

طراحی ابزار تخلخل سنج نوترونی به منظور استفاده چاه‌پیمایی هسته‌ای در سازندهای نفت خیز

درویش‌متولی، هادی*^(۱) - رحمانی، فائزه^(۱) - زارع، محمدرضا^(۲)

^۱ دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی تهران، دانشکده فیزیک، گروه فیزیک هسته‌ای
^۲ دانشگاه صنعتی مالک اشتر اصفهان، دانشکده علوم و فناوری‌های نوین، گروه فیزیک هسته‌ای

چکیده

یکی از ابزارهای که در چاه‌پیمایی هسته‌ای تخلخل سازند مورد استفاده قرار می‌گیرد، تخلخل‌سنج نوترونی است که در این مقاله به طراحی آن پرداخته شده است. تخلخل‌سنج نوترونی ارائه شده شامل دو آشکارساز دور و نزدیک به ترتیب با ابعاد $۱۲/۶ \times ۲/۵۴$ و $۷/۶۲ \times ۲/۵۴$ سانتیمتر است که در فواصل $۴۹/۲$ و $۸/۸$ سانتیمتر از چشمه نوترونی قرار گرفته‌اند. برای سنجش تخلخل از شمارش نوترون‌های حرارتی و فوق‌حرارتی استفاده شده است. به منظور افزایش بازدهی شمارش آشکارساز، از لایه‌های گندکننده پل‌اتیلن به ضخامت ۴ میلیمتر حول آشکارساز نزدیک استفاده شده است. بر اساس نتایج با استفاده از این طراحی می‌توان تخلخل را با دقت ۱۰ درصد اندازه‌گیری کرد.

کلمات کلیدی: ابزار تخلخل‌سنج، نوترون، چاه‌پیمایی، آشکارساز نوترون.

مقدمه:

در اوایل قرن بیستم اکتشاف برای نفت، گاز و کانی‌های اقتصادی (فلزی و غیر فلزی) منحصراً به برون‌زدهای سطحی سنگ‌های روی زمین محدود می‌شد و بدین ترتیب تمامی ذخایر مورد نیاز کشف و مورد بهره‌برداری قرار گرفتند. ولی امروزه برای شناسایی ذخائر جدید باید اکتشاف را به زیر سطح زمین گسترش داد که این امر فقط توسط اکتشافات ژئوفیزیکی امکان‌پذیر خواهد بود. از نظر تاریخی، ابزار نمودارگیری نوترونی اولین ابزار اندازه‌گیری هسته‌ای برای برآورد تخلخل سازند بوده است.

آب، نفت و گاز موجود در تخلخل سنگ‌ها حاوی هیدروژن بوده و در نتیجه روی رفتار نوترون در محیط اثرگذار است. مادامی که منافذ با مایع پر شده‌اند، وجود هیدروژن بیشتر، نشانه تخلخل بیشتر است و بالعکس شمارش کمتر بیانگر هیدروژن کمتر و در نتیجه تخلخل کمتر است [۱].

یک سوند نمودارگیری نوترون شامل یک چشمه نوترونی است که به طور مناسب از هم‌سوساز به سمت سازند خارج شده و در سازند مجاور نفوذ می‌کند. اگر سنگ‌ها دارای هیدروژن کم و یا بدون هیدروژن باشند، سرعت نوترون‌ها طی برخورد با سازند به کندی کاهش می‌یابد، در نتیجه ابزار نمودارگیری نوترون حرارتی شمارش کمی را نشان می‌دهد و اگر چشمه نوترون با سنگ‌های هیدروژن‌دار برخورد کند، ابزار نمودارگیری نوترون حرارتی شمارش بیشتری را نشان می‌دهد.

اولین ابزار نوترونی در سال ۱۹۵۰ بر پایه چشمه نوترونی و تک آشکارساز ساخته شده بود. در سال ۱۹۶۰ نیز ابزار ^{252}Cf برای ارزیابی تخلخل معرفی شد که اثرات چاه به دلیل مماس بودن ابزار با دیواره چاه تا حد زیادی کاهش یافت. در سال ۱۹۶۶ تیمن و همکارانش ابزار ^{252}Cf را طراحی کردند که از آشکارسازهای حساس به نوترون فوق‌حرارتی تشکیل شده بود تا در سازندهای با جاذب حرارتی بالا که ابزار نوترون حرارتی کارساز نیست، مورد استفاده قرار گیرد [۲].

ابزار نوترونی رایج دیگری که در سال ۱۹۷۰ معرفی شد، ابزار ^{252}Cf بود که از یک چشمه نوترونی سریع و دو آشکارساز حساس به نوترون‌های حرارتی تشکیل می‌شد [۳]. آشکارسازها در فاصله تقریباً ۳۰ و ۶۰ سانتیمتری در بالای چشمه قرار دارند. با وجود اینکه این ابزار نسبت به ابزار ^{252}Cf برای سازندهای دارای جاذب جواب خوبی نمی‌دهد ولی عمق بررسی آن بیشتر است.

در ایران، آقایان سهراب‌پور و پرورش در سال‌های قبل از ۲۰۰۴ میلادی تحقیقاتی در زمینه ابزار تخلخل‌سنج نوترونی انجام دادند. محور تحقیقات انجام شده، طراحی و شبیه‌سازی سوند تخلخل‌سنج نوترونی و شبیه‌سازی آن با کد MCNP بوده است. ابزار مذکور شامل چشمه ^{252}Cf و یک آشکارساز ^{252}Cf در فاصله ۴۳ سانتیمتری از چشمه است [۴].

آنچه در این مقاله به آن پرداخته شده است، ارائه طراحی مبتنی بر شبیه‌سازی مونت کارلویی (با کد MCNP) یک تخلخل‌سنج نوترونی به منظور تعیین تخلخل آبی سازند و بررسی عملکرد آن برای سازندهای متفاوت نفتی است. با توجه به تحقیقات انجام شده و نیاز کشور به این ابزار، هنوز طراحی جامعی بر روی این ابزار به منظور دستیابی به دانش بومی آن انجام نشده است.

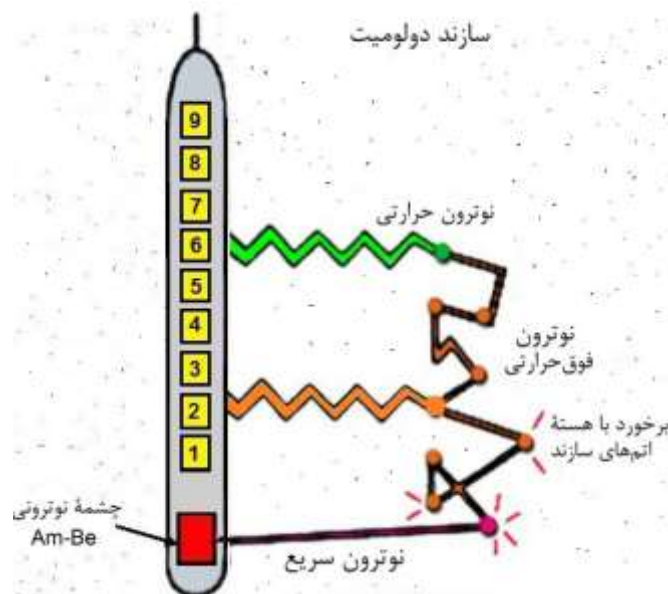
1 Sidewell Neutron

2 Compensated Neutron

روش کار:

برای طراحی ابزار تخلخل‌سنج از چشمه نوترونی Am-Be استفاده شده است. با توجه به اینکه استفاده از یک آشکارساز نوترونی می‌تواند تحت تأثیر شرایط محیطی سازند مانند دما و فشار و ... قرار گیرد، از دو آشکارساز در دو فاصله مختلف از چشمه استفاده می‌شود تا با بررسی پاسخ هر دو آشکارساز به صورت همزمان، اثرات محیطی متغیر حذف شوند. به همین منظور باید موقعیت دو آشکارساز که با توجه به فاصله از چشمه، دور و نزدیک نامیده می‌شوند، تعیین شود.

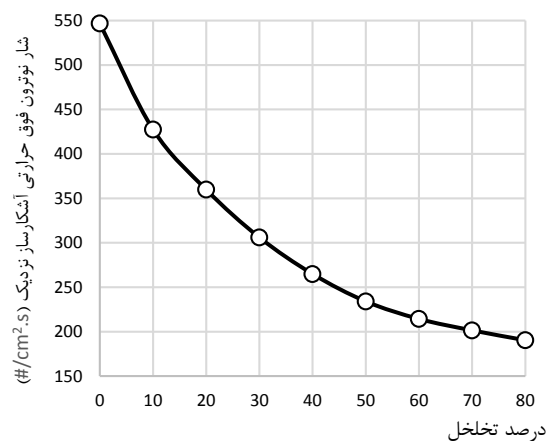
بدنه ابزار طراحی شده از جنس فولاد و با طول ۱ متر است. برای تعیین موقعیت دو آشکارساز، باید رفتار آشکارسازها در فواصل مختلف نسبت به چشمه بررسی شوند. از آنجا که تعیین تخلخل از نسبت شمارش مشاهده شده در دو آشکارساز محاسبه می‌شود، لذا ۹ آشکارساز با ابعاد یکسان (ارتفاع ۵/۰۸ و شعاع ۲/۵۴ سانتیمتر) با فواصل ۵ سانتیمتر از هم در بالای چشمه نوترونی Am-Be در امتداد گمانه در نظر گرفته شدند. (شکل ۱). جنس سازند دولومیت به عنوان یکی از سازندهای نفت‌خیز با چگالی $2/85 \text{ gr/cm}^3$ ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$) و با تخلخل آبی تا ۱۰۰ درصد در نظر گرفته شد. بررسی رفتار آشکارسازها (شمارش نوترون) در شرایط مختلف گمانه (آبی و خشک) و ابزار (در مرکز و چسبیده به دیواره گمانه) انجام شد. ارتفاع و شعاع گمانه به ترتیب ۲۰۰ و ۱۰ سانتیمتر در نظر گرفته شده است.



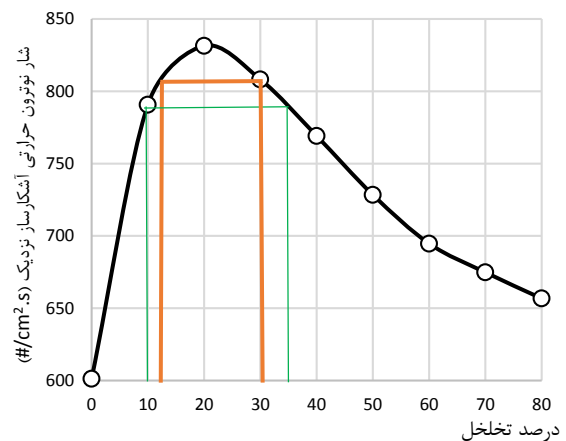
شکل ۱ - انتخاب موقعیت دو آشکارساز دور و نزدیک از میان ۹ آشکارساز در ابزار تخلخل‌سنج نوترونی

بر اساس نتایج شبیه‌سازی، استفاده از آشکارسازها با ابعاد ذکر شده منجر به آمار شمارش پایینی بخصوص در آشکارسازهای دورتر از چشمه می‌شود، بنابراین در مرحله بعد به منظور جبران کاهش شار نوترونی، ابعاد آشکارسازها بزرگتر در نظر گرفته شد و لذا از ۶ آشکارساز استفاده شد. ابعاد سه آشکارساز اول (آشکارساز نزدیک) $۷/۶۲ \times ۲/۵۴$ سانتیمتر و ابعاد سه آشکارساز دوم (آشکارساز دور) $۱۲/۷ \times ۲/۵۴$ سانتیمتر در نظر گرفته شد. فاصله چشمه تا مرکز آشکارسازهای ۱ تا ۶ نیز به ترتیب $۸/۸$ ، $۲۱/۴$ ، ۳۴ ، $۴۹/۲$ ، $۶۶/۹$ و $۸۴/۶$ سانتیمتر لحاظ شد.

بر اساس نتایج به دست آمده (شکل ۲) به دلیل تفکیک نشدن شمارش نوترون‌های حرارتی در تخلخل‌های مختلف سازند دولومیت برای آشکارساز نزدیک، از نمودار Th/Th در ابزار طراحی شده نمی‌توان استفاده نمود.



شکل ۳- شار نوترون فوق‌حرارتی آشکارساز نزدیک



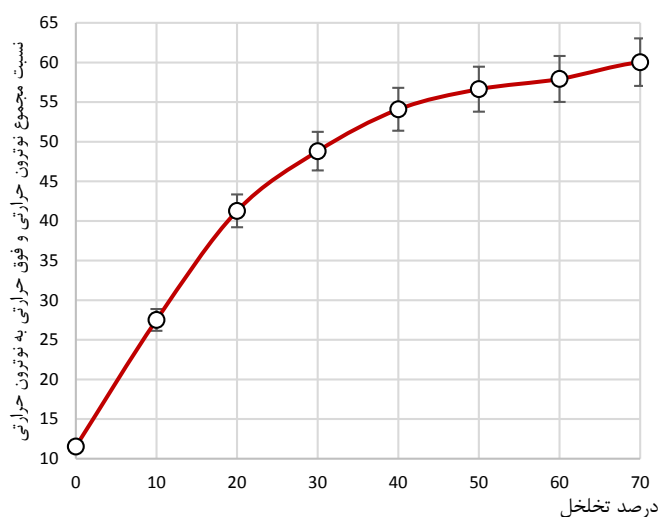
شکل ۲- شار نوترون حرارتی آشکارساز نزدیک

همان‌طور که در شکل ۲ مشاهده می‌شود، برای تخلخل بیشتر از ۲۰ درصد، تعداد نوترون حرارتی در سازند افزایش یافته و لذا قبل از رسیدن به آشکارساز در سازند جذب می‌شوند، لذا در تخلخل بیش از ۲۰ درصد افت شمارش در آشکارساز دیده می‌شود، در نتیجه آشکارساز نزدیک قادر به تشخیص تخلخل نیست. از آنجاکه نوترون‌های فوق‌حرارتی ثبت شده در آشکارساز نزدیک همان‌طور که در شکل ۳ نشان داده شده است رفتار منظمی در سازند دولومیت متخلخل دارد لذا برای تعیین تخلخل با استفاده از ابزار طراحی شده باید از نمودار نسبت شمارش نوترون فوق حرارتی (آشکارساز نزدیک) به حرارتی (آشکارساز دور)

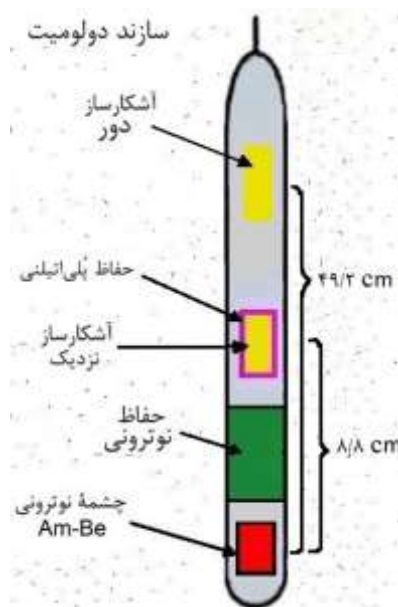
(Epi/Th) استفاده شود. این نمودار شمارش کمی را نشان می‌دهد که باعث دقت پایین ابزار می‌شود و برای تخلخل بیشتر از ۴۰ درصد نمی‌تواند مورد استفاده قرار بگیرد.

برای آنکه با استفاده از نمودار Epi/Th تخلخل‌های بالاتری قابل شناسایی باشد می‌بایست شمارش بیشتری از نوترون‌های فوق‌حرارتی در آشکارساز نزدیک ثبت شود تا داده‌های مربوط به هر تخلخل برای نمودار Epi/Th از یکدیگر قابل تفکیک باشند. از طرفی آشکارساز نوترونی در محدوده‌ی حرارتی بازدهی بالاتری برای شمارش دارد، لذا کندکننده نوترونی از جنس پلی‌اتیلن به دور آشکارساز نزدیک در نظر گرفته شد. ضخامت آن به گونه‌ای تعیین شد که بیشترین بازدهی شمارش برای نوترون فوق‌حرارتی با کندسازی به نوترون حرارتی ایجاد شود. نوترون‌های حرارتی ثبت شده در آشکارساز نزدیک در واقع نوترون‌های فوق‌حرارتی رسیده به آشکارساز هستند زیرا نوترون‌هایی که در سازند حرارتی می‌شوند عملاً در این ضخامت از پلی‌اتیلن جذب می‌شوند، پس شمارش نوترون حرارتی در آشکارساز را می‌توان به نوترون‌های فوق‌حرارتی نسبت داد که به پلی‌اتیلن می‌رسند و در آن حرارتی شده و در آشکارساز ثبت می‌شوند. در این شرایط مجموع شمارش نوترون‌های حرارتی و فوق‌حرارتی آشکارساز نزدیک را به‌عنوان نوترون‌های فوق‌حرارتی رسیده از سازند در نظر می‌گیریم.

بر اساس محاسبات، پلی‌اتیلن به ضخامت ۴ میلیمتر دور آشکارسازهای نزدیک (آشکارسازهای ۱، ۲ و ۳) در نظر گرفته شد. آشکارسازهای دور (آشکارسازهای ۴، ۵ و ۶) نیز بدون حفاظ هستند. از نسبت مجموع نوترون‌های حرارتی و فوق‌حرارتی آشکارساز نزدیک به نوترون‌های حرارتی آشکارساز دور (Sum/Th)، بهترین موقعیت دو آشکارساز نسبت به چشمه مشخص شد. همچنین به منظور جلوگیری از ورود مستقیم نوترون‌های چشمه به آشکارسازها، بین چشمه و آشکارساز نزدیک، حفاظ نوترونی متشکل از مواد کندکننده و جاذب نوترونی لحاظ شد. بر اساس نتایج شبیه‌سازی، حفاظ نوترونی به ترتیب شامل ۲۰ میلیمتر پلی‌اتیلن به عنوان کندکننده، ۱۵ میلیمتر جاذب نوترونی بورون کرید و در نهایت ۷ میلیمتر سرب است که باعث می‌شود به طور مستقیم نوترون ناشی از چشمه وارد آشکارساز نزدیک نشود.



شکل ۵ - نمودار نسبت نوترون‌های فوق حرارتی آشکارساز نزدیک به نوترون‌های حرارتی آشکارساز دور برای سازند دولومیت تا ۷۰ درصد تخلخل آبی



شکل ۴ - هندسه ابزار طراحی شده

بر اساس نتایجی که از نسبت نوترون‌های فوق حرارتی سه آشکارساز اول به نوترون‌های حرارتی سه آشکارساز دوم بدست آمده است، بهترین نمودار از لحاظ خطی بودن و شمارش مناسب، نمودار مربوط به نسبت فوق حرارتی آشکارساز اول به حرارتی آشکارساز چهارم بوده است (شکل ۵). لذا در نهایت آشکارساز نزدیک به ابعاد $7/62 \times 2/54$ و آشکارساز دور به ابعاد $12/7 \times 2/54$ سانتیمتر به ترتیب در فاصله‌های $8/8$ و $49/2$ سانتیمتر از چشمه در نظر گرفته شدند. هندسه ابزار طراحی شده در شکل ۴ و نمودار Sum/Th مربوط به آن در شکل ۵ آمده است.

همان‌طور که در شکل ۵ مشاهده می‌شود، رفتار ابزار برای تخلخل کمتر از ۲۰ درصد کاملاً خطی است که با افزایش تخلخل شیب نمودار کاهش می‌یابد. ابزار طراحی شده که براساس نمودار Sum/Th کار می‌کند با قطعیت ۶۸ درصد برای تخلخل کمتر از ۴۰ درصد سازند می‌تواند تخلخل را با دقت ۱۰ درصد شناسایی کند و برای تخلخل ۴۰ تا ۷۰ درصد این دقت به ۲۵ درصد می‌رسد. نتایج شبیه‌سازی‌ها با خطای نسبی کمتر از ۳ درصد ارائه شده‌اند.

بحث و نتیجه‌گیری:

در این مقاله به طراحی ابزار تخلخل سنج نوترونی برای برآورد تخلخل آبی سازندهای نفتی پرداخته شد. بر اساس نتایج می‌توان تخلخل آبی تا ۷۰ درصد را در سازند دولومیت با استفاده از نسبت نوترون فوق‌حرارتی و حرارتی به نوترون فوق‌حرارتی در دو آشکارساز دور و نزدیک (دارای حفاظ پللی اتیلنی) که در فواصل ۴۹/۲ و ۸/۸ سانتیمتر نسبت به چشمه آمرسیوم-بریلیوم قرار گرفته‌اند، محاسبه کرد. با توجه به اینکه برای سنجش تخلخل از نوترون‌های فوق‌حرارتی استفاده شده است، لذا در صورتی که سازند دارای جاذب نوترون حرارتی باشد (نظیر بور و گادولونیوم و ...) رفتار ابزار همچنان قابل اعتماد است، زیرا مبنای اندازه‌گیری نوترون‌های فوق‌حرارتی هستند.

مراجع:

- [۱] دکتر محمدرضا رضایی، زمین‌شناسی نفت، انتشارات علوی، تهران، ۱۳۸۰
- [2] J. Tittman, H. Sherman, WA. Nagel, and R.P. Alger, "The Sidewall Epithermal Neutron Porosity Log" *jour. Pet. Tech.* (October 1966).
- [3] IOR.P. Alger, S. Locke, WA. Nagel, and H. Sherman, "The Dual Spacing Neutron Log - CNL" *SPE* 3565, New Orleans (October 1971).
- [4] P. Parvaresh, M. Sohrabpour "Design and testing of a neutron porosity probe using MCNP code" *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, Vol. 260, No. 2 (2004)