

۱۶ و ۱۷ شهریور ۱۳۹۴ دانشگاه یزد

## استخراج منحنی های کالیبراسیون ابزار گاما-گاما در سنجش چگالی برای تصحیح اثر گل حفاری

محمد رضا قربانی<sup>۱</sup> - فریدون عباسی دوانی<sup>۱</sup> - فائزه رحمانی<sup>۲</sup>

<sup>۱</sup> دانشگاه شهید بهشتی - دانشکده مهندسی هسته‌ای - گروه کاربرد پرتوها

<sup>۲</sup> دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی - دانشکده فیزیک - گروه فیزیک هسته‌ای کاربردی

### چکیده

روش چاه‌پیمایی در اکتشاف معادن و تخمین ذخایر زیر زمینی و نیز بررسی‌های زمین شناسی، جایگاه ویژه‌ای دارد. روش چاه‌پیمایی هسته‌ای گاما-گاما یکی از این روش‌هاست که در آن ماده سازند بر اساس تغییرات چگالی مورد شناسایی قرار می‌گیرد. در این پژوهش، سنجش چگالی سازند با ابزار گاما-گاما (شامل  $^{137}\text{Cs}$  با اکتیویته  $200\text{ mCi}$  و دو آشکارساز  $\text{NaI(Tl)}$  با استفاده از شبیه‌سازی مونت کارلویی انجام شد. با توجه به تأثیر گل حفاری بر دقت اندازه‌گیری، تغییرات چگالی سازند با توجه به اثرات ناشی از گل حفاری با چگالی‌های مختلف (۱/۱، ۱/۴، ۱/۷، ۲/۰، ۲/۲ و  $2/5\text{ gr/cm}^3$ ) و ضخامت‌های متفاوت (۰/۵، ۱، ۱/۵ و ۲ cm) بررسی شدند. حاصل این پژوهش منحنی‌های کالیبراسیونی است که در تفسیر نتایج آزمایشگاهی در سنجش چگالی استفاده خواهند شد.

کلیدواژه: چاه‌پیمایی، ابزار چاه نگار گاما-گاما، چگالی، گاما، تصحیح اثر گل حفاری، MCNPX

### ۱- مقدمه

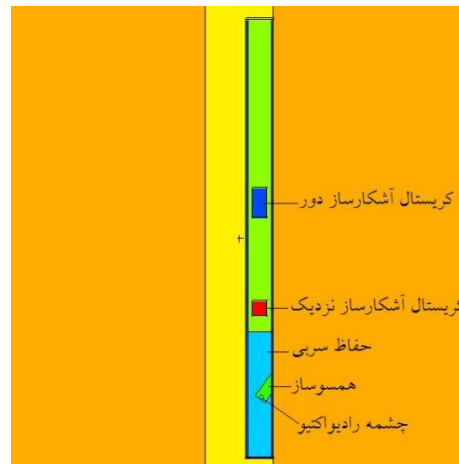
با استفاده از روش چاه‌پیمایی می‌توان اطلاعات پیوسته‌ای از مواد سازند اطراف چاه به دست آورد. این اطلاعات شامل خواص کلی سازند از جمله جنس سنگ، خواص پتروفیزیکی، ساختمان لایه‌های اطراف چاه و اطلاعات زمین شناختی طبقات زمین می‌شود [۱]. کاربرد ابزار چاه‌نگار هسته‌ای گاما-گاما برای اندازه‌گیری چگالی و شناسایی جنس سنگ اطراف چاه است [۲]. این ابزار به صورت یک نگارگر استوانه‌ای شامل چشمه گاما گسیل ( $^{137}\text{Cs}$ )، حفاظ سربی و یک یا چند آشکارساز گاما ( $\text{NaI(Tl)}$ ) است [۳]. پرتوهای گامای گسیل شده از چشمه رادیواکتیو به داخل سازند و اطراف چاه نفوذ کرده و کسری از این پرتوها در اثر پراکندگی کامپتون به سمت آشکارسازها پس‌پراکنده شده که قابل ثبت هستند. تعداد پرتوهای پراکنده به سطح مقطع اندرکنش کامپتون بستگی دارد. هرچه تعداد الکترون‌های در مسیر پرتو بیشتر باشد، احتمال پراکندگی بیشتر است، لذا میان چگالی الکترونی، نوع ماده و شمارش آشکارساز رابطه مستقیمی برقرار است. پرتوهای گامای ثبت شده علاوه بر عبور از سازند، در مسیر خود از چشمه تا سازند و از سازند تا آشکارساز، دوبار از گل حفاری عبور می‌کنند. لذا اطلاعات ثبت شده در آشکارساز، تنها به چگالی سازند وابسته نیست بلکه چگالی گل حفاری و ضخامت آن نیز بر نتیجه اثرگذار است [۴-۸]. برای اندازه‌گیری چگالی سازند در پژوهش‌های انجام شده، از روش‌های متفاوتی نظیر استفاده از دو آشکارساز و سه آشکارساز، تأثیرات گل حفاری بر سنجش چگالی اصلاح شده است [۶-۸-۱۱]. در

۱۶ و ۱۷ شهریور ۱۳۹۴ دانشگاه یزد

این پژوهش با استفاده از روش دو آشکارساز، تاثیر انواع گل حفاری با چگالی و ضخامت‌های متفاوت بر سنجش چگالی سازند بررسی شده است. علاوه بر آن برای شناسایی جنس سنگ سازند اطراف چاه، اندازه‌گیری عدد اتمی مؤثر سازند مورد بررسی قرار گرفته است.

## ۲- روش تحقیق

در فاصله بین چشمه تا آشکارساز اول، حفاظ سربی در نظر گرفته شده تا مانع رسیدن پرتوها به طور مستقیم از چشمه به آشکارساز شود. محاسبات ضخامت حفاظ سربی بر اساس ضخامت نیم برابر کننده سرب در انرژی چشمه (0.66 MeV) که معادل 0.59 cm است، انجام شده است [۱۲]. با استفاده از روش کاهش واریانس، تعداد ۱۵ نیم ضخامت معادل 8.85 cm از سرب باعث کاهش شدت پرتوهای گامای رسیده به آشکارساز بعد از حفاظ سربی در بازه انرژی 200-662 keV در اکتیویته 200 mCi به 799 #/s و در بازه انرژی 50-80 keV به 89 #/s می‌شود. به عبارتی سهم گامای رسیده به آشکارسازها فقط از پراکندگی داخل سازند است.



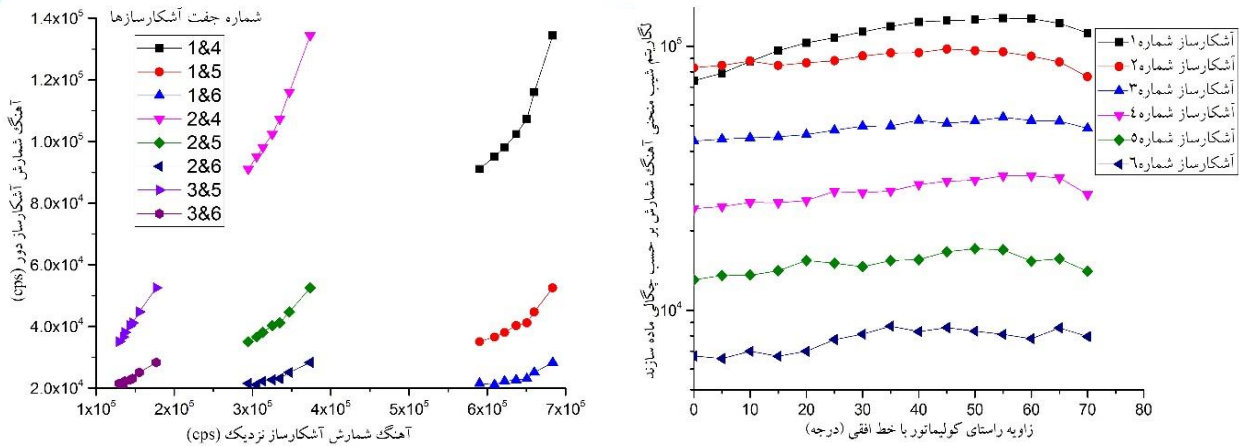
شکل ۱: پیکربندی داخل چاه‌نگار گاما-گاما

راستای زاویه همسوساز (شکل ۱) نسبت به خط افقی باید بر اساس مکان دو آشکارساز دور و نزدیک تعیین شود به طوری که بیشترین شمارش به دو آشکارساز برسد. برای تعیین مکان، تعدادی آشکارساز (۶ آشکارساز ۱×۲ اینچ) در امتداد سوند قرار داده شد و پاسخ هر کدام برای چند سازند با مواد مختلف مورد بررسی قرار گرفت (جدول ۱). با افزایش چگالی ماده سازند آهنگ شمارش آشکارسازها در بازه انرژی 200-600 keV کاهش می‌یابد.

جدول ۱: مواد معدنی استفاده شده در شبیه‌سازی چاه‌نگار [۱۳].

| نام ماده   | فرمول شیمیایی | چگالی (g/cm <sup>3</sup> ) | عدد اتمی مؤثر |
|------------|---------------|----------------------------|---------------|
| سدیم کلرید | NaCl          | ۲/۱۶۵                      | ۱۵/۳          |

۱۶ و ۱۷ اسفندماه ۱۳۹۴ دانشگاه یزد



|       |       |  |              |
|-------|-------|--|--------------|
| ۱۴/۰۷ | ۲/۳۲  | CaSO <sub>4</sub> .2(H <sub>2</sub> O) | سنگ گچ       |
| ۱۳/۳۹ | ۲/۵۵  | KAlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub>      | فلدسپات      |
| ۱۱/۷۸ | ۲/۶۵۴ | SiO <sub>2</sub>                       | کوارتز       |
| ۱۵/۷۱ | ۲/۷۱  | CaCO <sub>3</sub>                      | کربنات کلسیم |
| ۱۳/۷۴ | ۲/۸۷  | CaCO <sub>3</sub> MgCO <sub>3</sub>    | دولومیت      |
| ۱۵/۶۹ | ۲/۹۶  | CaSO <sub>3</sub>                      | آنهدریت      |

آهنگ شمارش در هر ۶ آشکارساز براساس شدت پرتوهای گامای آشکارسازی شده در بازه انرژی 200-600 keV (که متناسب با چگالی است) برای مواد جدول ۱ با زوایای مختلف همسوساز از صفر تا ۷۰ درجه (بازه‌های ۵ درجه) اندازه‌گیری شد. بر اساس شیب تغییرات نسبت پاسخ و نیز آهنگ شمارش ثبت شده بهترین مکان آشکارسازها مشخص شدند. همانطور که بیان شد اثرات گل حفاری در دیواره سازند بر پاسخ آشکارسازها مؤثر است. لذا از گل حفاری بدون ماده باریت با چگالی‌های ۱/۱، ۱/۴ و ۱/۷ gr/cm<sup>3</sup> و گل حفاری با حضور ماده باریت با چگالی ۲، ۲/۲ و ۲/۵ gr/cm<sup>3</sup> استفاده شد [۱۴]. ضخامت ماده گل حفاری نیز ۰/۵، ۱، ۱/۵ و ۲ cm در نظر گرفته شده است.

در نهایت منحنی‌های تغییرات چگالی در حضور گل حفاری با چگالی و ضخامت‌های مختلف استخراج شدند که برای

شکل ۳: مقایسه نمودارهای آهنگ شمارش آشکارساز دور بر حسب آهنگ شمارش آشکارساز نزدیک برای مواد جدول ۱ و کریستال‌های آشکارساز ۱ تا ۶

شکل ۲: شیب منحنی آهنگ شمارش آشکارساز در فواصل مختلف از چشمه بر حسب چگالی برای زوایای مختلف همسوساز

تفسیر نتایج در سنجش چگالی مورد استفاده قرار خواهند

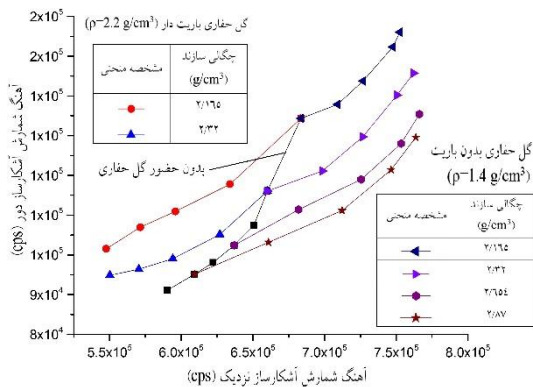
۱۶ و ۱۷ شهریور ۱۳۹۴ دانشگاه یزد

گرفت. همچنین با استفاده از دوبازه انرژی پایین و بالا که به ترتیب به عدد اتمی مؤثر و چگالی حساس هستند، نوع سازند و چگالی آن قابل تشخیص و اندازه گیری خواهد بود. در تمام شبیه سازی‌ها خطای نسبی محاسبات کمتر از ۱٪ است.

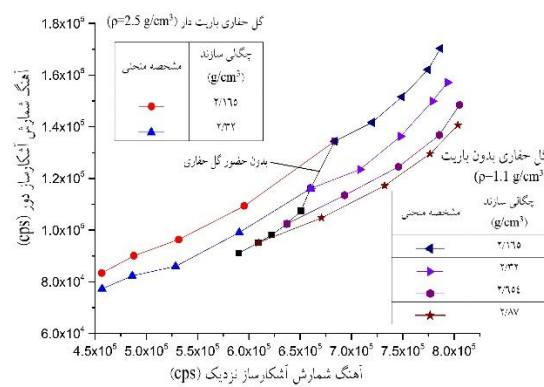
### ۳- نتایج

بر اساس مراحل بیان شده، پاسخ آشکارسازها در فواصل مختلف از چشمه بدون حضور گل حفاری اندازه‌گیری شد. بیشترین آهنگ شمارش و بیشترین شیب آهنگ شمارش آشکارساز بر حسب چگالی سازند به عنوان معیاری برای مناسب‌ترین زاویه خروج ذرات (زاویه همسوساز)، در نظر گرفته شد. چنانچه دیده می‌شود برای آشکارسازهای شماره ۱، ۳، ۴ و ۵ مناسب‌ترین زاویه راستای همسوساز، ۵۵ درجه و برای آشکارسازهای شماره ۲ و ۶ مناسب‌ترین زاویه راستای همسوساز به ترتیب برابر ۴۵ و ۳۵ درجه است. زاویه راستای همسوساز ۵۵ درجه در نظر گرفته شده است و بر اساس این زاویه مکان دو آشکارساز تعیین شده است.

در شکل ۳ آهنگ شمارش آشکارساز دور بر حسب آهنگ شمارش آشکارساز نزدیک، نشان داده شده است. مشاهده می‌شود که آشکارساز شماره ۱ و ۴ مناسب‌ترین مکان‌ها هستند زیرا هم آهنگ شمارش بیشتر و هم و شیب تغییرات بیشتری نسبت به سایر جفت آشکارسازها دارند. لذا فاصله آشکارساز نزدیک از چشمه رادیواکتیو ۱۴/۱۵ سانتی‌متر و فاصله آشکارساز دور از چشمه رادیواکتیو ۳۰/۸۹ سانتی‌متر است.

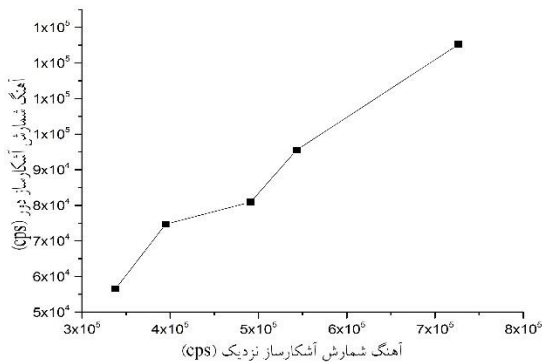


شکل ۴: منحنی‌های آهنگ شمارش آشکارساز دور بر حسب آهنگ شمارش آشکارساز نزدیک در حضور ماده گل حفاری (با چگالی‌های ۲/۲ و ۱/۴ gr/cm³) و بدون حضور ماده گل حفاری برای مواد جدول ۱.

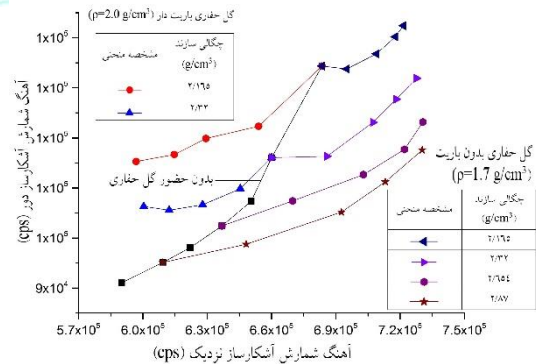


شکل ۳: منحنی‌های آهنگ شمارش آشکارساز دور بر حسب آهنگ شمارش آشکارساز نزدیک در حضور ماده گل حفاری (با چگالی‌های ۲/۵ و ۱/۴ gr/cm³) و بدون حضور ماده گل حفاری، برای مواد جدول ۱.

۱۶ و ۱۷ شهریور ۱۳۹۴ دانشگاه یزد



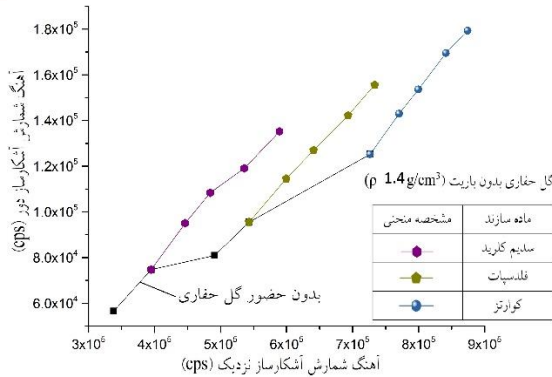
شکل ۶: آهنگ شمارش آشکارساز دور بر حسب آهنگ شمارش آشکارساز نزدیک در بازه انرژی 50-80 keV برای مواد سازند جدول ۲ به منظور اندازه گیری عدد اتمی مؤثر



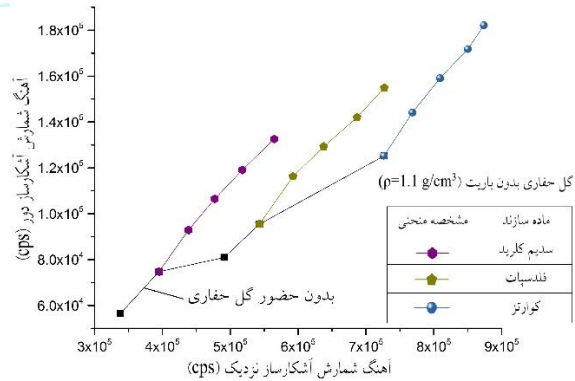
شکل ۵: منحنی‌های آهنگ شمارش آشکارساز دور بر حسب آهنگ شمارش آشکارساز نزدیک در حضور ماده گل حفاری (با چگالی‌های ۲/۰ و ۱/۷ gr/cm<sup>3</sup>) و بدون حضور ماده گل حفاری برای مواد جدول ۱.

نتایج شبیه‌سازی با حضور ماده گل حفاری برای مواد سازند جدول ۱ در شکل‌های ۴ تا ۶ نشان داده شده است. همانطور که در شکل‌های ۴ تا ۶ دیده می‌شود، در حضور گل حفاری بدون باریت، به این علت که چگالی گل حفاری نسبت به سازند کمتر است، با افزایش ضخامت گل حفاری آهنگ شمارش دو آشکارساز دور و نزدیک افزایش می‌یابد. در این حالت با افزایش ضخامت گل حفاری پرتوهای گاما کمتر تضعیف می‌شوند و باعث افزایش آهنگ شمارش آشکارسازها می‌شود. در صورت استفاده از گل حفاری باریت دار، با افزایش ضخامت گل حفاری با چگالی بیشتر نسبت به سازند، باعث تضعیف بیشتر گاما نسبت به حالت بدون گل حفاری شده و آهنگ شمارش دو آشکارساز کاهش می‌یابد. همانطور که بیان شد برای اندازه‌گیری چگالی ماده سازند، از شمارش در بازه 200-600keV استفاده شد. در این بازه انرژی اندرکنش غالب برای گاما پراکندگی کامپتون است که رابطه مستقیمی با چگالی ماده سازند دارد. در بازه انرژی 50-80 keV اندرکنش غالب برای گاما، اندرکنش فوتوالکتریک است که رابطه مستقیمی با عدد اتمی مؤثر ماده سازند دارد. بنابراین با اندازه‌گیری همزمان شدت پرتوهای گاما در بازه کم انرژی می‌توان عدد اتمی مؤثر سازند را نیز اندازه‌گیری کرد. لذا در این بازه آهنگ شمارش آشکارساز دور بر حسب آهنگ شمارش آشکارساز نزدیک، برای مواد سازند جدول ۱ بدون حضور ماده گل حفاری اندازه‌گیری شده است (در شکل ۷). همانطور که وجود لایه گل حفاری بر اندازه‌گیری چگالی ماده سازند مؤثر است، بر اندازه‌گیری عدد اتمی مؤثر سازند نیز تاثیر گذار است. پرتوهای گامای اندازه‌گیری شده برای سنجش عدد اتمی مؤثر نسبت به پرتوهای اندازه‌گیری شده برای چگالی ماده سازند، انرژی کمتری دارند و بنابراین اندازه‌گیری عدد اتمی مؤثر نسبت به اندازه‌گیری چگالی سازند بیشتر تحت تاثیر ماده گل حفاری خواهد بود. در شکل‌های ۸، ۹ و ۱۰ تاثیر گل حفاری بدون ماده باریت بر اندازه‌گیری عدد اتمی مؤثر سازند نشان داده شده است.

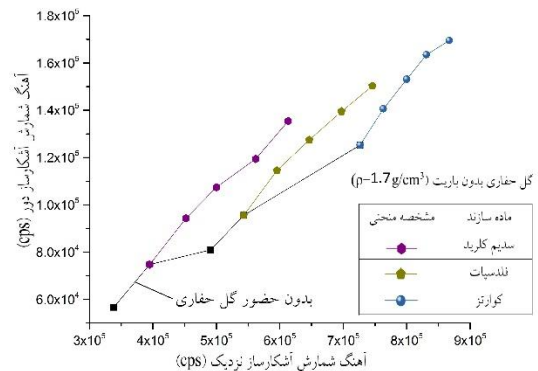
۱۶ و ۱۷ شهریور ماه ۱۳۹۴ دانشگاه یزد



شکل ۹: منحنی های آهنگ شمارش آشکارساز دور بر حسب آهنگ شمارش آشکارساز نزدیک به منظور اندازه گیری عدد اتمی موثر در حضور ماده گل حفاری (با چگالی  $1/4 \text{ g/cm}^3$ ) و بدون حضور ماده گل حفاری برای مواد جدول ۱.۱.



شکل ۸: منحنی های آهنگ شمارش آشکارساز دور بر حسب آهنگ شمارش آشکارساز نزدیک به منظور اندازه گیری عدد اتمی موثر در حضور ماده گل حفاری (با چگالی  $1/1 \text{ g/cm}^3$ ) و بدون حضور ماده گل حفاری، جدول ۱.۱.



شکل ۱۰: منحنی های آهنگ شمارش آشکارساز دور بر حسب آهنگ شمارش آشکارساز نزدیک به منظور اندازه گیری عدد اتمی موثر در حضور ماده گل حفاری (با چگالی  $1/7 \text{ g/cm}^3$ ) و بدون حضور ماده گل حفاری، جدول ۱.۱.

چندین سازند با ترکیبات مختلف براساس کاهش عدد اتمی مؤثر (جدول ۱) شامل کربنات کلسیم، سدیم کلرید، دولومیت، فلدسپات و کوارتز مورد بررسی قرار گرفته اند (شکل ۷) عدد اتمی مؤثر این مواد به ترتیب گفته شده کاهش می یابد و باعث کاهش آهنگ شمارش دو آشکارساز در بازه انرژی بیان شده می شود. لذا حتی با یکی بودن چگالی دو ماده سازند با عدد اتمی مؤثر متفاوت، می توان ماده سازند را تشخیص داد. به طور نمونه اختلاف چگالی بین دو ماده کوارتز و کلسیم کربنات  $0/056$  گرم بر سانتی متر مکعب است. در حالی که اختلاف عدد اتمی مؤثر بین این دو ماده  $3/9$  است. بنابراین با

۱۶ و ۱۷ اسفندماه ۱۳۹۴ دانشگاه یزد

استفاده از این روش می‌توان عدد اتمی موثر و چگالی مواد سازند را اندازه‌گیری کرد که در شناسایی جنس مواد سازند بسیار موثر است.

## ۴- نتیجه گیری

برای اندازه‌گیری چگالی ماده سازند به چاه نگاری گاما-گاما مبتنی بر پراکندگی کامپتون، هر ماده‌ای در مسیر عبور پرتو بر پاسخ‌های آشکارساز اثر گذار است. در این پژوهش به بررسی اثر گل حفاری با ضخامت‌های مختلف و چگالی‌های گوناگون پرداخته شد. علاوه بر آن با بررسی عدد اتمی مؤثر در بازه کم انرژی و بررسی همزمان آن با چگالی، می‌توان علاوه بر تصحیح اثر گل حفاری مشخصات ترکیب سازند را نیز مشخص کرد. به عبارتی با داشتن آهنگ شمارش دو آشکارساز می‌توان با استفاده از این منحنی‌های کالیبراسیون اطلاعاتی شامل چگالی ماده سازند، ضخامت و نوع گل حفاری و نیز جنس سنگ به دست آورد. شبیه سازی‌های انجام شده برای اندازه‌گیری چگالی سازندهای متداول از چگالی  $2/165$  تا  $2/96 \text{ gr/cm}^3$  است و برای اندازه‌گیری عدد اتمی مواد سازند از سازند با عدد اتمی  $11/8$  تا  $15/7$  استفاده شده است، لذا حتی با یکی بودن چگالی دو ماده سازند با عدد اتمی مؤثر متفاوت، می‌توان ماده سازند را تشخیص داد.

## References

1. Ellis, D.V. and J.M. Singer, *Well logging for earth scientists*. 2007, Springer Science & Business Media. p. 1
2. Serra, O. and L. Serra, *Well logging: data acquisition and applications*. 2004. p. 256
3. Ellis, D.V. and J.M. Singer, *Well logging for earth scientists*. 2007, Springer Science & Business Media. p. 293
4. Stoller, C., et al., *Method and apparatus for measuring formation density and the formation photo-electric factor with a multi-detector gamma-gamma tool*. 1998, Google Patents
5. C., et al., *Well-logging tool with azimuthal and spectral radiation detectors and related methods*. 2015, Google Patents
6. Mosse, L., et al., *System and method for generating density in a cased-hole wellbore*. 2011, Google Patents
7. E. Markley, *Measuring formation density through casing*. 2007, Google Patents.
8. Moake, G.L., *Formation density tool for use in cased and open holes*. 1996, Google Patents
9. Yin, H., P. Guo, and A. Mendoza. *Comparison of processing methods to obtain accurate bulk density compensation and azimuthal density image from dual-detector gamma density measurements in high angle and horizontal wells*. in *49th Annual Logging Symposium*. 2008. Society of Petrophysicists and Well-Log Analysts
10. Stoller, C., et al. *Method for determining formation density and formation photo-electric factor with a multi-detector-gamma-ray tool*. 1999, Google Patents
11. Flaum, C., J. Galford, and A. Hastings, *Enhanced vertical resolution processing of dual detector (gamma-gamma density logs)*. *The log analyst*, 1989. **30**(03)
12. Cember, H., *Introduction to health physics*. Introduction to health physics., 1969
13. Tittman, J., *Geophysical well logging*, in *Methods of experimental Physics*. 1986. p. 30



# بیست و دومین کنفرانس هسته‌ای ایران



۱۶ و ۱۷ اسفندماه ۱۳۹۴ دانشگاه یزد

Ellis, D.V. and J.M. Singer, *Well logging for earth scientists*. 2007, Springer Science & Business Media. p. 299 .۱۴