

# سازوکار (مکانیسم) پیشرفت اسیدی شدن در مجموعه کتاب‌های ساخته شده از کاغذ قلیایی در کتابخانه

یو کینکو موچی زوکی، هیروشی ایتسومورا و توشی هارو انوما  
مترجم: فرشته ابراهیمی

## چکیده:

سازوکار اسیدی شدن کاغذ، با مطالعه بر روی ۱۲۰ جفت نسخه یکسان از کتاب‌های منتشر شده از سال ۱۹۷۱ تا ۲۰۱۰ که در دو کتابخانه دانشگاهی در ژاپن نگهداری می‌شود، مورد بررسی قرار گرفت. PH لبه کاغذهای قلیایی کتاب‌هایی که ۵-۱۰ سال از انتشار آن‌ها می‌گذشت، از ۷/۵ به ۶/۴ و کتاب‌هایی که ۱۰-۱۵ سال از انتشار آن‌ها می‌گذشت، به ۵/۸ کاهش یافته بود. PH در لبه‌ها ۵/۴ و در مرکز ورق ۷/۰ بود. PH اسیدی در لبه‌ها نسبت به مرکز کاغذ بیشتر بود. PH لبه کاغذهای قلیایی کتاب‌های ذخیره شده در طبقه بالای همکف به دلیل قرار گرفتن بیشتر در معرض هوای آزاد و آلاینده‌ها در مقایسه با کاغذهای ذخیره شده در زیرزمین کمتر بود. تجزیه و تحلیل عنصری، رسوب اکسید نیتروژن را نشان داد، اما نتوانست رسوب اکسید گوگرد را در لبه‌های کاغذ ثابت کند. رسوب آلاینده‌های موجود در هوای آزاد، باعث کاهش چشمگیر PH لبه‌های کاغذ شد. در دهه ۱۹۸۰، کاغذ قلیایی به‌طور فزاینده‌ای در تولید کتاب استفاده می‌شد و فرض بر این بود که دیگر اسیدی شدن کتاب اتفاق نخواهد افتاد. با این حال، این مطالعه نشان داد که حتی در کاغذهای قلیایی، فرآیندهای اسیدی شدن در طول زمان صورت می‌گیرد.

## کلیدواژه‌ها

اسیدی شدن، آلودگی هوا، کاغذ قلیایی، تجزیه و تحلیل عنصری، کتاب‌های کتابخانه.

آرشیو ملی، سال ششم، شماره سوم و چهارم، پاییز و زمستان ۱۳۹۹، شماره پیاپی ۲۳ و ۲۴؛

صص: ۲۵۴-۲۶۱

# سازوکار (مکانیسم) <sup>۱</sup> پیشرفت اسیدی شدن در مجموعه کتاب‌های ساخته‌شده از کاغذ قلیایی در کتابخانه <sup>۲</sup>

یوکینکو موچی زوکی <sup>۳</sup>، هیروشی ایتسومورا <sup>۴</sup> و توشی هارو انوما <sup>۵</sup>  
مترجم: فرشته ابراهیمی <sup>۶</sup>

## 1. Mechanism

۲. این مقاله ترجمه‌ای است از:

Yukinko Mochizuki, Hiroshi Itsumura and Toshiharu Enomae. (2020). Mechanism of Acidification that Progresses in Library Collections of Books Made of Alkaline Paper. Restaur (International Journal for the Preservation of Library and Archival Material), 2020; 41(3): 153-172. <https://doi.org/10.1515/res-2020-0008>

۳. Toshiharu Enomae، دانشگاه تسوکوبا، دانشکده زیست و علوم محیطی، تسوکوبا، ای باراکسی، ژاپن. [enomae.toshiharu.fw@u.tsukuba.ac.jp](mailto:enomae.toshiharu.fw@u.tsukuba.ac.jp)

۴. Yukinko Mochizuki دانشگاه تسوکوبا، دانشکده زیست و علوم محیطی، تسوکوبا، ای باراکسی، ژاپن.

۵. Hiroshi Itsumura دانشگاه تسوکوبا، دانشکده کتابداری، علم اطلاعات و دانش‌شناسی، تسوکوبا، ای باراکسی، ژاپن.

۶. ?????

## ۱- معرفی

اسیدی شدن کاغذ، پدیده‌ای است که در آن سلولز -یکی از اجزای اصلی کاغذ- توسط یک اسید افزودنی در طول تولید، هیدرولیز می‌شود و اسیدهای آلی تولید می‌کند که کاغذ را بیشتر اسیدی می‌کند. اسیدی شدن، عاملی است که استحکام کاغذ را کاهش می‌دهد. هنگامی که کاغذ کتاب‌ها اسیدی‌تر می‌شوند، به دلیل ضعیف شدن کمتر مورد استفاده قرار می‌گیرند.

سولفات آلومینیوم -کمک نگهدارنده اسیدی برای کاغذ و همچنین ماده‌ای است که از پخش شدن جوهر با پایه آب جلوگیری می‌کند- به عنوان ماده‌ای شناخته شده است که باعث اسیدی شدن کاغذ می‌شود. حتی اکسیژن به تنهایی باعث تخریب طبیعی (پیری) سلولز می‌شود. همچنین اسیدی شدن توسط آلاینده‌های هوا نیز گزارش شده است. سه نوع اسیدی شدن ذکر شده در بالا به تفصیل شرح داده خواهد شد. اندازه رزین که به عنوان یک بازدارنده پخش شدن جوهر عمل می‌کند (عامل اندازه‌گیری)، صرفاً با افزودن آن در حین کاغذسازی در کاغذ باقی نمی‌ماند. بنابراین، زاج معمولاً برای حفظ اندازه رزین روی الیاف استفاده می‌شود. این افزودنی اسیدی باعث هیدرولیز اسیدی سلولز می‌شود و زنجیره مولکولی را کوتاه می‌کند که باعث شکنندگی کاغذ می‌شود. در سال ۱۹۵۷، محافظ آمریکایی ویلیام جی بارو (۱۹۵۹، ۱۹۵۷) تأثیر اسیدی شدن بر استحکام کاغذ ۵۰۰ کتاب منتشر شده از سال ۱۹۰۰ تا ۱۹۴۹ را بررسی کرد و هر ۱۰ سال ۱۰۰ کتاب را آزمایش کرد. این تحقیق روشن کرد که کاغذهای زیادی در کتاب‌ها وجود دارد که آنقدر شکننده شده‌اند که دیگر امکان ورق زدن ساده وجود ندارد و کتاب‌ها دیگر قابل استفاده



نیستند؛ بنابراین، کتابخانه‌ها در اروپا و ایالات متحده شروع به بررسی وضعیت مجموعه‌های خود و در نظر گرفتن اقدامات متقابل علیه خراب‌شدن کردند (Walker et al. 1985).

در طی تجزیه طبیعی، انتهای احیاکننده مولکول‌های سلولز اکسید شده و اسیدهای آلی تولید می‌کنند. با این حال، از آنجایی که زنجیره‌های سلولزی بسیار طولانی هستند و در برابر اکسیداسیون هوا بسیار حساس نیستند، هیدرولیز اسید به کندی پیشرفت می‌کند. آلاینده‌های هوا شامل اکسیدهای نیتروژن ( $\text{NO}_x$ ) و اکسیدهای گوگرد ( $\text{SO}_x$ ) هستند. این اکسیدان‌ها با رطوبتی که روی الیاف کاغذ جذب می‌شود واکنش نشان می‌دهند و اسیدهای نیتروژن و سولفوریک تولید می‌کنند یا مستقیماً سلولز را اکسید می‌کنند تا اسیدهای آلی تولید کنند و در نتیجه کاغذ را اسیدی می‌کنند. دی‌اکسید نیتروژن موجود در دود ساطع شده از کارخانه‌ها و گاز خروجی از خودروها وقتی در آب حل می‌شود به اسید نیتریک تبدیل می‌شود و در نتیجه هیدرولیز اسید را تقویت می‌کند. سازوکارهای واکنش‌های اکسیداسیون با سلولز توسط فلوریل، فلیدر و لسلس (۱۹۹۰) و پرونیویز و همکارانش به تفصیل شرح داده شده است (۲۰۰۱).

قبلاً در اوایل قرن بیستم، کتابداران در مورد خراب‌شدن سریع کتاب توسط گاز اکسیدان هشدار دادند. کیمبرلی و املی (۱۹۳۳) مقالاتی از کتاب‌های یکسان شامل ۸۵ نسخه تکراری از ۳۱ عنوان مختلف از ۲۳ کتابخانه در مکان‌های کاملاً مجزا را مورد بررسی قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که کاغذهای کتاب‌های ذخیره‌شده در مؤسساتی در شهر به طور یکنواخت خراب‌تر از حجم‌های مشابه در کتابخانه‌های حومه شهر است. کاغذ کتاب‌های شهر اسیدیته بالاتر، محتوای آلفا سلولز کمتر و اعداد مس بالاتر را نشان می‌دهد، به این معنی که زنجیره‌های مولکولی سلولز کوتاه شده و استقامت تاشوی آن کمتر است، که نشان‌دهنده زوال شیمیایی الیاف ناشی از گاز دی‌اکسید گوگرد است. کاغذهای حاوی پارچه و الیاف چوبی عاری از مواد شیمیایی نسبت به کاغذهایی که حاوی مقدار قابل توجهی الیاف چوب آسیاب شده بودند همیشه در شرایط بهتری قرار داشتند. کیمبرلی و اسکرینر (۱۹۳۴) سعی کردند دی‌اکسید گوگرد را از هوای ورودی به کتابخانه با عبور از محلول آبی قلیایی حذف کنند. حذف کامل دی‌اکسید گوگرد با شستشوی هوا با آب قلیایی شده با PH: ۸٫۴-۹٫۲ به دست آمد. هادسون (۱۹۶۷) اسیدیته لبه‌های بالایی و جلویی و مرکز صفحات کتاب‌های قرن ۱۷ و ۱۸ را از دو کتابخانه در انگلستان با محیط‌های مختلف آلودگی هوا اندازه‌گیری کرد. کتاب‌هایی که در کتابخانه Portico واقع در یک محیط آلوده هوا قرار دارند، مقادیر PH پایین‌تری را در نواحی لبه بالا و جلو نسبت به مرکز صفحه نشان دادند. این تمایل کمتر در کتابخانه Chatsworth برجسته بود. با این حال، اسیدیته مرکز صفحه تقریباً در دو کتابخانه یکسان بود، احتمالاً به این دلیل که لبه‌های بالایی و جلویی نسبت به آلاینده‌های جوی حساس‌تر بودند. اسمیت (۱۹۷۲) وضعیت اسیدی غیرمعمول کاغذ را در کتاب‌های کتابخانه



نیوبری (NL) شیکاگو با نسخه‌های مشابه از کتابخانه دانشگاه لارنس (LUL)، اپلتون، WI و کتابخانه‌های تحقیقاتی کتابخانه عمومی نیویورک (NYPL)، NYC، NY، مقایسه کرد. نتایج آزمایش‌های اسیدیته به شرح ذیل است: کاغذ موجود در کتاب‌های NL، ده برابر اسیدی‌تر از کتاب‌های مشابه با آن که در کتابخانه‌های اپلتون، ویسکانسین نگهداری می‌شوند، بود و دلیل آن سطح بالاتر آلودگی هوا در شیکاگو بود. کاغذهای موجود در کتاب‌های NYPL اسیدی‌ترین کاغذ بودند که مطابق با نتایج استقامت تاشو MIT بود و بیشتر مجموعه‌های کتابخانه‌ای تحقیقاتی مانند مجموعه‌های NYPL در وضعیت بحرانی وخیم‌تری قرار می‌گرفتند، مگر اینکه اقدامات اصلاحی در آینده نزدیک انجام شود.

یاسو (۱۹۸۶) میزان تخریب را در بین شماره‌های یکسان مجلاتی که در کتابخانه شورای ملی ژاپن (NDL) و کتابخانه دانشگاه توکیو (UTL) نگهداری می‌شوند، مقایسه کرد. مجموعه‌ای از مجلات برای مدت طولانی در کتابخانه‌های انگلستان نگهداری می‌شد تا اینکه در سال‌های ۱۸۹۱، ۱۹۲۴، ۱۹۳۰ و ۱۹۳۱ توسط UTL دریافت شد. مجموعه دیگر برای مدت طولانی‌تری در کتابخانه‌های نیویورک نگهداری می‌شد تا اینکه در سال‌های ۱۹۶۰، ۱۹۸۰ و ۱۹۸۱ توسط NDL دریافت شد. تخریب نشریات در NDL در حال پیشرفت بود. در نتیجه، مجلاتی که برای مدت طولانی‌تری در معرض آلودگی هوای جدی‌تری در نیویورک قرار داشتند، بدتر شدند.

ساساکی، لی و اینابا (۲۰۱۴) اسیدیته و مقدار یون‌های اسیدسولفوریک و آلی موجود در کاغذ را در یک مکان در همان صفحه در پنج کتاب به منظور بررسی اسیدی شدن ناشی از آلاینده‌های هوا بررسی کردند. این مطالعه شامل مجلات غربی منتشر شده در سال‌های ۱۸۹۲، ۱۸۹۷، ۱۹۱۹ و ۱۹۲۱ بود که بر اساس تاریخ انتشار از اسپارتو/پنبه/کنف، اسپارتو/چوب نرم و خمیرهای چوب نرم ساخته شده بودند. آن‌ها با یک نسخه خطی چینی که در حدود سال ۱۸۵۰ منتشر و بر روی کاغذ تولیدشده از خمیر بامبو چاپ شده بود مقایسه شدند. این مطالعه نشان داد که مجلات غربی دارای PH بالا در لبه‌ها و PH پایین در مرکز همان صفحه بودند، در حالی که کتاب چینی دارای PH پایین در لبه‌ها و PH بالا در مرکز بود. مقدار یون‌های اسید آلی در مرکز مجلات غربی بیشتر و در لبه‌های کتاب چینی کمی بیشتر بود. هر دو کتاب دارای مقدار بیشتری یون سولفات در لبه‌ها نسبت به مرکز بودند. با این حال، تفاوت در مقدار شناسایی شده بین مرکز و لبه‌ها تقریباً ۱۰ میکرومول بر گرم برای مجلات غربی و تقریباً ۸۰ میکرومول بر گرم برای کتاب چینی بود. محققان حدس زدند که این تفاوت به محیط انبار بستگی دارد. علاوه بر این، میزان سولفات و یون‌های اسید آلی، هر دو، هیچ ارتباط واضحی با PH برای مجلات غربی نشان ندادند. نکته مهم، غیرممکن است که بتوان تعیین کرد نتایج، یک روند کلی را نشان می‌دهند، زیرا آن‌ها فقط چهار جلد مجله و یک کتاب چینی را آزمایش کردند.



بنابراین، در یک مطالعه گذشته (Mochizuki 2018)، نویسندگان PH را در همان موقعیت، از ۱۰۴ کتاب چینی منتشر شده در دوره ۱۵۱۱-۱۹۱۱ که در کتابخانه مرکزی دانشگاه تسوکوبا (UT) نگهداری می‌شدند، اندازه‌گیری کردند. مشابه مطالعه ساساکی، PH کتاب‌های چینی ساخته‌شده از کاغذ بامبو و کاغذ سنشی (کاغذهایی جهت تهیه کار دستی در ژاپن)، در لبه‌ها نسبت به مرکز صفحه کمتر است. در میان تمام کتاب‌های چینی، کتاب‌هایی که از کاغذ نوشته شده، اسیدی ساخته‌شده از خمیر چوب و حاوی سولفات‌آلومینیوم تشکیل شده‌اند، سطوح PH مشابهی در تمام موقعیت‌های اندازه‌گیری شده داشتند، که نشان می‌دهد تجمع اسیدهای آلی در مرکز، ناشی از سولفات‌آلومینیوم و چسبندگی هوای اسیدی است و آلاینده‌ها در لبه‌ها متعادل بودند. این مطالعه به این نتیجه رسید که کتاب‌های چینی موجود در کتابخانه نیز تحت تأثیر آلودگی هوا قرار گرفته‌اند.

با این حال، از آنجایی که تمام کتاب‌های چینی حداکثر تا سال ۱۹۱۱ منتشر شده‌اند، ممکن است آلاینده‌های هوا قبل از دریافت توسط کتابخانه روی سطوح آن‌ها رسوب کرده باشند. بنابراین، فرآیند اسیدی شدن همیشه به دلیل چسبندگی آلاینده به لبه‌ها رخ نمی‌دهد. در کتابخانه، تعدادی کتاب ساخته‌شده از کاغذ خمیر چوب و حاوی سولفات‌آلومینیوم وجود دارد. همانطور که قبلاً بیان شد، رو به زوال هستند و برخی کتاب‌های دیگر نیز از کاغذ قلیایی ساخته شده‌اند (Manglik 2014). در حال حاضر، از کاغذ قلیایی در اکثر کتاب‌های موجود در کتابخانه استفاده می‌شود (شورای ملی کتابخانه، بخش مربوط به کتاب‌شناسی، ۲۰۰۸). این افزایش استفاده از کاغذ قلیایی نگرانی از اسیدی شدن کتاب‌ها را کاهش داد و از اینرو، نظرسنجی‌های زیادی در مورد این موضوع انجام نشده است. هدف این مطالعه روشن کردن وضعیت اسیدی شدن مجموعه‌های کتابخانه‌ای منتشر شده پس از سال ۱۹۱۱ و بررسی تأثیر آلودگی هوا با تمرکز بر کتاب‌های اخیراً منتشر شده با استفاده از کاغذهای نوشته شده قلیایی است.

## ۲ بخش تجربی

### ۲.۱. مواد

PH کاغذهای ژاپنی، چینی و غربی منتشر شده بین سال‌های ۱۹۱۱ و ۲۰۱۰ که در مرکز رسانه میتا دانشگاه کیو KU نگهداری می‌شد و کتاب‌های ژاپنی منتشر شده بین سال‌های ۱۹۷۱ و ۲۰۱۰ در UT اندازه‌گیری شد. همه کتاب‌های ژاپنی در UT از یک نسخه و انتشارات یکسان در KU بودند، که شرایط تولید یکسان کاغذ را نشان می‌دهد و از نظر نوع اجزا، ترکیب، و PH اولیه در زمان انتشار دلالت بر ویژگی‌های یکسانی دارد. در این تحقیق، کتاب‌های ژاپنی، چینی و غربی به ترتیب به کتاب‌های منتشر شده در ژاپن، چین و کشورهای غربی اشاره دارد. ما فرض

می‌کنیم که کاغذ چاپ‌شده از فرآورده داخلی استفاده‌شده است.

دو ساختمان کتابخانه در KU و UT محیط‌های متفاوتی دارند که کتاب‌های ژاپنی در آن نگهداری می‌شوند. KU در میناتو-کیو، متروپولیتن توکیو با میانگین سالانه دما و بارندگی به ترتیب ۱۵/۴ درجه سانتیگراد و ۱۵۲۹ میلی‌متر در محیطی با ترافیک سنگین می‌باشد. باین‌حال، هیچ پنجره‌ای برای تهویه وجود ندارد زیرا قفسه کتاب در طبقه زیرزمین دوم قرار دارد. برعکس، UT در شهر تسوکوبا، استان ایباراکی با میانگین سالانه دما و بارندگی به ترتیب ۱۳/۹ درجه سانتیگراد و ۱۲۸۳ میلی‌متر با ترافیک نسبتاً کم است. وقتی شرایط آب و هوا و آگروز خودرو مقایسه می‌شود، به‌نظر می‌رسد که محیط نگهداری کتاب UT برای ذخیره‌سازی کتاب‌ها مناسب‌تر است. باین‌حال، محل نگهداری کتاب در طبقه سوم در UT است و پنجره‌هایی در نزدیکی قفسه کتاب وجود دارد. اگر هوا مناسب باشد، پنجره‌ها باز می‌شوند. این دو ساختمان برای مقایسه وضعیت اسیدی شدن کتاب ناشی از جذب آلاینده‌های هوا با چنین تفاوت‌های محیطی انتخاب شدند.

علاوه‌براین، سال‌های انتشار به بخش‌های هر ۱۰ سال تقسیم شد و ۳۰ کتاب در هر بخش آزمایش شد. برای KU، کتاب‌های منتشرشده از سال ۱۹۱۱ تا ۲۰۱۰ به ۱۰ بخش تقسیم شدند که هر بخش شامل ۳۰ کتاب بود که در مجموع ۳۰۰ کتاب بود. این طبقه‌بندی برای سه نوع کتاب استفاده شد: ژاپنی، چینی و غربی. در مجموع ۹۰۰ کتاب مورد بررسی قرار گرفت. برای کتاب‌های UT، سال‌های انتشار بین سال‌های ۱۹۷۱ تا ۲۰۱۰ متغیر بود و آثار به چهار بخش تقسیم شدند که هر کدام شامل ۳۰ کتاب بود. بنابراین، در مجموع ۱۲۰ کتاب ژاپنی مورد بررسی قرار گرفت. بررسی رسوب آلاینده‌های هوا بر روی شش کتاب متروکه منتشرشده بین سال‌های ۱۹۷۲ و ۱۹۹۵ که در UT نگهداری می‌شد، و همچنین دارای کاغذ صافی و کاغذهای نوشته‌شده غیرقابل استفاده بودند، انجام شد.

## ۲,۲ روش‌ها

برای اندازه‌گیری PH، نوک حسگر مستطیل شکل  $۱۲ \times ۶$  میلی‌متر یک استیک PH (با نوارهای نشانگر PH: ۱۰۹۵۴۱، PH ۲/۵ تا ۴/۵، ۱۰۹۵۴۲، PH ۴ تا ۷؛ ۱۰۹۵۴۳، PH ۵/۶ تا ۱۰ - مرک KGaA آلمان) با آب مقطر خیس شد. سپس نوک حسگر بر روی کاغذ قرار گرفت. پس از ۱ دقیقه، رنگ نوک حسگر با مقایسه با یک نمودار رنگی استاندارد که نشان‌دهنده PH ارائه شده همراه با استیک‌های PH است، ارزیابی شد. نمودارهای رنگی استاندارد PH ۲/۵ - ۳ - ۳,۳ - ۳/۶ - ۳/۹ - ۴,۲ - ۴/۵ (شماره ۱۰۹۵۴۱)، PH ۴ - ۴,۴ - ۴,۷ - ۵ - ۵/۳ - ۵/۵ - ۵/۸ - ۵/۱ - ۶/۱ - ۶/۵ (شماره ۱۰۹۵۴۲) و PH ۶/۵ - ۶/۸ - ۷/۱ - ۷/۴ - ۷/۷ - ۷/۹ - ۸/۱ - ۸/۳ - ۸/۵ - ۸/۷ - ۹ - ۹/۵ - ۱۰ (شماره ۱۰۹۵۴۳) با نزدیک‌ترین فاصله

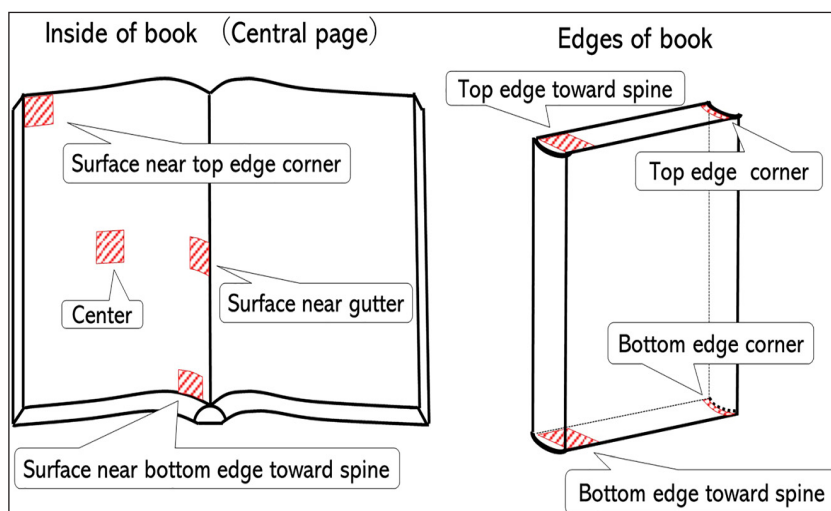


به ۰,۱ تشخیص داده شد. شکل ۱ موقعیت‌های اندازه‌گیری PH را نشان می‌دهد. کتاب‌های ژاپنی منتشر شده از سال ۱۹۷۱ تا ۲۰۱۰ در KU و UT از مرکز کتاب باز شده بودند؛ یک گوشه از نوک حسگر در گوشه لبه بالایی صفحه باز شده در سمت چپ قرار داشت؛ و PH سطح نزدیک گوشه لبه بالایی اندازه‌گیری شد. همین روش در موقعیت‌های زیر انجام شد: مرکز صفحه، نزدیک ناودان و نزدیک به لبه پایین به سمت عطف. همه این مناطق به عنوان «داخل» نامیده می‌شوند. PH بیرون یک کتاب با بسته بودن تمام صفحات اندازه‌گیری شد. موقعیت‌های اندازه‌گیری شده گوشه لبه بالایی، لبه بالایی به سمت عطف، گوشه لبه پایینی و لبه پایینی به سمت عطف بودند. همه این مناطق به عنوان «لبه» نامیده می‌شوند.

فقط دو موقعیت - یک سطح نزدیک گوشه لبه بالایی و یک سطح در مرکز صفحه مرکزی - برای اندازه‌گیری PH کتاب‌های غربی و چینی منتشر شده از ۱۹۱۱ تا ۲۰۱۰ و کتاب‌های ژاپنی منتشر شده از ۱۹۱۱ تا ۱۹۷۰ انتخاب شد. PH لبه‌های بالا، جلو و پایین به دلیل پوشش غلیظی از گرد و غبار قابل اندازه‌گیری نبود. تمام اندازه‌گیری‌های PH از آگوست ۲۰۱۶ تا فوریه ۲۰۱۷ انجام شد.

برای کتاب‌های ژاپنی منتشر شده از سال ۱۹۷۱ تا ۲۰۱۰، تعداد کل صفحات به عنوان یک عامل موثر بر اسیدی شدن در نظر گرفته شد زیرا یک کتاب نوشته شده ضخیم قرار است از تبخیر اسیدهای آلی از داخل جلوگیری کند. تعداد دوره‌های امانت گرفتن کتاب تا تاریخ ۱ اکتبر ۲۰۱۶ به عنوان یکی دیگر از عوامل تغییر در PH گوشه لبه بالایی بود، زیرا قرار گرفتن در معرض هوای آزاد احتمالاً اسیدهای آلی بیشتری را تبخیر می‌کند.

شکل ۱: موقعیت‌های اندازه‌گیری PH در متن کاغذ کتاب.



تجزیه و تحلیل عنصری برای تعیین کمیت میزان آلاینده‌های هوا متصل به سطوح فیبر انجام شد. آلاینده‌های احتمالی هوا عبارتند از: اکسیدهای گوگرد ( $SO_x$ ) مانند دی‌اکسید گوگرد ( $SO_2$ ) و اکسیدهای نیتروژن ( $NO_x$ ) مانند دی‌اکسید نیتروژن ( $NO_2$ ). این مواد گازی دارای قدرت اکسیداسیون قوی هستند. نسبت وزن گوگرد (S)، نیتروژن (N)، کربن (C) و هیدروژن (H) موجود در یک قطعه مستطیلی چند ده میلیمتری در امتداد لبه بالایی تقریباً ۱ میلیمتر در گوشه لبه بالایی از کتاب‌های زوال‌یافته از نظر وجود آلاینده‌های هوا مورد بررسی قرار گرفت. تجزیه و تحلیل عنصری در جولای و دسامبر ۲۰۱۹ انجام شد.

### ۳- نتیجه‌گیری

از آنجایی که کاغذ اسیدی سریع‌تر اسیدی می‌شود و هنگام ورق‌زدن صفحات کتاب شکننده می‌شود، سازندگان کاغذ از سیستم‌های قلیایی برای تولید کاغذهای قلیایی حاوی کربنات کلسیم کافی استفاده کرده‌اند. پس از این انتقال، مشکل اسیدی‌شدن کتاب حل شده بود. با این حال، بررسی PH کتاب، از جمله کتاب‌هایی که اخیراً منتشر شده‌اند، در KU و UT نشان می‌دهد که PH لبه‌ها طی ۵ تا ۱۰ سال پس از انتشار از ۷/۵ به تقریباً ۶/۳ و پس از پنج سال دیگر به ۵/۸ کاهش یافته است، یعنی اسیدی‌شدن در حال پیشرفت است. اگرچه هیچ کاهش سریع PH در داخل کتاب رخ نداد. این پدیده به دلیل قرار گرفتن در معرض مستقیم هوای آزاد حاوی آلاینده‌های حتی رقیق هوا و رسوب آن در حاشیه کتاب در نظر گرفته می‌شود. تجزیه و تحلیل عنصری وجود نیتروژن (N) را در اکسیدهای نیتروژن ( $NO_x$ ) پیشنهاد کرد، باین حال رسوب گوگرد (S) مانند اکسیدهای گوگرد ( $SO_x$ ) را نمی‌توان ثابت کرد. این ممکن است نشان دهد که آلودگی هوا در حال حاضر به اسیدی‌کردن کاغذهای قلیایی در کتاب‌ها ادامه می‌دهد. در کتاب‌هایی که از کاغذ اسیدی ساخته شده‌اند، PH داخل آن کمتر از لبه‌ها بوده و اسیدی‌شدن به دلیل انباشته شدن اسیدهای آلی، به‌ویژه در اعماق داخل کتاب، علی‌رغم وجود تبخیر آن‌ها در لبه‌ها، در حال انجام است. در طول اسیدی‌شدن، PH لبه‌های کاغذ قلیایی به کاهش ادامه داد و PH برای KU همیشه بالاتر از UT بود، احتمالاً به این دلیل که انبار کتاب KU در طبقه زیرزمین دوم بود که احتمال نفوذ آلاینده‌های هوا در آن کمتر است.

