



بررسی تاثیر چگالی، رطوبت و ضخامت نمونه بر طیف آشکارساز در سیستم‌های تحلیلگر گامای

آنی سیمان

هادی شهابی نژاد*، ناصر وثوقی

دانشگاه صنعتی شریف، دانشکده مهندسی انرژی

چکیده

در یک سیستم آنالیز بر اساس گاماها‌های آنی، شمارش‌های ثبت شده در آشکارساز تابع چند متغیری از غلظت عناصر، چگالی، رطوبت و ضخامت مواد روی خط نقاله می‌باشد. در این مقاله با استفاده از شبیه‌سازی مونت کارلو اثرات چگالی، رطوبت و ضخامت یک نمونه سیمان روی خط نقاله بر طیف ثبت شده در آشکارساز یک دستگاه تجاری آنالیز عنصری سیمان مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج نشان دهنده آن است که در انرژی‌های بیشتر از انرژی قله هیدروژن (2.22 MeV)، با افزایش چگالی، ضخامت و رطوبت نمونه شمارش‌های آشکارساز نیز به صورت غیر خطی افزایش می‌یابد و در انرژی‌های کمتر از این انرژی شمارش‌های آشکارساز به صورت غیر خطی کاهش می‌یابد. همچنین وابستگی طیف خروجی آشکارساز به رطوبت نمونه سیمان بسیار کمتر از وابستگی آن به چگالی و ضخامت می‌باشد.

کلید واژه‌ها: تحلیلگر برخط سیمان، PGNAA، طیف‌نگاری گاما، آشکارساز سوسوزن

Investigating the effect of density, moisture and sample thickness on detector spectrum in cement prompt gamma analyzers

Shahabinejad, Hadi* ; Vosoughi, Naser

Sharif University of Technology, Department of Energy Engineering

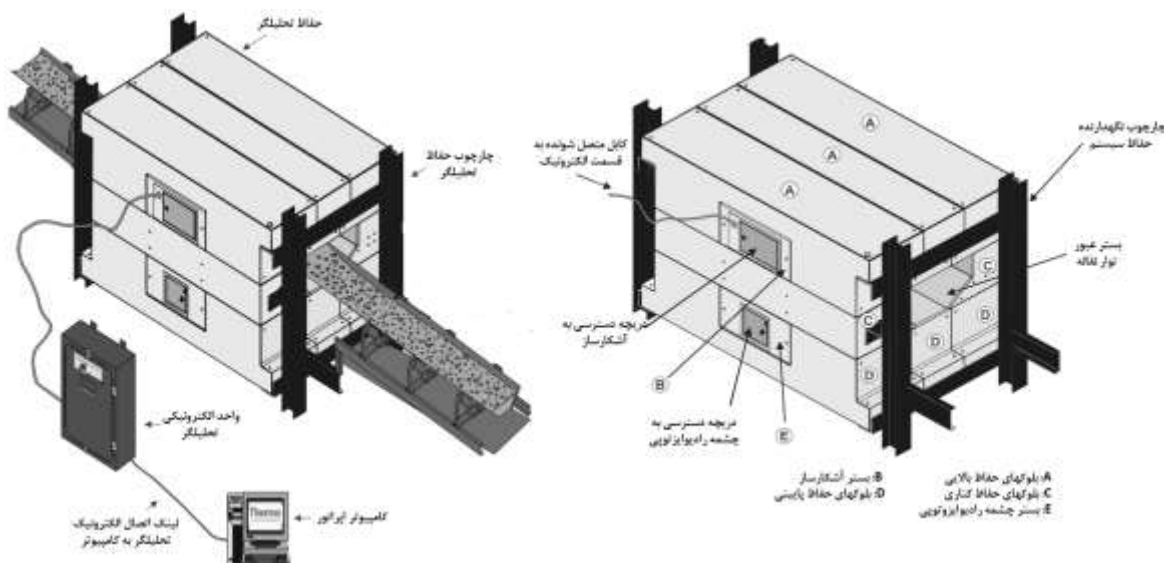
Abstract:

In a prompt gamma analyzer system, the recorded counts in the detector is a multivariable function of concentration of the elements, density, moisture and thickness of materials on the conveyer belt. In this paper, the effects of density, moisture and thickness of a cement sample on the conveyor belt on the spectrum recorded in the detector of a commercial cement elemental analyzer have been investigated using Monte Carlo simulations. The results show that in energies higher than Hydrogen photopeak (2.22 MeV), the recorded counts in the detector increases nonlinearly by increasing the density, thickness and moisture of the sample, and in energies less than the energy of Hydrogen photopeak, the detector counts decreases nonlinearly. Also, the dependence of the detector output spectrum on the moisture content of the cement sample is much less than its dependence on density and thickness.

Keywords: Cement online analyzer; PGNAA; Gamma spectroscopy; Scintillation detector

۱) مقدمه

از روش آنالیز بر مبنای گامای آنی ناشی از فعال سازی نوترون (PGNAA) در کنترل برخی فرایندهای تولیدی توده‌ای نظیر صنعت سیمان و مواد معدنی استفاده می‌شود. با بکارگیری روش PGNAA محصول به طور مستمر آنالیز شده و نیازی به نمونه برداری دوره‌ای نمی‌باشد. به این ترتیب همزمان با تولید محصول، ترکیب مخلوط و درصد عناصر تشکیل دهنده مشخص شده و در صورت نیاز کنترل لازم به ورودی‌های سیستم جهت بهبود کیفیت سیمان اعمال می‌گردد. با توجه به اینکه هر عنصر گاماها مشخصه خاص خودش را دارد، در روش PGNAA از گاماها آنی گسیل شده بلافاصله پس از برهمکنش با نوترون‌های حرارتی جهت تعیین نوع عناصر و مقدار آنها استفاده می‌شود [۱-۳]. در شکل ۱ ساختار کلی یک تحلیلگر سیمان CBXTM ساخت شرکت Thermo ELECTRON نشان داده شده است [۴].



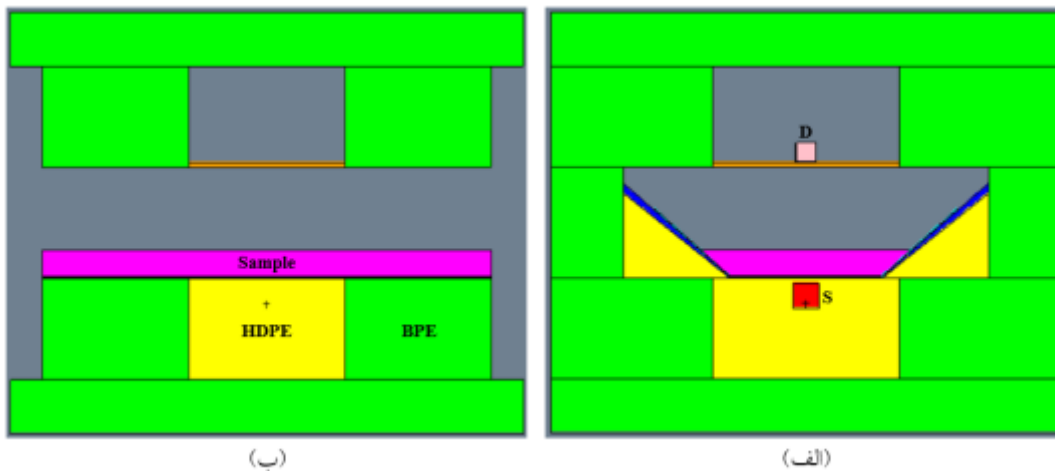
شکل ۱: ساختار یک تحلیلگر CBXTM ترموالکترون [۴].

نحوه عملکرد سیستم بدین صورت است که نوترون‌های چشمه رادیوایزوتوپی پس از کاندسازی به مواد روی نوار نقاله برخورد کرده و پس از اندرکنش، گاماها آنی گسیل می‌شوند. این گاماها آنی گسیل شده در آشکارساز ثبت شده و طیف گاما حاصل می‌شود. از روی این طیف، نوع و درصد عناصر موجود در مواد روی نوار نقاله مشخص می‌شود. چشمه نوترون متداول استفاده شده برای این سیستم‌ها ²⁵²Cf می‌باشد و آشکارساز متداول مورد استفاده هم یدور سدیم (NaI(Tl)) می‌باشد. کاندساز و حفاظ سیستم به ترتیب پلی اتیلن و پلی اتیلن بوردار می‌باشند [۴].

در یک سیستم آنالیز بر اساس گاماهاهی آنی، شمارش‌های ثبت شده آشکارساز تابع چند متغیری از غلظت عناصر، چگالی، رطوبت و ضخامت مواد روی خط نقاله می‌باشد. اثرات این عوامل بر شمارش‌های آشکارساز با استفاده از شمارش‌های زیر قله در سال‌های ۱۹۹۸ و ۲۰۱۰ صورت گرفته است [۵-۷]. در سال ۱۹۹۸ آقای اولیویرا و همکاران [۵:۶] با استفاده از شمارش‌های زیر قله‌های $2/22 \text{ MeV}$ هیدروژن، $6/42 \text{ MeV}$ کلسیم و $646/631 - 7/7 \text{ MeV}$ آهن منحنی‌های کالیبراسیونی برای تصحیح اثرات این عوامل استخراج کرد. همچنین در سال ۲۰۱۰ آقای المیسند [۷] با استفاده از قله‌های $1/94 \text{ MeV}$ و $6/42 \text{ MeV}$ کلسیم منحنی‌های کالیبراسیونی برای تصحیح اثرات چگالی، ضخامت و رطوبت نمونه در یک سیستم گامای آنی که چشمه‌ی آن $^{241}\text{Am-Be}$ بود استخراج کرد. همانطور که مشاهده می‌شود عمده تصحیحات صورت گرفته بر اساس شمارش‌های زیر قله می‌باشد. در این کار اثرات کمیت‌های مذکور بر کل طیف آشکارساز مورد بررسی قرار می‌گیرد.

۲) روش کار

برای بررسی تاثیر چگالی، ضخامت و رطوبت نمونه سیمان بر طیف گامای آنی آشکارسازها از محاسبات شبیه‌سازی مونت کارلو استفاده شد. در شکل ۱ هندسه سیستم تحلیلگر سیمان شبیه‌سازی شده در کد MCNPX 2.6 نشان داده شده است. هندسه این سیستم در دو صفحه‌ی X-Z و Y-Z در شکل ۲ نشان داده شده است.



شکل ۲: هندسه شبیه‌سازی شده تحلیلگر سیمان در محیط MCNPX، (الف) صفحه X-Z و (ب) صفحه Y-Z.

در شکل ۲ قسمت‌های مختلف تحلیلگر که نمونه سیمان (Sample) روی آن قرار دارد نشان داده شده است. چشمه (S) زیر نوار نقاله در یک حفاظ از جنس بیسموت قرار دارد. مقدار زیادی از گاماهاهی تولیدی چشمه توسط این حفاظ تضعیف می‌شوند. نوترون‌های تولیدی چشمه توسط کندکننده پلی‌اتیلین چگال (HDPE) کند شده و در نمونه اندرکنش کرده و گاماهاهی آنی مشخصه برای آنالیز عنصری تولید می‌کنند. برای حفاظت پرسنل از نوترون‌های چشمه از حفاظ پلی‌اتیلین بوردار (BPE) استفاده



شده است. گاما‌های تولیدی در آشکارساز NaI(Tl) ثبت شده و طیف خروجی آشکارساز (D) مورد بررسی قرار می‌گیرد. نمونه سیمان استفاده شده در این کار از مقاله‌ی آقای اولیویرا می‌باشد که شامل چهار عنصر اصلی سیمان می‌باشد. درصد عناصر این نوع سیمان خشک در جدول ۱ آورده شده است [۵].

جدول ۱: ترکیب شیمیایی و درصد وزنی مواد اولیه خشک یک نمونه سیمان پورتلند [۵].

ترکیب	درصد ترکیب (wt%)
SiO_2	۱۵/۵۰
Al_2O_3	۶/۱۰
Fe_2O_3	۱/۸۰
CaCO_3	۷۶/۶۰

برای بررسی تاثیر ضخامت، چگالی و رطوبت نمونه بر طیف آشکارساز موارد زیر شبیه سازی شد.

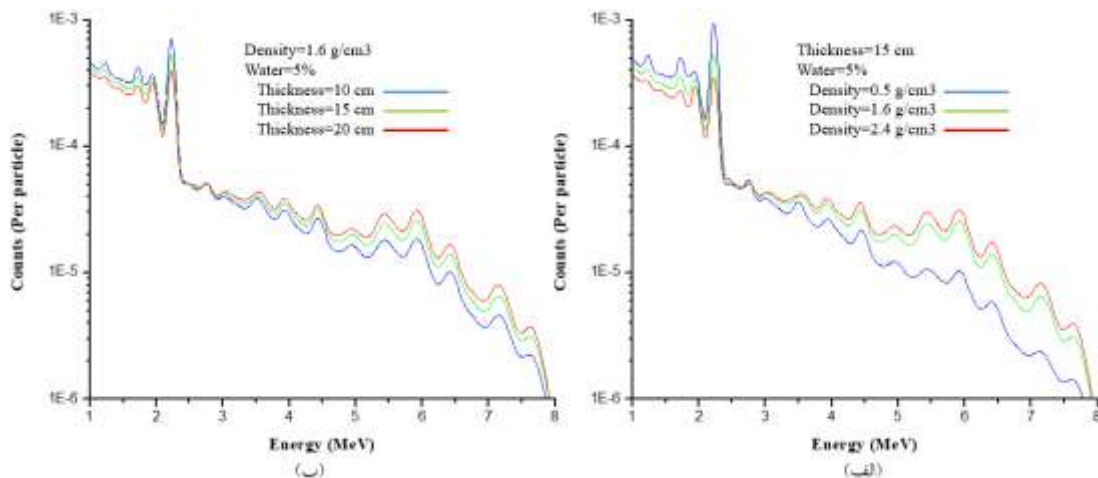
- جهت بررسی تاثیر ضخامت نمونه بر طیف خروجی آشکارساز، چگالی و رطوبت نمونه سیمان به ترتیب $1/6 \text{ g/cm}^3$ و 5 درصد جرمی در نظر گرفته شدند و ضخامت نمونه 10 ، 15 و 20 سانتی متر در نظر گرفته شد.
- جهت بررسی تاثیر چگالی نمونه بر طیف خروجی آشکارساز، ضخامت و رطوبت نمونه سیمان به ترتیب 15 سانتی متر و 5 درصد جرمی در نظر گرفته شدند و چگالی نمونه $0/5$ ، $1/6$ و $2/4$ گرم بر سانتی متر مکعب در نظر گرفته شد.
- جهت بررسی تاثیر مقدار رطوبت نمونه بر طیف خروجی آشکارساز، چگالی و ضخامت نمونه سیمان به ترتیب $1/6$ و 15 سانتی متر در نظر گرفته شدند و مقدار رطوبت نمونه 2 ، 5 و 10 درصد جرمی در نظر گرفته شد.

برای اعمال پهن شدگی گوسی در محاسبات شبیه‌سازی جهت ثبت طیف واقعی آشکارساز از سه ثابت مرجع 8 استفاده شد [۸]. این سه ثابت به صورت زیر می‌باشند.

$$a=-0.00789 \text{ MeV}; b=0.06769 \text{ MeV}^{1/2}; c=0.21159 \text{ MeV}^{-1}.$$

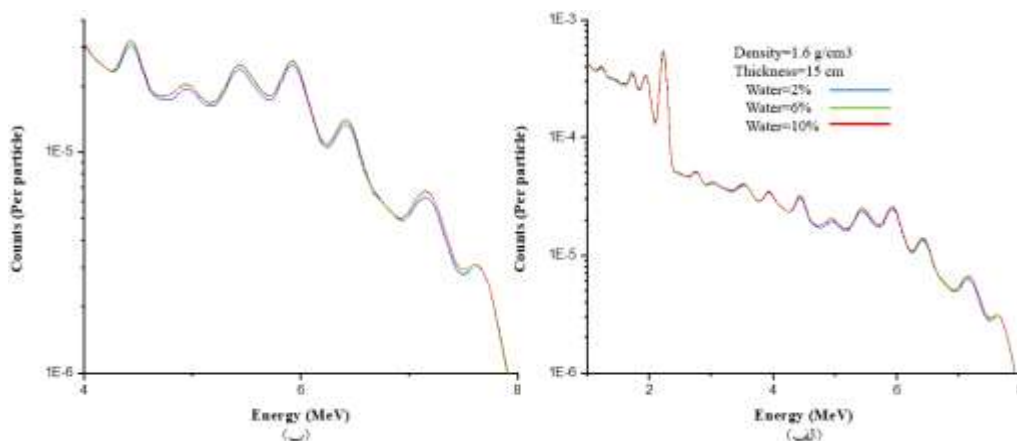
۳) نتایج

طیف‌های مربوط به نمونه‌های با ضخامت‌های مختلف و چگالی‌های مختلف به ترتیب در شکل ۳ (الف) و (ب) نشان داده شده‌اند. در این شکل تعدادی از قله‌های گامای آنی عناصر نشان داده شده است. با توجه به اینکه گاما‌های آنی عناصر سیمان و هیدروژن انرژی بیشتر از 1 MeV دارند، طیف‌ها فقط در انرژی‌های بیش از 1 MeV نشان داده شده‌اند.



شکل ۳: طیف‌های مربوط به نمونه‌های سیمان با (الف) چگالی‌های مختلف و (ب) ضخامت‌های مختلف

همانطور که در شکل ۳ مشاهده می‌شود طیف خروجی آشکارساز وابستگی زیادی به چگالی و ضخامت نمونه دارد. این وابستگی به صورت غیر خطی است و نحوه تغییرات طیف آشکارساز را می‌توان به دو ناحیه تقسیم‌بندی کرد. در ناحیه بعد از قله MeV ۲/۲۲ هیدروژن با افزایش چگالی و ضخامت نمونه شمارش‌های آشکارساز زیاد می‌شود که به دلیل افزایش نرخ اندرکنش می‌باشد. اما در ناحیه قله هیدروژن و قبل از آن با افزایش چگالی و ضخامت نمونه شمارش آشکارساز کاهش می‌یابد که به دلیل افزایش جذب پرتوهای گاما در نمونه می‌باشد. طیف‌های مربوط به نمونه‌های محتوی درصد‌های جرمی مختلف آب در شکل ۴ آورده شده است. برای نمایش بهتر تاثیر درصد رطوبت بر طیف خروجی آشکارساز قسمتی از منحنی ۴ (الف) بزرگنمایی شده و در شکل ۴ (ب) نشان داده شده است.



شکل ۴: (الف) طیف‌های مربوط به نمونه‌های سیمان محتوی درصد‌های جرمی مختلف آب، (ب) بزرگنمایی قسمت (الف) در

بازه‌ی انرژی MeV ۸-۴



اگرچه با افزایش درصد جرمی آب در نمونه سیمان رفتار مشابهی در طیف آشکارساز مانند آنچه در رابطه با افزایش ضخامت و چگالی نمونه گفته شد مشاهده می‌شود، وابستگی بسیار کم طیف خروجی به تغییرات درصد رطوبت نمونه مشاهده می‌شود. دلیل اصلی این تغییرات کوچک این است که نوترون‌های رسیده به نمونه به اندازه کافی کند شده‌اند که با آنچه در مراجع [۷-۵] گفته شده است مطابقت دارد.

۴) بحث و نتیجه گیری

در این مقاله تاثیر چگالی، ضخامت و رطوبت نمونه سیمان بر طیف خروجی آشکارساز گامای آبی یک تحلیلگر برخط سیمان مورد بررسی قرار گرفت. برای این منظور یک دستگاه تحلیلگر ترموالکترون در محیط کد MCNPX شبیه سازی شد و طیف خروجی آشکارساز تحلیلگر برای یک نمونه سیمان با مقادیر مختلفی از پارامترهای مذکور محاسبه شد. نتایج نشان دهنده آن است که شمارش‌های آشکارساز رفتار کاملاً غیر خطی در کانال‌های مختلف با تغییر پارامترها دارد. همچنین تاثیر تغییرات چگالی و ضخامت نمونه بر طیف خروجی بسیار بیشتر از درصد رطوبت می‌باشد.

۵) مراجع

- [1] M.D. Glascock, Partial application for nuclear-capture reactions and prompt gamma rays, Neutron capture gamma-ray spectroscopy and related topics, London, 1982.
- [2] I. Meric, G.A. Johansen, J. Mattingly and R.P. Gardner, On the ill-conditioning of the multiphase flow measurement by prompt gamma-ray neutron activation analysis, Radiation Physics and Chemistry, 95, 2014, 401-404.
- [3] H.P. Chang, I. Meric, D. Sudac, K. Nađ, J. Obhodaš, G. Hou, Y. Zhang, R.P. Gardner, Implementation of the Monte Carlo Library Least-Squares (MCLLS) approach for quantification of the chlorine impurity in an on-line crude oil monitoring system, 155, 2019, 197-201.
- [4] CBX™ Analyzer site preparation manual (024031), Thermo Electron, 2003.
- [5] C. Oliveira, J. Salgado and F. Leitao, Density and Water Content Corrections in the Gamma Count Rate of a PGNA System for Cement Raw Material Analysis Using the MCNP Code, Appl. Radiat. Isot., 49, 1998, 923-930.



- [6] C. Oliveira and J. Salgado, Calibration Curves of a PGNA System for Cement Raw Material Analysis using the MCNP Code, *Appl. Radiat. Isot.*, 49, 1998, 1685-1689.
- [7] G. Almisned, Effect of Sample Moisture and Bulk Density on Performance of the ^{241}Am -Be Source Based Prompt Gamma Rays Neutron Activation Analysis Setup — a Monte Carlo Study, *Journal of Nuclear Science and Technology*, 47, 2010, 894-897.
- [8] H.M. Hakimabad, H. Panjeh , A. Vejdani-Noghreiyani, Evaluation the nonlinear response function of a 3×3 in NaI scintillation detector for PGNA applications, *Appl. Radiat. Isot.*, 65, 2007, 918-926.