بررسی و توزیع عناصر شیمیایی مرکب نوشتنی آهن مازو بوسیله روش پیکسی(PIXE)*

نوشته : میلوس بودنار، جی درت وودوپی‌وک، پی پرآندریاماندو، فرانکو لوکارللی، گیسپوکازو، اورنلا سینیورینی
ترجمه: لیلا بیدار**
Email : L_BIDAR1@yahoo.com

چکیده :

مطالعه و توزیع عناصر شیمیایی از لکه های مربوط به آهن جوهر نوشته توسط روش پیکسی[1] و نمودار عناصر شیمیایی از لکه های آهن جوهر نوشته ها بعد و قبل از درمان آب و اسیدزدایی مشخص نمود که در این مطالعات از دست نوشته های کاغذ پارچه ای قرن ۱۷ استفاده شده است. روش پیکسی برای تفکیک عناصر سازنده جوهر و کاغذ بدون ضرر به دست نوشته ها شناخته شد. نمودار غلظت ۱۵ عنصر از سدیم تا سرب در فاصله های کمتر از ۰/۳ میلی متر برای نوشته ها به دست آمد.

ترکیب جوهر و کاغذ و تغییرات عناصر آن طی درمان آبی توسط روش پیکسی شناسایی شدند. بررسی و مطالعه با این روش می تواند کمک به حفاظت و نگهداری از اسناد بنماید.

مقدمه

مشکلات مربوط به خسارت مواد و کاغذ، پارشمن، پاپیروس توسط آهن جوهر و پیگمان ها (مواد رنگدانه دار) شناخته شده است. تهیه و ترکیب مراحل شیمیایی، مرکب و نگهداری از آن به چند عامل بستگی دارد. یکی از آنها تأثیر عوامل محیطی است. اگر چه کاملاً تاثیر محیط شناخته شده می‌باشد ولی هنوز یک سری موضوع وجود دارد که هنوز بررسی نشده است.

پیدا کردن روش بی ضرر برای بررسی این تغییرات شیمیایی در طول و بعد از نگهداری و درمان مهم می باشد. این روش برای دست نوشته هایی که در اثر آهن و دیگر مواد رنگی موجود در جوهر لکه دار می شوند، مناسب می باشد. برای بالا بردن کیفیت نگهداری و نوع درمان به ویژه تغییرات ترکیبات مرکب و مواد نگه‌دارنده، مهم می باشد. بنابراین حفاضتگران عقیده دارند که انتخاب نوع مواد نگهدارنده برروی محصولات مفید می باشد.

روش آنالیزی پیشنهادی زیر می‌تواند عملی شود، بدین دلیل که کمترین ضرر متوجه دست نوشته‌ها می‌شود. این روش به نام پیکسی یا پرتوX گسیلی در اثر بر انگیختگی با پروتون[2] می‌باشد. و بستگی به پروتون‌هایی که از شتاب دهنده های ویژه ایجاد می‌شوند، دارد. با تاباندن پروتون‌ها، اشعهX ایجاد می شود که می توان آن را ثبت نمود. روش پیکسی یک روش مناسب آنالیتیکی برای تشخیص اجزاء ترکیب از نمونه‌های مختلف به ویژه در زمینه علوم محیطی، زمین‌شناسی، علم طب می‌باشد. اخیراً در باستان شناسی هم کاربرد دارد. این روش برای مطالعه بر روی دست نوشته ها مفید می باشد. برای مثال مطالعه دقیق و تفکیک و شناسایی عناصر موجود در جوهر دست‌خط ها. در این روش می توان مقدار عناصر موجود در نوشته ها را تعیین نمود. نمودار غلظت عناصر به دست آمده از نوشته ها از جدول عناصر بعد از عنصر سدیم Na می‌باشد. مزیت مهم در این روش اثر غیرتخریبی است که روی اسناد می گذارد، اگر ضرری هم داشته باشد می توان شدت اشعه پروتون را به اندازه کافی کم نمود تا بی ضرر شود. بنابراین با استفاده از روش پیکسی می‌توان تغییرات ترکیب اصلی را بررسی نمود تا روش حفاظتی مناسبی ارائه گردد. لازمه درمان، آگاهی داشتن از ترکیب شیمیایی و ایجاد شرایط حفظ و نگهداری اسناد کاغذی می‌باشد که از نظر علمی نیز ثابت شده است.

پیرو این روش و نتایج آنالیز آن، که بر روی دست نوشته های با لکه های ناشی از آهن جوهر کاغذهای کهنه قرن ۱۷ صورت گرفت،

* Milos Budnar, JEDERT VODOPIVEC, Pier Andrea Mando,franco lu Carelli Giuseppe casu, Ornella Signorini: Distribution of chemical Elements of Iran -Gall Ink writing study by the PIXE method. RESTAURATOR. Vol 22 (2001), No4, p228 -241

** کارشناس آزمایشگاه (سازمان اسناد و کتابخانه ملی ایران)

اطلاعات جالبی را به ما می دهد. نمودار عناصر جوهر را به خوبی از عناصر کاغذ می توان تفکیک نمود. دست نوشته‌های انتخاب شده و آزمایشات برروی قبل و بعد از درمان (شستشوی آب و اسیدزدایی توسط هیدروکسیدکلسیم) صورت گرفت که تغییرات مهمی در غلظت عناصر می توان مشاهده کرد.

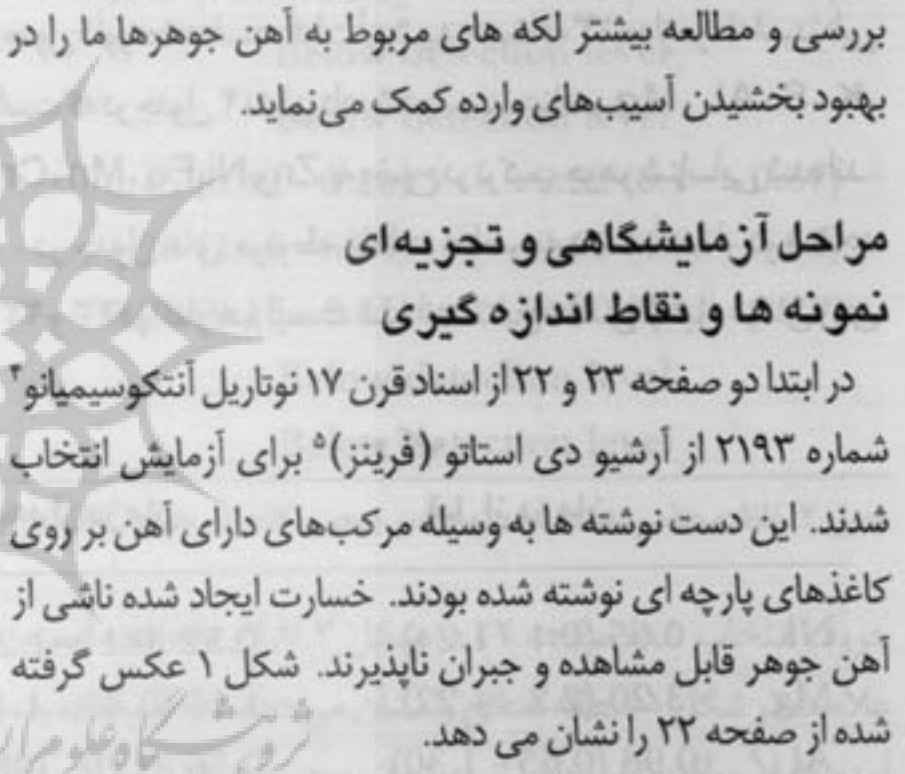
واضح است پیکسی یکی از روش های با کیفیت است و ارائه دهنده اطلاعاتی است که ما نیاز داریم. این روش مناسبی برای اسناد دست نوشته و جوهر و رنگدانه‌هایی[3] که شامل یون های فلزی است، می‌باشد. این روش، غلظت عناصر را نشان می دهد ولی خواص شیمیایی آنها را نمی توان تشخیص داد، و همچنین تا حدی مراحل پیچیده شیمیایی را به ما توضیح بدهد. در پایان اندازه گیری‌ها، بررسی و مطالعه بیشتر لکه های مربوط به آهن جوهرها ما را در بهبود بخشیدن آسیب‌های وارده کمک می‌نماید.

مراحل آزمایشگاهی و تجزیه‌ای

نمونه ها و نقاط اندازه گیری

در ابتدا دو صفحه ۲۳ و ۲۲ از اسناد قرن ۱۷ نوتاریل آنتکوسیمیانو[4] شماره ۲۱۹۳ از آرشیو دی استاتو (فرینز)[5] برای آزمایش انتخاب شدند. این دست نوشته ها به وسیله مرکب‌های دارای آهن بر روی کاغذهای پارچه ای نوشته شده بودند. خسارت ایجاد شده ناشی از آهن جوهر قابل مشاهده و جبران ناپذیرند. شکل ۱ عکس گرفته شده از صفحه ۲۲ را نشان می دهد.

از روی دست نوشته‌های دو صفحه انتخاب شده اسکنی توسط پرتو افکن پروتون (محل انتخاب شده در شکل ۱ آمده است) گرفته می شود. در کنار محل اسکن چندین نقاط تقسیم متعلق به جوهر و کاغذ اندازه گرفته شد. برای صحت و تایید نتایج از اسکن، بیش از ۲۰۰ اسکن اندازه گیری شد تا ترکیب و تغییرات مواد عناصر جوهر در طول درمان و نگهداری به دست بیاید.



شکل ۱: عکس صفحه ۲۲ به‌همراه منطقه اسکن شده.

درمان حفاظتی

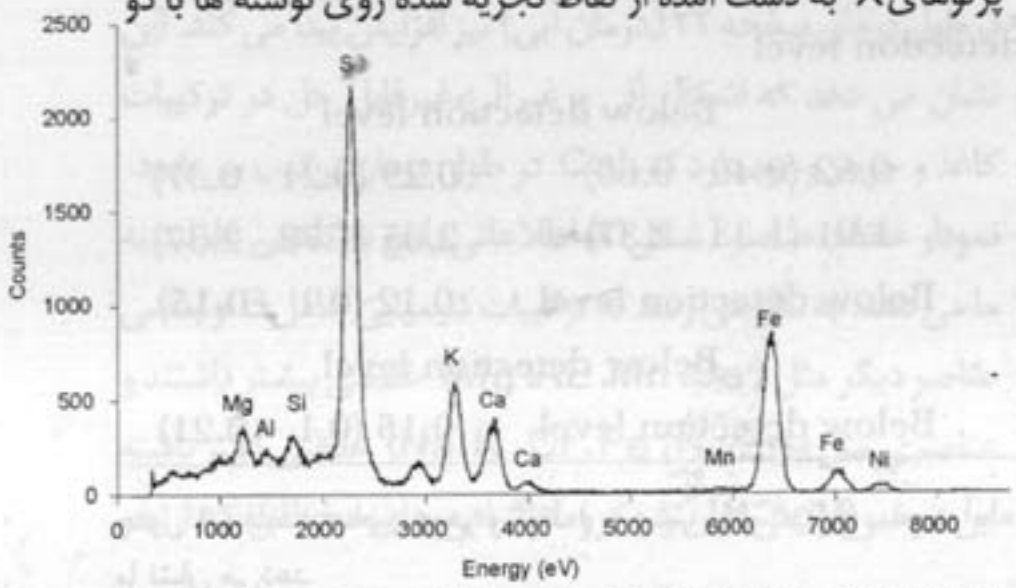
از روی صفحات توسط روش پیکسی ترکیب اصلی جوهر آهن دار و کاغذ اندازه گیری شدند. سپس به کتابخانه آرشیو دی استاتو برای نگهداری و درمان برگردانده شدند.

این اسناد در آرشیو موردنظر از دو استاندارد حفاظت اسناد، به منظور تعیین عناصر انتخاب شدند این دو عبارتند از: ۱: صفحه ۲۲ با آب شستشو شده بود. سند مورد نظر در ظرف آب به مدت ۳۰ دقیقه قرار گرفته و سپس در دمای اطاق خشک شد. ۲ : صفحه ۲۳ با مواد اسید زدا شسته شد. به این ترتیب که ابتدا اسناد در وان آب شستشو و سپس در وان هیدروکسید کلسیم به مدت ۲۰ دقیقه قرار داده و در انتها با دمای اطاق خشک گردید.

روش آزمایش

دست نوشته ها توسط پرتوافکن پیکسی با فلورنس ۳MV و شتاب دهنده واندوگراف[6] تجزیه و تحلیل و مطالعه شدند. طراحی آزمایشات مقدماتی ویژه، برای مطالعه دست نوشته ها در جاهای دیگر بیشتر شرح داده شده اند. نسخه دست نوشته ها را روی میز قرار داده، سپس از مقابل پرتو پروتون حرکت داده و درخشان شدند.

دقت نقاط پرتو دیده بیش از ۰/۱ میلی متر می باشد. پرتوهای درخشان با انرژی ۲/۸MEV از شتاب دهنده واندوگراف استفاده می شود. پرتو اخیر ۳۰۰PA و دور هر نقطه تا ۱۵۰s اندازه گیری می شود. اندازه نقاط پرتو FWHM۰/۳mm (عرض کامل نصف ماکزیمم). نمودار پرتو به وسیله اسکن با ضخامتی بیش از ۰/۰۱۵ mm سیم تنگستن تعیین می شود که مختص پرتوهای L X می‌باشد. پرتوهای X به دست آمده از نقاط تجزیه شده روی نوشته ها با دو



شکل ۲: طیف بدست آمده از لکه‌های ایجاد شده از آهن جوهر صفحه ۲۲ قبل از درمان که به وسیله یکی از دو دتکتور اشعه X به دست آمد.

دتکتورSi و Li که همزمان صورت می گیرد اندازه گیری می شود. شکل ۲ طیف پرتوX جوهری است که در صفحه ۲۲ مصرف شده و توسط یکی از دتکتورها نشان داده شده است.

همچنین می توان اطلاعاتی در مورد نمونه هایی با موقعیت نزدیک به هم که همزمان طیف پرتوX را در دز مناسبی از پروتون صورت گرفته، به دست آورد. به این معنی که اندازه گیری ها کاملاً اتوماتیکی صورت می گیرد، اسکن ها روی حروف ریز نوشته ها صورت می گیرد. اسکن ها در وسعتی حدود ۰/۳ mm انجام گرفت. بازده اندازه گیری های اشعهX از نمونه ما را به تغییر غلظت عناصر اجزاء کاغذ و جوهر نزدیک می کند. برای تعیین غلظت های کم تقریباً اثرات زمینه به طور عملی نادیده گرفته می شود. در این روش ممکن است درصد نامعین کمی از ترکیبات مواد آزمایش محسوب گردد.

نمونه آسیب دیده بررسی شد، اثرات نامطلوب به وسیله پرتو دادن بر روی کاغذ تقریباً ناچیز است.

نتایج و تصمیمات

غلظت عناصر به دست آمده توسط این روش برای تجزیه نوشته مناسب می باشد، مقدار ترکیبات لازم برای حفظ و نگهداری متفاوت می باشد.

عناصر شناخته شده توسط این روش عناصر بالای سدیم(Na) در جدول مندلیف می باشد. معمولاً عناصر سبک(H، C، N و O) موجود در کاغذ با لکه های آهن مربوط به جوهر که مهم می باشند، اندازه گیری نشده اند. تمامی عناصر به دست آمده می تواند نماینده عناصری دیگر (مثل اثر انگشت) از قلم افتاده باشد. از این نظر اشکال کوچکی وجود دارد، اطلاعاتی راجع به عناصر سبک نمی توانیم به دست بیاوریم. در طول تعیین عناصر نوشته ها این امکان وجود دارد که می توان عناصر موجود در جوهر را از کاغذ تمیز داد. غلظت عناصر تعیین شده به(g/Cm^2) می باشد. عناصر به دست آمده از جوهر و کاغذ صفحه ۲۲ قبل و بعد از عمل شستشو با آب در جدول ۱ آورده شده است. اثرات آن شبیه به صفحه ۲۳ بعد از مرحله اسیدزدایی است که در جدول ۲ نشان داده شده است. عناصر Mg، AL، S، K، Cr، Mn، Fe، Ni و Zn به وضوح در ترکیب جوهر شناسایی شده اند.

در جدول های مربوطه غلظت عناصر به دست آمده از دو صفحه ۲۲ و ۲۳ در کنار هم لیست شده اند. نتایج حاصل از قبل درمان روی

	مرکب		کاغذ	
	قبل از درمان	بعد از درمان	قبل از درمان	بعد از درمان
Na	0.65 (0.1 - 1.24)	0.52 (0.1 - 1.24)	Below detection level	
Mg	3.20 (2.2 - 4.22)	1.15 (0.83 - 1.47)	0.72 (0.56 - 0.96)	0.29 (0.1 - 0.60)
Al	0.93 (0.65 - 1.30)	0.56 (0.29 - 0.87)	0.49 (0.32 - 0.58)	0.32 (0.1 - 0.72
Si	2.74 (1.65 - 3.92)	3.16 (2.74 - 3.65)	2.55 (2.37 - 2.74)	2.74 (2.37 - 3.40)
P	0.75 (0.13 - 1.35)	0.45 (0.12 - 0.87)	0.93 (0.52 - 1.33)	0.38 (0.1 - 0.81)
S	45.3 (31.6 - 56.2)	3.16 (1.15 - 5.62)	1.07 (0.70 - 1.54)	0.72 (0.60 - 0.83)
Cl	< 0.24	0.29 (0.12 - 0.49)	4.22 (2.06 - 6.49)	0.29 (0.1 - 0.60)
K	13.3 (9.30 - 17.8)	5.62 (2.94 - 8.06)	Below detection level	0.17 (0.1 - 0.34)
Ca	10.0 (7.50 - 13.3)	19.1 (15.4 - 23.7)	12.4 (8.66 - 15.4)	13.5 (11.5 - 17.8)
Ti	Below detection level			
Cr	0.21 (0.15 - 0.27)	0.15 (0.12 - 0.19)	Below detection level	
Mn	1.65 (1.15 - 2.21)	1.15 (1.00 - 1.33)	0.52 (0.49 - 0.60)	0.29 (0.21 - 0.37)
Fe	111 (108 - 133)	93.1 (75.0 - 116)	1.91 (1.33 - 2.37)	2.05 (1.78 - 2.37)
Ni	10.7 (7.50 - 13.3)	5.23 (3.92 - 6.49)	Below detection level	0.12 (0.1 - 0.15)
Cu	< 0.15	0.16 (0.15 - 0.18)	Below detection level	
Z	0.24 (0.18 - 0.29)	0.39 (0.29 - 0.49)	Below detection level	0.15 (0.1 - 0.21)

جدول ۱ ـ غلظت عناصر جوهر و کاغذ (برحسب Mg/CM^2) بدست آمده از مراحل قبل و بعد از درمان (شستشو با آب) در پرانتزها حدود تغییرات را به ما نشان می‌دهد.

	مرکب		کاغذ	
	قبل از درمان	بعد از درمان	قبل از درمان	بعد از درمان
Na	1.07 (0.1 - 2.74)	1.15 (0.1 - 2.74)	0.17 (0.1 - 0.34)	0.36 (0.1 - 0.81)
Mg	2.55 (1.54 - 3.65)	0.70 (0.25 - 1.15)	0.89 (0.52 - 1.24)	0.37 (0.1 - 0.76)
Al	0.93 (0.14 - 1.65)	0.83 (0.27 - 1.43)	0.52 (0.29 - 0.79)	0.42 (0.1 - 0.87)
Si	1.24 (0.1 - 2.74)	1.70 (0.70 - 2.74)	2.82 (1.91 - 3.65)	1.91 (0.70 - 3.16)
P	1.07 (0.42 - 1.78)	1.54 (1.15 - 2.05)	0.42 (0.19 - 0.65)	0.29 (0.1 - 0.60)
S	75.0 (65.0 - 93.1)	26.6 (19.1 - 34.0)	4.73 (2.05 - 7.50)	1.15 (0.71 - 1.65)
Cl	Below detection level	0.29 (0.1 - 0.70)	1.68 (0.42 - 2.94)	0.30 (0.1 - 0.56)
K	21.1 (19.1 - 23.7)	20.5 (14.3 - 27.4)	0.93 (0.60 - 1.37)	0.27 (0.1 - 0.55)
Ca	10.9 (7.72 - 14.3)	35.0 (31.6 - 37.6)	10.7 (7.94 - 13.3)	7.50 (3.65 - 11.5)
Ti	Below detection level	0.14 (0.1 - 0.32)	Below detection level	
Cr	0.56 (0.42 - 0.70)	0.42 (0.32 - 0.60)	Below detection level	
Mn	2.21 (1.78 - 2.74)	1.56 (1.31 - 1.88)	0.45 (0.42 - 0.50)	0.22 (0.1 - 0.37)
Fe	294 (255 - 321)	259 (205 - 307)	4.28 (2.66 - 6.21)	3.65 (1.65 - 5.62)
Ni	22.7 (20.5 - 25.9)	8.66 (6.49 - 10.7)	0.29 (0.15 - 0.45)	0.20 (0.1 - 0.29)
Cu	9.31 (6.98 - 12.4)	9.72 (8.06 - 11.5)	Below detection level	
Zn	5.23 (3.76 - 6.31)	4.16 (2.94 - 5.46)	Below detection level	

جدول ۲. غلظت عناصر بدست آمده از عناصر جوهر و کاغذ (برحسب Mg/CM^2)، قبل و بعد از درمان (اسیدزدایی) در پرانتزها حدود تغییرات را به ما نشان می‌دهد.

حروف انتخاب شده صفحه ۲۲ در شکل ۳ نشان داده شده است. علامت در شکل ۱ منطقه اسکن را نشان می دهد. عناصر به دست آمده کاملاً موافق با صدماتی است که از جوهرها ایجاد شده K،. S و Fe با غلظت بالایی از جوهر به دست آمده و Ca مربوط به ترکیب کاغذ می باشد. با استفاده از این اطلاعات می توان در آینده روش مناسب تری برای نگهداری اسناد به دست آورد. واحد اندازه گیری‌ها(g/Cm^2) برای چهار عناصر منتخبی (K، Ca،S و Fe) می‌باشد که از روی لکه های جوهر، صفحات ۲۲ و ۲۳ به دست آمده در شکل ۴ و ۵ آورده شده است. نوع پخش عناصر و تغییرات آن در درمان و نگهداری جوهر مهم می باشد. تمامی عناصر اندازه گیری شده(Na - Zn) از عناصر جوهر و کاغذ در شکل ۶ و ۷ آورده شده است. عناصر به دست آمده بیشتر از روی اسکن های مربوط به جوهر است و به طور اتفاقی مقداری از روی کاغذ هم صورت گرفته است. نتایج پس از درمان نشان می دهد که غلظت سولفور کاهش نموده. و نشان دهنده این است که بعد از شستشو با آب در مقایسه با اسیدزدایی با هیدروکسیدکلسیم کاهش سولفور بیشتر است.

میزان) K تنها در شستشو با آب) و همچنین برخی عناصر (Ni، Mg، Mn ،Cr ، LA) کاهش پیدا می کند. مقدار آهن حدود ۲۰ درصد کاهش پیدا می کند. در این روش حضور ترکیبFeI که محلول در آب است را نشان می دهد. کاهش زیاد عنصر گوگرد در هر دو روش اسیدزدایی از دو صفحه ۲۲ و ۲۳ دیده می شود. کم شدن گوگرد اسید سولفوریک تنها مربوط به قابل حل بودن آن در آب است که به وسیله شستشو از سند خارج شده که تنها ترکیب محلول در آب موجود در جوهر سولفات آهنII می باشد. این نمودار نشان می دهد که غلظتCa درطول درمان صفحه ۲۲ (درمان آبی) نیز افزایش پیدا می کند. این نشان می دهد که اشکال آلی و غیرآلی غیرقابل حل در ترکیبات کاغذ و جوهر وجود دارد که باCa در طول درمان ترکیب می شود. نمودار غلظت عناصر (شکل ۳) اطلاعاتی راجع به کاهش غلظت به ما می دهد. به نظر می رسد که ترکیبات شیمیایی شامل S و بعضی عناصر دیگر مثل (Ca، Mn، AL، Mg) غلظتی بیشتر داشتند و عناصری مثل (Zn، Ni، Fe، Cr، K،Na) غلظتی کمتر داشته این موضوع را می توان در کروماتوگرافی های مختلفی که از هر

ترکیب ویژه به دست می آید نیز مشاهده نمود.

انجام آنالیزها از دست نوشته‌ها، در آینده ما را به نتایجی دقیق‌تر نزدیک می کند. همچنین پیشنهاد می شود که نقاط اندازه گیری روی کاغذ بایستی از نقاط سفید کاملاً جدا شده (حتی کمتر از میلی متر)، ترکیبات به دست آمده از جوهر در نقاط غیرقابل تقسیم صحیح نبوده. اطلاعات موثق را فقط از روی نوشته های اسکن گرفته می توان به دست آورد.

نتایج

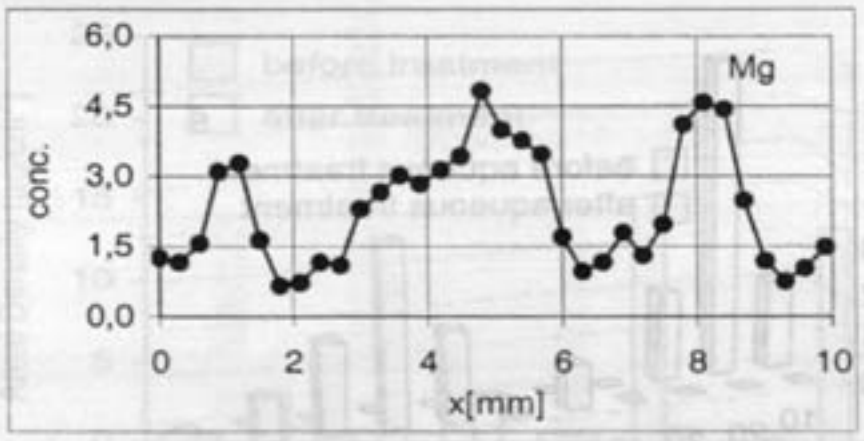
گام اول تجزیه و تحلیل های ابتدایی است که ترکیب عناصر کاغذ و جوهر را با استفاده از روش پیکسی بر روی کاغذهای پارچه ای دست نوشته می توان به دست آورد. سپس چگونگی اثر تخریبی لکه هایی که از آهن موجود در جوهر ایجاد می شود را توانستیم به دست آوریم. تحقیقات، مفید بودن درمان آبی که روی اسناد قرن ۱۷ صورت گرفته را ثابت می کند. همچنین نشان دهنده این است که اثر درمانی شستشو با آب برای کاهش تخریب آهن جوهر به خوبی اثر شستشو با هیدروکسیدکلسیم می باشد. و نیز فاصله کافی (کمتر از ۰/۳ میلی متر) لازم برای پرتو دادن پروتون‌ها به منظور تعیین غلظت و ترکیب عناصر مهاجرت کرده از جوهر به کاغذ بعد از انجام درمان را تعیین نمودیم. یکی از فواید مهم این روش اثر غیرتخریبی آن می باشد به این معنی که در این تحقیقات بعد از شروع درمان، دیگر نوشته های باقی مانده روی کاغذ، باعث خرابی کاغذ نشده‌اند. تنها مانعی که در انجام این آزمایشات به آنها برخورد کردیم تمامی ترکیبات عناصر موجود در کاغذ و جوهر را نتوانستیم بیابیم. اگرچه در این روش می توانستیم در یک زمان عناصر مربوط به خرابی لکه های ایجاد شده از آهن جوهر را به دست آوریم. به علاوه ما کمترین نسبت غلظت عناصر و خصوصیات شیمیایی آنها را یافتیم. گام بعدی مطالعات، یافتن روش های درمانی اسیدزدایی دیگری براساس ترکیب ساختمان آنها بود.

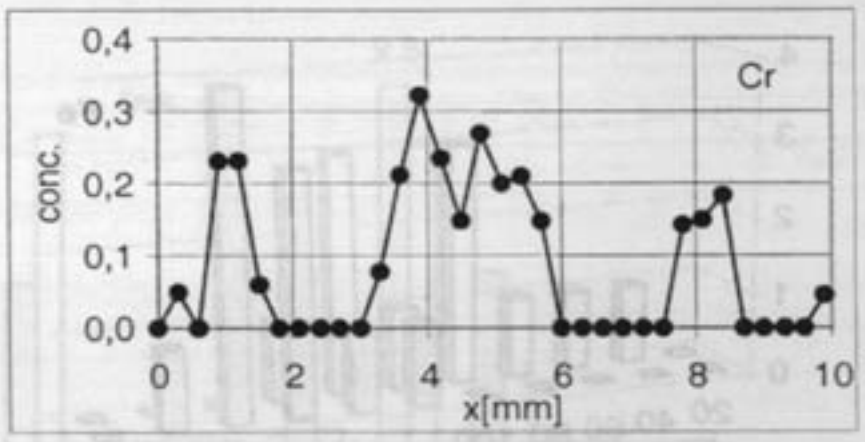
پیکسی روش علمی مفیدی بر روی اسناد، بدون ایجاد ضرر می باشد. اگرچه کاملاً واضح است که برای بهتر فهمیدن اثر تخریبی جوهر، آنالیز دقیق مواد قبل از نگهداری و درمان اسناد توسط روش پیکسی و دیگر روش ها مهم می باشد. به عنوان مثال، برای درک روشن از مراحل شیمیایی انجام یافته بین جوهر و کاغذ وقتی که فشار محیطی (رطوبت، درجه حرارت و آلودگی) تغییر پیدا کند می توان از این روش، تغییرات عناصر موجود در آنها را بررسی نمود.

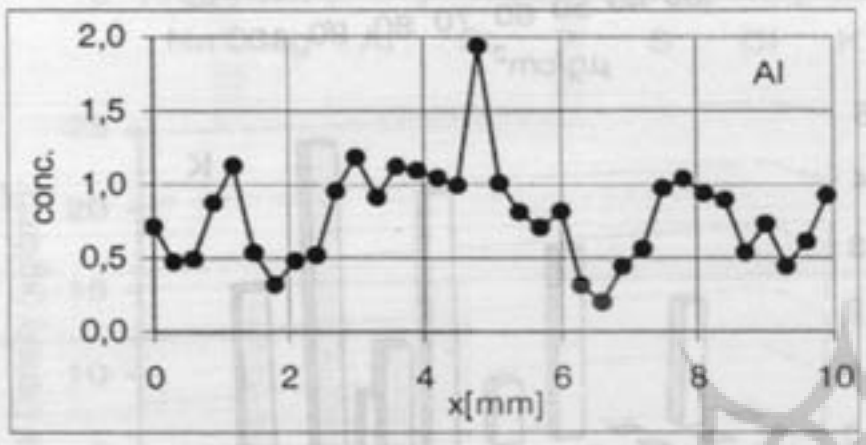
یکی از فرصت های جالبی که این روش به ما می دهد رسیدن به منشاء آثار است. به عنوان مثال مطالعه و بررسی ترکیب عناصر کاغذ و جوهرها می تواند مانند اثر انگشت انسان (که برای هر فرد تفاوت می کند) ما را به منشاء آن نزدیک می کند. همچنین از این تکنولوژی برای تعیین هویت نویسنده ها نیز می توان استفاده نمود.

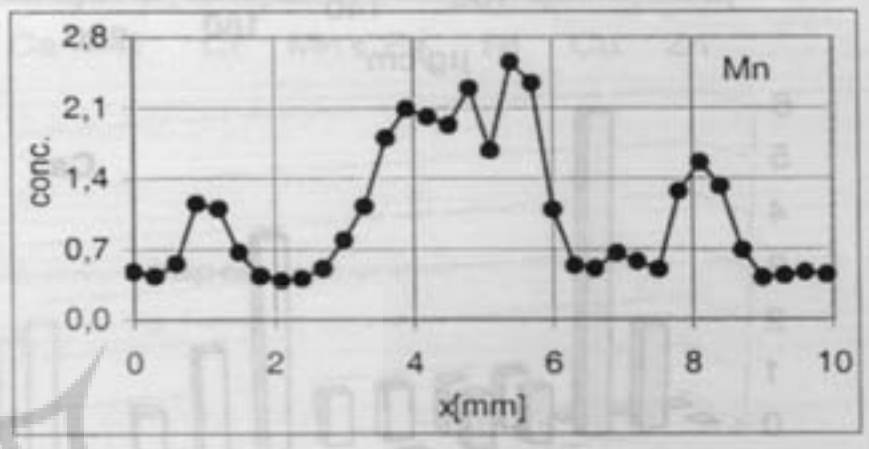
سپاسگزاری

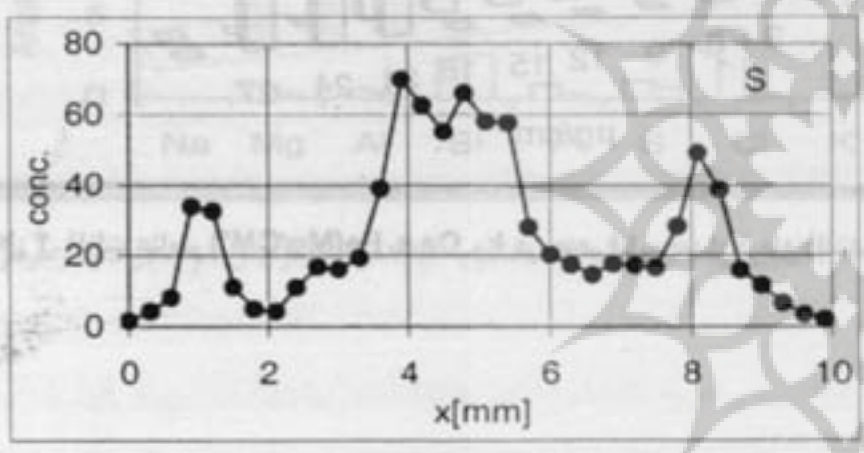
از همکاری Eu Action Lost GI که در ادامه انجام روش‌های IBA در زمینه نگهداری دست نوشته ها ما را کمک نمودند قدردانی می نماییم.

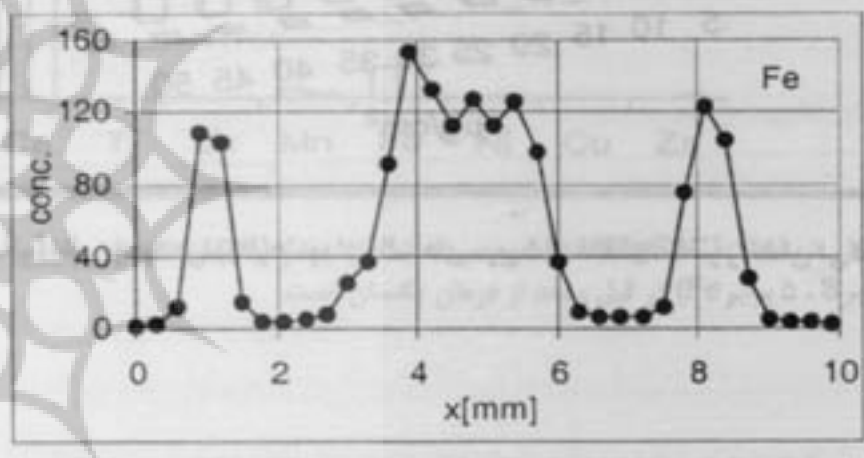


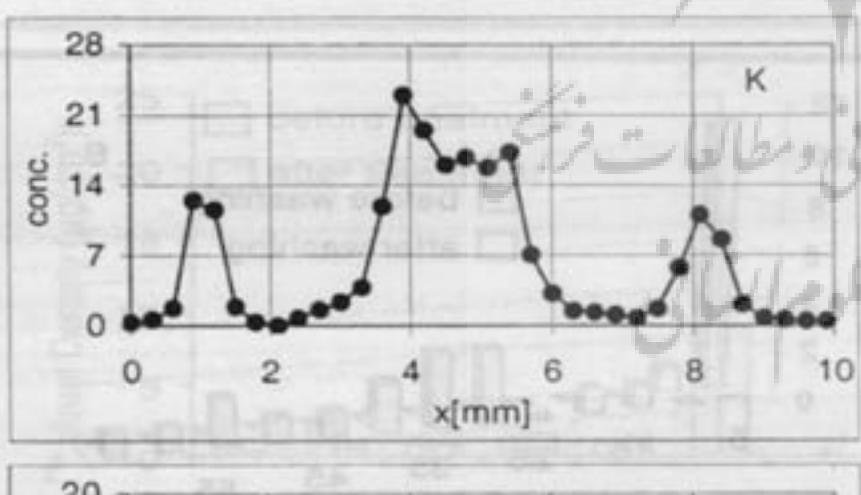


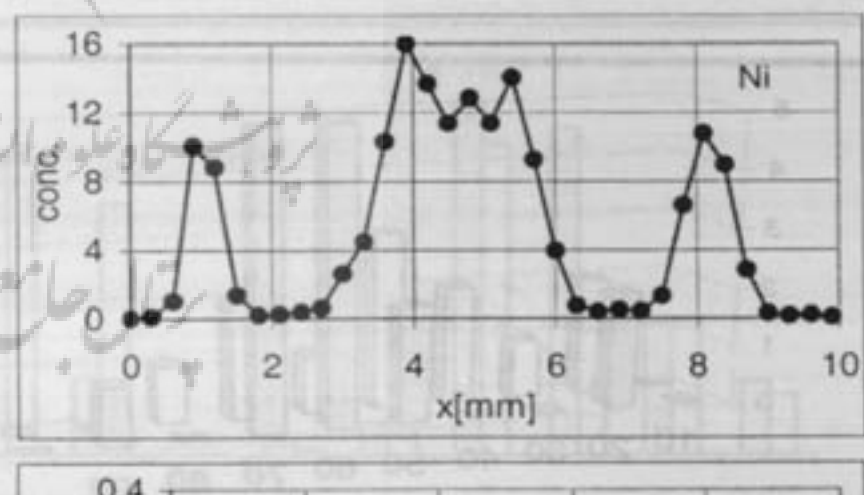


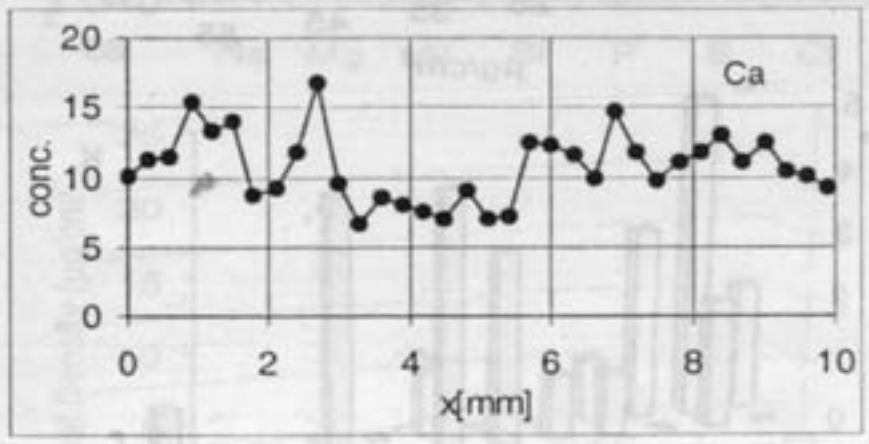


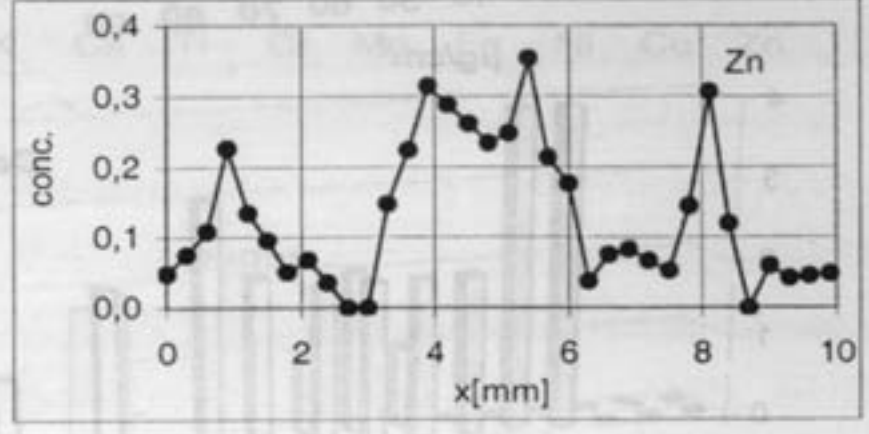








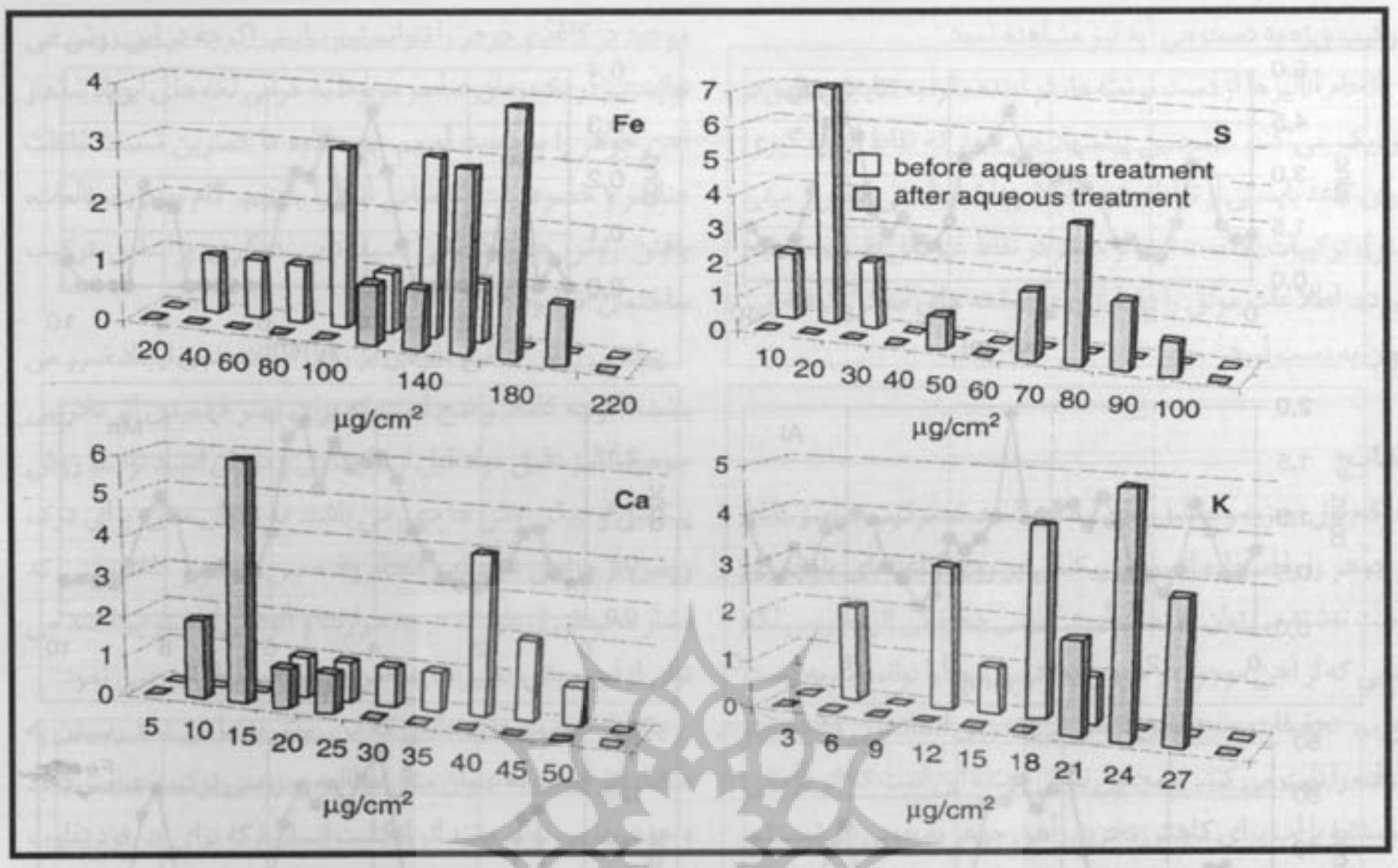




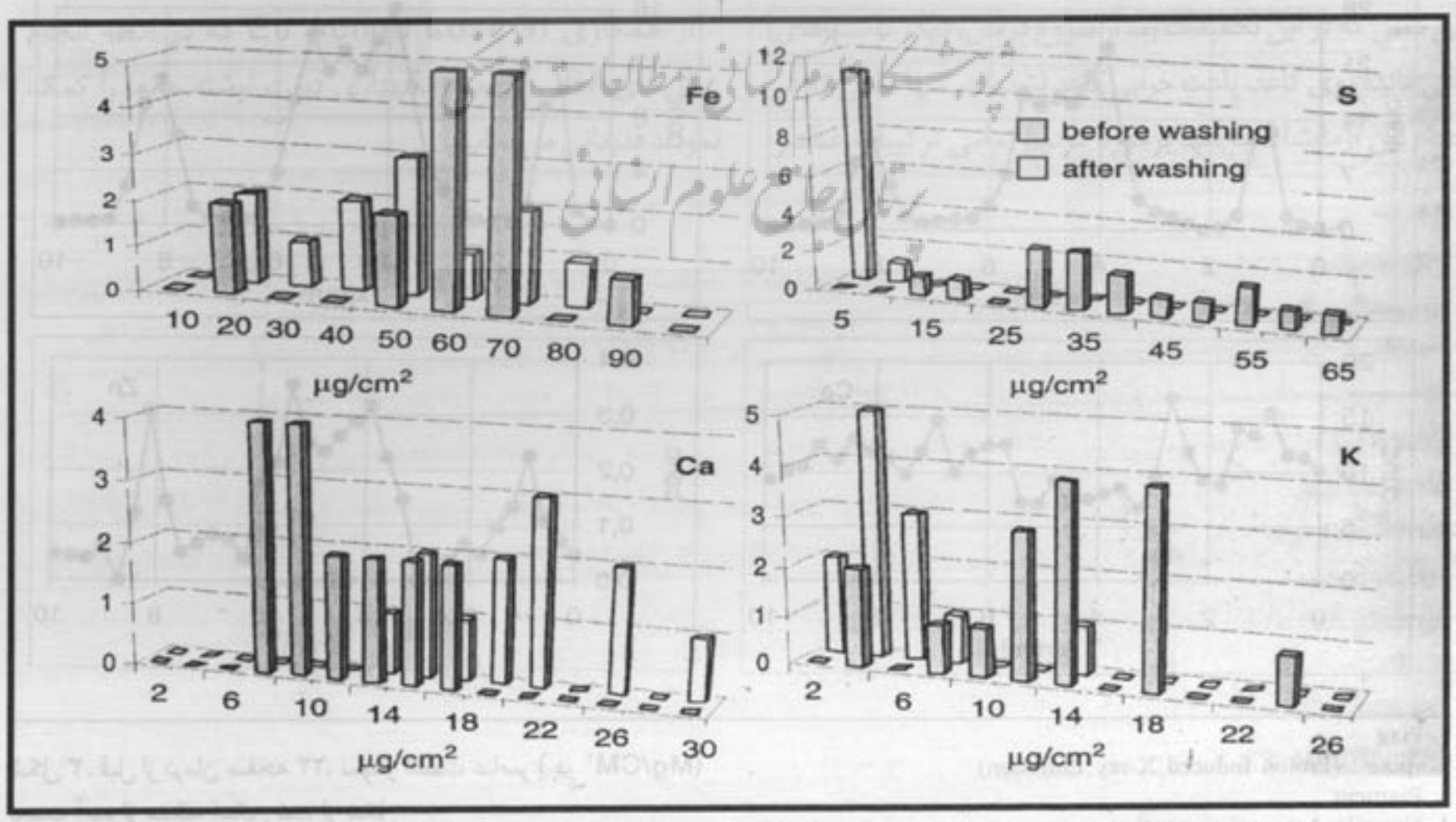
شکل ۳ ـ قبل از درمان صفحه ۲۲. نمودار غلظت عناصر (در $Mg/CM^{۲}$)
بدست آمده از منطقه اسکن شده از شکل

1. Pixe
2. pixe : (Proton Induced X-ray Emission)
3. Pigment
4. Notarile Antecosimiano
5. Di stato (firenze)
6. (Van de Graaff)

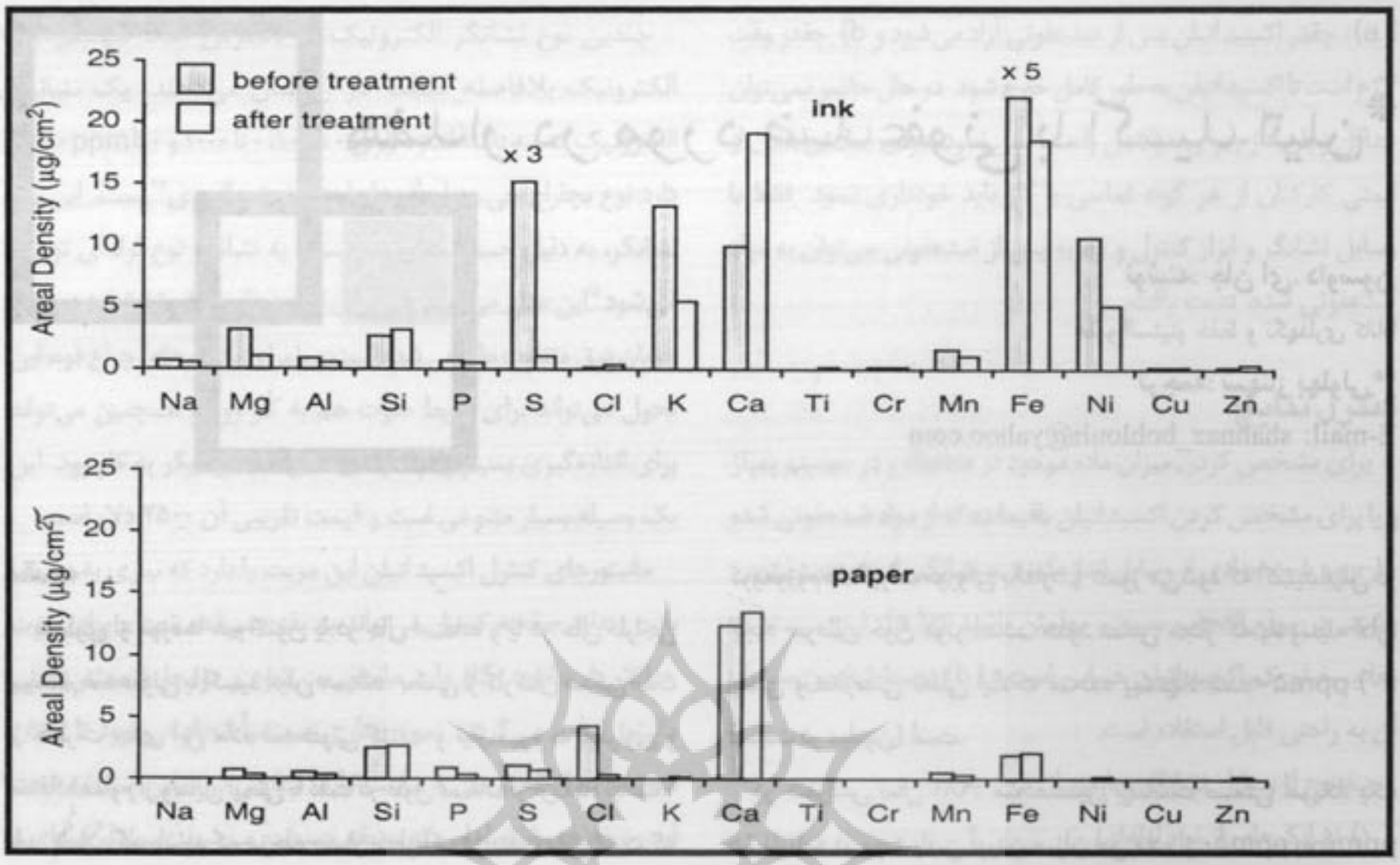
پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی



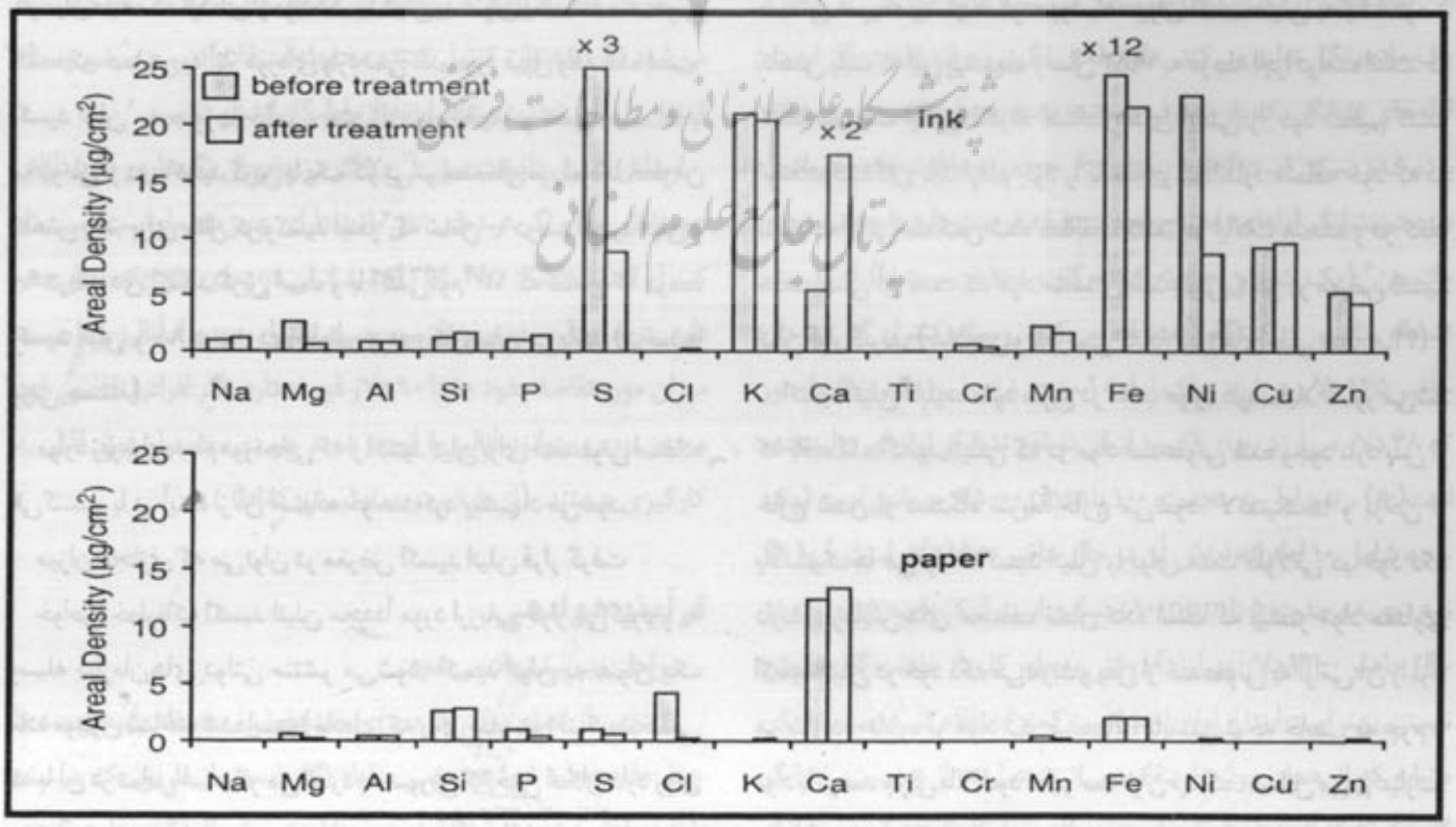
شکل ۴. غلظت عناصر (Ca.s.Fe(Mg/CM^2 و k در جوهر قبل و بعد از درمان (شستشو با آب) نظم موجود در نمودارها تعداد حالت‌های مربوط به غلظت، عناصر را نشان می‌دهد.



شکل ۵. توزیع غلظت(Ca، s، Fe(Mg/CM^2 و ن از جوهر قبل و بعد از درمان (اسیدزادی)، نظم موجود در نمودارها تعداد حالت‌های مربوط به غلظت عناصر را نشان می‌دهد.



شکل ۶. غلظت($MgCM^{-2}$) عناصر بدست آمده از جوهر (بالا) و کاغذ (در پایین) صفحه ۲۲ قبل و بعد از درمان (شستشو با آب)، عوامل افزایش دهند در نمودارجوهر (۳ برابرS ، ۵ برابرFe) در قبل و بعد از درمان یکسان است.



شکل ۷. غلظت(Mg/CM^{-2}) عناصر بدست آمده از جوهر (بالا) و کاغذ (درپایین) صفحه ۲۳ قبل و بعد از درمان (اسیدزدایی)، عوامل افزایش دهنده در نمودار جوهر(۳ برای گوگرد، ۱۲ برایFe ، ۲ برایCa) در قبل و بعد از درمان یکسان است.