تأثیر ارتفاع در ضرایب تصحیح پراکندگی برای صفحه های کالیبراسیون در طیف سنجی هوا برد پرتو های گاما به روش مونت کارلو

پسندیده، جواد[(۱)] – فقهی، سید امیر حسین[(۱)]

[(۱)] دانشگاه شهید بهشتی ، دانشکده مهندسی هسته ای ، گروه کاربرد پرتو ها

چکیده:

در این مقاله تأثیر ارتفاع آشکارساز از صفحه های کالیبراسیون[۱] در محاسبه ضرایب تصحیح پراکندگی[۲] در طیف سنجی هوا برد پرتو های گاما [۳] با استفاده از کد مونت کارلوی MCNPX بررسی شده است. در این شبیه سازی از یک آشکارساز یدور سدیم NaI(Tl) با حجم ۳۲ لیتر و از صفحه های کالیبراسیون حاوی چشمه های پتاسیم، اورانیوم و توریم استفاده شده است. با قرار دادن آشکارساز در ارتفاع های ۱۰، ۵۰ و ۱۰۰ متری شمارش ها را در سه پنجره انرژی ثبت می شود. این پنجره ها مربوط به شمارش های گاما گسیل شده از سه عنصر پتاسیم، اورانیوم و توریم است. در پایان ضرایب تصحیح پراکندگی برای کالیبراسیون محاسبه و با یکدیگر مقایسه شده است.

کلید واژگان: *صفحه های کالیبراسیون، ضرایب تصحیح پراکندگی، طیف سنجی هوا برد، کد مونت کارلو، MCNPX، پتاسیم، اورانیوم، توریم.*

The effect of height on stripping ratios for calibration pads in airborne gamma-ray spectroscopy using Monte Carlo method

Pasandideh,Javad[1]; Feghhi,Seyed Amir Hoseyn[1]

[1] Department of Nuclear Engineering, Shahid Beheshti Univercity, Iran

Abstract:

In this paper, the effect of detector height in calculating the stripping ratios by using calibration pads in the airborne gamma-ray spectroscopy using the Monte Carlo Code MCNPX has been investigated. In this simulation a NaI (Tl) with 32 liters volume and cylindrical concrete pads with 300 cm radius and a thickness of 50 cm that contains three pure sources of potassium, uranium and thorium are used. By placing the detector at altitudes 10, 50 and 100 meters above the calibration pads, we will record the count in three energy windows. These windows are related to the count of three elements of potassium, uranium and thorium. At the end, using the corresponding relationships, the stripping ratios for the calibration will be calculated and compared with each other.

Keywords: Monte Carlo Simulation, Airborne Gamma Ray Spectrometry, Stripping Ratio, Calibration pads.

[3] Airborne Gamma-ray Spectroscopy

[1] Calibration Pads
[2] Stripping Ratio

مقدمه:

اندازه گیری هوایی منابع رادیو اکتیو موجود در خاک توسط هواپیما یک روش بسیار مفید برای مشخص نمودن مقدار تشعشع در یک منطقه وسیع است. ^{214}Bi، ^{208}Tl و ^{40}K تنها ایزوتوپ های عناصر طبیعی درون زمین هستند که گاما با انرژی کافی برای طیف سنجی هوا برد از خود گسیل می کنند. ^{214}Bi ناشی از فروپاشی ^{238}U، ^{208}Tl ناشی از فروپاشی ^{232}Th و ^{40}K یکی از ایزوتوپ های طبیعی پتاسیم است. داده های طیف سنجی هوا برد نسبت به بعضی از پارامتر ها باید تصحیح شود. تصحیح پراکندگی برای اصلاح نرخ شمارش پنجره های اورانیوم، پتاسیم و توریم نسبت به پرتو های گاما که از واپاشی عناصر رادیو اکتیو اصلی نباشد استفاده می شود. با استفاده از رابطه های (۱)، (۲) و (۳) می توانیم تصحیح پراکندگی را انجام دهیم. [۱-۳]

$$N_{Th\,(corr)} = \frac{N_{Th} - aN_U}{1-a\alpha} \qquad (۱)$$

$$N_{U\,(corr)} = \frac{N_U - \alpha N_{Th}}{1-a\alpha} \qquad (۲)$$

$$N_{K\,(corr)} = N_K - \beta\, N_{Th\,(corr)} - \gamma\, N_{U\,(corr)} \qquad (۳)$$

در این روابط، ضریب α شمارش های ثبت شده در پنجره اورانیوم نسبت به شمارش های ثبت شده در پنجره توریم برای صفحه خالص توریم، ضریب β شمارش های ثبت شده در پنجره پتاسیم نسبت به شمارش های ثبت شده در پنجره توریم برای صفحه خالص توریم، ضریب γ شمارش های ثبت شده در پنجره پتاسیم نسبت به شمارش های ثبت شده در پنجره اورانیوم برای صفحه خالص اورانیوم و ضریب a شمارش های ثبت شده در پنجره توریم نسبت به شمارش های ثبت شده در پنجره اورانیوم برای صفحه خالص اورانیوم است.

$$\alpha = \frac{S_{u,Th}}{S_{Th,Th}} \quad (۴) \qquad \beta = \frac{S_{K,Th}}{S_{Th,Th}} \quad (۵) \qquad \gamma = \frac{S_{Th,u}}{S_{u,u}} \quad (۶)$$

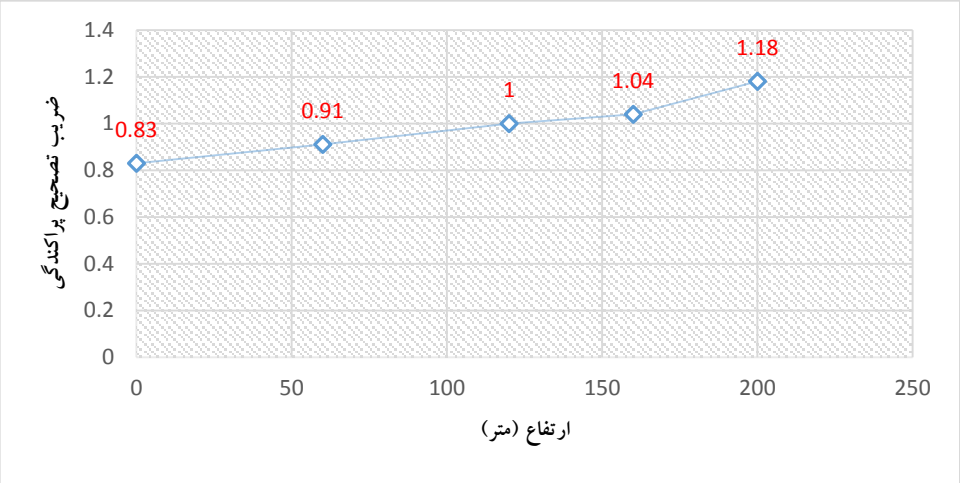
$$a = \frac{S_{Th,u}}{S_{u,u}} \quad (۷) \qquad b = \frac{S_{Th,k}}{S_{k,k}} \quad (۸) \qquad g = \frac{S_{u,k}}{S_{k,k}} \quad (۹)$$

در شرایطی که از صفحه خالص پتاسیم برای کالیبراسیون استفاده می کنیم در پنجره اورانیوم و توریم هیچ شمارش ثبت نخواهد شد و همچنین در کالیبراسیون با استفاده از صفحه خالص اورانیوم هیچ شمارش در پنجره توریم ثبت نخواهد شد بنابراین مقادیر a، b و g برابر با صفر خواهد شد.

جدول (۱) نرخ افزایش ضریب تصحیح پراکندگی با افزایش ارتفاع.[۳]

نرخ افزایش در یک متر	ضریب تصحیح پراکندگی
0.00049	α
0.00065	β
0.00069	γ

گزارش آژانس در سال ۲۰۰۳ در مورد نرخ افزایش ضریب تصحیح پراکندگی با افزایش ارتفاع در جدول (۱) نشان داده شده است. همچنین سازمان نقشه برداری ژئوفیزیک استرالیا[1] در سال ۱۹۹۷ افزایش ضریب تصحیح پراکندگی با افزایش ارتفاع را گزارش نموده است.(شکل ۱)[۲-۵]



شکل (۱) افزایش ضریب تصحیح γ با افزایش ارتفاع.[۵]

روش کار:

کالیبراسیون یکی از مهمترین موضوعات در نقشه برداری طیف سنجی هوا برد پرتو های گاما است. در کالیبراسیون زمینی از سه صفحه خالص پتاسیم، اورانیوم و توریم استفاده شده است. در این شبیه سازی برای هر یک از صفحه ها از یک چشمه حجمی همگرا استفاده شده است. این صفحه ها خالص است به طوری که میزان اورانیوم و توریم در صفحه پتاسیم، میزان پتاسیم و توریم در صفحه اورانیوم و میزان پتاسیم و اورانیوم در صفحه توریم کاملاً صفر است. با فرض اینکه طیف سنجی با پرواز هلیکوپتر در ارتفاع ۵۰ متری از سطح زمین انجام می شود، بنابراین برای کالیبراسیون و محاسبه ضرایب تصحیح پراکندگی، آشکار ساز NaI(Tl) با حجم ۳۲ لیتر که در داخل هلیکوپتر قرار گرفته شده است، در ارتفاع ۵۰ متری از صفحه های کالیبراسیون قرار می گیرد. در شبیه سازی ضخامت بدنه هلیکوپتر ۵ میلیمتر از جنس آلومینیوم در نظر گرفته شده است. صفحه های کالیبراسیون به شکل استوانه ای به شعاع ۳ متر و ارتفاع ۰/۵ متر در داخل خاک قرار داده شده است. به منظور محاسبه مقدار فراوانی ثبت شده در آشکار ساز از تالی ارتفاع پالس[2] استفاده شده است. بازه بندی انرژی برای این تالی به صورت (E0 1.37 1.57 1.66 1.86 2.41 2.81) می باشد. در این بازه بندی، بازه ۱/۳۷ تا ۱/۵۷ مربوط به پنجره پتاسیم، بازه ۱/٦٦ تا ۲/٤۱ مربوط به پنجره اورانیوم و بازه ۲/٤۱ تا ۲/۸۱ مربوط به پنجره توریم می باشد. پس از اجرای MCNPX خروجی برای تالی f8 برای صفحه ها و آشکار ساز با حجم ۳۲ لیتر در جدول (۲) ارائه شده است.[٦, ۷]

[1] Australian Geological Survey Organization

[2] Pulse Height Tally

جدول(۲) خروجی تالی f8 برای صفحه های پتاسیم، اورانیوم و توریم در ارتفاع های ۱۰،۵۰ و ۱۰۰ متری.

ارتفاع(متر)	صفحه	شمارش پنجره پتاسیم	شمارش پنجره اورانیوم	شمارش پنجره توریم
۱۰	پتاسیم	1.19500E-05 ±0.0289%	00000E-00±00000%	00000E-00±00000%
۱۰	اورانیوم	1.60000E-06± 0.0791%	1.24100E-05± 0.0284%	00000E-00±00000%
۱۰	توریم	2.01000E-06± 0.0705%	1.71000E-06± 0.0765%	1.31800E-05± 0.0275%
۵۰	پتاسیم	4.33000E-07± 0.0481%	00000E-00±00000%	00000E-00±00000%
۵۰	اورانیوم	6.10000E-08± 0.1280%	4.61000E-07± 0.0466%	00000E-00±00000%
۵۰	توریم	1.09000E-07± 0.0958%	8.20000E-08± 0.1104%	5.29000E-07± 0.0435%
۱۰۰	پتاسیم	6.06000E-06± 0.0406%	00000E-00±00000%	00000E-00±00000%
۱۰۰	اورانیوم	1.25000E-08± 0.2582%	9.83333E-08± 0.0921%	00000E-00±00000%
۱۰۰	توریم	2.58333E-08± 0.1796%	1.66667E-08± 0.2236%	9.00000E-08± 0.0962%

اکنون با استفاده از داده های خروجی تالی ها و با استفاده از روابط مربوطه ضرایب تصحیح پراکندگی را محاسبه می کنیم:

برای آشکار ساز با حجم ۳۲ لیتر که در ارتفاع ۱۰ متری از صفحه های کالیبراسیون قرار گرفته خواهیم داشت:

$$\alpha = \frac{S_{u,Th}}{S_{Th,Th}} = \frac{1.710\times10^{-6}\pm1.3\times10^{-7}}{1.318\times10^{-5}\pm3.6\times10^{-7}} = 0.129\pm0.01$$

$$\beta = \frac{S_{K,Th}}{S_{Th,Th}} = \frac{2.010\times10^{-6}\pm1.4\times10^{-7}}{1.318\times10^{-5}\pm3.6\times10^{-7}} = 0.152\pm0.011$$

$$\gamma = \frac{S_{K,u}}{S_{u,u}} = \frac{1.60\times10^{-6}\pm1.2\times10^{-7}}{1.24\times10^{-5}\pm3.5\times10^{-7}} = 0.128\pm0.010$$

برای آشکار ساز با حجم ۳۲ لیتر که در ارتفاع ۵۰ متری از صفحه های کالیبراسیون قرار گرفته خواهیم داشت:

$$\alpha = \frac{S_{u,Th}}{S_{Th,Th}} = \frac{8.2\times10^{-8}\pm9.02\times10^{-9}}{5.29\times10^{-7}\pm2.3\times10^{-8}} = 0.155\pm0.018$$

$$\beta = \frac{S_{K,Th}}{S_{Th,Th}} = \frac{1.09\times10^{-7}\pm1.04\times10^{-8}}{5.29\times10^{-7}\pm2.3\times10^{-8}} = 0.209\pm0.021$$

$$\gamma = \frac{S_{K,u}}{S_{u,u}} = \frac{6.1\times10^{-8}\pm7.8\times10^{-9}}{4.61\times10^{-7}\pm2.1\times10^{-8}} = 0.132\pm0.018$$

برای آشکار ساز با حجم ۳۲ لیتر که در ارتفاع ۱۰۰ متری از صفحه های کالیبراسیون قرار گرفته خواهیم داشت:

$$\alpha = \frac{S_{u,Th}}{S_{Th,Th}} = \frac{1.66\times10^{-8}\pm3.6\times10^{-9}}{9.0\times10^{-8}\pm8.6\times10^{-9}} = 0.185\pm0.049$$

$$\beta = \frac{S_{K,Th}}{S_{Th,Th}} = \frac{2.58\times10^{-8}\pm4.63\times10^{-9}}{9.0\times10^{-7}\pm8.6\times10^{-9}} = 0.28\pm0.05$$

$$\gamma = \frac{S_{K,u}}{S_{u,u}} = \frac{1.35\times10^{-8}\pm3.48\times10^{-9}}{9.83\times10^{-7}\pm9\times10^{-8}} = 0.136\pm0.043$$

در شکل (۲) تأثیر ارتفاع در ضرایب تصحیح پراکندگی برای صفحه های کالیبراسیون در طیف سنجی هوا برد پرتو های گاما نشان داده شده است. با توجه به محاسبات ضرایب تصحیح پراکندگی که در ارتفاع های مختلف شبیه سازی شده، نرخ افزایش این ضرایب در جدول (۳) نشان داده شده است.

جدول (۳) نرخ افزایش ضریب تصحیح پراکندگی با افزایش ارتفاع در شبیه سازی.

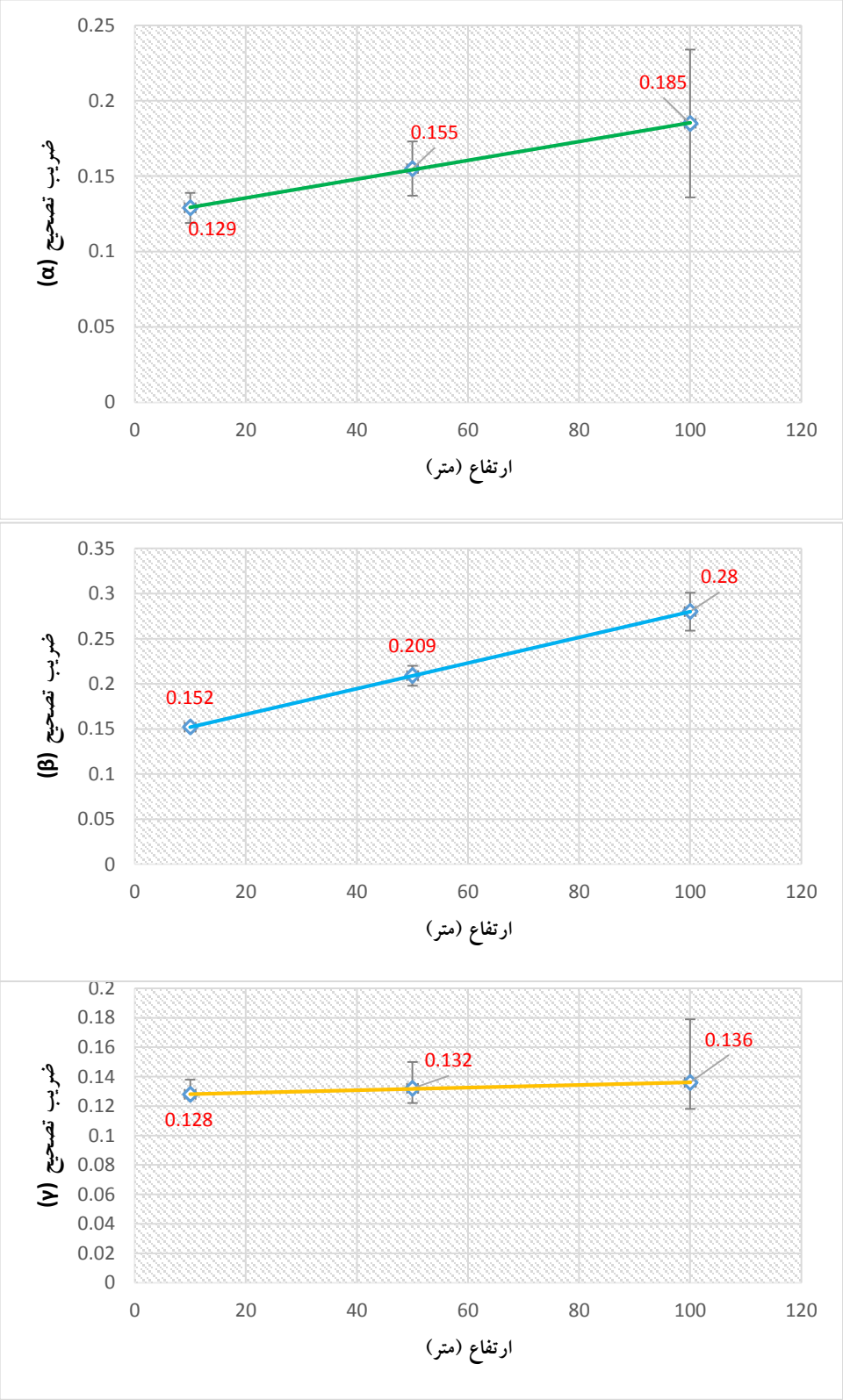
ضریب تصحیح پراکندگی	نرخ افزایش در یک متر
α	0.00065
β	0.00142
γ	0.00010

نتیجه گیری:

در طیف سنجی هوا برد پرتو های گاما عناصری که انرژی بالاتری دارند به علت پراکندگی منجر به تولید پرتو های گاما در کانال های پایینتر می شوند. به همین دلیل این پرتو ها علاوه بر ثبت شمارش در کانال خود در کانال های پایینتر نیز شمارش ثبت می کنند. شمارش های ثبت شده در پنجره های پایینتر با کمک صفحه های کالیبراسیون نسبت به ضرایب تصحیح پراکندگی باید تصحیح گردند. نتایج به دست آمده در محاسبه ضرایب تصحیح پراکندگی نشان می دهد که این ضرایب با افزایش فاصله آشکارساز نسبت به صفحه های کالیبراسیون افزایش می یابند. بنابراین برای اهداف طیف سنجی هوا برد پرتو های گاما کالیبراسیون باید در همان ارتفاع که طیف سنجی توسط هلیکوپتر یا هواپیما پرواز می کند انجام شود.

به دلیل اینکه در شبیه سازی از آشکار ساز با حجم ۳۲ لیتر استفاده شده است ضرایب تصحیح پراکندگی در شبیه سازی در مقایسه با گزارش های آژانس کوچکتر می باشند که نشان دهنده بهتر بودن سیستم طیف سنجی است. در نتیجه اگر در منطقه ای که به دلیل وجود عوارض زمینی شرایط پرواز در ارتفاع پایین فراهم نباشد استفاده از آشکار ساز با حجم های بزرگتر این محدودیت را جبران خواهد کرد. با استفاده از همین روش تأثیر حجم آشکار ساز در یک ارتفاع ثابت در محاسبه ضرایب تصحیح پراکندگی قابل بررسی است.

با استفاده از روش مونت کارلو می توان تأثیر پارامتر های مهم دیگر از قبیل دما و فشار هوا، گاز رادون، پرتو های کیهانی و سرعت هلیکوپتر را در طیف سنجی هوا برد پرتو های گاما بررسی و محاسبه نمود.



شکل (۲) افزایش ضرایب تصحیح پراکندگی با افزایش ارتفاع.

مراجع:

1. HUANG, L.X., et al., *MONTE CARLO SIMULATION FOR AIRBORNE GAMMA RAY SPECTROMETRY*. 2005.

2. Coetzee, H., *Acquisition, processing and enhancement of multi-channel radiometric data collected with ultralight aircraft mounted detectors*. 2008.

3. IAEA, *Guidelines for radioelement mapping using gamma ray spectrometry data.* JULY 2003. IAEA-TECDOC-1363.

4. IAEA, *AIRBORNE GAMMA RAY SPECTROMETER SURVEYING.* 1991. SERIES NO.323.

5. Minty, B., A. Luyendyk, and R. Brodie, *Calibration and data processing for airborne gamma-ray spectrometry.* AGSO Journal of Australian Geology and Geophysics, 1997. 17(2): p. 51-62.

6. Briesmeister, J.F., *MCNPTM-A general Monte Carlo N-particle transport code.* Version 4C, LA-13709-M, Los Alamos National Laboratory, 2000: p. 2.

7. McConn, R.J., et al., *Compendium of material composition data for radiation transport modeling*. 2011, Pacific Northwest National Laboratory (PNNL), Richland, WA (US).