



مدل سازی محیط متخلخل حاوی سیال برای مخازن نفتی در روش چاه‌پیمایی گاما-گاما

رسولی، فاطمه سادات - مسعودی، سید فرهاد

دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، دانشکده فیزیک، گروه فیزیک هسته‌ای

چکیده:

چاه‌پیمایی گاما-گاما یکی از روش‌های بهینه در اندازه‌گیری مشخصات سنگ‌ها و لایه‌های زیرزمینی بوده و از مهم‌ترین فناوری‌ها در صنایع بالادستی نفت به شمار می‌رود. در مطالعات گسترده‌ای که تاکنون به منظور دستیابی به ثبت بیشترین گامای پراکنده شده در این روش انجام گرفته، ماده سازند به صورت محیطی همگن شبیه سازی شده است. این در حالی است که محیط‌های واقعی میدان‌های نفتی، محیط‌هایی متخلخل‌اند که سیالات نفت، آب و گاز درون ترک‌های آن شارش می‌یابند. پژوهش حاضر با پیشنهاد مدلی برای شبیه سازی محیط متخلخل، به بررسی اهمیت مدل سازی در شمارش گاما پرداخته است. نتایج نشان داد آمار شمارش در مدل پیشنهادی برای درصد‌های مختلف تخلخل و سازندهای با چگالی‌های مختلف به ترتیب بین ۲ تا ۱۸ درصد و ۰/۸۴ تا ۱۸ درصد بیشتر از مدل مرسوم است.

کلمات کلیدی: چاه‌پیمایی گاما-گاما، محیط متخلخل، چاه نگار، مدل سازی، آشکارسازی گاما

مقدمه:

چاه‌پیمایی، که روشی برای اندازه‌گیری مشخصات سنگ‌ها و لایه‌های زیرزمینی بوسیله ابزارهای مشخص چاه‌نگاری است، یکی از مهم‌ترین و قابل‌توجه‌ترین فناوری‌ها در صنایع بالادستی نفت بوده و اقتصادی‌ترین و بهینه‌ترین روش موجود جهت تعیین نوع و تخلخل سنگ و اشباع و نوع سیال سازند به شمار می‌رود. با توجه به اینکه کشور ایران یکی از اصلی‌ترین دارندگان منابع نفت و گاز در دنیا است، لزوم استفاده از این توانایی‌ها در بخش نفت و گاز و فناوری‌های مورد استفاده در چاه‌پیمایی امری بدیهی است. بطور کلی روش‌های چاه‌پیمایی را می‌توان به روش‌های غیرهسته‌ای و روش‌های هسته‌ای تقسیم‌بندی کرد. روش‌های غیرهسته‌ای شامل روش‌های الکتریکی (مبتنی بر اندازه‌گیری مقاومت ویژه الکتریکی و ثابت دی‌الکتریک) و صوتی (مبتنی بر اندازه‌گیری سرعت انتشار امواج صوتی در سازند) می‌باشند. دسته دوم، که چاه‌پیمایی به روش هسته‌ای نامیده می‌شود، از پرتوهای نوترون یا گاما و ثبت سیگنال‌های قابل اندازه‌گیری آنها به منظور بررسی و تعیین ویژگی‌های سازند و سیال درون آن بهره می‌گیرد [۱]. در یکی از روش‌های مبتنی بر استفاده از چشمه‌های گاما، که چاه‌پیمایی گاما-گاما نامیده می‌شود، پرتو گامای گسیل شده از چشمه به ترکیبات سازند



برخورد کرده و پراکنده می‌شوند. این گاماها پراکنده شده در آشکار سازها ثبت شده و با توجه به آمار شمارش، ماده سازند تعیین می‌شود.

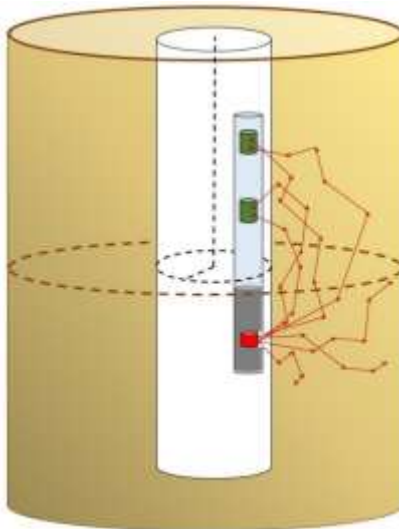
تخلخل، که به صورت نسبت حجم فضاهای خالی در سازند به حجم کل سازند تعریف می‌شود، یکی از پارامترهای ضروری در روش چاه‌پیمایی است. در واقع محیط سازند یک محیط ترک‌دار است که سیالات موجود در مخزن با توجه به ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خود و همچنین اندازه و نوع ترک‌ها می‌توانند در آن شارش یابند. در مطالعاتی که تاکنون در این حوزه انجام گرفته و مربوط به طراحی و بهینه‌سازی چاه‌نگارهای گاما-گاما شامل انتخاب چشمه مناسب، طراحی حفاظ چشمه، تعیین مکان آشکار سازهای دور و نزدیک و مواردی از این دست به منظور ثبت بیشترین مقدار گامای پراکنده شده و تعیین تخلخل سازند بوده است [۶-۲]، ماده سازند به صورت محیطی همگن و بدون در نظر گرفتن ترک‌های موجود در آن شبیه‌سازی شده است. این در حالی است که محیط‌های واقعی میدان‌های نفتی، محیط‌هایی متخلخل هستند که سیالات نفت، آب و گاز درون ترک‌های آن شارش یافته‌اند. بنابراین سؤال اساسی این است که آیا حضور ترک‌ها در محیط می‌تواند عاملی مهم در شمارش گاما و در نتیجه تعیین چگالی سازند و تخلخل آن باشند؟ به عبارت دیگر، نتایج محاسبات چاه‌پیمایی تا چه اندازه به مدل‌سازی دقیق سازند (به صورت محیط ترک‌دار) حساس هستند؟ برای پاسخ به این پرسش‌ها، در این پژوهش مدل‌سازی محیط ترک‌دار انجام شده و نتایج مربوط به شمارش گاما در آشکار سازهای دور و نزدیک با نتایج مدل همگن مرسوم مقایسه شده‌اند. برای انجام شبیه‌سازی‌ها و ترابرد ذرات در محیط از کد مونت کارلوی MCNPX استفاده شده است.

روش کار:

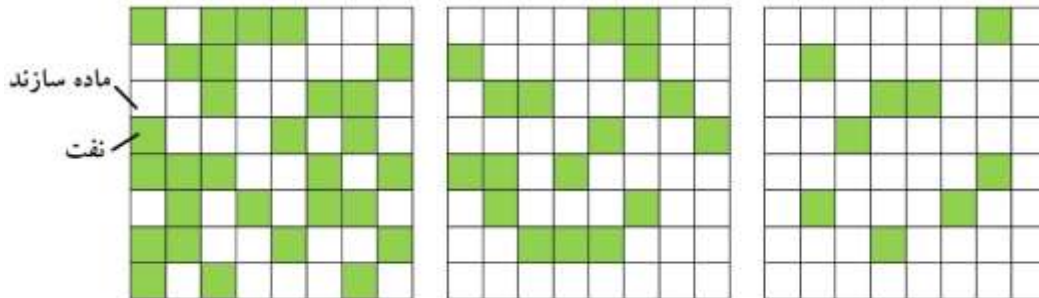
اگرچه در سازندهای واقعی محیط اندازه‌گیری بی‌نهایت است، با این حال در شبیه‌سازی باید محیطی محدود، به صورتی که معادل محیط بی‌نهایت رفتار کند، در نظر گرفته شود. برای تعیین ابعاد محیط، بیشترین شعاع نفوذ گاما در محیط چاه شامل ابزار چاه‌نگاری محاسبه شده است. این ابزار شامل دو آشکار ساز دور و نزدیک و یک چشمه ^{137}Cs است که محل قرارگیری آنها با توجه به فواصل بهینه بدست آمده در مرجع [۷] تعیین شده است. شکل ۱ طرحواره‌ای از محیط و ابزار چاه‌نگاری شبیه‌سازی شده را نمایش می‌دهد.

به منظور بررسی اثر شبیه‌سازی تخلخل در محیط، الگویی مطابق شکل ۲ طراحی شده است. این الگو به صورت ماتریسی $8 \times 8 \text{ mm}^2$ است که هریک از خانه‌های آن می‌تواند با ماده مشخصی پر شود. محیط سازند از تکرار این الگو

ساخته شده است. برای در نظر گرفتن مقدار تخلخل در محیط، که در پژوهش حاضر فرض شده که تمام حجم آنها با نفت پر شده باشد، تعداد مشخصی از خانه‌های ماتریس با نفت و بقیه با ماده خاک (محیط سازند) پر شده است. علیرغم مشخص بودن تعداد خانه‌های تخلخل در هر حالت، نحوه قرارگیری آنها در ماتریس به صورت تصادفی انجام شده و چنانکه در واقعیت اتفاق می‌افتد، از نظم مشخصی پیروی نکرده است. لازم به ذکر است که به دلیل انتخاب تصادفی خانه‌های پر شده با نفت و مشخص بودن غلظت، در نظر گرفتن ابعاد بزرگتر برای الگو، تأثیری بر نتایج کلی نخواهد داشت. با توجه به تعداد خانه‌های تخلخل در این الگو، غلظت نفت محاسبه شده و معادل آن در مدل مر سوم (مخلوط همگن) به ماده سازند اضافه شده است. این کار امکان مقایسه رفتار شمارش ناشی از دو مدل را در یک تخلخل (غلظت نفت) مشخص فراهم می‌کند. همچنین برای بررسی اثر چگالی ماده سازند بر روی نتایج حاصل از دو مدل، برای یک تخلخل مشخص، مواد مختلفی برای خاک در نظر گرفته شده و نتایج شمارش در دو آشکارساز مورد بررسی قرار گرفته است.



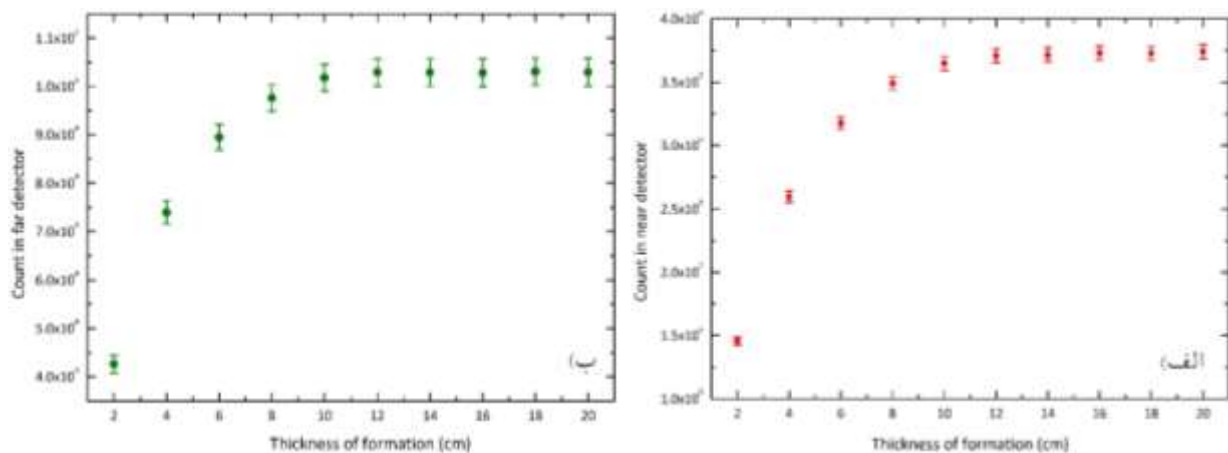
شکل ۱. طرحواره‌ای از محیط و ابزار چاه‌نگاری شبیه‌سازی شده شامل چشمه ^{137}Cs و آشکارسازهای دور و نزدیک.



شکل ۲. نمونه‌هایی از الگوی طراحی شده برای شبیه‌سازی تخلخل حاوی نفت در محیط سازند. در این نمونه‌ها کوارتر به عنوان ماده سازند در نظر گرفته شده و الگوها از راست به چپ به ترتیب مربوط به تخلخل‌های ۵، ۱۰ و ۲۰ درصد هستند.

نتایج:

شکل ۳ نتایج مربوط به عمق نفوذ گامای ناشی از چشمه ^{137}Cs ۵۰ میلی‌کوری موجود در ابزار چاه‌پیمایی در محیط را در دو آشکارساز دور و نزدیک نشان می‌دهد. چنانکه مشخص است، عمق نفوذ پرتوهای گاما از ضخامت ۱۰ سانتیمتر به بعد در هر دو آشکارساز با تقریب خوبی ثابت باقی می‌ماند. به عنوان مثال تغییرات شمارش در آشکارسازهای دور و نزدیک در ضخامت ۱۰ سانتیمتر به ترتیب به مقدار ۱۵۰/۴ و ۱۴۰ درصد نسبت به ضخامت ۲ سانتیمتر افزایش داشته است، در حالی که این اختلاف برای ضخامت ۱۲ سانتیمتر نسبت به ضخامت ۱۰ سانتیمتر به ۱/۶۷ و ۱/۰۸ درصد، و برای ضخامت ۱۲ سانتیمتر نسبت به ۱۰ سانتیمتر به ۰/۱۸ و ۰/۰۱ درصد می‌رسد. بنابراین ضخامت بهینه سازند، که معادل محیط بی‌نهایت رفتار می‌کند، ۱۲ سانتیمتر انتخاب شد. با توجه به شعاع ۶ سانتیمتری چاه، شعاع کل محیط ۱۸ سانتیمتر خواهد بود.

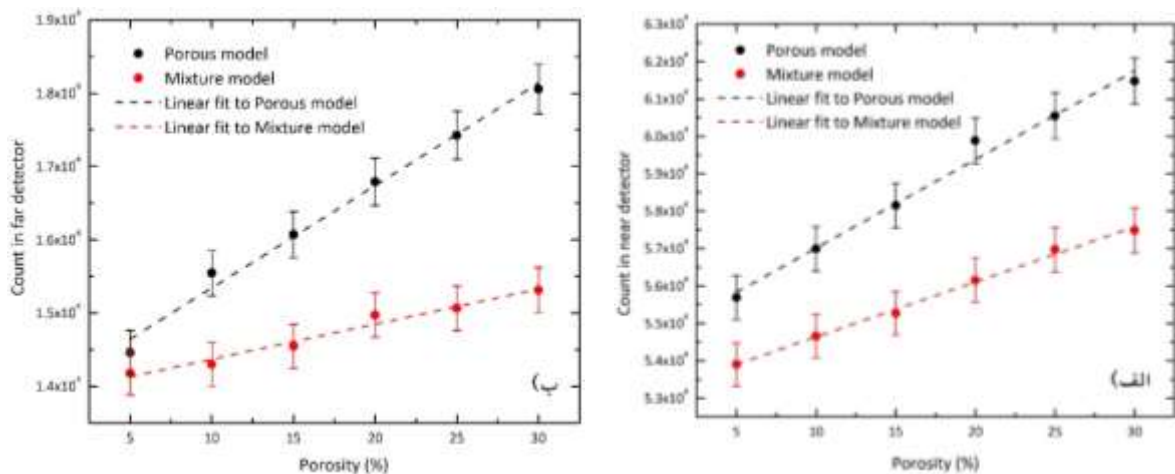


شکل ۳. تغییرات شمارش در آشکارسازهای الف) نزدیک، و ب) دور، برای ضخامت‌های مختلف سازند.

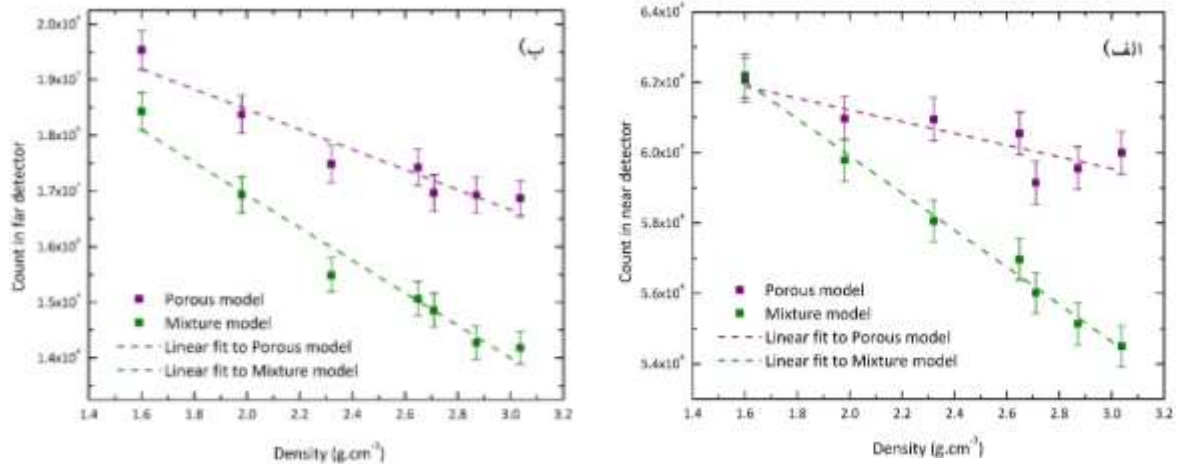


با توجه به آنچه در قسمت روش کار بیان شد، از الگوی نشان داده شده در شکل ۲ برای شبیه سازی محیط متخلخل استفاده گردید. نتایج مربوط به شمارش در دو آشکارساز دور و نزدیک برای درصدهای مختلف تخلخل موجود در محیط در شکل ۴ نمایش داده شده و با مدل مخلوط همگن مرسوم، که در آن منظور از درصد تخلخل، درصد حضور نفت در ماده سازند است، مقایسه شده است. در این شبیه سازی کوارتز (SiO_2) به عنوان ماده اولیه سازند در نظر گرفته شده و با توجه به نقش غالب پراکندگی کامپتون در تعیین چگالی ماده سازند [۸]، شمارش‌های گزارش شده مربوط به بازه انرژی ۲۰۰ تا ۶۰۰ کیلو الکترون ولت هستند. با توجه به داده‌های بدست آمده، شمارش در آشکارساز نزدیک مربوط به مدل متخلخل برای درصدهای مختلف تخلخل بررسی شده در این پژوهش، بین ۳/۳ تا ۷ درصد بیشتر از مقدار معادل در مدل مخلوط همگن است. این اختلاف برای آشکارساز دور در بازه ۲ تا ۱۸ درصد قرار می‌گیرد. برای هر دو آشکارساز، کمترین و بیشترین درصد اختلاف به ترتیب مربوط به کمترین و بیشترین میزان تخلخل در محیط است. همچنین چنانکه مشاهده می‌شود، نتایج شمارش بر حسب تخلخل برای درصدهای بررسی شده در این پژوهش در هر دو آشکارساز با تقریب خوبی به صورت خطی تغییر می‌کنند.

به منظور بررسی اثر چگالی محیط، تغییرات شمارش در آشکارسازهای نزدیک و دور برای مواد مختلف به عنوان سازند و به ازای تخلخل ثابت ۲۵ درصد، به عنوان نمونه، مطالعه شده است. مواد مورد بررسی و چگالی آنها در جدول ۱ گزارش شده و نتایج مربوط به شمارش در هر یک از آشکارسازها به ازای تغییرات چگالی در شکل ۵ نمایش داده شده است.



شکل ۴. تغییرات شمارش در آشکارسازهای الف) نزدیک، و ب) دور، برای مدل متخلخل و مدل مخلوط همگن (مدل مرسوم) به ازای درصدهای مختلف حضور نفت در محیط. خط برازش شده به داده‌های مربوط به هر یک از دو مدل نیز نمایش داده شده است.



شکل ۵. تغییرات شمارش در آشکارسازهای الف) نزدیک، و ب) دور، برای مدل متخلخل و مدل مخلوط همگن (مدل مرسوم) به ازای چگالی‌های مختلف (مواد سازند گزارش شده در جدول ۱) در حضور نفت با غلظت ۲۵ درصد. خط برازش شده به داده‌های مربوط به هریک از دو مدل نیز نمایش داده شده است.

جدول ۱. مواد بررسی شده به عنوان ماده سازند و چگالی آنها.

Magnesite	Dolomite	Calcite	Quartz	Gypsum	Sylvite	Carnallite	ماده سازند
۳/۰۳۷	۲/۸۷	۲/۷۱	۲/۶۴۸	۲/۳۲	۱/۹۸۴	۱/۶۱	چگالی (g.cm ⁻³)

بحث و نتیجه‌گیری:

امروزه روش‌های مختلف چاه‌پیمایی در زمره اقتصادی‌ترین و بهینه‌ترین روش‌های موجود جهت تعیین نوع و تخلخل سنگ و اشباع و نوع سیال موجود در سازند در اکتشاف مخازن نفت، گاز و آب به شمار می‌روند. با توجه به اینکه کشور ایران یکی از اصلی‌ترین دارندگان منابع نفت و گاز در دنیا است، استفاده از فناوری‌های مورد استفاده در چاه‌پیمایی در صنایع نفت و گاز آن ضروری به نظر می‌رسد. از بین روش‌های مختلف چاه‌پیمایی، چاه‌پیمایی هسته‌ای به روش گاما-گاما به دلیل فراهم کردن قابلیت رسم نمودارهای چاه‌نگاری به صورت پیوسته در عمق و امکان دستیابی به اطلاعات و تحلیل آنها به صورت آنلاین و دقت مناسب از اهمیت به سزایی برخوردار است. در مطالعات مربوط به بکارگیری این فناوری، استفاده از روش‌های شبیه‌سازی همواره مورد توجه پژوهشگران بوده است. از سوی دیگر با توجه به اینکه برهم‌کنش‌های پرتو گاما با مواد سازند عامل اصلی در کارآیی روش گاما-گاما به شمار می‌روند، استفاده از رهیافت مونت‌کارلو به منظور بررسی ترابرد پرتوهای گاما در محیط بسیار مناسب خواهد بود. در مطالعات گسترده‌ای که تاکنون



در این زمینه منتشر شده‌اند، محیط سازند همواره به صورت محیطی کاملاً همگن شبیه‌سازی شده است. این در حالی است که محیط‌های واقعی در میدان‌های نفتی و گازی، در دسته محیط‌هایی متخلخل، که سیال درون ترک‌های آنها شارش می‌یابد، قرار می‌گیرند. در این پژوهش با شبیه‌سازی الگویی برای این محیط‌ها، میزان وابستگی شمارش در آشکارسازها به دقت شبیه‌سازی سازند و سیال شارش یافته در ترک‌های آن بررسی شد.

نتایج بدست آمده نشان داد حضور درصدهای مختلف تخلخل در یک ماده سازند مشخص، منجر به تفاوت شمارش در آشکارسازها نسبت به غلظت معادل نفت در مدل مخلوط همگن خواهد شد. اگرچه رفتار شمارش برای هر دو مدل نسبت به مقدار تخلخل (غلظت نفت) خطی است، با این حال مقادیر این شمارش برای دو مدل بین ۲ تا ۱۸ درصد متفاوت هستند. چنانکه انتظار می‌رود، این اثر در آشکارساز دور بطور محسوس‌تری نسبت به آشکارساز نزدیک قابل مشاهده است. این رفتار را می‌توان با تفاوت چگالی سیال با ماده سازند و اهمیت در نظر گرفتن رفتار پرتو در لایه‌های مختلف نسبت به ماده همگن و یکنواخت توجیه کرد. همچنین نتایج مربوط به تغییر چگالی سازند نیز تفاوت بین عملکرد پرتو در دو مدل شبیه‌سازی شده را نشان داد. مقدار این تفاوت به چگالی سازند بستگی دارد، بطوریکه در آشکارسازهای دور و نزدیک، کمترین تفاوت بین شمارش‌ها در دو مدل به ترتیب به مقدار ۰/۸۴ و ۵/۲ درصد و مربوط به سازند با کمترین چگالی بررسی شده است. بیشترین تفاوت نیز برای این دو آشکارساز به ترتیب به اندازه ۸/۱۸ و ۱۸/۱ درصد و مربوط به سازند با بیشترین چگالی مورد مطالعه در این پژوهش است. اگرچه رفتار شمارش بر حسب چگالی سازند برای هر یک از دو مدل را نیز می‌توان با برازش یک خط راست توصیف کرد، با این حال شیب این خط‌ها با یکدیگر متفاوت است. چنانکه پیشتر نیز بیان شد، تفاوت مقدار شمارش در دو مدل متخلخل و مخلوط همگن به دلیل تفاوت چگالی موادی است که پرتو در مسیر حرکت خود با آنها روبرو می‌شود. همانطور در شکل ۵ مشاهده می‌شود، مواد سازند با چگالی پایین در هر دو مدل رفتار مشابهی را نشان می‌دهند.

نتایج اولیه بدست آمده در این بررسی، اهمیت مدل‌سازی محیط متخلخل را در ثبت مقادیر شمارش نشان می‌دهند. لازم به ذکر است که نتایج ارائه شده، قسمتی از پژوهش مورد نظر بوده و مؤلفان در حال حاضر در حال مطالعه بر روی مسأله‌های باز در این زمینه هستند. از جمله این موارد می‌توان به مطالعه کارایی ویژگی‌های یک چاه‌نگار طراحی و بهینه‌سازی شده در محیط مخلوط همگن پس از قرار گرفتن در محیط متخلخل و بررسی لزوم بازنگری مشخصات آن، تعیین ابعاد بهینه برای سازند متخلخل با توجه به عمق نفوذ پرتوها در آن به منظور کاهش هزینه‌های محاسباتی و زمان ترابرد ذرات در شبیه‌سازی و موارد دیگر اشاره کرد.



مراجع:

- [۱] Bassiouni, Z. (1994). Theory, measurement, and interpretation of well logs (Vol. 4). Henry L. Doherty Memorial Fund of AIME, Society of Petroleum Engineers. 2-10.
- [۲] Wu, W. S., Huang, L. J. (2004). Monte Carlo Simulating of Three Detector Density Logging. *Chinese Journal of Geophysics*, 47(1), 181-187. 11-15
- [۳] Metwally, W. A. (2011). Porosity calculations using a C/O logging tool with boron-lined NaI detectors. *Applied Radiation and Isotopes*, 69(1), 217-219.
- [۴] Esmaeili-Sani, V., Moussavi-Zarandi, A., Boghrati, B., Afarideh, H. (2012). Gamma-gamma density and lithology tools simulation based on GEANT4 advanced low energy Compton scattering (GALECS) package. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A*. 664(1), 6-10.
- [۵] Li, K., Gao, J., Ju, X., Sun, H. (2018). Improved horizontal well logging porosity valuation for a gas reservoir in the Northern Ordos Basin, China. *Journal of Geophysics and Engineering*. 15(5), 2266-2277.
- [۶] Zhang, Q., Zhang, F., Gardner, R. P., Yan, H., Wu, G., Tian, L., Ti, Y. (2018). A method for determining density based on gamma ray and fast neutron detection using a Cs_2LiYCl_6 detector in neutron-gamma density logging. *Applied Radiation and Isotopes*, 142, 77-84.
- [۷] مسرور نادری درباغشاهی، طراحی مفهومی چاه نگار گاما-گاما به منظور سنجش چگالی سازند، ۱۳۹۵، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده فیزیک دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی.
- [۸] Singer, J.M., Ellis, D.V. (2007). Well logging for earth scientists. 2nd Edition. Springer.