



## بررسی اثر شعاع و ارتفاع نوار اندازه گیری در تعیین سرعت پرواز در طیف نگاری هوابرد

مبتنی بر اندازه گیری اکتیویته طبیعی ناشی از U، K، و Th

فائزه رحمانی

دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، دانشکده فیزیک

### چکیده:

یکی از روش‌های نقشه برداری منابع اورانیوم طیف‌نگاری به روش هوابرد است که در آن مسیرهای مشخصی توسط ادوات پروازی مجهز به سیستم طیف‌نگار تحت پایش قرار داده می‌شود و گامای ناشی از  $^{40}\text{K}$ ،  $^{238}\text{U}$  و  $^{232}\text{Th}$  در مسیرهای مشخصی اندازه‌گیری می‌شود، لذا کالیبراسیون سیستم‌ها برای شرایط متفاوت اندازه‌گیری بسیار اهمیت دارند. در این مقاله به بررسی اثر شعاع صفحات کالیبراسیون و ارتفاع اندازه‌گیری از آن صفحات برای ارزیابی نتایج ناشی از اندازه‌گیری در ابعاد بی‌نهایت پرداخته شده است که بر اساس آن می‌توان فاصله دو مسیر پروازی، دو مکان متوالی اندازه‌گیری در یک خط پروازی و نیز سرعت پرواز را محاسبه کرد.

کلمات کلیدی: طیف‌نگاری هوابرد،  $\text{NaI(Tl)}$ ، نقشه برداری معادن، صفحات کالیبراسیون، سرعت پرواز.

### مقدمه

روش‌های مختلفی برای نقشه برداری رادیواکتیویته طبیعی وجود دارد که یکی از آنها طیف‌نگاری هوابرد با استفاده از ادوات پروازی می‌باشد [۱-۲]. سیستم‌های طیف‌نگاری (شامل دو یا چندین آشکارساز گاما نظیر  $\text{NaI(Tl)}$  یا  $\text{BGO}$  با ابعاد بزرگ) بر روی یک وسیله پروازی مانند هواپیماهای کوچک سوار شده و سپس بر اساس مسیرهای پرواز معین در نوارهایی با عرض مشخص و نیز با سرعت معین طیف‌نگاری انجام می‌شود [۳]. این روش یکی از روش‌های متداول در سراسر دنیا محسوب می‌شود اما با توجه به اینکه هنوز سیستم‌های هوابرد در کشور ما بومی نشده‌اند، بررسی و مطالعه بر روی آن‌ها برای شناسایی کلیه پارامترهای مؤثر در این فرایند ضروری است. از انواع گسیلنده‌های گاما، اندازه‌گیری‌ها مبتنی بر گامای  $1.76\text{ MeV}$  گسیل شده از  $^{214}\text{Bi}$  (ناشی از واپاشی  $^{238}\text{U}$  به عنوان شاخص اورانیوم)، گامای  $2.62\text{ MeV}$  گسیل شده از  $^{208}\text{Tl}$  (ناشی از واپاشی  $^{232}\text{Th}$  به عنوان شاخص توریم) و گامای  $1.46\text{ MeV}$  ناشی از  $^{40}\text{K}$  (عنوان شاخص پتاسیم) کارآمد هستند [۴]. همچنین انواع الگوریتم‌های



پردازش داده مبتنی بر شمارش پنجره یا کل طیف برای تعیین کمی شمارش استفاده می‌شود [۵ و ۱]. این سه هسته پرتوزا با درصدهای مختلف در سنگ‌های زمینی موجود هستند که نسبت‌های مختلف حضور آنها در طیف، باعث شناسایی نوع سنگ می‌شود. از عوامل اثرگذار بر طیف‌گیری می‌توان به حجم آشکارساز، مدت زمان نمونه‌برداری، فواصل اندازه‌گیری (قدرت تفکیک مکانی)، ارتفاع پرواز، تغییرات دما، زمان مرگ آشکارساز، اثرات پوشش زمین (وجود برف و ...)، پراکندگی‌های کامپتون انرژی‌های بالاتر در طیف گاما بر انرژی‌های کمتر، زمینه پرتوی (زمینه رادون، پرتوهای کیهانی وابسته به عرض جغرافیایی و ارتفاع زمین) و ... اشاره کرد. با توجه به اثر این عوامل بر تفسیر نتایج لازم است تا کلیه عوامل اثرگذار قبل از هر نوع اندازه‌گیری مورد بررسی دقیق قرار گیرند [۶]. در این مقاله اثر فاصله چشمه پرتوزا از آشکارساز (ارتفاع پرواز)، هندسه میان چشمه و آشکارساز (ضخامت هوا، زاویه فضایی و نیز فشار و دمای هوا) و نیز ابعاد چشمه پرتوزا (شعاع منطقه مورد ارزیابی) با استفاده از شبیه‌سازی مونت کارلو با کد MCNPX2.6 پرداخته شده است. اثر این پارامترها بر روی تغییرات شمارش ثبت شده در تک آشکارساز NaI(Tl) با حجم ۱۶ لیتر بررسی شده است که می‌تواند تحت عنوان پایگاه داده برای تعیین سرعت پرواز یا به عبارتی فاصله نقاط اندازه‌گیری از نظر شعاع مورد استفاده قرار گیرد.

### مواد و روش

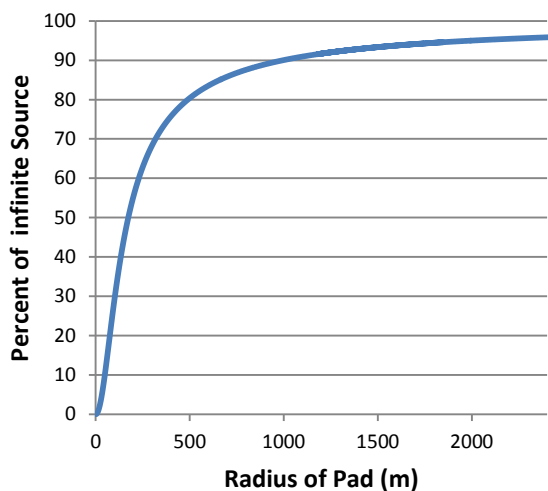
صفحات کالیبراسیون با اکتیویته‌های یکسان و همگن از  $^{208}\text{Tl}$ ،  $^{214}\text{Bi}$ ،  $^{40}\text{K}$  و  $^{232}\text{Th}$  با استفاده از شبیه‌سازی با کد MCNPX2.6 به ترتیب بر اساس سه گسیلند گامای  $^{208}\text{Tl}$ ،  $^{214}\text{Bi}$  و  $^{40}\text{K}$  تعریف شدند. از آشکارساز NaI(Tl) با حجم ۱۶ لیتر (قطر ۲۲ سانتیمتر و ارتفاع ۴۰ سانتیمتر) استفاده شد. کلیه نتایج با خطای نسبی کمتر از ۵ درصد گزارش شده‌اند. در یک اندازه‌گیری واقعی، پرتوها از سطح زمین با ابعاد بی‌نهایت به آشکارساز می‌رسند. برای تهیه منحنی‌های کالیبراسیون بر اساس ارتفاع ناگزیر هستیم تا از صفحات کالیبره (دارای غلظت مشخص از  $^{232}\text{Th}$ ،  $^{238}\text{U}$  و  $^{40}\text{K}$ ) در ابعاد محدود استفاده کنیم. لذا شمارش ایجاد شده در آشکارساز با آنچه در واقعیت موجود است متفاوت خواهد بود. از طرفی برای تعیین مسیر پرواز و مکان‌های نمونه‌برداری به منظور تعیین قدرت تفکیک مکانی و نیز تصحیح داده‌های شمارش، باید دانست که این پرتوها ناشی از چه مساحتی از زیر آشکارساز هستند. شمارش در پنجره انرژی‌های فوق‌الذکر با توجه به قدرت تفکیک انرژی ۱۰ درصدی آشکارساز (برای ابعاد اعلام شده) در صفحه کالیبراسیون با ابعاد (مساحت) محدود (شعاع‌های مختلف) نسبت به صفحه بی‌نهایت در ارتفاع‌های مختلف مورد ارزیابی قرار گرفت. صفحات کالیبراسیون با ابعاد متفاوت اما اکتیویته یکسان، منجر به شمارش‌های گوناگون در آشکارساز می‌شوند. قرارگرفتن آشکارساز در فواصل مختلف از یک صفحه کالیبره نیز منجر به پاسخ‌های متفاوت در آشکارساز خواهد شد. از آنجا که هدف طیف‌نگاری، تعیین مقدار اکتیویته هسته‌های پرتوزا بدون وابستگی به این مقادیر است



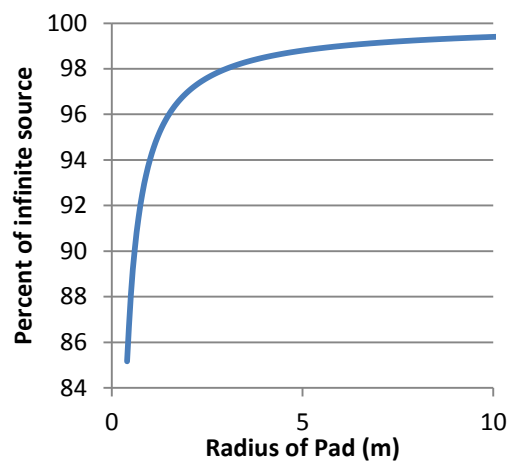
(مستقل از فاصله آشکارساز و ابعاد صفحه کالیبره)، لذا باید رابطه بین فاصله آشکارساز تا صفحه کالیبره و نیز رابطه شمارش ایجاد شده در آن بر اساس مساحت صفحه کالیبره محاسبه شود. پایگاه داده‌ای برای گستره تغییرات شعاع از ۱ تا ۱۰۰۰ متر و این گستره برای ارتفاع از ۶ سانتیمتر تا ۵۰ متر تولید شده است و همچنین نتایج بر اساس انرژی‌های مختلف گسیلنده (رفتار متفاوت در تضعیف در ارتفاع‌های مختلف) و نیز تغییرات فشار و دما تصحیح و ارائه شده‌اند.

### نتایج

درصد شمارش ایجاد شده در آشکارساز بر اساس شعاع‌های مختلف صفحه کالیبره و نیز ارتفاع‌های مختلف اندازه‌گیری نسبت به شمارش ایجاد شده از صفحه کالیبره با ابعاد بی‌نهایت مورد بررسی قرار گرفت. شکل‌های ۱ و ۲ نمونه‌ای از این اندازه‌گیری‌ها را برای صفحه استاندارد  $^{40}\text{K}$  در ارتفاع قرارگیری آشکارساز برابر ۶ سانتیمتری و ۱۰۰ متری نشان می‌دهد. همانطور که دیده می‌شود مثلاً برای یک صفحه کالیبره با شعاع ۵۰ سانتیمتر و قرارگیری آشکارساز در ارتفاع ۶ سانتیمتر، شمارش آشکارساز ۸۸٪ شمارش از صفحه کالیبره بی‌نهایت است. همچنین برای ارتفاع ۱۰۰ متری شعاع ۲۵۰۰ متر ۹۸٪ مقدار بی‌نهایت محسوب می‌شود.



شکل ۲. درصد شمارش آشکارساز در ارتفاع ۱۰۰ متری از صفحه کالیبره با شعاع‌های مختلف



شکل ۱. درصد شمارش آشکارساز در ارتفاع ۶ سانتیمتری از صفحه کالیبره با شعاع‌های مختلف

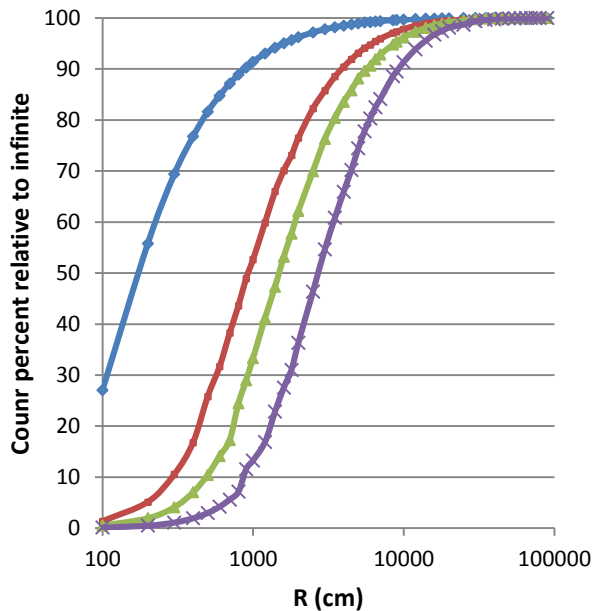


# بیست و چهارمین کنفرانس هسته‌ای ایران ۱۳۸۲: P:

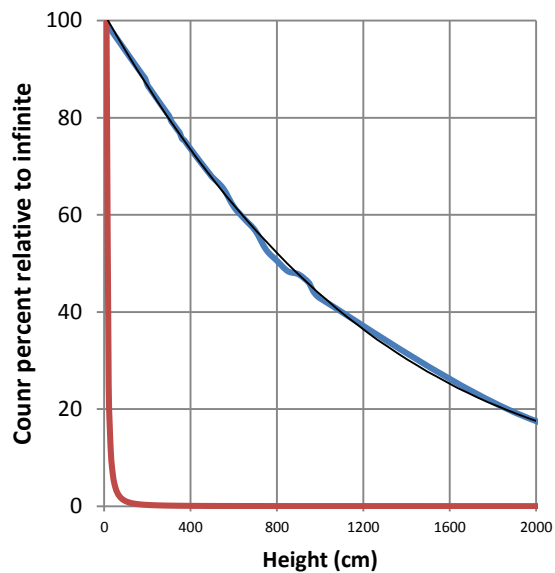
## ۳ و ۲ اسفندماه - دانشگاه اصفهان

همچنین برای یک صفحه کالیبره با قطر ۲۵ متر نسبت پاسخ آشکارساز در ارتفاع های مختلف نسبت به صفحه

کالیبره بی نهایت محاسبه شده است (شکل ۳).



h=1 m   h=6 m   h=10 m   h=20 m



D=25 m   Point Source   Poly. (D=25 m)

شکل ۴. تغییرات شمارش در ارتفاع های مختلف بر اساس شعاع بررسی

شکل ۳. پاسخ در فواصل مختلف از صفحه کالیبره قطر ۲۵ متر و مقایسه آن با تغییرات پاسخ نسبت به یک چشمه نقطه‌ای

با افزایش ارتفاع، آشکارساز پاسخ کاهش می‌یابد، اما با توجه به اینکه چشمه گسترده شده است (حجمی)، با افزایش فاصله، پاسخ بر اساس توان دوم عکس شعاع کاهش نمی‌یابد بلکه رفتار کاهشی آن متفاوت است، به طوری که در فاصله حدود ۲۰ متری به ۱۷٪ شمارش (شمارش صفحه کالیبره بی‌نهایت) می‌رسد. درصد شمارش آشکارساز بر اساس شعاع های مختلف بررسی شد که نمونه‌ای از نتایج در شکل ۴ در ارتفاع های مختلف ۱، ۶، ۱۰ و ۲۰ متری نشان داده شده است. به عبارتی اثر هر شعاع در هر ارتفاع به صورت درصدی از تابش ثبت شده در آشکارساز نمایش داده شده است. همانطور که بیان شد در محاسبات فوق، مقدار تضعیف بر اساس ارتفاع به انرژی گاما وابسته است، لذا در بررسی  $Th, U, K$  که انرژی های گامای گسیل متفاوت است، ضریب تضعیف خطی متفاوت است و شمارش در ارتفاع های مختلف برای این سه رادیویزوتوپ متفاوت خواهد بود. تضعیف در ارتفاع در دما ( $273.15 K$ ) و فشار استاندارد ( $101.325 kPa$ ) نسبت به زمین در نظر گرفته شده است. بدیهی است که با تغییرات فشار و دما، تصحیحات ارتفاع باید اعمال شود. رابطه ۱ بین ارتفاع مشاهده شده ( $h_{obs}$ ) و ارتفاع استاندارد معادل آن ( $h_{STP}$ ) وجود دارد.



# بیست و چهارمین کنفرانس هسته ای ایران ۱۳۸۲ P:

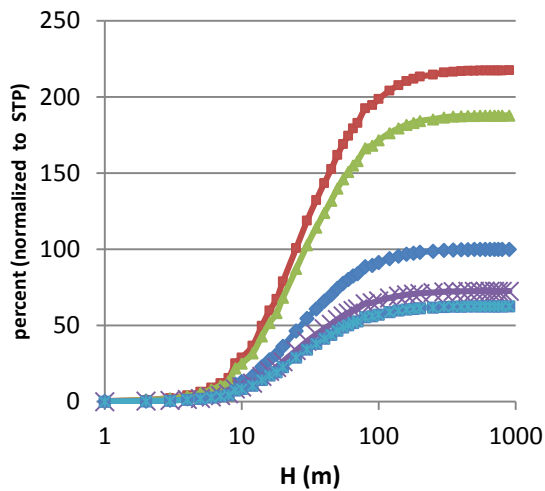


## ۳۰۲ اسفندماه - دانشگاه اصفهان

$$h_{STP} = \frac{273.15 \times P \times h_{obs}}{(T + 273.15) \times (101.325)}$$

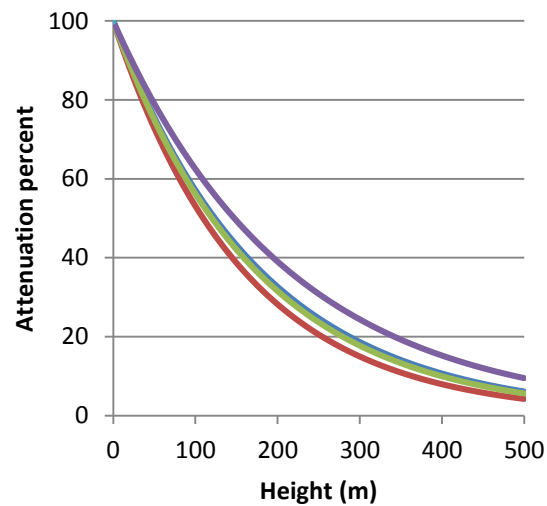
رابطه ۱

در رابطه ۱ دما بر اساس سانتیگراد، فشار بر اساس kPa و ارتفاع بر اساس متر وارد می شود.



—●— STP  
 —■— T=20C, P=50 kPa  
 —▲— T=-20C, P=50 kPa  
 —◆— T=20 C, P=150 kPa  
 —□— T=20, P=150 kPa

شکل ۶. اثر فشار و دمای مختلف بر روی شمارش 40K



— Total — K — U — Th — Mean

شکل ۵. ثابت تضعیف برای انرژی های مختلف

لذا در صورت مشخص بودن شرایط می توان ارتفاع معادل را محاسبه و سپس تصحیحات را براساس ارتفاع (مطابق با داده های شکل ۶) بر روی نتایج اندازه گیری اعمال کرد.

### بحث و نتیجه گیری

طیف نگاری در مسیرهای پروازی معین انجام می شود، لذا مساحتی که تحت عنوان نوار پروازی شمارش مربوط به ناحیه را مشخص می کند، محدود است. این عرض ناحیه با توجه به ارتفاع باید طوری تعیین شود که بیش از ۹۰ درصد اطلاعات رسیده از مسیر زیر آشکارساز تأمین شده باشد. وقتی ارتفاع سیستم طیف نگاری افزایش می یابد، درصد سهم رسیده به آشکارساز از مساحت های زیر سیستم طیف نگاری کاهش و سهم آن از فواصل دورتر افزایش می یابد. وقتی آشکارساز حرکت کند، شعاع بررسی به یک نوار (ضخامت نوار معادل قطر بررسی) تبدیل می شود. در مسیرهای بین پرواز برای پوشش کل ناحیه، فاصله دو نوار نباید بیشتر از نصف پهنای یک نوار (یا همان شعاع



بررسی) باشد. لذا برای رسیدن به شعاع بررسی مناسب یا به عبارتی فاصله‌بندی منطقی باید سهم قابل توجهی از نوار زیر مسیر پرواز حاصل شود. می‌توان این مقدار را از پایگاه داده تولید شده تعیین کرد. با توجه به داده‌های به‌دست آمده برای مثال، با سرعت پرواز ۲۷ متر بر ثانیه (دو ثانیه مدت زمان جمع‌آوری داده در هر ارتفاع) باشد، می‌توان اطمینان یافت که در ارتفاع ۱۵۰ متری ۹۷ درصد اطلاعات مربوط به شعاع ۵۰۰ متری و یا نوارهایی با عرض ۱۲۰۰ متر (فاصله از مرکز ۶۰۰ متر) است. با توجه به استخراج منحنی‌های کالیبراسیون در شعاع‌های مختلف می‌توان درصد مشارکت هر نوار را در شمارش ایجاد شده در آشکارساز تعیین کرد و تصحیح مربوطه را برای شمارش اعمال کرد. از طرفی با افزایش ارتفاع به دلیل ضخامت هوا بین آشکارساز و زمین باید بر اساس چگالی و رطوبت هوا تصحیحات شمارش انجام شود. اگر محیط اندازه‌گیری همگن باشد، تغییرات سرعت سیستم طیف‌نگار (آشکارساز) در حین حرکت، اثری بر روی شمارش نخواهد گذاشت. آنچه در پاسخ آشکارساز مهم است، آمار شمارش در آشکارساز است، لذا با افزایش سرعت آشکارساز تنها قدرت تفکیک مکانی کاهش می‌یابد، به عبارتی اطلاعات به‌دست آمده بر روی مساحت بزرگی متوسط‌گیری می‌شود. برای ثابت ماندن قدرت تفکیک مکانی در اندازه‌گیری، با افزایش سرعت، بازه‌ی زمانی اندازه‌گیری کاهش می‌یابد، لذا شمارش آشکارساز کاهش می‌یابد. با توجه به روابط حاکم بر حرکت با سرعت ثابت، تغییرات سرعت و زمان با هم رابطه عکس دارند، با دوبرابر شدن سرعت، زمان (و به دنبال آن شمارش) نصف می‌شود که برای کاهش جبران شمارش می‌توان تعداد آشکارسازها یا ابعاد آشکارساز را افزایش داد. بدیهی است که در صورت استفاده از دو آشکارساز، در محاسبه پاسخ کلی از مجموع پاسخ دو آشکارساز، خطای محاسبات هر آشکارساز به طور جداگانه باید مورد توجه قرار گیرد.

مراجع:

- [1] G. Xhinxha et al, The worldwide NORM p-roduction and fully automated gamma ray Spectrometer for their characterizations, J. Radioanal Nucl Chem (2013) 295:445457
- [2] A. Caciolli et al, A new approach for in-situ gamma ray spectroscopy, Science and Total Environment (2012) 414: 639-945.
- [3] B. R. S. Minty, A review of airborne gamma ray spectrometric data processing techniques, Report 255, 1988.
- [4] B. R. S. Minty, Fundamental of airborne gamma ray spectrometry, AGSO Journal of Australian Geology and Geophysics (1997), 17(2), 39-50
- [5] IAEA Technical Report 323, Airborne gamma ray spectrometer surveying, 1991.
- [6] <http://airborne.geophysicsgpr.com/en/techniques/gamma-spectrometry>