توانایی روش آنالیز پیکسی در تشخیص جرم

وحید فتح‌اللهی*، امیدرضا کاکویی، محمد لامعی رشتی

آزمایشگاه واندوگراف، بخش فیزیک هسته ای، مرکز تحقیقات هسته ای، سازمان انرژی اتمی ایران، صندوق پستی ۱۳۳۹-۱۴۱۵۵ ، تهران، ایران

چکیده

آنالیز عنصری به روش پیکسی با توجه به حساسیت زیاد و غیرمخرب بودن، می‌تواند به عنوان ابزاری ارزشمند در علم جرم‌شناسی بکار رود. در کار حاضر مجموعه کوچکی از نمونه‌های جوهر بکار رفته در نوشت‌افزار متداول به روش پیکسی آنالیز شده‌اند. ترکیب عنصری کاملاً متفاوت نمونه‌های مورد بررسی، حاکی از قابلیت این روش در تفکیک و تمایز بین نوشتار به ظاهر یکسان است. این قابلیت شناسایی پیکسی می‌تواند محقق جرم‌شناس را به کشف جرم و شناسایی مجرم رهنمون سازد. کلید واژه‌ها: پیکسی، جرم‌شناسی، جوهر، آنالیزعنصری، نوشتار

مقدمه

شناسایی نمونه‌های مرتبط با جرم که می‌تواند به تعیین هویت مجرمین منجر شود یکی از اصول اساسی در تحقیقات جرم شناسی است. این قبیل نمونه‌ها اغلب از نظر اندازه بسیار کوچکند و حفظ و نگهداری آنها برای بررسی‌های بعدی و احیاناً ارائه در دادگاه از اهمیت حیاتی برخوردار است. روش‌های متعددی برای آنالیز عنصری این نمونه‌ها در دسترس هستند از قبیل شیمی‌تر، طیف‌سنجی جذب اتمی، طیف‌سنجی نشر اتمی و غیره. برخی از این روش‌ها مخرب هستند و بنابراین نمی‌توان از آنها استفاده کرد. بعلاوه اغلب این روش‌های آنالیز فاقد حساسیت لازم هستند و فرآیند آنالیز عنصری با این روش‌ها غالباً وقت‌گیر می‌باشد.

روش آنالیز با فعال‌سازی توسط نوترون(Neutron Activation Analysis(NAA مدتهاست که مورد استفاده قرار می‌گیرد[۱]. اگرچه این روش بس‌عنصری است اما وقتی چند عنصر در نمونه موجود باشد، طیف بدست آمده پیچیده می‌شود و حتی ممکن است به جداسازی رادیوشیمیایی نیاز باشد. زمان آنالیز در این روش ممکن است چندین روز طول بکشد. بعلاوه روش NAA نسبت به وجود سرب-که عنصری حیاتی در تحقیقات جرم‌شناسی است- غیرحساس است.

بدین ترتیب نیاز به یک روش آنالیز بس عنصری و غیرمخرب برای آنالیز نمونه‌های مرتبط با جرم‌شناسی کاملاً محسوس است. روش آنالیز پیکسی (PIXE: Proton Induced X-ray Emission) یا "پرتو x گسیلی در اثر برانگیختگی با پروتون" که این ویژگی‌ها را داراست، می‌تواند به‌صورت ابزاری توانمند در آنالیز نمونه‌های جرم‌شناسی مورد استفاده قرار گیرد.

کاربرد روش پیکسی در مطالعه مسائل مرتبط با جرم شناسی ناشی از این حقیقت است که محققین جرم‌شناس عموماً یک هویت ناشناس را می‌توانند از اثرات بسیار کوچک گلوله، تراشه‌های رنگ، تکه‌های کوچک شیشه، تارهای مو، تکه‌های کوچک پارچه و دیگر انواع نمونه‌ها که یا در صحنه جرم و یا در مظنون پیدا می‌شوند، شناسایی کنند. از آنجا که مجرم عموماً چیزی را در صحنه جرم باقی می‌گذارد و یا چیزی را با خود می‌برد استفاده از این روش می‌تواند بسیار مفید باشد.

اگرچه گزارش‌های انگشت‌شماری در رابطه با استفاده از روش آنالیز پیکسی در جرم‌شناسی انتشار یافته است، با این‌حال در مقاله‌های منتشر شده، توانایی این روش در علوم جرم‌شناسی کاملاً اثبات شده است. به‌عنوان مثال در کار تحقیقاتی سِن (Sen) و سایرین،[۲] نتایج مطالعات پیکسی روی هدف‌های پرتابه‌ای شبیه‌سازی شده در آزمایشگاه گزارش شده است. آنها همچنین نتایج مطالعات پیکسی را روی دیگر اشیاء احتمالی مرتبط با جرم انتشار داده‌اند. آزمایشات آنها نشان دهنده آن است که حساسیت تکنیک پیکسی می‌تواند نقش مهمی در جرم‌شناسی بازی کند بویژه در (الف) نسبت دادن فاصله اسلحه تا قربانی، (ب) شناسایی گلوله و (ج) تعیین این موضوع که آیا جراحت توسط گلوله بوجود آمده است یا خیر.

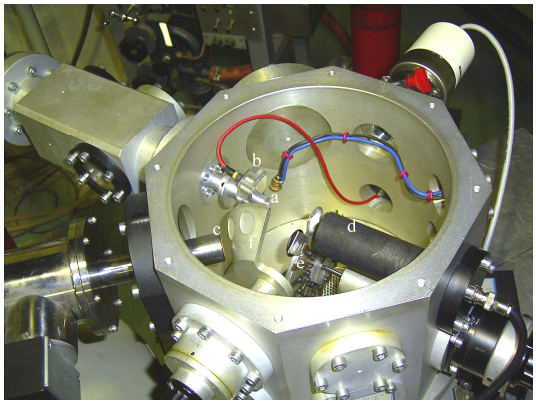
همچنین گروپ (Groep) و سایرین در گزارش خود[۳] نشان داده‌اند که عناصر کم‌مقدار موجود در مو می‌توانند در تحقیقات جرم‌شناسی بکار روند. آلوده کننده‌ها می‌توانند عناصر کم‌مقدار در مو بجا بگذارند، در این موارد عناصر کم‌مقدار موجود در مو بعنوان انعکاس دهنده قابل اطمینانی از محتوای کل بدن ارزیابی می‌شوند و آنالیز مو می‌تواند بعنوان یک ابزار تشخیصی جرم‌شناسی مورد استفاده قرار گیرد. با توجه به حساسیت آنالیز عنصری به روش پیکسی، تعیین مقادیر عناصر کم‌مقدار در مو با این روش آنالیز عنصری به‌خوبی امکان‌پذیر است. مثلاً مسمومیت توسط آرسنیک می‌تواند به این روش مشخص شود. علاوه‌براین آنالیز موی پیدا شده در صحنه جرم می‌تواند در شناسایی شخص مجرم نیز بکار رود. از دیگر موارد استفاده از روش پیکسی در جرم‌شناسی می‌توان به آنالیز مواردی نظیر جعل اسناد، تکه‌های شیشه، تراشه‌های رنگ و مواد مخدر اشاره کرد.

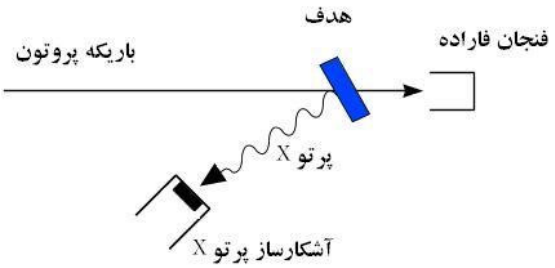
آنالیز مدارک نوشتاری با روش پیکسی جهت بررسی اصالت و تعیین هویت آنها پیش از این گزارش شده است[۴]. سناریوهای بسیار متنوعی را می‌توان تصور کرد که در آنها از این قابلیت پیکسی در تشخیص جرم و شناخت مجرم بتوان استفاده کرد. در این کار با آنالیز مجموعه‌ای از نوشتار که با استفاده از جوهر خودنویس،

خودکار و روان‌نویس نوشته شده‌اند، توانایی روش پیکسی در تفکیک نوشتار به ظاهر یکسان و تعیین نوشت‌افزار بکار برده شده نشان داده شده است.

روش پیکسی و ابزار آرایی آزمایش

روش پیکسی (PIXE: Proton Induced X-ray Emission) یا "پرتو X گسیلی در اثر برانگیختگی با پروتون" اولین بار در سال ۱۹۷۰م. توسط Johansson و دیگران [۵] کشف شد. این روش آنالیز بلافاصله به عنوان روش توانمندی برای آنالیز بس‌عنصری و غیرتخریبی نمونه‌ها در آزمایشگاه شتابدهنده‌های مختلف مورد پذیرش قرار گرفت. فیزیک حاکم بر این روش به این صورت است که: هنگامی که یک هدف بوسیله پروتون‌ها و یا یون‌های سنگین بمباران می‌شود، الکترون‌های لایه‌های داخلی اتم کنده شده و با پر شدن جای خالی این الکترون‌ها توسط الکترون‌های لایه خارجی سبب تولید پرتو X مشخصه اتم‌های هدف می‌شود. از آشکارساز Si(Li) و یا نظیر آن برای اندازه‌گیری انرژی و شدت پرتوهای X مشخصه استفاده می‌شود. انرژی پرتو X نوع عنصر حاضر در نمونه و تعداد پرتو X با انرژی معین، غلظت عنصر در نمونه را مشخص می‌کند. در این اندازه‌گیری بطور همزمان ۳۰-۲۵ عنصر با حد آشکارسازی ۱μ g/g قابل اندازه‌گیری است. آنالیز به روش پیکسی در ایران سابقه ای طولانی دارد. پس از راه‌اندازی شتابدهنده واندوگراف با انرژی ۳ MeV در سازمان انرژی اتمی ایران، از این روش آنالیز بصورت متداول در این آزمایشگاه استفاده می‌شود[۶]. این روش آنالیز بطور گسترده‌ای در آنالیز نمونه‌های زیست‌شناسی، زمین‌شناسی ، باستان شناسی، زیست محیطی و صنعتی[۱] مورد استفاده قرار می‌گیرد.





شکل۱: اصول روش پیکسی

شکل۲: اتاقک آزمایش پیکسی a –مسیر باریکه فرودی b–آشکارساز سدسطحی c–آشکارساز Si(Li) d–فنجان فاراده e–نگهدارنده نمونه f–نگهدارنده فیلتر

در شکل ۱، اصول روش پیکسی نشان داده شده است: باریکه پروتون شتابدهنده واندوگراف با انرژی MeV ۳-۲ و با شدت چند نانوآمپر در خلأ به نمونه برخورد می‌کند و آشکارسازی از نوع Si(Li)، پرتوهای x گسیلی از نمونه را اندازه می‌گیرد. در آرایش آزمایشی ما، باریکه پروتون، نمونه تحت بررسی و آشکارساز همگی در محیط خلأ قرار دارند. در شکل (۲) تصویری از اتاقک آزمایش پیکسی نشان داده شده است که در آن محل نصب نمونه‌ها، فنجان فاراده برای جمع‌آوری بار پرتوی فرودی و آشکارساز Si(Li) مشخص است.

آماده سازی نمونه‌ها

آماده سازی نمونه مناسب از اهمیت ویژه‌ای در آنالیز پیکسی برخوردار است. در این تحقیق چندین نمونه جوهر مختلف آنالیز شده‌اند. برای کمینه کردن اثرات زمینه، از زیر لایه نازک با عدد اتمی کوچک(برگ کپتون) استفاده شده است، به این ترتیب اطمینان حاصل می‌شود که پرتوهای x ناشی از زیرلایه از انرژی کمی برخوردار بوده و اتلاف انرژی پروتون در هدف و جذب پرتوهای x ساطع شده در ماتریس قابل صرفنظر است. برای آماده‌سازی نمونه‌ها درصورت امکان قطره‌ای از جوهر بر روی برگ کپتون چکانده شد و یا با روان‌نویس و خودکار چند میلی‌متر مربع از برگ کپتون پوشانده شد.

نتایج تجربی و بحث

همانطور که پیشتر اشاره شد، سناریوهای متنوعی را می‌توان تصور کرد که در آنها شناسایی مدارک نوشتاری، محقیقن جرم‌شناس را به کشف جرم و شناخت مجرم هدایت کند. این اطلاعات می‌تواند در تعیین اصالت یا جعلی بودن اسناد، شناسایی نوشت‌افزار بکار گرفته شده در نگارش مدرک مورد نظر و احیاناً شناسایی آلودگی‌های ناشی از محیط نگهداری نوشتار کمک کند. آنالیز عنصری به روش پیکسی نه تنها غیر مخرب، بس‌عنصری، سریع و در دسترس است بلکه به نمونه‌سازی خاصی نیاز ندارد و امکان آنالیز با مقادیر بسیار ناچیزی از نمونه میسر است، بعلاوه دارای حساسیت بالا و کاملاً اقتصادی است.

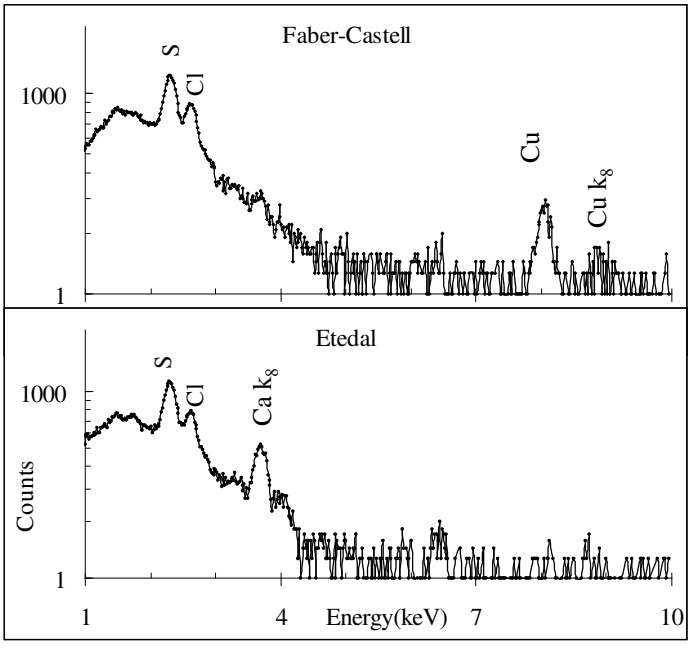
در این کار امکان شناسایی و تفکیک مدارک و اسناد مکتوب، با استفاده از آنالیز عنصری به روش پیکسی بررسی شده است. به‌عنوان مثال نمونه‌های تهیه شده از نوشت‌افزار متداول با روش آنالیز پیکسی مشخصه‌یابی شده‌اند که در جدول ۱ ترکیب عنصری هریک از این نمونه‌ها نشان داده شده است.

جدول ۱- ترکیب عنصری ۶ نمونه جوهر اندازه‌گیری شده به روش پیکسی

Bic: خودکار مشکی بیک
Uniball: روان نویس مشکی ضد آب ژاپنی
Pelikan: جوهر آبی-مشکی فشنگی خودنویس
Projection: روان نویس با جوهر محلول در آب
Faber-Castell: روان نویس مشکی ضد آب
Etedal: جوهر مشکی کارخانه اعتدال

	Na	Al	Si	S	Cl	K	Ca	Fe	Cu	Zn	Br
Bic				×							
Uniball				×		×					
Pelikan	×		×	×		×	×	×		×	
Projection	×	×		×	×						×
Faber-Castell		×		×	×		×		×		
Etedal		×	×	×	×		×				

در شکل۳، طیف‌های حاصل از جوهرهای ساخت دو کارخانه متفاوت با هم مقایسه شده‌اند.



شکل ۳-طیف حاصل از اندازه‌گیری پیکسی نمونه جوهر ساخت دو کارخانه متفاوت، اگر چه ترکیب عنصری شبیه هم‌می‌باشند، ولی تمایز بین جوهرها براحتی ممکن است.

همانطور که دیده می‌شود، این دو طیف از نظر توزیع عنصری کاملاً متفاوتند. برای اینکه بدانیم بین مجموعه به ظاهر یکسانی از نمونه‌ها ارتباطی وجود دارد و یا اصلاً ارتباطی وجود ندارد، لازم است که نسبت غلظت‌های عناصر سازنده نمونه‌ها را مورد مطالعه قرار دهیم. این مطالعات، داده‌های مفیدی برای محقق جرم‌شناس فراهم می‌کند تا وی بتواند پارامترهای اساسی مربوط به جرم را ارزیابی کند.

نتیجه‌گیری

در این کار، استفاده از روش آنالیز عنصری پیکسی بعنوان یک روش بس‌عنصری، غیرمخرب و سریع در جرم‌شناسی امکان‌سنجی شده است. در سناریوهای متنوعی تشخیص جرم وشناسایی هویت مجرم می‌تواند منوط به تشخیص و تفکیک اسناد اصلی و جعلی و همچنین شناسایی نوشت‌افزار بکار رفته در تهیه مدارک و اسناد باشد. دقت در طیف‌های بدست آمده قابلیت روش پیکسی را برای چنین ارزیابی‌هایی مورد تایید قرار می‌دهد. شناسایی وتفکیک نمونه‌های جوهر نوشت‌افزار متداول صرفاً می‌تواند نقطه شروعی برای بکارگیری این روش حساس در جرم‌شناسی در کشور باشد. بدون تردید دامنه استفاده از این روش بس‌عنصری و سریع می‌تواند به مواردی نظیر تشخیص نوع گلوله، فاصله اسلحه تا قربانی، شناسایی تراشه‌های رنگ، تکه‌های شیشه، مواد مخدر و مواد منفجره به سرعت در کشور گسترش یابد.

تشکر و قدردانی

لازم است که در پایان از آقای دکتر سید علی موسوی بهبهانی، رئیس بخش فیزیک هسته‌ای و همچنین تکنسین-های آزمایشگاه واندوگراف که در زمان انجام آزمایش‌ها کمال همکاری را با ما داشته‌اند، تشکر و قدردانی کنیم.

1- J.R. Bird et al, “Ion Beams for Materials Analysis”, Academic press, Australia, 1989.
2- S. Sen, et al., “Application of the proton induced X-ray emission(PIXE) technique to the study of problems in forensic science”, Nucl. Instr. and Meth. 181, 517,1981.
3- D. Groep et al.,”Analysis of complex surface in the virtual laboratory”, v1/ ubeam-sample/case/ubeamcase DG/20000210.6
۴- محمد لامعی رشتی و همکاران،″ معرفی روش پیکسی خارجی در آنالیز مرکب و کاغذ قدیمی″، نامه بهارستان، سال سوم، شماره دوم، دفتر ۶، ص ۴۳۱ ، سال ۱۳۸۱.
5- T. B. Johansson, R. Akselsson and S.A.E. Johansson, ”X-ray Analysis: Elemental trace analysis at the 10-12μg level”, Nucl. Instr. and Meth. 84, 141, 1970.

6- P. Sioshansi, A. S. Lodhi and H. Payrovan," Proton induced X-ray analysis of drinking water sample", Nucl. Instr. and Method., 142, 285, 1977.