

## مطالعه ریزذرات حاصل از شلیک گلوله با استفاده از پروتون روبشی

ابراهیم، غلامی حاتم\*؛ نادر، قبادی

دانشگاه ملایر، گروه فیزیک

### چکیده

ریزذرات باقیمانده از شلیک گلوله به طور جداگانه با استفاده از پرتوی ایکس گسیلی ناشی از میکروباریکه پروتون متمرکز شده به ابعاد  $4 \mu m$  و با انرژی فرودی  $3 MeV$  حاصل از شتاب‌دهنده تاندترون مورد بررسی قرار گرفته است. جهت برازش دقیق تر طیف پرتوی ایکس به دست آمده شکل هندسی (توپوگرافی) کروی ریزذرات نیز در نظر گرفته شده است. استفاده از این روش برای شناسائی ترکیب و نوع گلوله شلیک شده در قیاس با روش های متداول از حساسیت بالاتری برخوردار است.

کلیدواژه: میکروپیکسی، ریزذرات، توپوگرافی سطح.

### مقدمه

مقامات پلیسی به منظور شناسائی ذرات باقیمانده از شلیک گلوله (GSR) به طور مرسوم از لباس، پوست و موی مضمون نمونه برداری می کنند و با استفاده از طیف‌نمائی تفرق انرژی بر روی طیف میکروسکوپ الکترونی (SEM-EDS) جهت تشخیص عناصر موجود، نوع گلوله و شخص مضمون استفاده می کنند [۱]. هنگامی که یک گلوله شلیک می شود ذرات میکروسکوپی بر روی دست، لباس و یا موی شخص شلیک کننده به جای می مانند. این ذرات محصولات تراکم در دما و فشار بالای هنگام شلیک اسلحه هستند که در صحنه جرم و بر روی شخص شلیک کننده باقی می مانند. بعلاوه، این ذرات از قسمت های مختلف گلوله شامل مرمی، پوکه و پودر محصولات احتراق تشکیل شده اند که معمولاً با قطری در حدود چند میکرون کروی شکل بوده و اغلب شامل عناصر Ba و Ba، Pb هستند. ذرات GSR تا چند روز پس از شلیک بر روی لباس باقی می مانند و شخص مضمون نیز که توسط پلیس دستگیر می شود ممکن است توسط گلوله شلیک شده از اسلحه پلیس آلوده به این ذرات شود و بنابراین این می تواند منجر به پیش داوری نادرست از شخص مضمون شود.

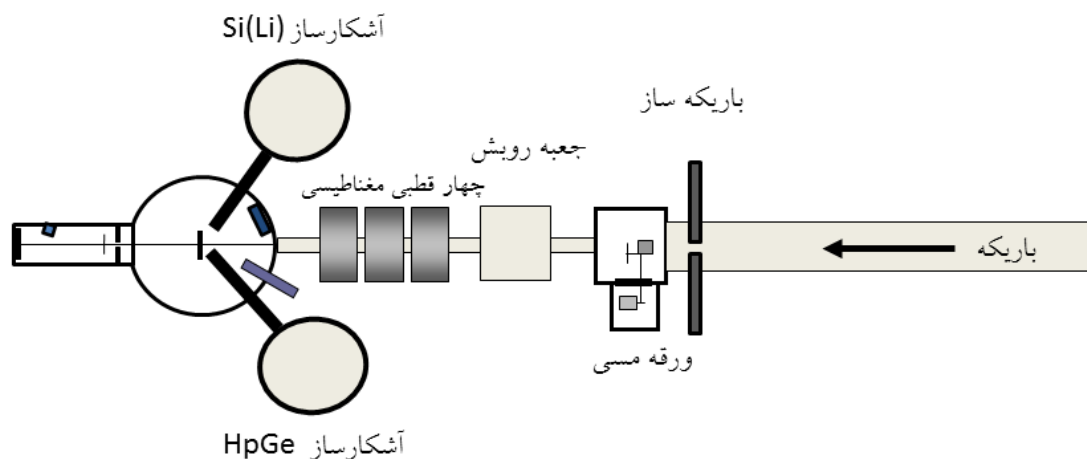
برخلاف توانمندی روش SEM-EDS در بسیاری موارد جهت دسته بندی ذرات GSR تمایز بین برخی انواع این ذرات با استفاده از این روش امکان پذیر نمی باشد. بنابراین آنالیز به روشی با حساسیتی بالاتر می تواند ذراتی که با استفاده از این روش یکسان هستند را متمایز نماید. استفاده از روش میکروپیکسی به دلیل حساسیت بسیار بالا یک روش توانمند برای شناسائی این نوع از ذرات است. در این روش بدون نیاز به استانداردها می توان چگالی عنصری را به صورت کمی تعیین کرد. از روش میکروپیکسی برای شناسائی ذرات باقیمانده از شلیک گلوله که با روش معمول SEM-EDS قابل شناسائی نیستند استفاده شده است [۲] اگرچه شکل هندسی ذرات در نظر گرفته نشده است و می تواند در تحلیل نتایج پیکسی تأثیرگذار باشد [۳].

اخیراً از روش استروپیکسی برای بازسازی توپوگرافی سطح نمونه استفاده شده است [۴] و برای آلیاژهای از قبیل سکه ۱ یورونی نیز به کار رفته است [۵]. در این پژوهش ساختار هندسی کروی بودن ذرات GSR و همچنین جذب پرتوی ایکس مشخصه در مسیر خروجی ماده نیز در نظر گرفته شده است.

## روش کار

### الف) چیدمان آزمایش

ذرات به جای مانده از شلیک گلوله در مرکز میکروباریکه ژوزف استفان [۶] مورد آنالیز قرار گرفت. پروتون فرودی با انرژی ۳ MeV به ابعاد  $1/4 \mu\text{m}$  متمرکز شده و بر روی چهار ذره مختلف از یک نمونه جاروب شد. مقدار بار با اندازه گیری یون های پس پراکنده از ورقه‌ی طلا اندازه گیری می شود [۷]. پرتوهای مشخصه‌ی ایکس با انرژی کم (کمتر از ۴ keV) به دلیل سطح مقطع زیاد تولید پرتوی ایکس به طور فراوان در طیف سنجی پیکسی تولید می شوند و با شمارش بالائی قابل شناسائی هستند و این در حالی است که پرتوهای ایکس با انرژی زیاد (بزرگتر از ۱۰ keV) به دلیل سطح مقطع پائین تر با شمارش کمتری تولید می شوند. به این ترتیب آشکارساز HPGe با پنجره‌ی خلاء نازک و بدون ورقه‌ی جذب کننده برای آشکارسازی پرتوهای کم انرژی از بازه‌ی keV ۱-۱۰ نصب شده و آشکارساز Si(Li) با ماده‌ی جذب کننده پرتوهای ایکس برای آشکارسازی پرتوهای با انرژی بیشتر از ۴ keV در نظر گرفته شده است.



شکل ۱: چیدمان تصویربرداری دو-بعدی توزیع عنصری در میکروپیکسی.

سیگنال های پرتوی ایکس حاصل از پروتون فرودی به طور هم زمان در آشکارسازهای سمت راست و چپ باریکه فرودی ثبت می شوند. آشکارساز HpGe با سطح فعال  $90 \text{ mm}^2$ ، پنجره Be به ضخامت  $25 \mu\text{m}$ ،

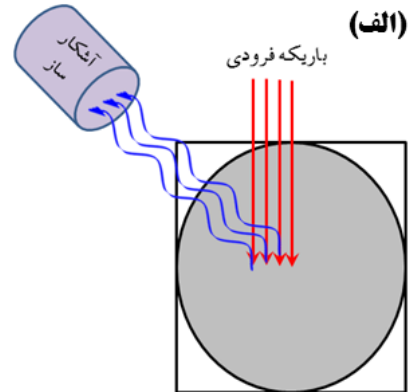
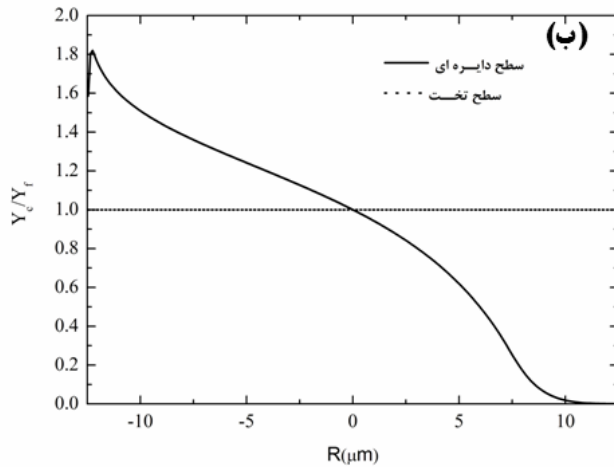
جاذب Kapton به ضخامت  $100\ \mu\text{m}$ ، قدرت تفکیک انرژی  $170\ \text{eV}$  در سمت چپ باریکه‌ی فرودی و در زاویه‌ی  $125^\circ$  قرار دارد. آشکارساز  $\text{Si(Li)}$  در طرف مخالف با سطح فعال  $10\ \text{mm}^2$ ، پنجره‌ی  $\text{Be}$  به ضخامت  $8\ \mu\text{m}$  و قدرت تفکیک  $165\ \text{eV}$  در انرژی  $5/9\ \text{keV}$  در زاویه‌ی  $135^\circ$  قرار دارد (شکل ۱). چهار ذره مختلف از ذرات باقیمانده داخل پوکه اسلحه با استفاده از نوارچسب دوطرفه مدل ۴۰۴ انتخاب شدند و جهت بررسی بر روی نگهدارنده شماره ۱۵ قرار گرفتند.

### ب) محاسبات تئوری

هنگامی پرتون فرودی با انرژی چند مگاالکترون با ماده برهم‌کنش می‌کند می‌تواند منجر به گسیل پرتوی ایکس مشخصه عناصر موجود در نمونه شود. پرتوهای ایکس تولید شده در مسیر خروجی در داخل ماده تضعیف می‌شوند تا به آشکارساز برسند و ثبت شوند. بهره آشکارساز شده پرتوی ایکس عبارتست از

$$Y = \frac{Q\varepsilon\Omega}{4\pi e} \int_0^R n(z)\sigma^f(E,z)\exp(-\mu z/\cos\varphi) dz \quad (1)$$

که در آن  $Q/4\pi e$  شار یون فرودی،  $\varepsilon$  بازده آشکارساز،  $\Omega$  زاویه‌ی فضائی احاطه شده توسط آشکارساز،  $R$  عمق نفوذ پروتون،  $n(z)$  چگالی عنصری ماتریس نمونه در عمق  $z$ ،  $\sigma$  سطح مقطع تولید پرتو ایکس با انرژی  $E$ ،  $\mu$  ضریب جذب پرتوی ایکس و  $\varphi$  زاویه قرارگرفتن آشکارساز نسبت به باریکه فرودی است. همان‌گونه که اشاره شد اغلب ذرات GSR دارای شکل هندسی کروی هستند و این موضوع در بهره‌ی پرتوی ایکس آشکار شده تأثیر گذار است، چراکه پرتوی ایکس تضعیف شده در داخل ماده به توپوگرافی سطح ماده بستگی دارد. برای بررسی این موضوع بهره‌ی پرتوی ایکس را برای یک نمونه با سطح دایره‌ای شکل را نسبت یک نمونه با سطح تخت مقایسه می‌کنیم. در شکل ۲-الف) شکل هندسی نمونه با سطح مقطع دایره‌ای شکل و نمونه با سطح مقطع تخت نشان داده شده است. شکل ۲-ب) بهره‌ی پرتوی ایکس نمونه کروی نسبت به نمونه تخت  $(Y_o/Y_f)$  برحسب شعاع سطح مقطع دایره‌ای شکل  $(R)$  نشان می‌دهد. در  $R \ll r_o$  جایی که پرتوهای ایکس تولید شده طی مسافت کمتری در نمونه کروی نسبت به نمونه تخت تضعیف می‌شوند نسبت بهره‌ی پرتوی ایکس تولید شده طبق رابطه ۱- بیشتر است و این در حالی است که در  $R > r_o$  به دلیل آن‌که پرتوها مسافت بیشتری در هر دو نمونه کروی و تخت طی می‌کنند تا به آشکارساز برسند این نسبت به صفر کاهش پیدا می‌کند.

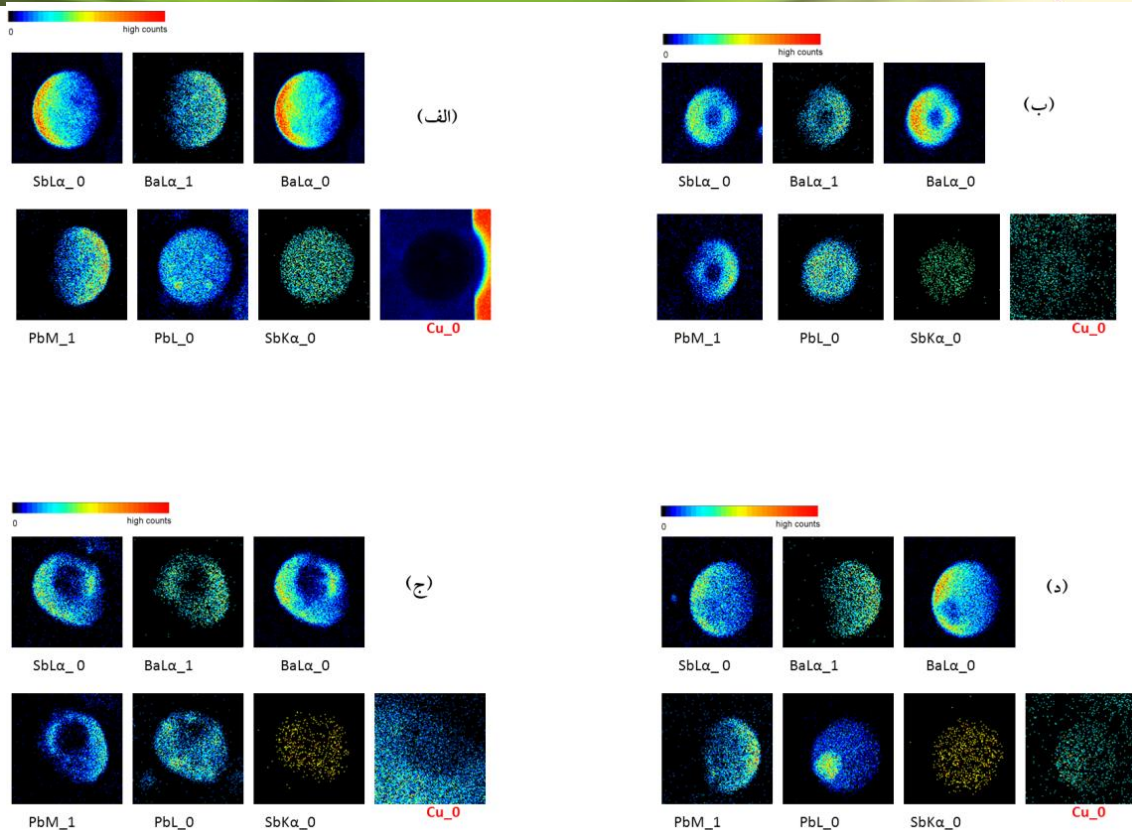


شکل ۲: (الف) شکل هندسی نمونه با سطح مقطع دایره‌ای و سطح تخت. (ب) محاسبه نسبت بهره‌ی تولید پرتوی ایکس برای نمونه با سطح مقطع دایره‌ای به سطح نمونه تخت.

## نتایج

برای شناسایی ذرات بررسی شده آنها را ذره ۱، ذره ۲، ذره ۳ و ذره ۴ نامگذاری می‌کنیم، همچنین برای تمایز بین آشکارساز  $\text{Si(Li)}$  و  $\text{HpGe}$  داده‌های آنها را به ترتیب با اندیس ۰ و ۱ نشان می‌دهیم. شکل ۳-الف)، (ب)، (ج) و (د) به ترتیب توزیع عنصری میکروپیکسی چهار ذره ۱، ۲، ۳ و ۴ را نشان می‌دهد. باریکه یونی با شدت جریان ۱۵ pA بر روی ذره شماره ۱ به ابعاد  $60 \times 60 \mu\text{m}^2$  به مدت ۱۱ دقیقه جاروب شد و این در حالی است که ذره شماره ۲ به ابعاد  $30 \times 30 \mu\text{m}^2$  مورد بررسی قرار گرفت. همچنین ذرات شماره ۳ و ۴ نیز هر یک به ابعاد  $40 \times 40 \mu\text{m}^2$  مورد بررسی قرار گرفتند. عمده عناصر موجود در هر چهار ذره  $\text{Sb}$ ،  $\text{Ba}$  و  $\text{Pb}$  هستند که خطوط طیفی  $\text{La}$  مربوط به عنصر باریوم در هر دو آشکارساز به خوبی قابل شناسایی است. تعداد شمارش‌ها در آشکارساز  $\text{HpGe}$  به دلیل زاویه فضائی بزرگتر بیشتر از آشکارساز  $\text{Si(Li)}$  است. همچنین چنانچه توجه کنیم شدت پرتوی ایکس در سمت راست تصویر مربوط به آشکارساز  $\text{HpGe}$  نسبت به سمت چپ آن کمتر است. علت این موضوع آن است که آشکارساز  $\text{HpGe}$  در سمت راست باریکه فرودی قرار دارد، لذا طبق بحث تئوری که انجام شد پرتوهای ایکس سمت راست تصویر بیشتر تضعیف می‌شوند تا به آشکارساز برسند.





شکل ۳: توزیع عنصری (الف) ذره ۱، (ب) ذره ۲، (ج) ذره ۳ و (د) ذره ۴. توزیع عنصری به دست آمده در آشکارساز HpGe با اندیس ۰ و در آشکارساز Si(Li) با اندیس ۱ نشان داده شده است.

### بحث و نتیجه گیری

از این بحث می توان نتیجه گرفت که کمتر بودن شدت پرتوهای ایکس در سمت راست آشکارساز HpGe لزوماً به مفهوم توزیع عنصری کمتر باریم نمی تواند باشد بلکه عوامل دیگری از جمله شکل هندسی نمونه و محل قرارگیری آشکارساز نیز در تحلیل نتایج تأثیرگذار است. همچنین از توزیع عنصری مربوط به عنصر Cu می توان نتیجه گرفت که این عنصر از داخل ذره ناشی نمی شود چراکه توزیع آن در ناحیه ای وجود دارد که عناصر باریم و آنتیمون یعنی ذره وجود ندارد و این می تواند مربوط به عنصر مس نگدارنده نمونه باشد.

### سپاسگزاری

نویسندگان مقاله از همکاری صمیمانه جناب آقای پرفسور پریموژ پلیسون و همکارانشان در مؤسسه ژوزف استفان<sup>۱</sup> کشور اسلوانی جهت آماده سازی نمونه و ساماندهی چیدمان آزمایش نهایت سپاسگزاری و قدردانی را دارند.



۷ و ۸ اسفند ماه ۱۳۹۲  
رشت - دانشگاه گیلان

سیستیم کفراسن  
پارابرا



Nuclear society of Iran  
20th Iranian Nuclear Conference  
26-27 February, 2014  
University of Guilan Rasht - Iran

مراجع

- [۱] Z. Brozek-Mucha, A. Jankowiczl; Variation of the chemical contents and morphology of gunshot residue in the surroundings of the shooting pistol as a potential contribution to a shooting incidence reconstruction; Forensic Science International; ۲۱۰ (۱-۳), ۳۱-۴۱, ۲۰۱۱.
- [۲] M. J. Bailey, D. Cox, K. J. Kirkby, C. Jeynes; Trace element profiling of gunshot residues by PIXE and SEM-EDS: a feasibility study; X-Ray Spectrometry, ۳۸ (۳), ۱۹۰-۱۹۴, ۲۰۰۹.
- [۳] D. Jezeršek, S. Jakomin, Ž. Šmit; Analysis of textile fibers by in-air PIXE; Surface and Interface Analysis; ۴۲ (۵), ۴۲۳-۴۲۸, ۲۰۱۰.
- [۴] E. Gholami Hatam, P. Plecon, M. Lamahi-Rachti, P. Vavpetič, O. Kakuee, N. Grlj, V. Fathollahi; Surface topography reconstruction by stereo-PIXE; Journal of Analytical Atomic Spectrometry, ۲۷, ۸۳۴-۸۴۰, ۲۰۱۲.
- [۵] E. Gholami Hatam, M. Lamahi-Rachti, P. Vavpetič, N. Grlj, P. Pelicon; surface topography reconstruction of  $^{16}\text{C}$  coin measured by stereo-PIXE, Nuclear Instrument and methods B, ۳۰۶, ۹۰-۹۳, ۲۰۱۳.
- [۶] P. Pelicon, J. Simčič, M. Jakšič, Z. Medunić, F. Naab, F. D. McDaniel; Spherical chamber – effective solution for multipurpose nuclear microprobe; Nuclear Instrument and Methods in Physics Research B, ۲۳۱(۱-۴), ۵۳-۵۹, ۲۰۰۵.
- [۷] K. Vogel-Mikuš, P. Pelicon, P. Vavpetič, I. Kreft, M. Regvar; Elemental analysis of edible grains by micro-PIXE: Common buckwheat case study; Nuclear Instrument and Methods in Physics Research B, ۲۶۷ (۱۷), ۲۸۸۴-۲۸۸۹, ۲۰۰۹.