تا ایده‌ای روشن در مورد ثبات و قابلیت بازیابی کاغذ پس از تیمار را نشان دهد. آزمایشات پیرسازی سریع برای اندازه‌گیری ثبات برای مدل‌سازی فرایندهای تجزیه طولانی‌مدت قبل و بعد از تیمار با اسیدزدایی با نانو ورقه‌های $Mg(OH)_2$ موردنیاز است. خواص مکانیکی کاغذ مورد استفاده را می‌توان با استفاده از یک شاخص بسیار حساس مانند استقامت تا شدگی برای تعیین شکستگی کاغذ در برابر پیری، بررسی کرد که می‌توان قبل از تغییر در کشش یا استحکام کششی آن را مشاهده کرد. برای به‌دست‌آوردن نتایج دقیق از عملکرد نانو ورقه‌های $Mg(OH)_2$ ، ما یک سری آزمایش

برای مطالعه خواص مکانیکی کاغذهای تیمارنشده و تیمار شده قبل از آزمون تست پیری سریع انجام خواهیم داد. نتایج به دست آمده در قالب یک مقاله تلفیقی ارائه خواهد شد.

نتیجه گیری:

نانو ورقه‌های $Mg(OH)_2$ آماده شده برای اثربخشی آن‌ها به عنوان ماده‌ای برای حفظ منابع آرسنیوی کاغذی با مقایسه آن با تیمار با نانوذرات $Ca(OH)_2$ مورد آزمایش قرار گرفت. اثربخشی نانو ورقه‌های $Mg(OH)_2$ با انجام آزمایش‌های اندازه‌گیری pH سطح و حجم، اندازه‌گیری ذخایر قلیایی و همبستگی آن با افزایش ماندگاری و اندازه‌گیری قدرت مکانیکی، مورد بررسی قرار گرفت. تأیید ترکیب و مورفولوژی مواد با استفاده از SEM، XRD، HRTEM مورد آزمایش قرار گرفت. ۱- داده‌های مورفولوژی، نانو ورقه‌های با ضخامت کمتر از ۵ نانومتر و با ساختار منحصر به فرد بسته‌بندی شده را تأیید کرد که ساختارهای بسته‌بندی شده، نانوساختارهایی بسیار متخلخل را ایجاد می‌کنند.

۲- اتانول به عنوان بهترین حلال برای پراکنده کردن و استفاده از این مواد بود.

۳- اندازه‌گیری‌های pH، تست‌های ذخایر قلیایی و خواص مکانیکی بیش مربوط به اثربخشی نانو ورقه‌های $Mg(OH)_2$ را در مقایسه با نانو ذرات $Ca(OH)_2$ فراهم می‌کند.

۴- نتیجه‌گیری شد که تیمار با نانو ورقه‌های $Mg(OH)_2$ ، به صورت ورقه‌ورقه عمل کرده و آن را به عنوان اولین خط دفاع در برابر حمله محیطی اسیدی محافظت می‌کند، در حالی که حضور آن در کاغذ به عنوان ذخایر قلیایی است و همچنین باعث تقویت استحکام کاغذ به شکل نانو ورقه‌های معدنی می‌شود.

منابع:

- An, D. M., Ding, X. F., Wang, Z. C., and Liu, Y. H. (2010). "Synthesis of ordered arrays of magnesium hydroxide nanoparticles via a simple method," *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects* 356(1-3), 28-31. DOI: 10.1016/j.colsurfa.2009.12.027
- ASTM D6423-99. 199. Standard Test Method for Determination of pH of Ethanol, Denatured Fuel Ethanol, and Fuel Ethanol (Ed75-Ed85), ASTM International, West Conshohocken, PA.
- Baglioni, P., Giorgi, R., and Poggi, G. (2009). "Hydroxide nanoparticles for

- deacidification of paper and waterlogged wood," *Abstracts of Papers of the American Chemical Society* 237, 1155. DOI: 10.1021/la1030944
- Baty, J. W., Maitland, C. L., Minter, W., Hubbe, M. A., and Jordan-Mowery, S. K. (2010). "Deacidification for the conservation and preservation of paper-based works: A review," *BioResources* 5(3), 1955-2023. DOI: 10.15376/biores.5.3.1955-2023
- Bukovský, V. (2005). "The analysis of alkaline reserve in paper after deacidification," *Restaurator* 26(4), 265-275. DOI: 10.1515/REST.2005.265
- Cedzova, M., Gallova, I., and Katuscak, S. (2006). "Patents for paper deacidification," *Restaurator-International Journal for the Preservation of Library and Archival Material* 27(1), 35-45. DOI: 10.1515/rest.2006.35
- Cherkezova-Zheleva, Z. P., Paneva, D. G., Manova, E. D., Kunev, B. N., Petkova, V. A., and Mitov, I. G. (2008). "Mechanochemical synthesis of layered double hydroxides," *Journal of the Balkan Tribological Association* 14(4), 508-513.
- Dei, L., and Salvadori, B. (2006). "Nanotechnology in cultural heritage conservation: Nanometric slaked lime saves architectonic and artistic surfaces from decay," *Journal of Cultural Heritage* 7(2), 110-115. DOI: 10.1016/j.culher.2006.02.001
- Ding, Y., Zhang, G. T., Wu, H., Hai, B., Wang, L. B., and Qian, Y. T. (2001a). "Nanoscale magnesium hydroxide and magnesium oxide powders: Control over size, shape, and structure via hydrothermal synthesis," *Chemistry of Materials* 13(2), 435-440. DOI: 10.1021/cm000607e
- Ding, Y., Zhao, H. Z., Sun, Y. G., Zhang, G. T., Wu, H., and Qian, Y. T. (2001b). "Superstructured magnesium hydroxide sulfate hydrate fibres - Photoluminescence study," *International Journal of Inorganic Materials* 3(2), 151-156. DOI: 10.1016/s1466-6049(00)00105-7
- El-Sayed, M. A. (2001). "Some interesting properties of metals confined in time and nanometer space of different shapes," *Accounts of Chemical Research* 34(4), 257-264. DOI: 10.1021/ar960016n
- Giorgi, R., Bozzi, C., Dei, L. G., Gabbiani, C., Ninham, B. W., and Baglioni, P. (2005a). "Nanoparticles of Mg(OH)₂: Synthesis and application to paper conservation," *Langmuir* 21(18), 8495-8501. DOI: 10.1021/la050564m



- Giorgi, R., Chelazzi, D., and Baglioni, P. (2005b). "Nanoparticles of calcium hydroxide for wood conservation. The deacidification of the vasa warship," *Langmuir* 21(23), 10743-10748. DOI: 10.1021/la0506731
- Giorgi, R., Dei, L., Ceccato, M., Schettino, C., and Baglioni, P. (2002). "Nanotechnologies for conservation of cultural heritage: Paper and canvas deacidification," *Langmuir* 18(21), 8198-8203. DOI: 10.1021/la025964d
- Guerra, R. A., Vives, J. M. G., Monmany, J. M. D., and Garrido, J. F. (1995). "Procedure for simultaneous deacidification and sizing of paper," *Restaurator-International Journal for the Preservation of Library and Archival Material* 16(4), 175-193. DOI: 10.1515/rest.1995.16.4.175
- Guerra, R. A., Vives, J. M. G., Monmany, J. M. D., and Garrido, J. F. (1998). "The effect of aqueous solutions of alkoxy polyethylene glycols (ALKPG) on the mechanical properties of paper," *Restaurator-International Journal for the Preservation of Library and Archival Material* 19(4), 187-211. DOI: 10.1515/rest.1998.19.4.187
- Hafezi, M., Nadernezhad, A., Mohammadi, M., Barzegar, H., and Mohammadi, H. (2014). "Effect of ball milling time on the synthesis of nanocrystalline merwinite via mechanical activation and heat treatment," *International Journal of Materials Research* 105(5), 469-473. DOI: 10.3139/146.111048
- Henrist, C., Mathieu, J. P., Vogels, C., Rulmont, A., and Cloots, R. (2003). "Morphological study of magnesium hydroxide nanoparticles precipitated in dilute aqueous solution," *Journal of Crystal Growth* 249(1-2), 321-330. DOI: 10.1016/s0022-0248(02)02068-7
- ISO 10716 (1994). Paper and board Determination of alkali reserve," International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland.
- Jin, D. L., Gu, X. Y., Yu, X. J., Ding, G. S., Zhu, H. L., and Yao, K. H. (2008). "Hydrothermal synthesis and characterization of hexagonal Mg(OH)₂ nano-flake as a flame retardant," *Materials Chemistry and Physics* 112(3), 962-965. DOI: 10.1016/j.matchemphys.2008.07.058
- Kelly Jr., G. B. (1976). "Composition for use in de-acidification of paper," U.S. Patent No. 3939091.
- Kim, S. W., Kim, I., and Moon, D. J. (2013a). "Synthesis and characterization of

- magnesium oxide supported catalysts with a meso-macropore structure," *Journal of Nanoscience and Nanotechnology* 13(8), 5750-5753. DOI: 10.1166/jnn.2013.7038
- Kim, S. W., Kim, K. D., and Moon, D. J. (2013b). "Shape controlled synthesis of nanostructured magnesium oxide particles in supercritical carbon dioxide with ethanol cosolvent," *Materials Research Bulletin* 48(8), 2817-2823. DOI: 10.1016/j.materresbull.2013.04.019
- Kolar, J., and Novak, G. (1996). "Effect of various deacidification solutions on the stability of cellulose pulps," *Restaurator-International Journal for the Preservation of Library and Archival Material* 17(1), 25-31. DOI: 10.1515/rest.1996.17.1.25
- Kolar, J., Strlic, M., Novak, G., and Pihlar, B. (1998). "Aging and stabilization of alkaline paper," *Journal of Pulp and Paper Science* 24(3), 89-94.
- Lv, J., Qiu, L. Z., and Qu, B. J. (2004). "Controlled synthesis of magnesium hydroxide nanoparticles with different morphological structures and related properties in flame retardant ethylene-vinyl acetate blends," *Nanotechnology* 15(11), 1576-1581. DOI: 10.1088/0957-4484/15/11/035
- Pang, H. C., Ning, G. L., Gong, W. T., Ye, J. W., and Lin, Y. (2011). "Direct synthesis of hexagonal Mg(OH)(2) nanoplates from natural brucite without dissolution procedure," *Chemical Communications* 47(22), 6317-6319. DOI: 10.1039/c1cc10279f
- Salvadori, B., and Dei, L. (2001). "Synthesis of Ca(OH)2 nanoparticles from diols," *Langmuir* 17(8), 2371-2374. DOI: 10.1021/la0015967
- Saoud, K. M., Saeed, S., Al-Soubaihi, R. M., and Bertino, M. F. (2014). "Microwave assisted preparation of magnesium hydroxide nano-sheets," *American Journal of Nanomaterials* 2(2), 21-25.
- Sequeira, S., Casanova, C., and Cabrita, E. J. (2006). "Deacidification of paper using dispersions of Ca(OH)2 nanoparticles in isopropanol. Study of efficiency," *Journal of Cultural Heritage* 7(4), 264-272. DOI: 10.1016/j.culher.2006.04.004
- Sharma, R., McKelvy, M. J., Bearat, H., Chizmeshya, A. V. G., and Carpenter, R. W. (2004). "In-situ nanoscale observations of the Mg(OH)2 dehydroxylation and rehydroxylation mechanisms," *Philosophical Magazine* 84(25-26), 2711-2729. DOI: 10.1080/14786430410001671458



- Stefanis, E., and Panayiotou, C. (2008). Study of the photochemical stability of paper deacidified with dispersions of Ca(OH)₂ and Mg(OH)₂ nanoparticles in alcohols," Restaurator-International Journal for the Preservation of Library and Archival Material 29(2), 125-138. DOI: 10.1515/rest.2008.007
- Stefanis, E., and Panayiotou, C. (2010). "Deacidification of documents containing iron gall ink with dispersions of Ca(OH)₂ and Mg(OH)₂ nanoparticles, Restaurator-International Journal for the Preservation of Library and Archival Material 31(1), 19-40. DOI: 10.1515/rest.2010.002
- TAPPI T435-52 (1952). Hydrogen ion content (pH), TAPPI Press, Atlanta, GA.
- TAPPI T435 om-02 (2002). Hydrogen ion concentration (pH) of paper extracts, TAPPI Press, Atlanta, GA.
- TAPPI T553 om-10 (2010). "Alkalinity of paper as calcium carbonate (alkaline reserve of paper)," TAPPI Press, Atlanta, GA.
- Williams, W. (1994). "Mass deacidification of paper – A comparative study of existing processes," Library Journal 119(4), 126-126.
- Wu, X. F., Hu, G. S., Wang, B. B., and Yang, Y. F. (2008). "Synthesis and characterization of superfine magnesium hydroxide with monodispersity," Journal of Crystal Growth 310(2), 457-461. DOI: 10.1016/j.jcrysgro.2007.10.025
- Yang, Y. F., Wu, X. F., Hu, G. S., and Wang, B. B. (2008). "Effects of stearic acid on synthesis of magnesium hydroxide via direct precipitation," Journal of Crystal Growth 310(15), 3557-3560. DOI: 10.1016/j.jcrysgro.2008.05.006
- Yu, J. C., Xu, A. W., Zhang, L. Z., Song, R. Q., and Wu, L. (2004). "Synthesis and characterization of porous magnesium hydroxide and oxide nanoplates," Journal of Physical Chemistry B 108(1), 64-70. DOI: 10.1021/jp035340w