

## استفاده از الیاف رنگ‌بری‌نشده باگاس در ساخت کاغذ مغناطیسی

- ❖ محمد آزادفلاح؛ استادیار گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران
- ❖ کژال مرادیان گیلان؛ کارشناس ارشد صنایع خمیر و کاغذ، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران
- ❖ حسن موسوی پژوه؛ کارشناس ارشد صنایع خمیر و کاغذ، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران
- ❖ محمد مهدی هادیلام؛ کارشناس ارشد صنایع خمیر و کاغذ، دانشکده مهندسی چوب و کاغذ، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران
- ❖ الهه امینی؛ کارشناس ارشد صنایع خمیر و کاغذ، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران

### چکیده

الیاف لیگنوسلولزی مغناطیسی از پتانسیل خوبی در کاربردهایی نظیر ذخیره‌سازی اطلاعات، کاغذهای امنیتی، حفاظت الکترومغناطیسی، و غیره برخوردارند. در این مطالعه از الیاف رنگ‌بری‌نشده باگاس با استفاده از روش هم‌رسوبی شیمیایی برای ساخت کاغذهای مغناطیسی استفاده شد. برای این منظور بارگذاری نانو ذرات مگنتیت در داخل حفره سلولی و رسوب آن در سطح الیاف با روش سنتز درجا محقق شد. سپس تشکیل نانو ذرات مگنتیت و هماتیت طی فرایند سنتز توسط الگوهای پراش پرتو X (XRD) بررسی شدند. ریزنگارهای میکروسکوپ الکترونی (SEM) تهیه شده از سطح کاغذهای مغناطیسی نیز رسوب نانو ذرات بر سطح الیاف را به خوبی نشان دادند. با افزایش دمای سوسپانسیون تا ۶۰ درجه سانتی‌گراد و مقدار آهن تا ۶ میلی‌مول درجه بارگذاری افزایش یافت. همچنین ذرات مگنتیت رسوب کرده بر سطح الیاف اثر نسبتاً مخربی بر مقاومت به کشش کاغذهای مغناطیسی نشان داد. با اندازه‌گیری خواص مغناطیسی با مغناطیس‌سنج ارتعاشی (VSM)، رفتار سوپر پارامغناطیس کاغذهای ساخته شده نیز اثبات شد. با افزایش درجه بارگذاری، مغناطیسی شدن اشباع ( $M_s$ ) کاغذها نیز افزایش یافت.

واژگان کلیدی: الیاف باگاس، درجه بارگذاری، کاغذ مغناطیسی، مگنتیت، هم‌رسوبی.

## مقدمه

امروزه استفاده از پرکننده‌ها در تولید انواع کاغذها به‌ویژه کاغذهای چاپ و تحریر به‌صورت افزودنی در پایانه‌تر یا پوشش‌های سطحی بسیار متداول است. کاهش هزینه‌ها، صرفه‌جویی در مصرف انرژی، بهبود خواص نوری، بهبود شکل‌گیری کاغذ، پایداری ابعادی، چاپ‌پذیری مناسب، افزایش سرعت آب‌گیری، سرعت ماشین، و بهره‌وری از مزایای هستند که استفاده از پرکننده‌ها را متناسب با نوع و کاربردشان برای کاغذسازان مفید می‌کنند [۱]. علاوه بر کاربردهای سنتی ذکر شده، استفاده از پرکننده‌ها در ساختار شبکه‌ای کاغذ خواص عاملی منحصر به فردی مانند خواص مغناطیسی، فوتوکاتالیزوری<sup>۱</sup>، کندسوزکنندگی، هدایت الکتریکی، حرارتی، بافرکنندگی، بوزدایی<sup>۲</sup>، و غیره را به کاغذ می‌دهد و آن را برای کاربردهای خاص مناسب می‌کند [۲].

در این زمینه استفاده از پرکننده‌های مغناطیسی مانند مگنتیت، دی‌اکسید کروم، و اکسیدهای دوپ<sup>۳</sup> شده کبالت همراه با الیاف سلولزی فرصت‌های تحقیقاتی جدیدی را در حوزه‌های کاغذسازی، بسته‌بندی، کاغذهای امنیتی، و ذخیره اطلاعات فراهم کرده است. محققان کاربردهای بالقوه مواد هیبریدی جدید را در حفاظت الکترومغناطیسی، چاپ مغناطیسی، و فیلتر کردن مغناطیسی پیشنهاد کرده‌اند [۳، ۴].

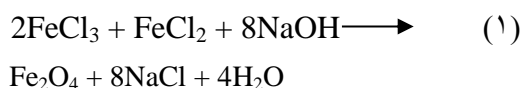
ساخت کاغذهای مغناطیسی به کمک این پرکننده‌ها معمولاً با دو روش سنتز درجا<sup>۴</sup> و روش بارگذاری حفره سلولی<sup>۵</sup> انجام می‌گیرد. مارچسالت و همکارانش در سال ۱۹۹۲ ثابت کردند که با روش سنتز درجا، می‌توان حفره سلولی الیاف را با نانو

ذرات فریت<sup>۶</sup> پر کرد [۳]. کارازانا و همکارانش در سال ۱۹۹۷ از الیاف سلولزی با روش بارگذاری حفره سلولی و سنتز درجای ذرات مغناطیسی برای تولید کاغذ مغناطیسی استفاده کردند. این محققان برای بهبود خواص مغناطیسی کاغذهای تهیه‌شده با این روش از کاتیون‌های  $Fe^{2+}$  و  $Co^{2+}$  با نسبت‌های گوناگون در حضور سوسپانسیون خمیرکاغذ تحت شرایط متفاوت بهره گرفتند. نتایج کار آن‌ها نشان داد که در دماهای بالای ۴۰ درجه سانتی‌گراد، هم‌رسوبی فریت‌های استخلاف‌شده موجب تشکیل کاغذ مغناطیسی با پارامترهای مغناطیسی مفید شد. آن‌ها اندازه ذرات مغناطیسی تشکیل‌شده را در دامنه ۲۰-۴۰ نانومتر گزارش کردند [۵]. زکریا و همکارانش نیز تحقیقاتی درباره روش بارگذاری حفره سلولی انجام دادند. آن‌ها به این نتیجه رسیدند که افزایش درجه بارگذاری حفره سلولی موجب افزایش خواص مغناطیسی و کاهش خواص فیزیکی مثل شاخص کشش و ترکیدن کاغذهای مغناطیسی می‌شود [۶]. همچنین آینون و همکاران برای جلوگیری از افت خواص مقاومتی کاغذهای مغناطیسی در حین بارگذاری حفره سلولی و همین‌طور رسوب ذرات مغناطیسی بر سطح الیاف، از نشاسته کاتیونی به‌عنوان عامل مقاومت خشک استفاده کردند. آن‌ها به این نتیجه رسیدند که افزودن نشاسته کاتیونی موجب بهبود خواص مقاومتی کاغذهای مغناطیسی می‌شود ولی به‌علت دافعه بارهای ایجادشده بین ذرات پرکننده مغناطیسی و نشاسته کاتیونی، محل و توزیع پرکننده‌های مغناطیسی مختل می‌شود [۷]. در سال‌های اخیر نیز ساخت کاغذ مغناطیسی تک‌جهته با جهت دادن الیاف سلولزی در میدان مغناطیسی دائمی گزارش شده است. در این تحقیق مشکور و همکاران با سنتز درجای نانو ذرات مگنتیت الیاف

6. Ferrite

1. Photocatalytic
2. Deodorizing
3. Dopped
4. In situ
5. Lumen loading

۲ به ۱ به سوسپانسیون اضافه شد تا رنگ سوسپانسیون به نارنجی تغییر کند. سوسپانسیون به مدت ۲۰ دقیقه در این شرایط هم زده شد. بعد از این مدت چند میلی‌لیتر NaOH ۲۰ درصد تا ایجاد رنگ سیاه به سوسپانسیون افزوده شد. سیاه‌شدن رنگ سوسپانسیون نشان‌دهنده تشکیل ذرات مگنتیت ( $Fe_3O_4$ ) است. به منظور تکمیل رسوب و بارگذاری ذرات، سوسپانسیون به مدت ۱۵ دقیقه دیگر هم زده شد. معادله ۱ واکنش پیش‌ترکیب‌های استفاده‌شده در سنتز مگنتیت را نشان می‌دهد.



در پایان آماده‌سازی سوسپانسیون به منظور درک تأثیر شست‌وشو بعضی از تیمارها روی مش ۲۰۰ شسته شد. پس از تعیین درصد رطوبت و درصد خشکی خمیرکاغذ، ساخت کاغذهای دست‌ساز با وزن پایه ۶۰ گرم بر متر مربع مطابق با آیین‌نامه ۹۵-T ۲۰۵ sp استاندارد TAPPI انجام شد. برای تعیین درجه بارگذاری<sup>۱</sup>، مطابق با آیین‌نامه ۹۳-T ۲۱۱ om استاندارد TAPPI خاکستر کاغذهای مغناطیسی و شاهد در دمای ۵۲۵ درجه سانتی‌گراد تعیین شد. سپس میزان درصد خاکستر به دست‌آمده از کاغذهای شاهد از میزان درصد خاکستر کاغذهای مغناطیسی کم شد تا درجه بارگذاری کاغذها به دست آید. پس از مشروط‌سازی نمونه‌ها تحت شرایط رطوبت نسبی ۶۰ درصد و دمای ۲۳ درجه سانتی‌گراد و تهیه نمونه‌ها مطابق با آیین‌نامه ۹۶-T ۲۲۰ sp مقاومت به کشش کاغذهای دست‌ساز طبق آیین‌نامه ۰۱-om ۴۹۴ T تعیین شد.

### طیف‌بینی پراش پرتو- $X$ (XRD)

طیف‌های پراش پرتو  $X$  نمونه‌های کاغذ مغناطیسی

سلولزی مغناطیسی ساختند. کاغذهای تک‌جهته ساخته شده از این الیاف، از خود خواص مکانیکی و مغناطیسی ناهمسانگرد نشان دادند [۸].

در اکثر مطالعات قبلی برای ساخت کاغذ مغناطیسی از خمیرکاغذ کرافت تهیه‌شده از پهن‌برگان، سوزنی‌برگان، و کنف به‌عنوان الیاف سلولزی استفاده شده است [۴، ۶، ۹]. در این مطالعه از خمیرکاغذ تجاری رنگ‌بری‌نشده باگاس و تهیه‌شده با فرایند سودا به‌عنوان منبع الیاف برای تهیه کاغذ مغناطیسی با استفاده از روش هم‌رسوبی در حضور ترکیبات فرو (آهن II) و فریک (آهن III) استفاده شده و خواص کاغذهای حاصل بررسی شده است.

### مواد و روش‌ها

خمیرکاغذ رنگ‌بری‌نشده باگاس به‌عنوان ماده اولیه لیفی از شرکت کاغذسازی پارس تهیه شد. ساخت کاغذهای مغناطیسی مطابق با روش چیا و همکاران و با اندکی تغییرات انجام شد [۱۰]. در ابتدا خمیرکاغذها به مدت ۲۴ ساعت برای زدودن فلزات باقیمانده در ۰/۰۱ مولار HCl خیسانده شدند. پس از آن خمیرکاغذها تا رسیدن به pH خنثی شست‌وشو داده شدند و درصد رطوبت آن‌ها تعیین شد. سپس کاغذهای دست‌ساز مغناطیسی از این خمیرکاغذها در حضور سه سطح آهن ۲، ۴، و ۶ میلی‌مول و در شرایط دمایی ۲۵ و ۶۰ درجه سانتی‌گراد به شرح زیر ساخته شدند.

در این تحقیق ۱/۲ گرم خمیرکاغذ خشک در حضور ۲۰۰ میلی‌لیتر آب مقطر توسط همزن آزمایشگاهی از هم باز شدند. سپس سوسپانسیون به مدت ۲۵ دقیقه با کمک همزن با ۱۰۰۰ دور در دقیقه هم زده شد و هم‌زمان گاز نیتروژن به مدت ۲ دقیقه به داخل سوسپانسیون تزریق شد. سپس میزان آهن مورد نظر به صورت  $FeCl_3$  و  $FeCl_2 \cdot 4H_2O$  با نسبت

1. Loading degree  
2. X-Ray Diffraction

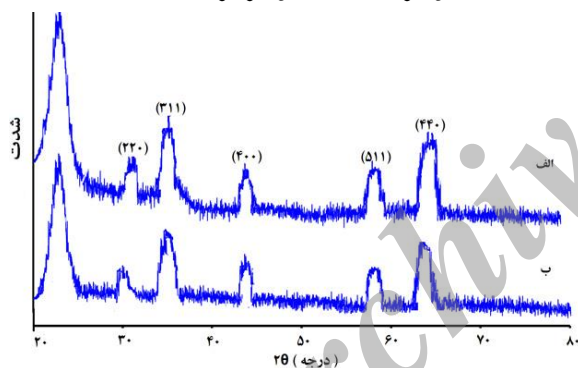
## میکروسکوپ الکترونی پوششی (SEM)<sup>۴</sup>

مورفولوژی سطح الیاف مغناطیسی با استفاده از میکروسکوپ الکترونی پیمایشی (SEM) مدل Mirall و با اعمال ولتاژ ۷ کیلو ولت ارزیابی شد. نمونه‌های کاغذ مغناطیسی قبل از پوشش با طلا پوشش داده شدند.

## نتایج و بحث

### طیف‌سنجی XRD

طیف‌های پراش پرتو X دو نمونه کاغذ مغناطیسی ساخته شده با تیمار بدون شست‌وشو - ۶ میلی‌مول Fe-۲۵ درجه سانتی‌گراد و تیمار بدون شست‌وشو - ۶ میلی‌مول Fe - ۶۰ درجه سانتی‌گراد در شکل ۱ نشان داده شده است. اندازه ذرات طبق معادله شرر به ترتیب حدود ۷/۵ نانومتر و ۹/۲۲ نانومتر برآورد شد.



شکل ۱. الگوی پراش XRD کاغذهای مغناطیسی تهیه شده تحت شرایط (الف) بدون شست‌وشو - ۶ میلی‌مول Fe - ۲۵ درجه سانتی‌گراد و (ب) بدون شست‌وشو - ۶ میلی‌مول Fe - ۶۰ درجه سانتی‌گراد

الگوی XRD نشان می‌دهد که نانو ذرات مغناطیسی  $Fe_3O_4$  طی فرایند هم‌رسوبی تشکیل شده‌اند و فاز اصلی را در نمونه‌های کاغذ مغناطیسی تشکیل می‌دهند. البته این الگو تشکیل نانو ذرات هماتیت را نیز به‌عنوان ناخالصی تأیید می‌کند. بر اثر هم‌زدن شدید، بخش بزرگی از این ذرات به علت وجود گرادیان غلظت از بیرون به داخل الیاف و به

با استفاده از دستگاه XRD مدل X-pert Philips Type: PW 3040/60 مجهز به یک تولیدکننده پرتو  $CuK\alpha$  با طول موج ۱/۵۴۲ آنگستروم و ولتاژ شتاب‌دهنده ۴۰ کیلو ولت و جریان ۳۰ میلی‌آمپر تهیه شد. اندازه‌گیری‌ها در محدوده ۲θ صفر تا ۸۰ درجه و با  $\lambda = 0.02$  = اندازه گام، و مدت زمان آشکارسازی ۱ ثانیه انجام گرفت.

همچنین اندازه بلورهای نانو ذرات رسوب‌کرده در سطح الیاف و حفره سلولی از روی الگوی XRD نمونه‌ها و بر اساس رابطه دبای - شرر برای پیک شاخص (۳۱۱) محاسبه شد:

$$D = \frac{0.9\lambda}{\beta \cos \theta} \quad (2)$$

که در این معادله D اندازه بلور بر حسب نانومتر،  $\lambda$  طول موج اشعه ایکس،  $\beta$  عرض پیک‌ها در نصف ارتفاع آن بر حسب رادیان، و  $\theta$  زاویه پراش در پیک مورد نظر است.

### مغناطیس‌سنج ارتعاشی (VSM)<sup>۱</sup>

برای بررسی خواص مغناطیسی نمونه‌های کاغذ مغناطیسی از دستگاه مغناطیس‌سنج ارتعاشی (VSM) مدل MDK در محدوده ۰-۱۵۰۰۰ اورستد (Oe) استفاده شده است. سپس مغناطیسی شدن اشباع<sup>۲</sup>،  $M_s$  (حداکثر میزان مغناطیسی شدن یا حداکثر چگالی شار مغناطیسی)، و وادارندگی اجباری<sup>۳</sup>،  $H_c$  (عدد میدان مغناطیسی اعمال شده در محل تلاقی منحنی با محور افقی در شکل ۳)، از روی منحنی تغییرات میدان مغناطیسی اعمال شده (H) بر حسب مغناطیسی شدن (M) / چگالی شار مغناطیسی (B) تعیین شد.

1. Vibrating Sample Magnetometer
2. Magnetization at Saturation
3. Coercivity

4. Scanning Electron Microscopy

### خواص مغناطیسی

منحنی مغناطیس نمونه‌های کاغذهای مغناطیس تولیدشده، در شکل ۳ نشان داده شده است. همان‌طور که نشان داده شده پسماند مغناطیسی<sup>۵</sup> و وادارندگی اجباری ( $H_c$ ) در این منحنی‌ها مشاهده نمی‌شود که حکایت از رفتار سوپرپارامغناطیس کاغذهای ساخته‌شده دارد. این رفتار را می‌توان به ابعاد کوچک نانو ذرات سنتز شده (۲۰ نانومتر <) نسبت داد که از خود خاصیت سوپرپارامغناطیس را نشان می‌دهند [۳].

کاهش غلظت  $Fe^{2+}$  در محلول پیش‌ترکیب‌ها به تشکیل نانو ذرات با ابعاد کوچک‌تر می‌انجامد و به همین دلیل  $H_c$  نیز کاهش می‌یابد. اندازه نانو ذرات، که توسط تقریب دبای - شرر محاسبه شد، متوسط اندازه ذرات را نشان می‌دهد؛ به عبارتی تعداد زیادی ذره وجود دارد که ابعاد آن‌ها از این مقدار نیز کمتر است. در نتیجه از مقدار میدان وادارندگی اجباری کاسته می‌شود، به طوری که طبق شکل ۳، منحنی از مبدأ عبور کرده و مقدار  $H_c$  در حد صفر است. هرچه این مقدار کم باشد، ماده برای کاربردهای حفاظت الکترومغناطیسی<sup>۶</sup> ایده‌آل می‌شود.

مغناطیسی شدن اشباع ( $M_s$ )، مستقل از اندازه ذرات است و به مقدار کمیت نانو ذرات مغناطیسی بارگذاری شده در داخل الیاف بستگی دارد و با افزایش غلظت آهن در سوسپانسیون و به دنبال آن افزایش بارگذاری میزان آن زیاد می‌شود. همان‌طور که در شکل ۳ نشان داده شده، نمونه‌های الیاف سلولزی پوشش داده‌شده با نانوذرات  $Fe_3O_4$  که در فرایند سنتز آن‌ها از میزان آهن ۶ میلی‌مول و ۲ میلی‌مول استفاده شده است، و مقادیر  $M_s$  به ترتیب برابر با  $2/18 \text{ emu}^y/g$  و  $0/7 \text{ emu/g}$  اندازه‌گیری شده‌اند.

داخل حفره میان‌سلولی نفوذ می‌کنند [۱۱]. افزایش دما طی فرایند هم‌رسوبی، می‌تواند به انبساط حجمی لیکور بینجامد و فوق‌سیرشدگی<sup>۱</sup> سیستم را کاهش دهد. بنابراین سرعت هسته‌گذاری را کاهش و نرخ رشد ذرات را افزایش می‌دهد [۱۲].

### ریزنکارهای SEM

شکل ۲ ریزنگارهای SEM الیاف بارگذاری شده با نانو ذرات  $Fe_3O_4$  را نشان می‌دهد. تصاویر SEM نشان می‌دهند که سطح الیاف به خوبی با نانو ذرات پوشانده شدند. این نوع کپسوله‌شدن به طور کامل از مورفولوژی الیاف تبعیت کرده است. همان‌طور که در این تصاویر به خوبی دیده می‌شود نانو ذرات در سطح الیاف سلولزی به صورت انبوه‌هایی با ابعاد بزرگ‌تر ظاهر شده‌اند. دلیل آن را می‌توان عدم استفاده از مواد فعال سطحی<sup>۲</sup> در این تحقیق ذکر کرد.

نتایج سایر تحقیقات نشان دادند که کلئیدهای مگنتیت به صورت انبوه‌های چندذره‌ای<sup>۳</sup> در محلول آبی وجود دارند و از برهمکنش‌های بین‌ذره‌ای دوقطبی - مغناطیسی<sup>۴</sup> ناشی می‌شوند. طی بارگذاری حفره سلولی، ذرات مگنتیت به صورت انبوه‌های کوچک‌تر وارد حفره سلولی می‌شوند. چون در برش‌های کم (دور هم‌زن) ابعاد انبوه‌ها برای ورود به حفره سلولی از طریق روزنه منافذ خیلی بزرگ است، وجود برش‌های بزرگ که از طریق هم‌زدن شدید تأمین می‌شوند ضروری است.

این ذرات مگنتیت که به صورت انبوه‌های کوچک یا به صورت مجزا وارد حفره سلولی می‌شوند، انبوه‌های بزرگ‌تری را مجدداً در داخل حفره سلولی تشکیل خواهند داد. تشکیل این انبوه‌ها در سطح الیاف به خوبی در شکل‌های میکروسکوپی ارائه شده (شکل ۲) نمایان است.

5. Magnetic Hysteresis

6. Electromagnetic Shielding

7. Electromagnetic unit ( $\text{emu} = 1 \text{ erg} \cdot \text{Oe}^{-1}$ )

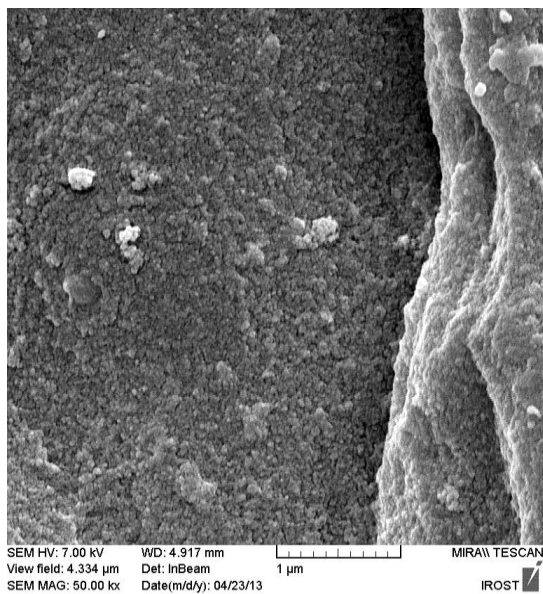
(واحدی شبیه به آمپر است که در سیستم واحدهای CGS برای تشریح قدرت میدان مغناطیسی استفاده می‌شود)

1. Supersaturation

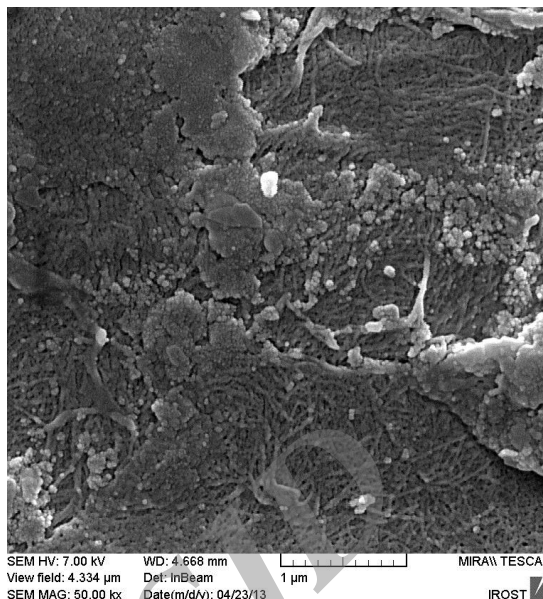
2. Surfactant

3. Multi particle aggregates

4. Magneto-dipole

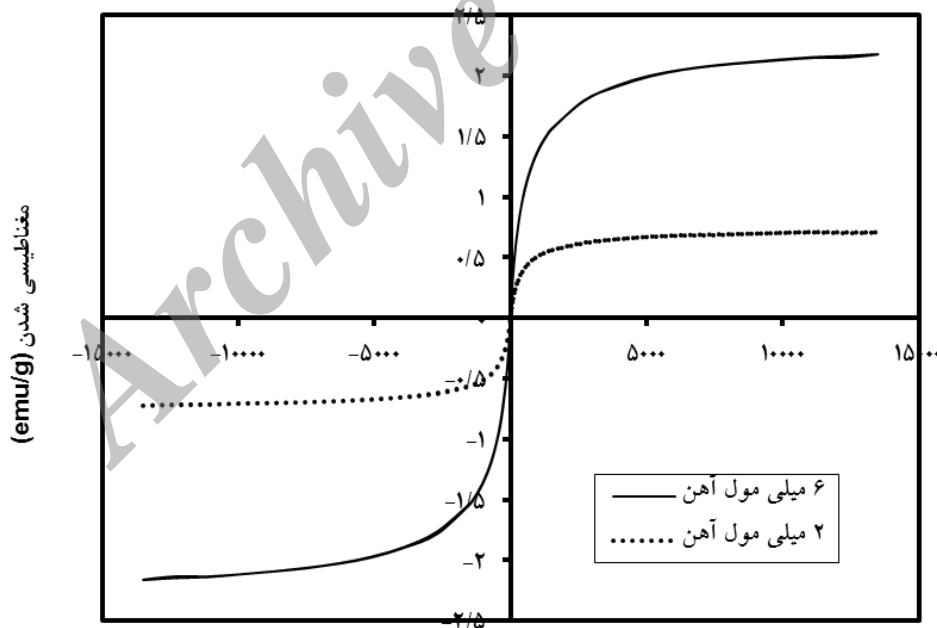


(ب)



(الف)

شکل ۲. ریزنگارهای SEM از سطح کاغذ مغناطیسی: (الف) بدون شست‌وشو - ۶ میلی مول Fe - ۲۵ درجه سانتی گراد و (ب) بدون شست‌وشو - ۶ میلی مول Fe - ۶۰ درجه سانتی گراد



میدان اعمال شده (اورستد)

شکل ۳. حلقه‌های پسماند<sup>۱</sup> کاغذهای مغناطیسی دست‌ساز

1. Hysteresis

## شاخص مقاومت به کشش

شکل ۴ اثر مقدار آهن پیش ترکیب‌ها را بر مقاومت کششی کاغذهای مغناطیسی نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود، در مقایسه با نمونه‌های شاهد، شاخص مقاومت به کشش کاغذ با افزایش بارگذاری روند کاهشی دارد، که این مسئله می‌تواند به دلیل کاهش پیوند فیبر-فیبر در نتیجه رسوب ذرات مغناطیسی بر روی سطح الیاف باشد. ریزنگارهای SEM ارائه شده در شکل ۲ نیز به خوبی رسوب این ذرات را بر سطح الیاف نشان می‌دهد. همچنین نتایج به دست آمده از این تحقیق با نتایج گزارش شده زکریا و همکاران و همچنین چیا و همکاران مطابقت دارد [۹، ۶].

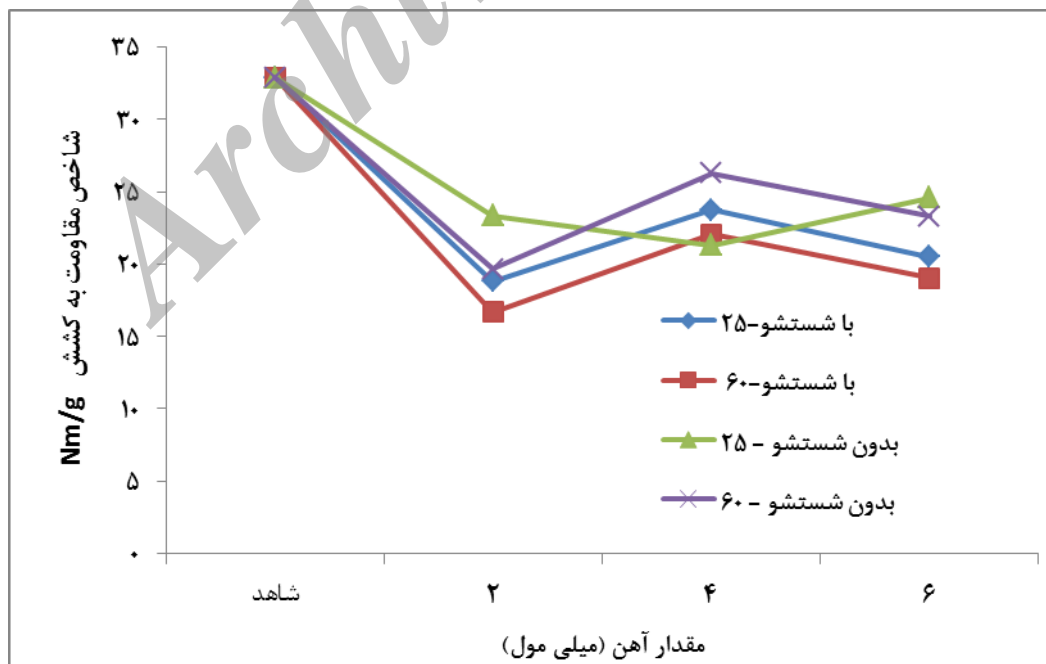
## درجه بارگذاری

شکل ۵ درجه بارگذاری کاغذهای مغناطیسی را نشان می‌دهد. به طور کلی با افزایش غلظت Fe درجه بارگذاری به ویژه در مورد الیاف شسته نشده افزایش

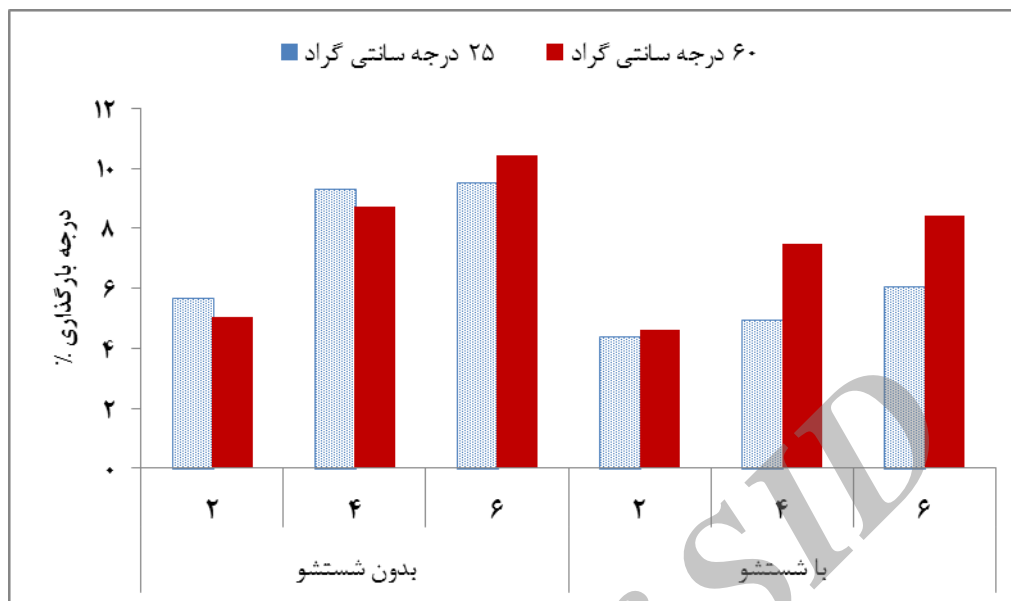
می‌یابد. بیشترین درجه بارگذاری مربوط به تیمار ۶ میلی مول Fe، دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد و بدون شست‌وشو است.

اعمال مرحله شست‌وشو موجب کاهش درجه بارگذاری شده است. در واقع این کاهش می‌تواند به دلیل شسته شدن ذرات مغناطیسی با اتصال ضعیف از سطح الیاف باشد. با این حال اسمال و جانسون تشکیل پیوند هیدروژنی بین اکسیژن در ذرات Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> و هیدروژن گروه‌های کربوکسیل موجود در سطح الیاف سلولزی را مانع شسته شدن آن‌ها می‌دانند [۴].

مقایسه نتایج به دست آمده از سنتز نانو ذرات در دو دمای ۲۵ و ۶۰ درجه سانتی‌گراد نشان می‌دهد که با افزایش دما میزان درجه بارگذاری افزایش می‌یابد. نتایج به دست آمده با نتایج گزارش شده از سوی زکریا و همکاران و همچنین چیا و همکاران مطابقت دارد [۹، ۶].



شکل ۴. تأثیر میزان آهن مصرفی پیش ترکیب‌ها بر شاخص مقاومت به کشش کاغذهای دست‌ساز مغناطیسی



شکل ۵. درجه بارگذاری کاغذهای دست‌ساز مغناطیسی

بر سطح الیاف موجب کاهش مقاومت به کشش کاغذهای مغناطیسی شد. مطابق این تحقیق پیشنهاد می‌شود در تحقیقات بعدی برای افزایش ماندگاری نانو ذرات مغناطیسی و در نتیجه افزایش درجه بارگذاری از مواد کمک‌نگهدارنده مانند پلی اتیلن ایمین (PEI) و پلی آکریلامید (PAM) استفاده شود تا خواص مغناطیسی مثل  $M_s$  بهبود یابد. همچنین استفاده از الیاف بلند و افزودنی‌های مقاومت خشک نیز برای جبران و ارتقای خواص مقاومتی این نوع کاغذها توصیه می‌شود. برای ساخت کاغذهای مغناطیسی قابل استفاده برای ذخیره‌سازی اطلاعات به کاغذهایی با  $H_c$  مناسب نیاز است که استفاده از فریت‌های تجاری با ذرات با ابعاد بزرگ‌تر پیشنهاد می‌شود.

### سپاسگزاری

این تحقیق در قالب طرح پژوهشی شماره ۲۷۹۵۹/۱/۱ با استفاده از اعتبارات پژوهشی دانشگاه تهران انجام شده است که جای قدردانی دارد.

### نتیجه‌گیری

به‌طور کلی نتایج این بررسی نشان داد که از الیاف رنگ‌بری‌نشده باگاس می‌توان برای ساخت کاغذ مغناطیسی استفاده کرد. همچنین با توجه به منحنی‌های پسماند، این کاغذها از خود رفتار سوپرپارامغناطیس نشان دادند. یعنی هیچ گونه پدیده وادارندگی اجباری،  $H_c$  و القاء رماننس<sup>۱</sup> (محل تلاقی منحنی پسماند با محور مغناطیسی شدن) که از خصلت‌های فریت‌های صنعتی مورد استفاده در کاربردهای ذخیره‌سازی اطلاعات است از خود نشان ندادند. همچنین افزایش دما در حین هم‌رسوبی شیمیایی موجب افزایش درجه بارگذاری شد. با افزایش میزان آهن در سوسپانسیون و در نتیجه افزایش درجه بارگذاری، خواص مغناطیسی مانند مغناطیسی شدن اشباع نیز افزایش یافت. شست‌وشو موجب حذف ذرات مغناطیسی سست از سطح الیاف و کاهش درجه بارگذاری شد. همچنین رسوب ذرات

1. Remanence



## References

- [1]. Dong, C., Song, D., Patterson, T., Ragauskas, A., and Deng, Y. (2008). Energy saving in papermaking through filler addition. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 47:8430–8435.
- [2]. Shen, J., Song, Zh., Qian, X., and Ni., Y. (2011). A Review on use of fillers in cellulosic paper for functional applications. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 50:661–666.
- [3]. Marchessault, R.H., Rioux, P., and Raymond, L. (1992). Magnetic cellulose fibres and paper: preparation, processing and properties. *Polymer*, 33: 4024–4028.
- [4]. Small, A.C. and Johnston, J.H. (2009). Novel hybrid materials of magnetic nanoparticles and cellulose fibers. *Journal of Colloid and Interface Science*, 331:122-126.
- [5]. Carrazana-Garcia, J.A., Lopez-Quintela, M.A., and Rivas-Rey, J. (1997). Characterization of ferrite particles synthesized in presence of cellulose fibers, *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 121:61-66.
- [6]. Zakaria S., Ong, B.H., and Van de Ven, T.G.M. (2004). Lumen loading magnetic paper I: flocculation. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical Engineering Aspects*, 251:1-4.
- [7]. Ainun, Z.M., Sarani, Z., Roslinda, Sh., and Mustaffa, H.A. (2010). Cationic starch as a dry strength agent in magnetic papermaking. *Sains Malaysiana*, 39(2):239-242.
- [8]. Mashkour, M., Tajvidi, M., Kimura, T., Kimura, F., and Ebrahimi, Gh. (2011). Fabricating unidirectional magnetic papers using permanent magnets to align magnetic nanoparticles covered natural cellulose fibers. *BioResources*, 6(4):4731-4738.
- [9]. Chia, C.H., Zakaria S., Nguyen K.L., and Abdullah M. (2008). Utilisation of unbleached kenaf fibers for the preparation of magnetic paper. *Industrial Crops and Products*, 28:333-339.
- [10]. Chia, C.H., Zakaria S., Nguyen K.L., Dang, V.Q., and Duong, T.D. (2009). Characterization of magnetic paper using Fourier transform infrared spectroscopy. *Materials Chemistry and Physics*, 113:768-772.
- [11]. Petlicki, J., and Van de Ven, T.G.M. (1994). Kinetics of lumen loading. *Journal of Pulp and Paper Science*, 20:375-382.
- [12]. Bhattacharya, I.N., Pradhan, J.K., Gochhayat, P.K., and Das, S.C. (2002). Factors controlling precipitation of finer size alumina trihydrate. *International Journal of Mineral Processing*, 65:109-124.