

# روشی نو در مقاوم سازی کاغذ، با بهره گیری از مشتقات سلولز

ترجمه شهناز بهلولی

## مقدمه

مشکل بسیاری از کاغذهای تولید شده در نیمه دوم قرن نوزدهم، اسیدی شدن آنهاست؛ به گونه ای که حجم انبوهی از آنها را در قرن بیستم در کتابخانه ها و آرشیوهای ژاپن آسیب زدائی کردند و بسیاری از کارمندان به کار اسیدزدایی از آنها مشغولند. A.Moropoulou در دانشگاه آتن، پیشنهاد کرده که شستشوی ساده کاغذ با آب، می تواند در این مورد مؤثر واقع شود. اسیدزدایی به عنوان راهکاری برای کند کردن روند فرسایش کاغذ مناسب است، ولی تأثیری در مقاوم سازی آن ندارد و کاغذ را برای استفاده دراز مدت ماندگار نمی سازد.

این مقاله، شرح می دهد که فرایند مقاوم سازی مواد کاغذی، می تواند در مورد کاغذهای صحافی شده نیز به کار رود. مشتقات سلولز، به عنوان عامل مقاوم کننده انتخاب شده است؛ زیرا از لحاظ شیمیایی شباهت زیادی به سلولز، یعنی ترکیب اصلی کاغذ دارد. مشتقات سلولز - که در این مقاله برای مقاوم سازی کاغذ نام برده شده است - شامل متیل سلولز، هیدروکسی پروپیل سلولز و اتیل سلولز است. متیل سلولز و کربوکسی متیل سلولز طی آزمایشهای فرسایش زود هنگام، نشان داده اند که پایداری دراز مدتی به وجود می آورند. معمولاً متیل سلولز به صورت محلول در آب به کار می رود، نظیر روش Vienna در کتابخانه ملی اتریش که به وسیله Pedersoli jun به کار گرفته شد.

در این مقاله، فرایند مقاوم سازی - که با دو هدف زیر صورت گرفته است - گزارش می شود:

- بهره گیری از حداقل مقدار آب، در مواردی که از مشتقات سلولزی محلول در آب مثل متیل سلولز یا کربوکسی متیل سلولز استفاده می شود.
  - به کارگیری روشی کاربردی که هم برای کاغذ برگ برگ قابل استفاده باشد و هم بتوان از آن در مقاوم سازی کاغذهای مجلد و صحافی شده بهره برد.
- برای ارزیابی میزان مقاوم سازی متیل سلولز و کربوکسی متیل سلولز،

آزمایشهای مختلفی در ژاپن درباره کاغذ صورت گرفته است از جمله: تعیین مقاومت کاغذ در برابر پارگی، مقاومت در برابر میزان تاخوردگی و مقاومت کششی. محلول آلی هیدروکسی پروپیل سلولز، معمولاً در حفاظت کاغذ با عنوان نمونه کنترل کننده انتخاب می شد. برای ارزیابی ماندگاری خاصیت مقاوم سازی، نمونه های مقاوم کرده کاغذ را به صورت مصنوعی، زود هنگام کهنه کردند و آزمایشهای یاد شده را قبل و بعد از کهنه سازی در مورد آنها انجام دادند.

آماده کردن عامل مقاوم ساز

عوامل مقاوم ساز که در این مطالعه استفاده شده اند:

- متیل سلولز (MC) SM-100، درصد مواد جامد ۹۷/۱، گرانیوی ۱۰۲، ۲ mPas، گروه متوکسیل ۲۹/۴
- کربوکسی متیل سلولز (CMC) ۱۱۳۰، درصد مواد جامد ۹۳/۴، گرانیوی ۱، ۷۶ mPas،  $pH/A = 6$ ، سرعت اتری شدن ۰/۶۸
- هیدروکسی پروپیل سلولز (HPC) با انواع گرانیوی کم و متوسط.
- عامل اسیدزدایی: کربنات منیزیم (قطر متوسط اجزا ۶۱ um).

## آماده سازی MC و CMC

به طور تقریبی ۵۰۰ میلی لیتر آب مقطر (۸۰°C) در یک بشر ریختند و ۲۵ گرم از مشتق سلولزی (MC یا CMC) کم کم به آن افزودند و مخلوط را به آرامی هم زدند. پس از آنکه مشتق سلولزی به طور کامل حل شد، محلول به مدت یک شب در یخچال قرار گرفت تا مخلوط MC خودش را بگیرد؛ به صورتی که وقتی آن را برمی گردانیم از ظرف نریزد و CMC نیز به صورت ژل درآید. مخلوط MC یا ژل CMC را داخل ظرف آبی با گرمای ۶۰°C حرارت دادند تا به صورت مایع غلیظی درآید. ۲۰۰ گرم از محلول را وزن کردند و برداشتند. در این زمان مقدار عامل مقاوم ساز در محلول، ۱۰ گرم بود.

۱۰ گرم کربنات منیزیم در ۴۰۰ گرم متانول ریختند و به ۲۰۰ گرم محلول MC



شکل شماره ۱ - افشاندن امولسیون

یا CMC که دو بار جوشانده شده بود - افزودند. سپس تا حدی که وزن کل به ۸۰۰ گرم برسد، متانول به آن اضافه کردند. مخلوط حاصل از محلول LMC یا CMC را در آب و متانول با دستگاه یکنواخت کننده (homogenizer) با سرعت ۱۵۰۰۰ دور در دقیقه به مدت ۵ دقیقه، بخوبی به هم زدند. سرانجام مخلوطی با ۲۳/۸ درصد وزنی آب و یک مشتق سلولزی (MC یا CMC) با ۷۷۵ درصد وزنی به دست آمد.

پس از کنترل حالت مخلوط، آن را در ظرف پلاستیکی مدرجی ریخته و بدون معطلی از آن استفاده شد. برای کاربرد دوباره، MC یا ژل CMC وزن شد و مخلوط دیگری آماده گردید و آزمایشها تکرار شد.

مخلوط MC یا CMC، هر دو سفید و مایع اند ولی مخلوط CMC را می باید مرتباً به هم زد؛ زیرا وقتی آن را مدتی در جای ثابت قرار می دادند، اجزای آن از یکدیگر جدا می شد.

### آماده سازی HPC

۴۰۰ گرم متانول وزن کردند و در بطری مدرجی ریختند و با همزن مغناطیسی با سرعت ۸۰۰ دور در دقیقه هم زدند. HPC با گرانیوی کم E و با گرانیوی متوسط G، کم کم به متانول افزودند. پس از آنکه HPC به طور کامل در متانول حل شد، مخلوطی از ۱۰ گرم کربنات منیزیم در ۴۰ گرم آب - کم ترین مقدار آبی که می توان مورد استفاده قرار داد - کم کم به محلول اضافه کردند. وقتی مخلوط یکنواخت شد، ایزوپروپانول به آن افزودند تا وزن کل به ۸۰۰ گرم برسد. از آنجا که مخلوط بسیار فرار است، آن را در ظرف پلاستیکی مدرجی ریختند تا بدون معطلی مورد استفاده قرار گیرد. باقیمانده مخلوط، دور ریخته و برای آزمایش بعدی، مخلوط تازه تهیه می شد.

### شرایط آزمایش

#### کاربرد

ما، از یک نوع کاغذ تجاری از خانواده چوب استفاده کردیم که جدول شماره ۱، مقدار الیاف آن را نشان می دهد.

جدول شماره ۱ - چگونگی نمونه کاغذ آزمون شده

Fibre furnish	Grammage (g/m <sup>2</sup> )	Brightness	pH	Tensile index (Nm/g)
Bleached kraft pulp, softwood; 15%	53.0	53.0 - 53.5	5.9	40.0
Groundwood pulp; 70%				
Bleached kraft pulp, hardwood; 15%				

هدف اصلی، بهسازی روشی کاربردی بود که در مورد کتابها نیز به کار آید. چون در این پژوهش، تکیه بر انتخاب عامل مقاوم سازی می باشد، بنابراین کاغذهای تکبرگ برای نمونه ها استفاده شد. ورقهای کاغذهای نمونه، روی صفحه نازکی که به کمک نوارهای مغناطیسی با حاشیه ۵ میلیمتری محافظت می شود، قرار داده شد. تنگی بادی به کمپرسور ۷-۵ اتمسفری متصل شده بود. از یک فاصله ۵۰-۳۰ سانتیمتری، عامل مقاوم ساز، دو بار بر روی هر طرف نمونه افشانده شد. (شکل شماره ۱)

#### خشک کردن

صفحات کاغذ نمونه را، در دمای اتاق با هوا خشک کردند. مقدار عامل

مقاوم ساز افشانده شده بر روی کاغذ، با وزن کردن مقدار کربنات منیزیم - که در تهیه آن مقدار عامل استفاده شده بود - تعیین گردید.

کاغذ نمونه را در کوره ای با حرارت ۴۵۰°C به مدت ۱۲ ساعت حرارت دادند. چون وزن کربنات منیزیم در این دما کم و زیاد نمی شود، افزایش مقدار خاکستر ناشی از کربنات منیزیم در نظر گرفته می شود. از آنجا که مقادیر عامل مقاوم ساز و کربنات منیزیم مساوی بود، نتیجه گرفتیم که مشتق سلولزی به کار رفته در نمونه کاغذ، باید برابر با مقدار کربنات منیزیم باشد.

#### فرسودن زود هنگام

فرایند فرسوده کردن زود هنگام، در آونای با چرخش هوادر درجه حرارت ۱۲۰°C به صورت خشک با استاندارد ISO 5630-4 صورت گرفت. مدت زمانهای کهنه سازی زود هنگام تصنعی ۰، ۱، ۵، ۱۰، ۲۰ روز بود. پس از گذشت مدت زمانهای یاد شده، رطوبت نمونه بر طبق استاندارد ISO 187 بررسی می گردید.

#### اندازه گیریهای فیزیکی کاغذ

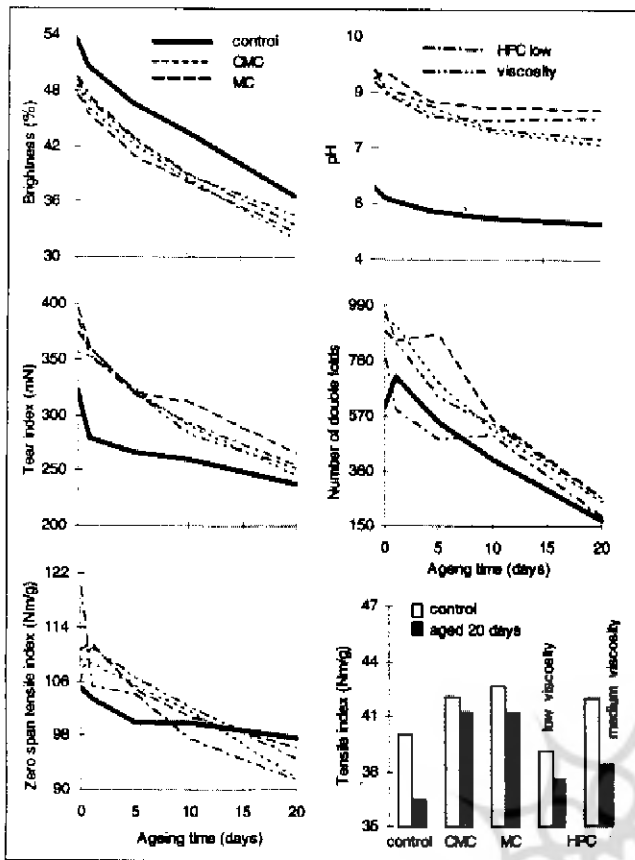
- وزن کاغذ، طبق استاندارد ISO 536 در آزمایشگاهی که دما و رطوبتش کنترل و بر مقادیر ۲۳°C و رطوبت نسبی ۵۰٪ تنظیم شده بود، اندازه گیری گردید.

- طبق استاندارد ISO 2470، میزان روشنی (شفافیت) در مرکز نمونه برای اندازه گیری مقدار میانگین، با استفاده از رنگ منبع اسپکتروفتومتر (PF-10) اندازه گیری شد.

- pH سطح در پنج نقطه کاغذ نمونه با استفاده از pH سنج متحرک اندازه گیری شد و میانگین آن محاسبه گردید.

- مقاومت در برابر پارگی، با استفاده از دستگاه آزمون پارگی (Elmendorf) در آزمایشگاه بادما و رطوبت کنترل شده، طبق استاندارد ISO 1974 اندازه گیری شد. در مواردی که نمونه خیلی ترد و شکننده بود، فشار دستگاه را به یک سوم کاهش دادند تا اینکه کاغذ نمونه، بعد از چهار بار تا شدن به صورت عمود بر راستای الیاف پاره شد.

- مقاومت در برابر تا شدن، با دستگاه MIT-folding بر طبق استاندارد ISO 5626 اندازه گیری شد. مطابق با مقاومت پارگی، فشار دستگاه به ۳۰۰



شکل شماره ۲- تأثیر کهنه سازی تسریع شده بر پارامترهای مختلف آزمایش

عملیات، بیش از نمونه شاهد بود. به دنبال فرسودگی تسریع شده (کهنگی زودرس)، مقاومت کششی نمونه شاهد آشکارا کاهش یافت، ولی تمام نمونه های فرایند شده، مقادیر بهتری نشان دادند؛ پس می توان نتیجه مقاومت سازی با استفاده از MC، بسیار قابل توجه و باارزش می باشد.

#### مقاومت تاخوردگی

تمام نمونه ها، مقاومت بیش تری در قیاس با نمونه شاهد از خود نشان دادند. پس از انجام کهنه سازی زودرس به مدت ۱ و ۵ روز، نمونه HPC با گرانی کمی، اندکی کم تر از نمونه شاهد را نشان داد. بسادگی نمی توان توضیحی برای این پدیده یافت؛ احتمال دارد که مقادیر اختلاف ناشی از خطای اندازه گیری در حاشیه های کاغذ باشد. پس از کهنه سازی زود هنگام طولانی تر، تمام عوامل مقاوم ساز، تأثیر خود را به اثبات رساندند ولی مجدداً HPC با گرانی کمی تر، دارای میزان تأثیر کم تری از بقیه بود. HPC با گرانی کمی متوسط تأثیر کمی نشان داد؛ بنابراین گمان می رود میزان گرانی (وزن مولکولی) مشتق سلولزی، بر میزان مقاوم سازی آن مؤثر است.

#### مقاومت کششی (Zero-span)

مقادیر مقاومت کششی تمام نمونه های فرایند شده پس از انجام کهنه سازی زودرس تا مدت زمان ۵ روز، بیش از نمونه شاهد بود، ولی پس از ۲۰ روز کم تر از نمونه شاهد بود. این، نشان دهنده آن است که مقاوم سازی

گرم رسید و آزمایش در جهت طولی انجام شد.

- مقاومت کششی (Zero-span) در جهت ماشین، به وسیله دستگاه آزمایش مقاومت کششی (PULMAC Z-SPAN1000) بر طبق استاندارد ISO153561 صورت گرفت. با در نظر گرفتن وزنه های مختلف، ضریب کششی (Zero-span) محاسبه گردید.

- مقاومت کششی، با استفاده از دستگاه آزمایش مقاومت کششی و با سرعت افزایش طول ثابت، بر طبق استاندارد ISO1924-2 اندازه گیری شد و سپس به عنوان ضریب کششی پس از تصحیح نوسان وزن ارائه گردید.

## نتایج و بحث

### مقادیر مشتقات سلولزی به کار رفته در کاغذ

در بررسی های اولیه، دریافتیم که برای مقاوم سازی مؤثر کاغذ، حداقل ۰/۳ گرم بر متر مکعب می باید از عامل مقاوم ساز به کار برده شود. بنابراین دریافتیم که روش افشاندن برای تزریق مقدار مورد نیاز ماده، مناسب می باشد. جدول شماره ۲، مقادیر عوامل مقاوم ساز تزریق شده در کاغذ را نشان می دهد و مشخص می کند کدامیک به مقدار مورد انتظار نزدیک است.

جدول شماره ۲ - مقادیر عامل مقاوم ساز تزریق شده در نمونه کاغذ

Resins	MC	HPC	
		Low viscosity	Medium viscosity
Coating weight (g/m <sup>2</sup> )	0.39	0.34	0.63

### پیامد فرسودگی تسریع شده

اثر فرسایش تسریع شده (۱۲۰°C و خشک) بر پارامترهای آزمایش، در شکل ۲ نمایانده شده است.

### مقدار روشنی (ISO)

در همه حالات، مقادیر پس از عملیات مقاوم سازی کم تر بود. مقدار روشنی کاغذ با استفاده از نور منعکس شده از سطح نمونه، اندازه گیری شد. مقدار نور جذب شده در سطح نمونه و مساحت مشخص شده آن، در اثر حضور عامل مقاوم ساز کاهش یافت. بنابراین مقدار روشنی، در اثر عامل مقاوم ساز کاهش می یابد. به نظر می رسد این کاهش، در نگهداری طولانی مدت تأثیر نداشته باشد؛ زیرا حتی پس از کهنه شدن زود هنگام، تفاوت بین نمونه ها و نمونه شاهد افزایش نمی یابد و تفاوت پس از ۲۰ روز کهنگی زودرس، به مقدار قابل ملاحظه ای کاهش یافت.

### pH سطحی کاغذ

از آنجا که کرنات منیزیم برای انجام همزمان اسیدزدایی به عامل مقاوم ساز افزوده شد، pH تمام نمونه های درمان شده، بیش از ۹ بود. حتی پس از ۲۰ روز کهنگی زود هنگام، کاغذهای نمونه همچنان قلیایی باقی مانده بودند که این خود، تأثیر فرایند اسیدزدایی را نشان می دهد.

### مقاومت در برابر پارگی

نتایج آزمون مقاومت در برابر پارگی در تمام نمونه ها بلافاصله پس از

با مشتق سلولزی، پیوندهای بین الیاف را بهتر از خود الیاف بهبود می بخشد. همچنین، ممکن است انعطاف پذیری عامل مقاوم ساز در خلال فرایند کهنه سازی زودرس کاهش یافته باشد؛ از این رو الیاف را آسیب پذیر می سازد.

### مقاومت کششی

چون مقدار نمونه ها محدود بود، اندازه گیریهای مقاومت کششی تنها پس از ۲۰ روز کهنه سازی زودرس می توانست انجام شود. در حالی که مقدار مقاومت نمونه شاهد مطابق با آن، پس از کهنه شدن زودرس کاهش می یافت؛ بیش تر نمونه ها تنها اختلاف ناچیزی قبل و پس از کهنگی زودرس از خود نشان دادند که این مسئله، بیانگر تأثیر مقاوم سازی است؛ بخصوص MC و CMC تأثیر مقاوم سازی چشمگیری نشان دادند، در حالی که مقاومت نمونه های کار شده با HPC قدری پایین بود، مخصوصاً وقتی امولسیون با گرانی متوسط مورد استفاده قرار گرفت.

### بررسی خواص فیزیکی کاغذ

مقاوم سازی کاغذ با استفاده از MC و CMC و یا HPC مقاومت کششی، مقاومت در برابر پارگی و تحمل تاخوردن را در کاغذ افزایش داد که نشان دهنده تأثیر عامل مقاوم ساز است. این اثرگذاری در طول فرایند فرسودگی تسریع شده در ۱۲۰۵۰ و به مدت ۲۰ روز باقی ماند که بیانگر آن است که خاصیت مقاوم سازی در زمانی طولانی ماندگار می ماند و این در حالی است که در مقاومت کششی (Zero-span) بهبودی مشاهده نشد که یکی از ضرایب اندازه گیری مقاومت لیف به شمار می رود. pH سطحی کاغذ، تأثیر کرنات منیزیم را در اسیدزدایی نشان داد. استفاده از عوامل مقاوم ساز و اسیدزدابه طور همزمان، این امکان را پیش می آورد که نمونه های کاغذ، در یک زمان هم اسیدزدایی و هم مقاوم تر شوند.

### طرزهای آینده

برای ایمنی بیش تر و کم خطر بودن فرایند در پژوهشهای بعدی، به جای متانول از اتانول استفاده خواهد شد. همچنین طرح آینده ما، شامل بررسی تأثیر عامل مقاوم ساز بر انواع کاغذ و همچنین کاغذهای آسیب دیده می باشد و رابطه بین خواص فیزیکی و مشاهدات عینی هم بررسی خواهد شد.

### نتیجه گیری

مشتمقات سلولز به عنوان مقاوم ساز انتخاب شد، چونکه از لحاظ شیمیایی، ساختمان شبیه کاغذ دارند. ترکیباتی نظیر MC و CMC که باعث پایداری درازمدت کاغذ شدند، در حلالهای آلی قابل حل نیستند؛ اگرچه ما امولسیون از این مشتقات سلولزی با حل کامل آن در مقدار حداقل آب به دست آوردیم، سپس آن را در یک حلال آلی به طور یکنواخت پخش کردیم، اما این باعث می شود که زمان خشک شدن کاهش یابد و از تغییر شکل مواد کاغذی در اثر رطوبت جلوگیری شود.

افشاندن مخلوط، کاربرد آن را در مورد کاغذ ساده می کند. با افشاندن این مخلوط، همان مقدار مواد جذب کاغذ خواهد شد که در روش پوشاندن با غلتک بر روی کاغذ استفاده می شد و همان تأثیر مقاوم سازی را دارد. روش افشانه پاشی، نه تنها برای صفحات تکبرگ بلکه در کتابهای صحافی شده نیز

قابل استفاده است. افزودن یک عامل اسیدزدایی نظیر کرنات منیزیم به امولسیون مقاوم ساز، موجب اسیدزدایی و مقاوم سازی همزمان کاغذ می شود. در خصوص خواص فیزیکی نیز، MC بهترین نتایج را در مقاومت پارگی داخلی و تحمل تاخوردگی نشان داد که معمولاً به عنوان ضرایب فرسودگی در نظر گرفته می شود. MC و CMC محلول در آب، در مقاوم سازی قبل و پس از فرسودگی مصنوعی مؤثر بود؛ در حالی که HPC محلول در خلال تأثیر کم تری داشت. حتی در حالتی که مقدار به کار رفته آن بیش از انواع محلول در آب بود، بخصوص HPC با گرانی کم (وزن مولکولی کم) هیچ تأثیری نداشت.

### چکیده

نمونه های کاغذ تهیه شده از چوب (۷۰ درصد)، با افشاندن آمیزه ای از محلول مشتق سلولزی در متانول و مقداری کرنات منیزیم مقاوم سازی شد. برای دستیابی به تأثیرات مقاوم سازی و اسیدزدایی و پایداری در طول زمان، pH و تعدادی خواص مکانیکی قبل و پس از کهنگی در شرایط خشک و گرم در ۱۲۰۵۰ برای ۱، ۵، ۱۰، ۱۵ و ۲۰ روز اندازه گیری شد. به عنوان یک تأثیر جانبی منفی، می توان کم شدن روشنی و درخشندگی کاغذ را در طول فرایند مقاوم سازی و فرسودگی ذکر نمود.

همچنین هیدروکسی پروپیل سلولز، به عنوان آخرین عامل مؤثر در مقاوم سازی شناسایی شد. تحقیقات بیش تر، استفاده از اتانول را در ایمن تر نمودن فرایند و به کار بردن آن در دو نوع نمونه کاغذ سالم و آسیب دیده بررسی خواهد کرد.

