

شناسایی دست‌نوشته‌های قدیمی به جهت ارزش‌های فرهنگی، تاریخی، هنری و همچنین شناسایی فنون استفاده شده در کتابت آنها همواره اهمیت زیادی داشته است. در مورد دست‌نوشته‌های مذهبی مانند قرآن اهمیت این امر دو چندان است. امروزه از علوم و فنون آزمایشگاهی مدرن غیر مخرب برای بررسی و شناسایی این آثار به طور گسترده‌ای استفاده می‌شود. همچنین اطلاع از ترکیب عنصری نمونه‌های قدیمی در نگه‌داری آگاهانه این اسناد بسیار مؤثر است، زیرا بخش عمده‌ای از این آثار ارزشمند به علت شرایط نامناسب محیطی در معرض آسیب‌دیدگی و تخریب قرار دارد.

در عملیات مرمت این نمونه‌ها نیز، شناخت عناصر تشکیل‌دهنده از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. زیرا تا زمانی که عناصر تشکیل‌دهنده یک شیء مشخص نباشد نمی‌توان برای مراحل بعدی حفاظت و مرمت راه‌کاری مناسب اندیشید. چنانچه برای رفع آسیب یا نقص اثری باستانی به مواد و مصالح مرمتی از جمله استحکام‌بخش‌ها، فیلرها یا پرکننده‌ها، تثبیت‌کننده‌ها و جز آن نیاز باشد، جنس آن اثر باید مشخص بوده تا بتوان ماده شیمیایی مناسبی برای ترمیم آن به کار برد. بنابر این در فرایند نگه‌داری و مرمت اشیاء تاریخی، شناسایی هرچه بهتر فن‌شناسی و همچنین ساختار شیمیایی و فیزیکی آن اشیاء بسیار ضروری است. شناسایی ترکیب شیمیایی مواد معمولاً با انجام روش‌های شیمیایی از قبیل آزمون نقطه‌ای به روش شیمی تر و یا انجام آنالیزهای دستگاهی امکان‌پذیر است. اما آنالیز عنصری نمونه‌ها توسط روش میکروپیکسی یکی از مفیدترین و پرکاربردترین روش‌ها در شناسایی و آنالیز نمونه‌های باستانی و قدیمی است.

آنالیز عنصری مرکب‌های به‌کار رفته در قطعات پوست‌نوشته قرآن با روش میکروپیکسی

محمد لامعی رشتی*، داوود آقاعلی‌گل**، پروین اولیایی**

چکیده: در این پژوهش مرکب‌های قدیمی به کار رفته در قطعات پوست‌نوشته قرآن متعلق به قرن چهارم ق، از نظر ترکیب عنصری مورد بررسی قرار گرفته است. برای آنالیز عنصری و شناسایی ترکیبات شیمیایی این نمونه‌ها از روش آنالیز میکروپیکسی استفاده شده است. این روش یکی از مفیدترین و پرکاربردترین روش‌ها در آنالیز و شناسایی نمونه‌های باستانی و قدیمی است.

در متن این قطعات چهار نوع مرکب به کار رفته که عبارت است از: مرکب مشکی، قرمز، سبز و قهوه‌ای. در آنالیز هر مرکب عناصر تشکیل‌دهنده آن و تفاوت عنصری بین مرکب و بستر پوستی که بدون مرکب است بررسی شده است و نتایج حاصل از توزیع عنصری عناصر موجود در هر یک از مرکب‌ها و مقایسه طیف‌های به دست آمده از بستر پوستی و ناحیه دارای مرکب، در چند تصویر ارائه گردیده است.

در پایان، مقادیر کمی هر یک از عناصر به کار رفته در مرکب‌ها با استفاده از نرم‌افزار ویژه‌ای محاسبه شده و در جدولی نشان داده شده است. نتایج حاصل از این آنالیزها در مطالعه فن مرکب‌سازی و حفاظت و مرمت این اثر تاریخی کمک بسیاری خواهد کرد.

آنالیز عنصری این پژوهش در آزمایشگاه واندوگراف پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای انجام شده است.

کلید واژه: آنالیز عنصری، میکروپیکسی؛ قرآن پوست‌نوشته؛ مرکب‌ها؛ مرکب مشکی؛ مرکب قرمز؛ مرکب سبز؛ مرکب قهوه‌ای.

* دکترای فیزیک؛ رئیس آزمایشگاه واندوگراف.

** آزمایشگاه واندوگراف - سازمان انرژی اتمی ایران.

در این پژوهش* با استفاده از آنالیز عنصری نمونه‌ها با روش میکروپیکسی، عناصر تشکیل دهنده مرکب‌های به کار رفته در برخی از قطعات پوست نوشت قرآن، متعلق به مجموعه‌ای شخصی که در قرن چهارم ق بر روی پوست کتابت شده، بررسی شده است. نتایج حاصل از این آنالیزها در مطالعه فن‌شناسی و نهایتاً حفاظت این اثر تاریخی کمک قابل توجهی خواهد کرد. آنالیز عنصری مربوط به این پژوهش در آزمایشگاه واندوگراف پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای انجام شده است.

روش و شرایط آنالیز

آنالیز عنصری به روش پیکسی یکی از روش‌های متداول در آنالیز عنصری مواد است. پیکسی یا «گیسل پرتو X» در اثر برانگیختگی با پروتون روش توانمندی برای آنالیز بس عنصری (از سدیم تا اورانیوم) و غیر تخریبی نمونه‌های مختلف است. در این روش آنالیز، نمونه مورد بررسی تحت تابش پروتون قرار می‌گیرد. در اثر برخورد پروتون با اتم هدف، پرتو X مشخصی گسیل می‌شود که انرژی این پرتو X، نوع عنصر موجود در نمونه و تعداد پرتوهای X با انرژی معین غلظت عنصر در نمونه را مشخص می‌کند.^۱ با استفاده از باریکه میکرونی پروتون می‌توان توانایی‌ها و قابلیت‌های آنالیز عنصری روش پیکسی را به میزان زیادی افزایش داد. آنالیز عنصری مواد با استفاده از باریکه یونی میکرونی روش میکروپیکسی نامیده می‌شود.^۲ با استفاده از این روش می‌توان توزیع عنصری نمونه را در ابعاد میکرون تعیین کرد. همچنین به وسیله باریکه میکرونی پروتون می‌توان سطح نمونه مورد بررسی را جاروب (اسکن) کرد و تصویری دوبعدی از توزیع عنصری موجود در نمونه به دست آورد. میکروپیکسی کاربردهای بسیار متنوعی دارد و در زمینه‌های مختلف علوم به کار می‌رود که به بخشی از آنها در مقاله مفصلی که در مجله علوم و فنون هسته‌ای چاپ شده، اشاره

شده است.^۳ نحوه ابزارآرایی و تولید باریکه میکرونی نیز در همین مقاله آمده است. همچنین نتایج مطالعه و آنالیز مرکب و کاغذهای دوره قاجاریه با استفاده از روش میکروپیکسی در مقاله‌ای در مجله نامه بهارستان چاپ شده است.^۴ در این پژوهش از باریکه پروتون با انرژی 2 MeV و با شدتی در حدود 100-50 pA که به وسیله شتاب دهنده واندوگراف 3MV آزمایشگاه واندوگراف پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای سازمان انرژی اتمی ایران تولید می‌شود استفاده شده است. قطر باریکه پروتون در این آزمایش در حدود ۱۰ میکرون تنظیم شده است. برای آشکارسازی اشعه X (Micro-PIXE) از آشکارساز Si(Li) که در زاویه ۱۳۵ درجه نسبت به پرتوهای پروتون فرودی قرار گرفته و دارای قدرت تفکیک 150 eV می‌باشد استفاده شده است. برای آشکارسازی ذرات برگشتی از نمونه‌ها، آشکارساز سد سطحی که در زاویه ۱۶۰ درجه نسبت به باریکه قرار گرفته، و برای آشکارسازی ذرات عبوری از نمونه‌ها، آشکارساز سد سطحی که در زاویه ۲۰ درجه نسبت به باریکه قرار گرفته است، به کار رفته است.

نحوه نمونه برداری

در این پژوهش از مرکب‌های مختلف به کار رفته در برخی از قطعات پوست نوشت قرآن کریم متعلق به قرن چهارم ق،^۵ برای آنالیز عنصری مرکب‌ها و شناسایی رنگ‌دانه‌های آن نمونه برداری شده است. نمونه برداری به گونه‌ای انجام گرفته که انواع مرکب‌هایی که در نوشتن این قطعات استفاده شده‌اند آنالیز شوند. در این نمونه برداری از هفت بخش مختلف که امکان نمونه برداری وجود داشت نمونه برداری شده است. هر کدام از نمونه‌ها شامل چند رنگ بوده‌اند. ابعاد واقعی نمونه‌ها متفاوت هستند و نمونه برداری به گونه‌ای انجام شده است تا آسیب جدیدی به قطعات وارد نشود. مرکب‌هایی که در متن این قطعات وجود دارد عبارت است از: مرکب مشک، مرکب قرمز، مرکب سبز و مرکب قهوه‌ای.

* نامه بهارستان: پوست نوشته‌های مجموعه شخصی آقای ابوبی مهربی شامل ۱۴ قطعه است که مجله نامه بهارستان با همکاری کارشناسانی از رشته‌های مختلف به بررسی آنها پرداخته است. اولین مقاله درباره این مجموعه در شماره پیشین (س ۸-۹، دفتر ۱۳-۱۴: ۴۰۱-۴۱۴) به چاپ رسیده که در آن اصالت نوشته‌ها، وجود یا عدم وجود نوشته‌هایی در زیر یا در بین خطوط و میزان آلودگی به قارچ در زیر نور فرابنفش بررسی شد. پوست بودن آنها به روش طیف‌سنجی زیر قرمز تبدیل فوری (FTIR) به اثبات رسید. علاوه بر آن با روش میکروسکوپ الکترونی روبشی مجهز به تجزیه شیمیایی پاشندگی انرژی پرتو ایکس (SEM-EDX)، عناصر به کار رفته در مرکب قرمز، جیوه یا آهن، مرکب سبز، مس؛ و مرکب سیاه آهن شناسایی شد که به ترتیب می‌تواند به دلیل استفاده از ترکیبات شنگرف یا اخرا در مرکب قرمز، زنگار مس در ترکیب مرکب سبز و ماژور در مرکب سیاه باشد. در ادامه بررسی‌های آزمایشگاهی بر روی این پوست نوشته‌ها، مقاله حاضر اختصاصاً به بررسی مرکب‌های مختلف به کار رفته در آنها با روش پیکسی پرداخته است. آزمایشات دیگری بر روی پوست نوشته‌ها در دست انجام است که نتایج آن در شماره‌های آینده منتشر خواهد شد.

^۱ Johanson, 1995.

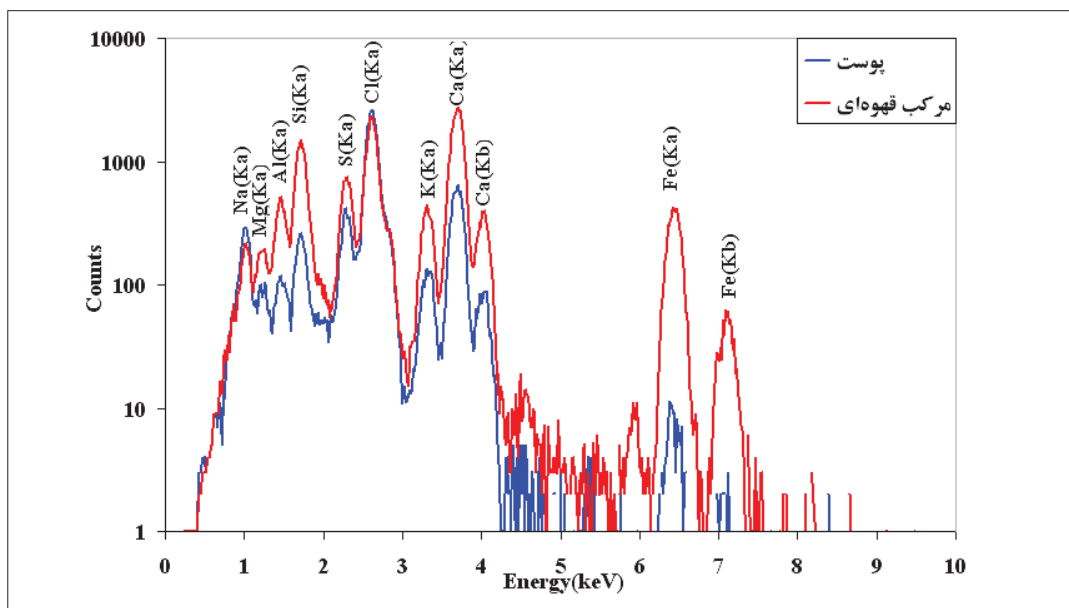
^۲ Bird & Williams, 1989.

^۳ آقاعلی گل و همکاران، ۱۳۸۶. ^۴ لامعی رشتی و همکاران، ۱۳۸۴-۱۳۸۵. ^۵ این قطعات در مجموعه شخصی آقای محمدرضا ابوبی مهربی نگه‌داری می‌شود.

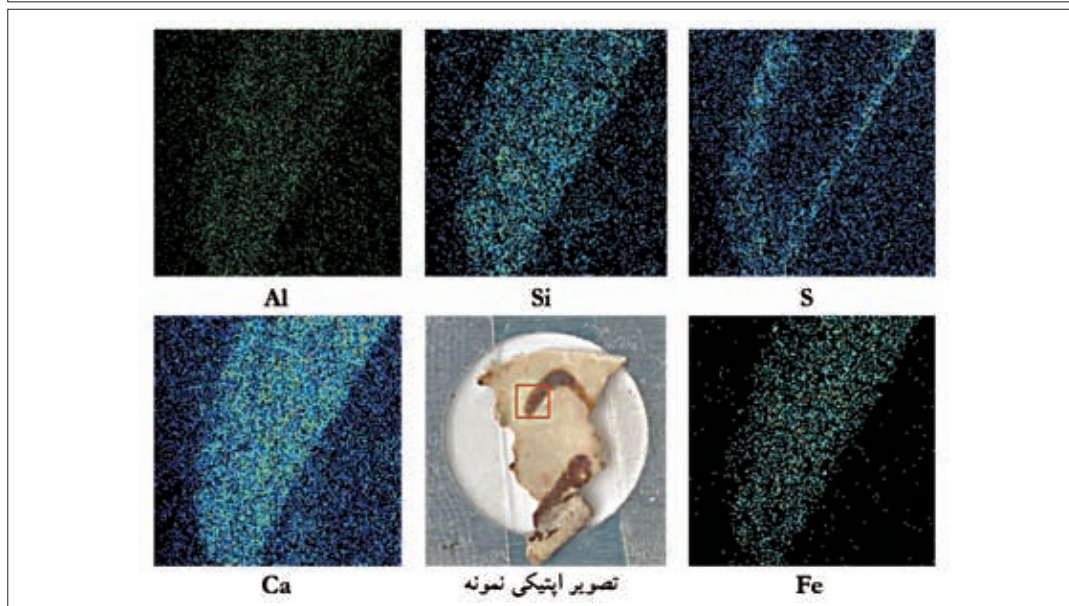
نتایج تجربی و بحث

برای آنالیز هر یک از مرکب‌ها ناحیه‌ای با ابعاد در حدود $2/5 \times 2/5$ م م در روی نمونه اسکن و آنالیز شده است. در زیر برخی از نتایج به دست آمده از آنالیز عنصری این مرکب‌ها با استفاده از روش میکروپیکسی ارائه شده است. در تصویر (۱) طیف X مشخصه به دست آمده از آنالیز بخشی از این قطعات (نمونه ش ۶)، که با مرکب قهوه‌ای نوشته شده، برای دو ناحیه دارای مرکب و بدون مرکب (بستر پوستی) نشان داده شده است. همان طور که از مقایسه این دو طیف در تصویر (۱) دیده می‌شود آلومینیوم (Al)، سیلیسیم (Si)، کلسیم (Ca) و آهن (Fe) عناصر تشکیل دهنده مرکب قهوه‌ای است و تفاوت عنصری بین مرکب و بستر پوستی کاملاً مشهود است. در تصویر (۲) توزیع عنصری موجود در مرکب

قهوه‌ای به کار رفته در این نمونه آنالیز شده به همراه تصویر اپتیکی نمونه ارائه شده است. ناحیه آنالیز شده با مربع قرمز در تصویر اپتیکی مشخص شده است. همان طور که در شکل (۲) دیده می‌شود مرکب قهوه‌ای مورد استفاده در نوشتن این متن به طور عمده از عناصر آلومینیوم (Al)، سیلیسیم (Si)، کلسیم (Ca) و آهن (Fe) تشکیل شده است، زیرا تنها در قسمتی از ناحیه آنالیز که مرکب قهوه‌ای وجود دارد توزیع این عناصر به مقدار فراوان دیده می‌شود. همچنین همان طور که در تصویر (۲) دیده می‌شود در کنارهای این مرکب مقداری عنصر گوگرد (S) نیز وجود دارد که مرکب قهوه‌ای را احاطه کرده است. اما بقیه عناصر نشان داده شده در تصویر (۱) عنصری هستند که در پوست وجود دارد و در داخل مرکب نیستند. ابعاد ناحیه آنالیز شده $2/5 \times 2/5$ م م است.



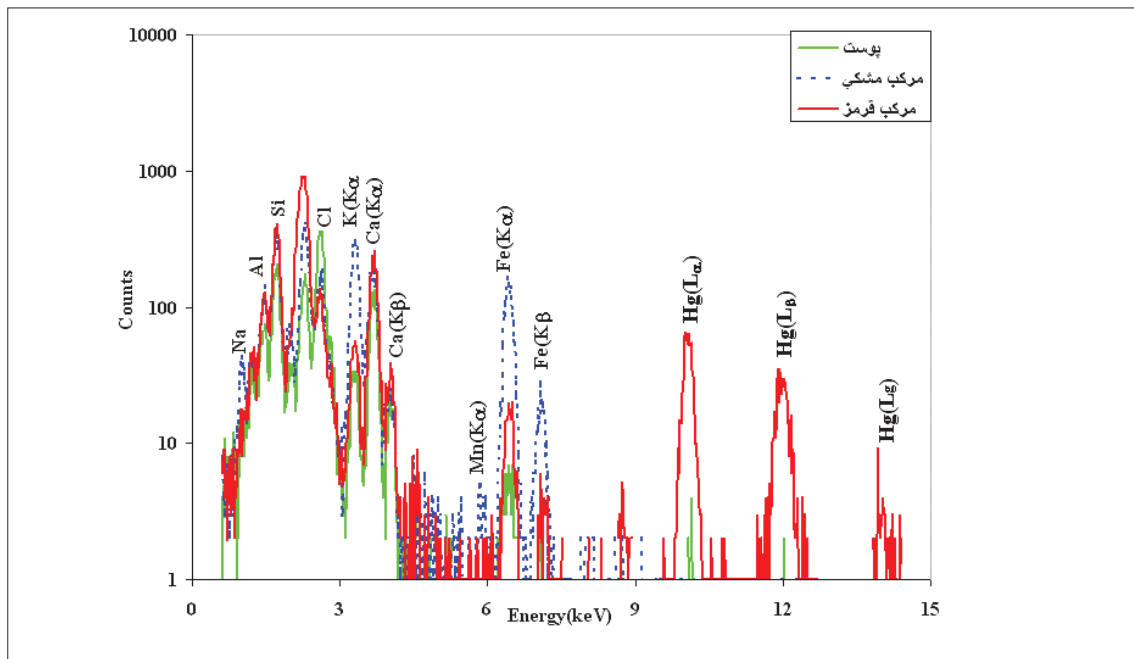
ت ۱: مقایسه طیف‌های به دست آمده از بستر پوستی و ناحیه دارای مرکب قهوه‌ای (نمونه شماره ۶).



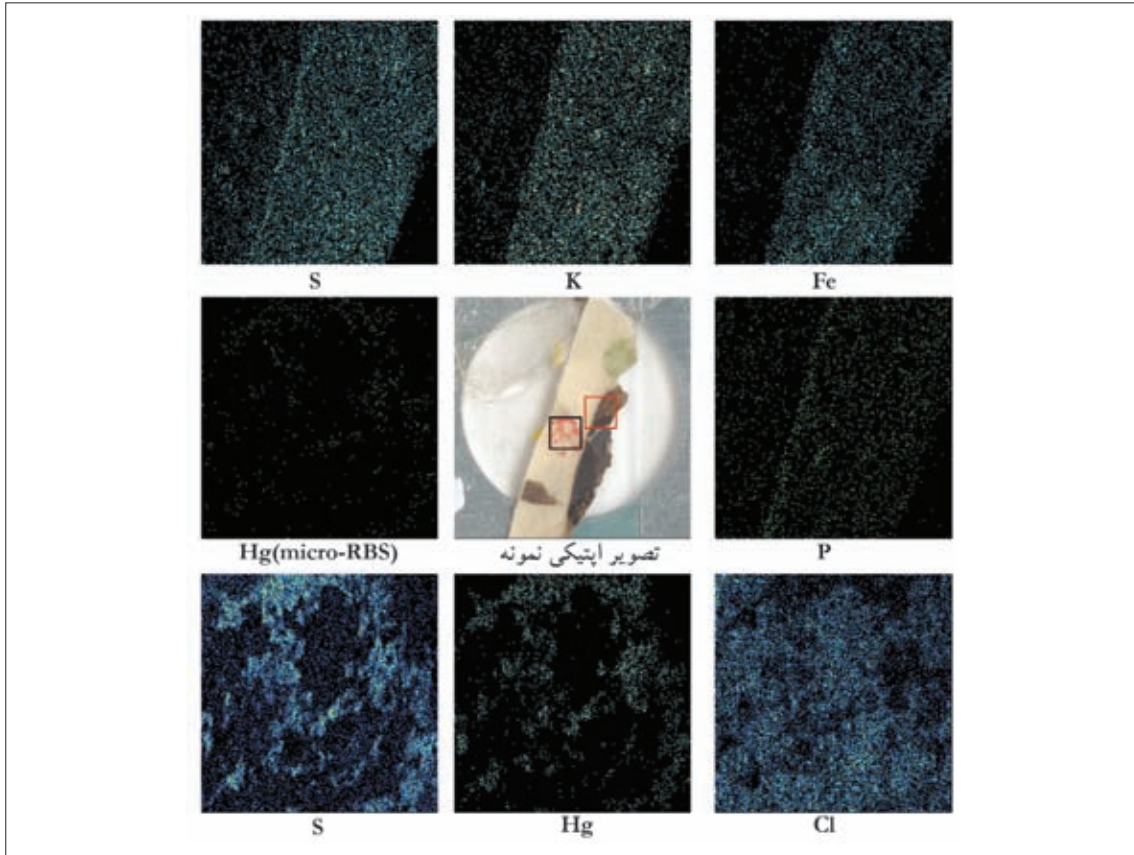
ت ۲: توزیع عنصری برخی از عناصر موجود در مرکب قهوه‌ای به کار رفته در روی یک بستر پوستی (نمونه شماره ۶). ابعاد ناحیه آنالیز شده $2/5 \times 2/5$ م م است.

طیف X مشخصه به دست آمده از آنالیز بخشی از قطعه دیگری (نمونه ش ۷) که با مرکب مشکی و قرمز نوشته شده، در تصویر (۳) نشان داده شده است. همچنین برای مقایسه، طیف ناحیه بدون مرکب، یعنی خود پوست نیز در این شکل نشان داده شده است. همان طور که از مقایسه طیف مربوط به ناحیه دارای مرکب قرمز با ناحیه بدون پوست مشخص است، تفاوت عنصری بین مرکب و بستر پوستی کاملاً مشهود است. در تصویر (۴) توزیع عنصری عناصر موجود در مرکب مشکی و قرمز به کار رفته در نمونه شماره ۷ به همراه تصویر ایتیکی نمونه ارائه شده است. دو ناحیه آنالیز شده با مربع قرمز و مشکی در تصویر ایتیکی مشخص شده اند. ابعاد نواحی آنالیز شده در این نمونه $2/5 \times 2/5$ م می باشد. همان طور که نقشه توزیع عناصر در تصویر (۴) نشان می دهد، عناصر تشکیل دهنده هر مرکب کاملاً مشخص است. با استفاده از این نقشه توزیع عناصر مشخص است که عناصر تشکیل دهنده مرکب قرمز گوگرد (S) و جیوه (Hg) هستند. زیرا تنها در قسمتی از ناحیه آنالیز که مرکب قرمز وجود دارد توزیع این عناصر به مقدار فراوان دیده می شود. به احتمال زیاد این مرکب قرمز از شنجرف ساخته شده است. همچنین نقشه عنصر کلر در تصویر (۴) برای ناحیه ای که دارای مرکب قرمز است نشان داده شده است. این نقشه نشان می دهد که عنصر کلر مربوط به خود پوست است. نقشه توزیع عناصر مربوط به ناحیه دارای مرکب مشکی نیز نشان می دهد که عناصر تشکیل دهنده مرکب مشکی،

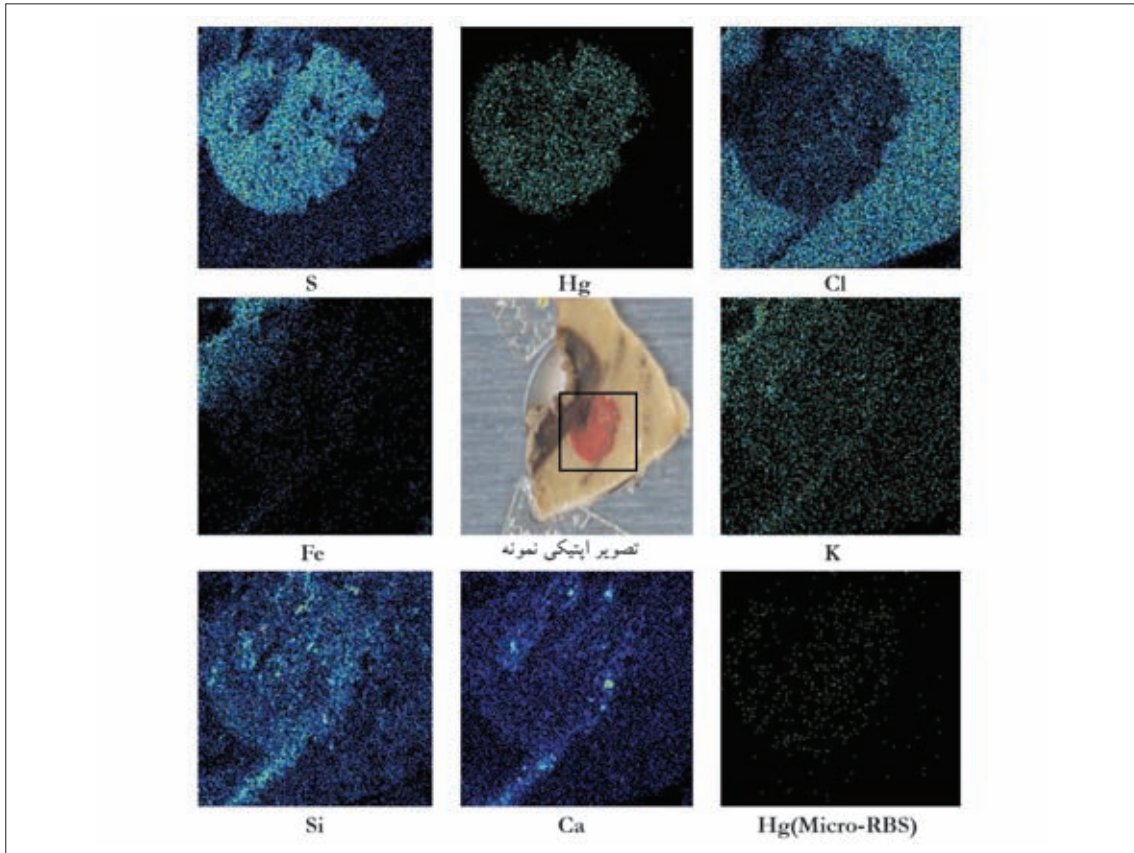
گوگرد (S)، پتاسیم (K) و آهن (Fe) است. همچنین در تصویر (۴) نقشه توزیع عنصر جیوه (Hg) که با استفاده از روش Micro-RBS به دست آمده نیز نشان داده شده است، که با توزیع به دست آمده با استفاده از Micro-PIXE مطابقت دارد. با استفاده از روش Micro-RBS می توان ضخامت مرکب و عمق نفوذ مرکب را در داخل پوست تعیین کرد. همچنین در تصویر (۵) نیز توزیع عنصری عناصر موجود در مرکب مشکی و قرمز به کار رفته در نمونه ای که از یکی دیگر از قطعات پوست نوشته قرآن (نمونه ش ۱۰) انتخاب شده، به همراه تصویر ایتیکی نمونه ارائه شده است. ناحیه آنالیز شده که ابعادی در حدود $2/5 \times 2/5$ م م دارد دارای دو مرکب قرمز و مشکی است که در تصویر ایتیکی با مربع مشخص شده است. همان طور که نقشه توزیع عناصر در تصویر (۵) نشان می دهد، عناصر تشکیل دهنده هر مرکب کاملاً مشخص است و همانند توزیع عناصر تصویر (۴) می باشد. یعنی عناصر تشکیل دهنده مرکب قرمز گوگرد (S) و جیوه (Hg)، و عناصر تشکیل دهنده مرکب مشکی، گوگرد (S)، پتاسیم (K) و آهن (Fe) است. همچنین همان گونه که در این تصویر مشخص است، در توزیع عنصری به دست آمده برای کلسیم (Ca) و سیلیسیم (Si) نقاطی دیده می شود که در آن تجمع کلسیم و سیلیسیم زیاد است که احتمالاً این امر به علت استفاده از موادی است که برای پر کردن خلل و فرج پوست از آن استفاده می شده است تا سطح آن صاف و صیقلی شود و عمل نوشتن بر روی آن بهتر انجام گیرد.



ت ۳: مقایسه طیف های به دست آمده از بستر پوستی و ناحیه دارای مرکب مشکی و مرکب قرمز (نمونه شماره ۷).



ت ۴: توزیع عنصری عناصر موجود در مرکب مشکی و مرکب قرمز به‌کار رفته در قطعات پوست‌نوشت قرآن (نمونه شماره ۷). ابعاد ناحیه آنالیز شده ۲/۵×۲/۵ م است.

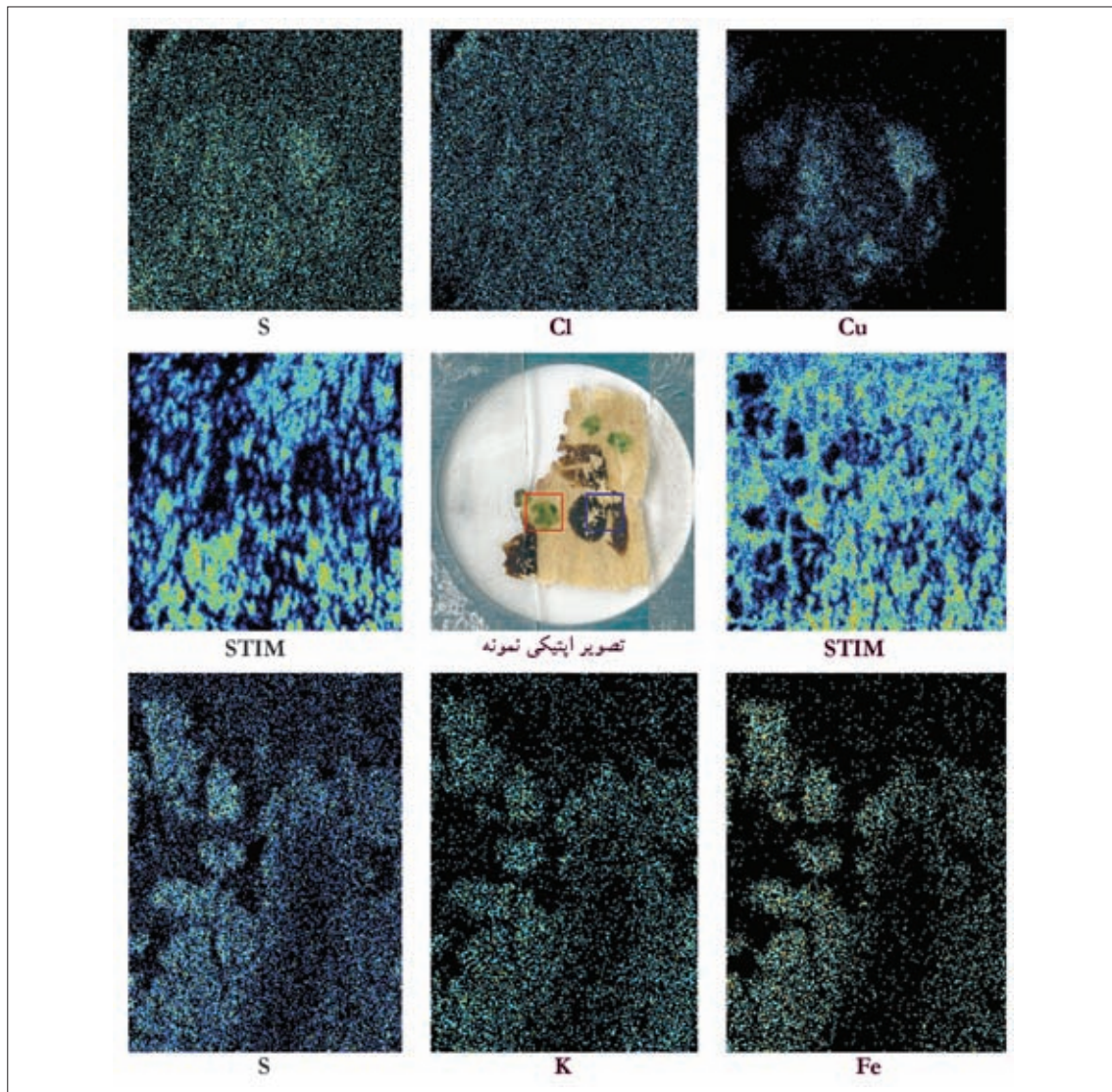


ت ۵: توزیع عنصری عناصر موجود در مرکب مشکی و مرکب قرمز به‌کار رفته در قطعات پوست‌نوشت قرآن (نمونه شماره ۱۰). ابعاد ناحیه آنالیز شده ۲/۵×۲/۵ م است.

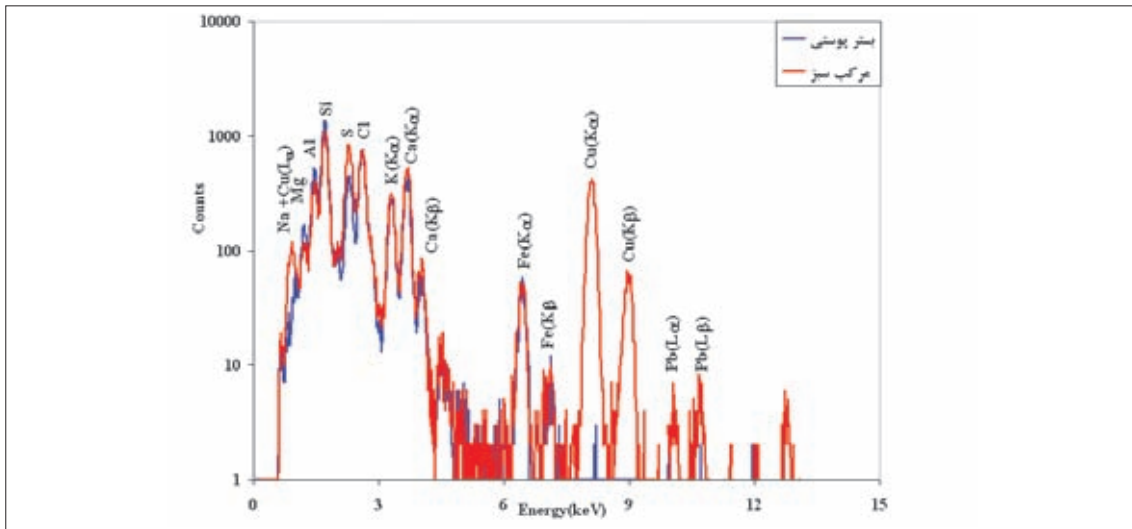
شده است، به همراه تصویر اپتیکی نمونه ارائه شده است. ناحیه آنالیز شده که ابعادی در حدود $2/5 \times 2/5$ مم دارد، دارای دو مرکب مشکی و سبز می باشد که با مربع قرمز و آبی در تصویر اپتیکی مشخص شده است. همان طور که نقشه توزیع عناصر در شکل (۷) نشان می دهد، عناصر تشکیل دهنده هر مرکب کاملاً مشخص است. شباهت این طیف ها با سایر طیف های مرکب سبز و مشکی نشان می دهد که نوع مرکب ها در نمونه های مختلف آزمایش شده یکسان هستند. همچنین تصویر به دست آمده از ذرات عبوری (STIM) از دو ناحیه آنالیز شده نیز در این شکل نشان داده شده است. از روی این تصویر می توان به غیر یک نواخت بودن ضخامت بستر پوستی و بافت مواد تشکیل دهنده پوست پی برد.

طیف X مشخصه به دست آمده از آنالیز بخشی از قطعه دیگری (نمونه ش ۲) که در آن مرکب سبز وجود دارد، در تصویر (۶) نشان داده شده است. همچنین برای مقایسه، طیف ناحیه بدون مرکب، یعنی پوست نیز در این شکل نشان داده شده است. همان طور که از مقایسه طیف مربوط به ناحیه دارای مرکب سبز و ناحیه بدون مرکب مشخص است، تفاوت عنصری بین مرکب و بستر پوستی کاملاً مشهود است و عنصر اصلی تشکیل دهنده مرکب سبز، مس (Cu) است و به احتمال زیاد نوع ماده ای که برای تولید مرکب سبز از آن استفاده شده زنگار مس بوده است. همچنین عنصر سرب نیز به مقدار کمی در این مرکب وجود دارد که در طیف دیده می شود.

در تصویر (۷) نیز توزیع عنصری عناصر موجود در مرکب مشکی و سبز به کار رفته در نمونه شماره ۲ انتخاب



ت ۷: توزیع عنصری عناصر موجود در مرکب مشکی و مرکب سبز به کار رفته در این قطعات (نمونه شماره ۲). ابعاد ناحیه آنالیز شده $2/5 \times 2/5$ مم است.



ت ۶: مقایسه طیف‌های به دست آمده از بستر پوستی و ناحیه دارای مرکب سبز (نمونه شماره ۲).

ارائه شده است. عناصر عمده تشکیل دهنده هر مرکب در مقایسه با بستر پوستی در جدول به صورت پررنگ‌تر نوشته شده است. برای به دست آوردن مقادیر کمی، نمونه‌ها به صورت نازک در نظر گرفته شده‌اند و بنابراین، این مقادیر بر حسب ng/cm^2 به دست آمده‌اند.

با استفاده از طیف‌های به دست آمده برای هر یک از ناحیه‌های آنالیز شده می‌توان مقادیر کمی هر یک از عناصر به کار رفته در مرکب را در مرکب‌های مختلف محاسبه کرد. این کار با استفاده از نرم‌افزار GUPIX انجام شده است.^۶ مقدار فراوانی عناصر به صورت کمی در هر یک از مرکب‌ها و بستر پوستی تعیین شده و در جدول (۱)

شماره نمونه	رنگ مرکب	Na	Mg	Al	Si	P	S	Cl	K	Ca	Ti	Mn	Fe	عناصر دیگر
۲	مشکی	۱۲۳	۶۶	۱۵۳	۳۶۹	۴۱	۶۴۶	۷۴	۴۲۹	۳۹۸	-	۴۴	۱۶۳۰	-
	سبز	۱۹۱	۱۷۴	۳۱۰	۶۳۸	۷۰	۴۶۳	۶۱۰	۳۵۰	۷۰۶	۱۸	-	۲۷۷	Cu: ۵۲۴۰ & Pb: ۳۸۶
	بستر پوست	۱۱۸	۱۴۹	۳۰۰	۶۶۴	۴۴	۲۵۲	۲۲۳	۲۷۶	۴۸۸	۱۵	۱۵	۲۱۷	-
۳	مشکی	۴۶۲	۲۶۲	۴۱۹	۸۵۴	۹۰	۵۱۱	۱۵۸	۸۱۳	۱۰۹۳	۱۸	۶۴	۱۳۹۰	-
	قرمز	۱۰۳	۹۳	۱۸۰	۴۴۵	۵۱	۷۴۳	۲۳۲	۲۲۳	۸۵۹	-	-	۱۷۹	Hg: ۴۹۴۵
	بستر پوست	۹۳	۸۲	۱۲۸	۲۸۷	۴۶	۲۵۲	۷۴۲	۱۲۹	۵۷۲	-	-	۱۳۰	-
۴	مشکی	۳۰۱	۱۵۹	۲۵۴	۴۶۹	۶۷	۱۷۱	۱۰۲۴	۷۶۲	۱۶۴۳	۱۱	-	۵۱۸	-
	قرمز	۱۲۵	۱۲۲	۲۲۶	۶۱۴	۷۹	۸۶۵	۵۴۰	۴۲۹	۱۴۱۶	۳۱	-	۲۷۵	Hg: ۹۳۴۵
	بستر پوست	۲۲۶	۱۴۴	۱۷۲	۳۷۳	۳۶	۲۴۲	۱۸۹۸	۳۰۸	۱۱۱۳	-	-	۱۱۸	-
۶	قهوه‌ای	۴۸۰	۱۷۸	۳۱۰	۷۵۷	۴۷	۴۵۱	۱۷۵۰	۴۱۶	۳۵۲۵	۱۷	۴۱	۲۲۵۱	-
	بستر پوست	۶۹۵	۸۶	۵۶	۱۱۱	-	۲۰۵	۱۸۷۹	۱۲۱	۷۶۰	-	-	۳۷	-
۷	مشکی	۹۷	۴۴	۷۸	۱۷۲	۴۵	۲۴۰	۱۳۲	۳۴۳	۲۱۷	-	-	۸۳۸	Hg: ۴۷۶۲
	قرمز	۲۴	۳۳	۶۰	۱۷۵	-	۴۵۷	۸۵	۴۸	۲۶۹	-	-	۸۳	-
	بستر پوست	-	۱۷	۳۱	۸۵	-	۷۴	۲۴۴	۳۱	۱۴۶	-	-	۲۱	-
۱۰	مشکی	۲۲۰	۱۳۹	۲۸۰	۶۴۲	۶۰	۳۴۴	۲۷۵	۴۴۷	۹۹۵	۲۱	۴۷	۲۱۴۲	-
	قرمز	۱۴۱	۱۱۵	۲۲۷	۵۵۲	۵۰	۱۲۰۵	۲۶۸	۱۸۲	۶۶۲	۲۵	۱۸	۲۵۸	Hg: ۱۰۰۲۸
	بستر پوست	۱۳۴	۱۱۶	۱۸۶	۴۰۰	۱۸	۲۱۹	۱۳۱۱	۱۵۷	۴۶۴	-	-	۱۳۲	-
۱۱	مشکی	۱۰۳	۶۲	۱۰۶	۲۴۰	۲۰	۵۱۱	۴۴۹	۸۸	۱۱۷۰	-	-	۱۴۱	-
	بستر پوست	۵۸	۳۷	۵۷	۱۳۶	-	۱۳۵	۵۵۱	۶۴	۶۳۸	-	-	۵۶	-

جدول (۱): عناصر عمده تشکیل دهنده هر مرکب در مقایسه با بستر پوستی بر حسب ng/cm^2 .

⁶ Maxwell, 1989.

نتیجه‌گیری

به نام سنگرف که ترکیب سولفید جیوه (HgS) است استفاده شده است.^۷ همچنین مشخص شد که عناصر تشکیل دهنده مرکب مشکی، گوگرد (S)، پتاسیم (K) و آهن (Fe)، و عناصر تشکیل دهنده مرکب قهوه‌ای، آلومینیوم (Al)، سیلیسیم (Si)، کلسیم (Ca) و آهن (Fe) است. با اطلاع از عناصر سازنده رنگ‌های به کار رفته در نوشتن این قرآن و تعیین نوع رنگ‌دانه‌های آن می‌توان فن‌شناسی و نگهداری و مرمت این اثر تاریخی را با دقت بهتر، و مراحل و راهکارهای حفاظتی را با بینش و آگاهی بیشتری انجام داد.

با توجه به اینکه هدف از آنالیز این نمونه‌ها تشخیص عناصر تشکیل دهنده مرکب‌های مختلف و بستر پوستی و همچنین بررسی تفاوت بین انواع رنگ‌های به کار رفته در این قطعه است، به وضوح دیده می‌شود که با استفاده از آنالیز میکروپیکسی و به دست آوردن توزیع عنصری عناصر موجود در نمونه، به طور کاملاً واضح اختلاف عنصری موجود بین مرکب‌های مختلف مشخص می‌شود. در آنالیز این نمونه‌ها مشخص شد که برای تهیه رنگ قرمز از ماده‌ای

^۷ نک: وولف، ۱۳۷۲؛ جنتنر، ۱۳۷۸.

کتابنامه

- آقاعلی گل، داوود و پروین اولیایی، علی باقرزاده، فرح شکوهی، امیدرضا کاکویی، بیژن موحد، محمد فرمهبینی فراهانی، محمود مرادی و محمد لامعی رشتی (۱۳۸۶). «آنالیز عنصری نمونه‌های مختلف با استفاده از میکروسکوپ روبشی پروتون و بررسی توزیع عناصر در آنها». *مجله علوم و فنون هسته‌ای*. ش ۱: ۴۰ – ۱۰.
- لامعی رشتی، محمد و داوود آقاعلی گل، فرهاد خسروی، پروین اولیایی، علی باقرزاده، فرح شکوهی (۱۳۸۴ – ۱۳۸۵). «آنالیز عنصری چند نمونه از مرکب و کاغذ دوره قاجار با میکروسکوپ روبشی پروتون». *نامه بهارستان*. س ۶ – ۷، دفتر ۱۱ – ۱۲: ۲۶۱ – ۲۶۴.
- جنتنر، آر. جی و جی. ال. استات (۱۳۷۸). *فرهنگ فشرده رنگ‌دانه‌های هنری*. ترجمه حمید فرهمند بروجنی، با همکاری حمیدرضا بخشنده‌فرد، اصفهان: دانشگاه هنر اصفهان.
- وولف، هانس ای. (۱۳۷۲). *صنایع دستی کهن ایران*. ترجمه سیروس ابراهیم‌زاده. تهران: انتشارات آموزش انقلاب اسلامی.
- BRID, J. R. and J. S. WILIAMS (1989). *Ion Beam For Materials Analysis*. Australia: Academic Press INC.
- JOHNSON, S. E. and J. L. CAMPBELL and K. G. MALMQVIST (1995). *Practicle Induced X-Ray Emission Spectrometry (PIXE)*. Wiley- Interscience Publication, John Wiley & Sonc, INC.
- MAXWELL, J. A. And L. A. CAMPBELL and W. TEESDLE (1989). “The Guelph PIXE software Package”. *Nucl. Instr. And Meth. B* 43, 218.

Elemental Analysis of Inks on Quran Parchments by Micro-PIXE

Mohammad LAMEHI RACHTI (et. al.)

(Van de Graaff laboratory, Atomic Energy Organization of Iran)

This is an investigation of the elemental composition of the ink that has been used in transcribing old copies of the Quran on parchment. Techniques of elemental analysis and those that help determine the chemical composition of the ink in such samples are quite numerous. However, due to the great historical and cultural value of such copies of the Quran, only very small samples may be taken for analytical purposes, and the investigators are limited to those procedures that are least damaging to their objects of study.

The present study relied on micro-PIXE technique in order to determine the elemental composition of black, brown, green, and red inks used in inscribing copies of the Quran on parchment. It has produced better insight into the technology and procedures that were used in manufacturing these inks. Furthermore, because of the unfavorable conditions under which a large number of these manuscripts are kept, they are in danger of damage or destruction. Their restoration and repair depends on the kind of detailed technical knowledge which this research produces. Thus, in-depth knowledge of the elemental composition of such objects is not only valuable in itself, but also crucial to preserving these objects.