



کشف مخازن نفتی با استفاده از فعال-سازی مواد به وسیله پرتوهای گاما به روش مونت کارلو

سعید رضایی فرد^۱ و حسین توکلی انبران^{۱*}

۱- دانشکده فیزیک و مهندسی هسته‌ای، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود، ایران

دریافت مقاله: ۱۳۹۸/۰۴/۱۹؛ پذیرش مقاله: ۱۳۹۸/۰۸/۰۸

* نویسنده مسئول مکاتبات: tavakoli.anbaran@gmail.com

چکیده

تلاش "گرشائو" و "کوورکرز" در اکتشاف برلیم به وسیله انتشار سریع نوترون با چشمه رادیوم در سال ۱۹۳۰ اولین پژوهش انجام شده بر روی خاک با استفاده از فعال‌سازی به کمک پرتوهای گاما است. در این پژوهش با استفاده از کد *MCNP* شبیه‌سازی‌هایی روی خاک و سنگ‌های رسوبی انجام گرفته و شار پرتوهای گامای حاصل از نابودی پوزیترون خارج شده از ماده مورد نظر محاسبه گردیده است. سپس با استفاده از این کمیت، اطلاعاتی در مورد ماده مورد نظر بدست آمده است. با استفاده از این نتایج در این شبیه‌سازی‌ها یک حالت بهینه برای محل قرار گیری چشمه و آشکارساز به منظور شناسایی مخازن نفتی بدست می‌آید؛ که در این حالت می‌توان مخازن نفت، گاز و یا آب را شناسایی و از یکدیگر تفکیک کرد. در این حالت بهینه، مقدار کنتراست بدست آمده برای مخازن آب، نفت و گاز به ترتیب از صفر تا ۵۳،۶۰، ۶۳،۴۰ و ۷۳،۸۹ درصد تغییرات داشته؛ که این تغییرات به ازای تغییر درصد نفت، آب و یا گاز موجود در سنگ‌های رسوبی در انرژی 511 keV بوده است. مزیت استفاده از این روش آن است که به دلیل آن که حداقل انرژی لازم برای انجام اندرکنش کرین 18.7 MeV است؛ نیازی به بررسی چشمه‌های موجود در طبیعت نمی‌باشد. زیرا بیشترین انرژی ساطع شده به وسیله آنها کمتر از 18.7 است، بنابراین چشمه‌های موجود در طبیعت هیچ گونه اختلالی در این اندازه‌گیری‌ها ایجاد نمی‌کنند.

واژگان کلیدی

مخازن نفتی،
پس پراکندگی پرتوهای گاما،
مونت کارلو

اولین بار گرشاوی^۱ و کوورکز^۲ در سال ۱۹۳۰ از این روش برای تشخیص برلیوم به وسیله انتشار سریع نوترون با چشمه رادیوم استفاده کردند (Mezhiborskaya, 1961). پس از آن در سال ۱۹۵۰ گاودین و چند نفر دیگر تئوری گرشاوی و کوورکز را توسعه دادند. آنها از ¹²⁴Sb به عنوان چشمه استفاده کردند (Gaudin *et al.*, 1950). در سال ۱۹۵۴ باسیل، هیور، لوکویی و شول به اولین تلاش برای استفاده از برمسترالانگ از یک شتاب دهنده الکترونی دست زدند؛ که نتیجه آن آشکارسازی اکسیژن در مواد طبیعی مختلف بود (Basile *et al.*, 1954). لوتز و مسترز در سال ۱۹۷۰ با استفاده از تحلیل به روش فعال-سازی فوتونی توانستند مقدار کربن را در فلزات با خلوص بالا تعیین کنند (Lutz and Masters, 1970). در سال ۱۹۸۳ یاگی و ماسوموتو مقدار کبالت، نیکل، روبیدیوم و استرانسیوم موجود در یک گیاه را با استفاده از تحلیل به روش فعال-سازی فوتونی بدست آوردند (YAGI and Matsumoto, 1984). در سال ۱۹۹۴ شولزه و همکاران توانستند با این روش فلزات سنگین را در مواد اسیدی هیومیک و آب مشخص کنند (Schulze *et al.*, 1994). راندا، کوکرا و سوکال در ۲۰۰۲ عناصر تشکیل دهنده یک شهاب سنگ را با این روش شناسایی کردند (Randa *et al.*, 2003). میزرا و راندا در سال ۲۰۱۰ با استفاده از این روش چند سنگ را مورد آزمایش قرار دادند و توانستند ۴۷ عنصر را شناسایی کنند (Mizera and Randa, 2010). در ۲۰۱۵ کراوسوا و همکاران با یک آزمایش غیرمخرب عنصر فلئور را در زمین و برخی مواد دیگر با این روش شناسایی کردند (Krausova *et al.*, 2015).

سنگ‌های رسوبی در صنعت نفت دارای اهمیت بیشتری نسبت به بقیه سنگ‌ها هستند؛ زیرا تمام تجمعات نفتی (نفتهای) در آنها ایجاد می‌شود. سنگ‌های آذرین و دگرگونی به ندرت می‌توانند شامل گاز و نفت باشند. علاوه بر این، اکثر مخازن نفتی دنیا در سنگ‌های رسوبی که از رسوبات دریایی در خلاف پیشروی قاره‌ها تشکیل شده اند، قرار دارند. در این پژوهش شبیه‌سازی‌های مختلفی بر روی خاک و سنگ‌های رسوبی به منظور پیدا کردن روشی مناسب برای کشف ذخایر نفتی انجام گرفته است. این شبیه‌سازی‌ها در سه حالت مختلف انجام شده و با مقایسه نتیجه بدست آمده برای هر کدام حالتی که بهترین نتایج را داشته به منظور کشف ذخایر نفتی انتخاب شده است. از آنجایی که چشمه‌های موجود در طبیعت هیچ گونه اختلالی در این اندازه‌گیری‌ها ایجاد نمی‌کنند؛ این روش دارای دقت بالایی می‌باشد.

۲- معرفی تئوری انجام کار

۱- مقدمه

در پژوهش‌های عرصه فیزیک هسته‌ای استفاده از پرتوهای گاما یک روش مهم و کاربردی است. از این روش در صنایع مختلفی مانند: تولید نفت و گاز، معدن و کشف سنگ‌های معدنی، نظارت بر محیط زیست و غیره استفاده می‌شود. استفاده از روش پرتوهای گاما نسبت به دیگر روش‌ها از مزیت بیشتری برخوردار است (Beigzadeh *et al.*, 2013).

فناوری استفاده از پرتوهای گاما بر پایه اندرکنش این پرتوها با مواد بنا شده است. سه پدیده اصلی اندرکنش پرتوهای گاما با مواد اثر فوتوالکتریک، پراکندگی کامپتون و پدیده تولید زوج هستند. با عبور پرتوها از درون مواد مختلف با توجه به سه اندرکنش بالا نه تنها از تعداد پرتوهای فرودی کاسته می‌شود؛ بلکه پرتوهای پراکنده شده می‌توانند دارای انرژی متفاوتی کمتر از انرژی اولیه خود باشند (Ball *et al.*, 1998). اثر این کاهش انرژی را می‌توان با ضریب تضعیف نشان داد. این ضریب برای مواد مختلف متفاوت بوده و با استفاده از آن می‌توان به برخی از اطلاعات مربوط به ماده مانند چگالی دست یافت (سولفانیدیس، ۱۳۷۱).

تحلیل با روش فعال‌سازی، تحلیلی کمی و کیفی از یک نمونه ناشناخته است؛ که با پرتودهی به نمونه و در نتیجه تولید هسته‌های پرتوزا از ایزوتوپ‌های پایدار یا ناپایدار موجود در آن بدست می‌آید. هسته‌های پرتوزا را می‌توان از خواص تابش‌هایی که گسیل می‌دارند، شناخت؛ که این خواص شامل نوع تابش، انرژی تابش، شدت تابش و نیمه عمر هسته تولید شده هستند (Knoll, 1979).

به علت حساسیت خیلی بالا، تحلیل به روش فعال-سازی به یک ابزار مهم و کاربردی در زمینه‌های مختلف اعم از علوم و مهندسی گرفته تا صنعت، اکتشاف مواد معدنی، پزشکی و غیره تبدیل شده است (Evans, 1955).

یکی از بزرگترین مزیت‌های تحلیل به روش فعال‌سازی آن است؛ که می‌تواند بیشتر ایزوتوپ‌ها را با حساسیت بسیار بالایی آشکار کند. بطور کلی، تحلیل به روش فعال‌سازی از کارایی بالایی برخوردار است؛ به طوری که در زمینه‌های وسیعی مانند شیمی، زیست‌شناسی، پزشکی، صنعت، باستان‌شناسی و غیره کاربرد دارد (سولفانیدیس، ۱۳۷۱).

برای شناسایی ذخایر نفتی عنصر کربن به عنوان عامل وجود نفت در منطقه مورد آزمایش انتخاب شده است. در گذشته با استفاده از این اندرکنش عنصر کربن موجود در سدیم (Lutz and DeSoete, 1968)، مولیبدنیوم (Baker and Williams, 1968)، آهن (Revel et al., 1968) و نیوبیوم و تانتالوم (Englemann et al., 1968) را شناسایی کرده‌اند. مقدار انرژی لازم برای فعال‌سازی عناصر کربن و نیتروژن به کمک پرتوهای گاما به ترتیب برابر با 18.7 و 10.6 MeV است. باید به این موضوع اشاره کرد، که یکی از چشمه‌های خطا در تحلیل به روش فعال‌سازی، واکنش‌های مداخله‌گر هستند. این واکنش‌ها از طریق بمباران ایزوتوپ دیگری در هدف، همان ایزوتوپی را تولید می‌کنند، که مد نظر این پژوهش است. اندرکنش‌هایی که باعث اختلال در اندازه‌گیری شار گامای حاصل از نابودی پوزیترون برای شناسایی کربن یا نیتروژن می‌شوند، برای کربن $^{14}\text{N}(\gamma, t)^{11}\text{C}$ با انرژی آستانه 22.7 MeV و $^{11}\text{C}(\gamma, \alpha n)^{18}\text{O}$ با انرژی آستانه 26 MeV و برای نیتروژن و $^{12}\text{N}(\gamma, t)^{16}\text{O}$ با انرژی آستانه 25 MeV هستند (Lutz, 1971).

جدول ۱ - اندرکنش عناصر با پرتوهای گاما در فعال‌سازی فوتونی و نیمه عمر آنها (Lutz, 1971)

Element	Reaction	Product half-life	Element	Reaction	Product half-life
Carbon	$^{12}\text{C}(\gamma, n)^{11}\text{C}$	20.5m	Cobalt	$^{59}\text{Co}(\gamma, n)^{58}\text{Co}$	71.3d
Nitrogen	$^{14}\text{N}(\gamma, n)^{13}\text{N}$	10.0m	Nickel	$^{58}\text{Ni}(\gamma, n)^{57}\text{Ni}$	36h
Oxygen	$^{16}\text{O}(\gamma, n)^{15}\text{O}$	2.1m	Copper	$^{63}\text{Cu}(\gamma, n)^{62}\text{Cu}$	9.9m
Fluorine	$^{19}\text{F}(\gamma, n)^{18}\text{F}$	1.83h	Copper	$^{65}\text{Cu}(\gamma, n)^{64}\text{Cu}$	12.8h
Sodium	$^{23}\text{Na}(\gamma, n)^{22}\text{Na}$	2.6y	Zinc	$^{64}\text{Zn}(\gamma, n)^{63}\text{Zn}$	38.4m
Magnesium	$^{25}\text{Mg}(\gamma, p)^{24}\text{Na}$	15.0h	Germanium	$^{76}\text{Ge}(\gamma, n)^{75}\text{Ge}$	82m
Magnesium	$^{26}\text{Mg}(\gamma, p)^{25}\text{Na}$	60s	Germanium	$^{70}\text{Ge}(\gamma, n)^{69}\text{Ge}$	38h
Silicon	$^{28}\text{Si}(\gamma, p)^{27}\text{Al}$	2.31m	Arsenic	$^{75}\text{As}(\gamma, n)^{74}\text{As}$	17.9d
Silicon	$^{30}\text{Si}(\gamma, p)^{29}\text{Al}$	6.6m	Bromine	$^{79}\text{Br}(\gamma, n)^{78}\text{Br}$	6.5m
Phosphorus	$^{31}\text{P}(\gamma, n)^{30}\text{P}$	2.50m	Bromine	$^{81}\text{Br}(\gamma, n)^{80m}\text{Br}$	4.4h
Sulfur	$^{32}\text{S}(\gamma, n)^{31}\text{S}$	2.7s	Rubidium	$^{87}\text{Rb}(\gamma, n)^{86}\text{Rb}$	18.7d
Chlorine	$^{35}\text{Cl}(\gamma, n)^{34}\text{Cl}$	32.0m	Strontium	$^{86}\text{Sr}(\gamma, n)^{85}\text{Sr}$	64d
Argon	$^{40}\text{Ar}(\gamma, p)^{39}\text{Cl}$	55.5m	Yttrium	$^{89}\text{Y}(\gamma, n)^{88}\text{Y}$	108d
Potassium	$^{39}\text{K}(\gamma, n)^{38}\text{K}$	7.71m	Zirconium	$^{90}\text{Zr}(\gamma, n)^{89}\text{Zr}$	78.4h
Titanium	$^{46}\text{Ti}(\gamma, n)^{45}\text{Ti}$	3.09h	Niobium	$^{93}\text{Nb}(\gamma, n)^{92}\text{Nb}$	10.2d
Titanium	$^{48}\text{Ti}(\gamma, p)^{47}\text{Sc}$	3.4d	Molybdenum	$^{92}\text{Mo}(\gamma, n)^{91}\text{Mo}$	15.5m
Chromium	$^{50}\text{Cr}(\gamma, n)^{49}\text{Cr}$	42m	Molybdenum	$^{100}\text{Mo}(\gamma, n)^{99}\text{Mo}$	66h
Chromium	$^{53}\text{Cr}(\gamma, p)^{52}\text{V}$	3.76m	Ruthenium	$^{96}\text{Ru}(\gamma, n)^{95}\text{Ru}$	99m
Manganese	$^{55}\text{Mn}(\gamma, n)^{54}\text{Mn}$	303d	Ruthenium	$^{104}\text{Ru}(\gamma, n)^{103}\text{Ru}$	40d
Iron	$^{54}\text{Fe}(\gamma, n)^{53}\text{Fe}$	8.5m	Rhodium	$^{103}\text{Rh}(\gamma, n)^{102}\text{Rh}$	206d

در منطقه مورد آزمایش و از آنجایی که عنصر کربن بعنوان عامل وجود نفت در منطقه انتخاب شده است، به وجود نفت در آن منطقه پی برد.

۳- روش انجام کار

با توجه به آن که برای اندازه‌گیری مطلق نیاز به داشتن ضرایب

تحلیل به روش فعال‌سازی گاما شامل مراحل از جمله (۱) انتخاب واکنش هسته‌ای بهینه که با در نظر داشتن تولید فعالیت زیاد در زمان مناسب، داشتن نیمه عمر مناسب، نوع و انرژی تابشی که از رادیوایزوتوپ گسیل می‌شود نباید مشکلات زیادی برای شمارش ایجاد کند، تعداد واکنش‌های ناخواسته باید به کمینه برسد، (۲) آماده‌سازی نمونه برای پرتودهی که باید به روش درستی تهیه و پیش از پرتودهی در یک ظرف قرار داده شود، (۳) پرتودهی نمونه که بسته به نوع واکنش انتخاب شده، پرتودهی در یک راکتور، یک شتاب دهنده و یا با یک چشمه رادیوایزوتوپی انجام می‌گیرد، (۴) شمارش نمونه که پس از آنکه پرتودهی نمونه انجام شد، نمونه را با دستگاه مناسبی می‌شمارند، (۵) تحلیل نتایج، است (سولفانیدیس، ۱۳۷۱).

در جدول ۱ پرتوهای گامای مورد نیاز برای فعال‌سازی فوتونی چندین عنصر مختلف موجود در خاک از جمله کربن آمده است. با توجه به جدول ۱ با استفاده از پرتوهای گاما می‌توان نمونه را بررسی و با آشکارسازی مقدار شار گامای حاصل از نابودی پوزیترون تولید شده عنصر کربن، نیتروژن و یا اکسیژن را شناسایی کرد. از این رو در این کار

به طور کلی، تئوری استفاده شده در این کار برای کشف مخازن نفتی این است؛ که با تابانیدن پرتوهای گاما به درون خاک و سنگ‌های رسوبی در عناصر موجود در خاک و سنگ‌های رسوبی فعال‌سازی فوتونی ایجاد شود، سپس شار پرتوهای گامای حاصل از نابودی پوزیترونی که در اثر فعال‌سازی فوتونی عناصر بوجود آمده و از خاک و یا سنگ‌های رسوبی خارج شده، محاسبه گردد. با استفاده از این شار می‌توان به وجود کربن

آلاموس در طی سال‌های دهه ۱۹۴۰ در طول جنگ جهانی دوم و با تلاش دانشمندان برجسته‌ای از جمله «انریکو فرمی» ابداع شد. با پیشرفت در زمینه علوم کامپیوتر روش مونت کارلو نیز پیشرفت‌های زیادی کرد و کامپیوتر در محاسبات مونت کارلو به کار گرفته شد. به این ترتیب در سال ۱۹۶۳ در لوس آلاموس اولین کد مونت کارلویی ترابرد ذرات به نام MCS^1 و در سال ۱۹۶۵ MCN^2 برای حل مسایل اندرکنش نوترون نوشته شد. در نهایت در سال ۱۹۷۷ با توسعه و ادغام چندین برنامه که برای ذرات مختلف نوشته شده بود کد $MCNP^3$ که در آن زمان کد مونت کارلویی نوترون - فوتون نامیده می‌شد، تهیه گردید. برای استفاده از این کد می‌بایست یک فایل ورودی با ساختار مشخص شامل اطلاعات مسئله مانند هندسه، نوع ماده، چشمه، نوع خروجی و غیره تهیه گردد. کد با استفاده از اطلاعات فایل ورودی و استفاده از کتابخانه سطح مقطع‌ها مسئله را حل و نتایج را در یک فایل خروجی تولید می‌کند (X-5 Monte Carlo Term, 2013).

در این پژوهش با استفاده از کد $MCNP$ یک بلوک با حفره‌ای درون آن شبیه سازی شده است که نحوه قرار گرفتن حفره، آشکارساز و چشمه در شکل ۱ نشان داده شده است.

در این شبیه سازی‌ها بلوک مکعبی شکلی به ضلع ۲ متر در نظر گرفته شده است که ماده تشکیل دهنده آن نوعی از سنگ‌های رسوبی، نفت، گاز، آب و ترکیبی از این سنگ‌ها با آب، گاز و یا نفت می‌باشد. قسمت شماره (۱) مواد بیان شده هستند که عناصر تشکیل دهنده آنها در جداول ۲ تا ۴ آمده است. در جدول ۲ میانگین عناصر موجود در سنگ-های رسوبی آمده است؛ که این مقادیر مربوط به میانگینی از انواع سنگ-های رسوبی مانند شیل‌ها، ماسه سنگ‌ها، سنگ آهک و غیره هستند. حفره شبیه‌سازی شده در این کار دارای عمقی برابر با ۱۸۰ سانتیمتر و شعاعی به اندازه ۷٫۶۲ سانتیمتر می‌باشد. آشکارساز $NaI(Tl)$ با ابعاد ۲ اینچ درون حفره مشخص شده قرار داده شده است. شبیه‌سازی‌ها در سه حالت مختلف انجام شده؛ که عبارتند از: (۱) حالت اول حالتی است که در آن چشمه و آشکارساز در فاصله ۲۵ سانتیمتری از یکدیگر و درون یک محفظه سربی قرار دارند. (۲) در حالت دوم فاصله چشمه و آشکارساز به ۵ سانتیمتر کاهش یافته است. (۳) در حالت سوم فاصله چشمه و آشکارساز ۵ سانتیمتر و محفظه سربی حذف شده است. مقادیر بدست آمده در این شبیه سازی‌ها مربوط به تالی ۸ می‌باشد؛ که نشان دهنده توزیع انرژی

متفاوت از جمله راندمان آشکارساز، قدرت و اکتیویته چشمه و غیره است. لذا اندازه‌گیری مطلق کاری سخت است و نیاز به دقت بالایی دارد. بر همین اساس در این پژوهش کمیتی به نام "کنتراست" C ، معرفی می‌شود؛ که اساس آن بر پایه اندازه‌گیری نسبی و مقایسه با یک حالت اولیه معین است، که به فرم زیر که تفاوت نسبی بین شار فرودی I_{Inc} و شار پس‌پراکنده I_{Bsc} به درصد است، بیان می‌شود.

$$C (\%) = \frac{I_{Inc} - I_{Bsc}}{I_{Inc}} \times 100 \quad (1)$$

خطای مربوط به کنتراست نیز (با استفاده از فرمول انتشار خطا) از رابطه ۲ بدست می‌آید:

$$\sigma_C = \frac{I_{Bsc}}{I_{Inc}} \sqrt{\left(\frac{\sigma_{I_{Bsc}}}{I_{Bsc}}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_{I_{Inc}}}{I_{Inc}}\right)^2} \quad (2)$$

همچنین کمیت D را که تفاوت نسبی بین کنتراست‌های محاسبه شده برای نفت، گاز و آب به درصد است، به صورت زیر تعریف می‌شود؛ که با استفاده از این کمیت می‌توان معدن نفت، گاز و آب را از یکدیگر تفکیک نمود.

$$D (\%) = \frac{C_{Oil} - C_{Water}}{C_{Oil}} \times 100 \quad (3)$$

$$\sigma_D = \frac{C_{Water}}{C_{Oil}} \sqrt{\left(\frac{\sigma_{C_{Water}}}{C_{Water}}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_{C_{Oil}}}{C_{Oil}}\right)^2} \quad (4)$$

برای این کار، می‌توان این گونه در نظر گرفت که هرگاه مقدار قدر مطلق کمیت D بیشتر از ۵ درصد با خطای کمتر از ۰٫۲ درصد باشد، می‌توان بین مخازن تفکیک قائل شد.

برای مشخص کردن مقدار نفت در سنگ‌ها کمیتی بصورت نسبت شدت مربوط به انرژی گامای کربن در انرژی 4.43 MeV به شدت گامای مربوط به آهن در انرژی 4.217 MeV در نظر گرفته می‌شود (Gorov *et al.*, 1971). لذا در این کار با استفاده از کمیت بالا مقدار نسبت درصد وزنی اکسیژن موجود به درصد وزنی آهن موجود (A_1) برحسب کنتراست و نسبت درصد وزنی کربن موجود به درصد وزنی آهن موجود (A_2) برحسب کنتراست محاسبه شده؛ که در ادامه نتایج آن آمده است.

۴- شبیه‌سازی‌ها

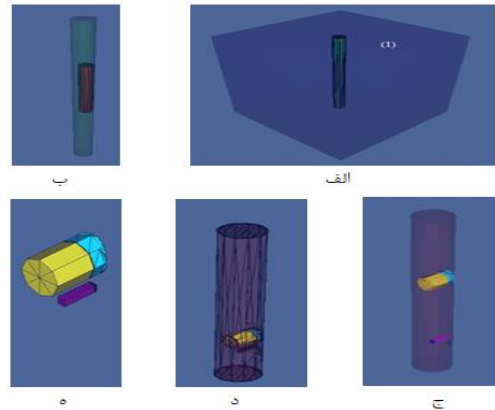
روش مونت کارلو یک طبقه از الگوریتم‌های محاسبه‌گر می‌باشد؛ که برای محاسبه نتایج خود بر نمونه‌گیری‌های تکرار شونده تصادفی اتکاء می‌کنند. روش مونت کارلو از فعالیت‌های انجام شده در آزمایشگاه لوس

1-Monte Carlo Simulation
2-Monte Carlo Neutron
3-Monte Carlo Neutron - Photon

چشمه در پکیج در حالت سوم

از آنجا که هدف مشخص نمودن میزان کربن در این شبیه سازی‌هاست. لذا با توجه به آنچه گفته شد انرژی چشمه باید بالاتر از 18.7 باشد؛ تا واکنش کربن بتواند انجام شود. به همین صورت برای عدم اختلال در اندازه گیری‌ها انرژی چشمه باید پایین‌تر از 22.7 باشد. زیرا در این انرژی عنصر نیتروژن با پرتوهای گامای فرودی اندرکنش انجام خواهد داد و در نتایج اختلال بوجود خواهد آمد. بنابراین در این شبیه سازی‌ها انرژی 22 MeV در نظر گرفته شد. سپس برای قابلیت تشخیص این روش در تفکیک مخازن مختلف با درصد آب، گاز و یا نفت متفاوت در سنگ‌های رسوبی، اقدام به شبیه سازی با درصد متفاوت از مواد فوق در سنگ‌های رسوبی شد.

حاصل از پالس‌های ایجاد شده در یک آشکارساز توسط تابش است. تعداد ذرات تراپرد شده برابر با ۵۰ میلیون ذره برای هر شبیه سازی انتخاب شده است؛ که به ازای انتخاب این تعداد خطای بدست آمده برای محاسبات حدوداً 0.1% شده است.



شکل ۱- الف) نحوه قرار گرفتن حفره در بلوک، ب) نحوه قرار گرفتن پکیج در حفره، ج) نحوه قرار گرفتن آشکارساز و چشمه در پکیج در حالت اول، د) نحوه قرار گرفتن آشکارساز و چشمه در پکیج در حالت دوم، ه) نحوه قرار گرفتن آشکارساز و جدول ۲ - میانگین عناصر موجود در سنگ‌های رسوبی (Wenk et al,)

Element	Percent range	Element	Percent range
SiO ₂	58.11	H ₂ O	4.99
Al ₂ O ₃	15.40	CO ₂	2.63
Fe ₂ O ₃	4.02	TiO ₂	0.65
FeO	2.45	P ₂ O ₃	0.17
MgO	2.44	SO ₃	0.65
CaO	3.10	BaO	0.50
Na ₂ O	1.30	C	0.35
K ₂ O	3.24		

(2004)

گاز طبیعی و آب انجام شده است؛ که در هر شبیه سازی بلوک فقط شامل یکی از ماده‌های بیان شده است. شبیه سازی‌های دیگری نیز برای بلوک‌هایی متشکل از مخلوطی از سنگ‌های رسوبی با دیگر مواد بیان شده با درصدی بین ۰ تا ۱۰۰ درصد به صورت ۰، ۲۰، ۴۰، ۶۰، ۸۰ و ۱۰۰ درصد انجام گرفته است؛ که حالت ۱۰۰ درصد، مربوط به حالتی است که هر ماده به صورت مجزا و خالص قرار می‌گیرد انجام شده است. نتایج شبیه سازی‌های فوق در جداول ۵ تا ۱۳ و شکل‌های ۳ تا ۱۴ ارائه شده است.

در تجزیه و تحلیل نتایج، نمودار شار شمارش شده در آشکارساز بر حسب انرژی حالتی مانند شکل ۲ دارد. این منحنی، به جز در انرژی ۵۱۱ کیلو الکترون ولت که مربوط به گامای حاصل از نابودی پوزیترون می‌باشد، یک پیک دیگر نیز دارد؛ که در حالت اول در انرژی حدوداً 100 keV و در حالت دوم و سوم در انرژی 50 keV است. لذا جداول و نمودارها برای انرژی 511keV، 100 keV (برای حالت اول)، 50 keV (برای حالت دوم و سوم) و برای پهنای انرژی صفر تا 24 MeV رسم شده است. با توجه به نمودارهای نشان داده شده در شکل‌های ۳ تا ۱۴ می‌توان

جدول ۳ - حد پایین تا حد بالای عناصر موجود در نفت (Burruss and (Ryder, 2004

Element	Percent range
Carbon	83 to 85%
Hydrogen	10 to 14%
Nitrogen	0.1 to 2%
Oxygen	0.05 to 1.5%
Sulfur	0.05 to 6.0%
Metals	< 0.1%

جدول ۴ - میانگین عناصر تشکیل دهنده گاز طبیعی (Burruss and (Ryder, 2004

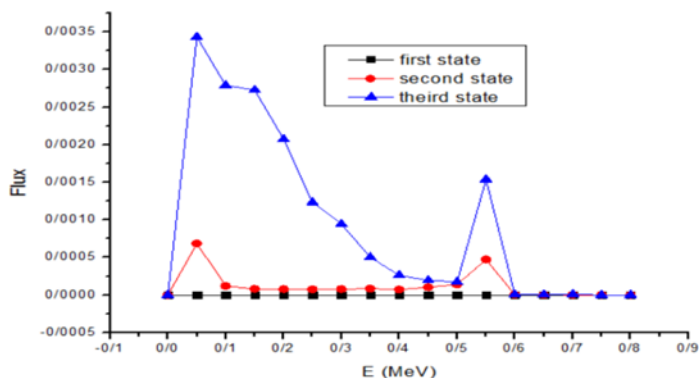
Element	Percent range	Element	Percent range
CH ₄	82.3	C ₆ H ₁₄	0.19
C ₂ H ₆	6.86	He	0.13
C ₃ H ₈	4.3	H	0.01
Butane	1.6	N	4.21
Pentane C ₅ H ₁₂	0.4		

نتایج

شبیه سازی‌هایی برای بلوک‌هایی متشکل از سنگ‌های رسوبی، نفت خام،

قبل کاملاً درهم است. لذا از آن نمی‌توان نتیجه مشخصی بدست آورد. در این نمودارها اختلاف بین منحنی‌های مربوط به هر معدن در انرژی ۵۰ کیلو الکترون ولت و منحنی مربوط به شار ثبت شده برای پهنای انرژی صفر تا 24 MeV نسبت به حالت اول بیشتر بوده و می‌توان آنها را از یکدیگر تفکیک نمود.

در نمودارهای حالت سوم (شکل‌های شماره ۹، ۱۱ و ۱۳) رفتار منحنی کنتراست بر حسب درصد مخازن ترکیب شده با سنگ‌های رسوبی نسبت به حالت اول و دوم تغییر اساسی داشته و هم در انرژی‌های ۵۰ کیلو الکترون ولت و انرژی ۵۱۱ کیلو الکترون ولت و هم در منحنی مربوط به کل شار ثبت شده حالت صعودی از خود نشان داده است و با افزایش درصد مخازن ترکیب شده با سنگ‌های رسوبی مقدار قدر مطلق کنتراست افزایش می‌یابد. همچنین در این نمودارها اختلاف بین منحنی‌های مربوط به هر معدن در انرژی ۵۰ کیلو الکترون ولت و انرژی ۵۱۱ کیلو الکترون ولت و منحنی مربوط به شار ثبت شده برای پهنای انرژی صفر تا 24 MeV نسبت به حالت اول و دوم بیشتر بوده و می‌توان آنها را با دقت بهتری نسبت به دو حالت قبل از یکدیگر تفکیک نمود.



شکل ۲- نمودار شار ذرات شمارش شده در آشکارساز بر حسب انرژی در هر سه حالت برای بازه صفر تا 0.9 MeV

نتیجه گرفت در حالی که فاصله چشمه و آشکارساز از یکدیگر ۲۵ سانتیمتر است از روی کنتراست، نمی‌توان مخازن را با استفاده از روش فعالسازی با فوتون شناسایی کرد؛ هرچند با کاهش این فاصله به ۵ سانتیمتر اختلاف بین منحنی‌های مربوط به هر معدن بیشتر شده و می‌توان از مقایسه آنها مخازن را از یکدیگر تشخیص داد. با حذف محفظه سربی بین چشمه و آشکارساز این اختلاف بیشتر شده و شاهد منحنی‌هایی کاملاً نزولی برای انرژی ۵۱۱ کیلو الکترون ولت، انرژی ۵۰ کیلو الکترون ولت و بازه انرژی صفر تا 24 MeV که از روی آنها می‌توان مخازن را مشخص نمود.

۵- تجزیه و تحلیل:

همان طور که از نمودارهای کنتراست بر حسب درصد مخازن ترکیب شده با سنگ‌های رسوبی در حالت اول (شکل‌های ۳، ۵ و ۷) مشخص است، منحنی بدست آمده برای انرژی ۱۰۰ کیلو الکترون ولت و منحنی مربوط به کل شار ثبت شده یک منحنی نزولی است و با افزایش درصد مخازن ترکیب شده با سنگ‌های رسوبی مقدار قدر مطلق کنتراست افزایش می‌یابد؛ اما منحنی مربوط به انرژی ۵۱۱ کیلو الکترون ولت رفتار نامتناسبی از خود نشان داده و کاملاً درهم می‌باشد. در این نمودارها فقط در حالتی که ۱۰۰ درصد نمونه ماده مجزا و خالص (نفت، گاز و یا آب) است می‌توان اختلاف بین منحنی‌های مربوط به هر معدن در انرژی ۱۰۰ کیلو الکترون ولت و منحنی مربوط به شار ثبت شده برای پهنای انرژی صفر تا 24 MeV را مشاهده کرد.

در نمودارهای حالت دوم (شکل‌های شماره ۴، ۶ و ۸) رفتار منحنی کنتراست بر حسب درصد مخازن ترکیب شده با سنگ‌های رسوبی نسبت به حالت اول برای انرژی ۵۰ کیلو الکترون ولت و منحنی مربوط به کل شار ثبت شده کمی تغییر کرده ولی می‌توان گفت حالت نزولی خود را تقریباً حفظ کرده است، همچنین منحنی مربوط به انرژی ۵۱۱ کیلو الکترون ولت رفتار نامتناسب خود را در این حالت نیز نشان داده و مانند حالت

جدول ۵ - شار ثبت شده در انرژی ۵۱۱ کیلو الکترون ولت مربوط به تالی ۸ برای حالت اول

ردیف	درصد موجود در خاک	آب		نفت خام		گاز		کنتراست مربوط به آب	کنتراست مربوط به نفت	کنتراست مربوط به گاز	اختلاف نسبی گاز و آب	اختلاف نسبی نفت و گاز	اختلاف نسبی نفت و آب
		A ₁	شار ثبت شده	A _{2 oil}	شار ثبت شده	A _{2 gas}	شار ثبت شده						
1	0	21.8206	3.80000E-08±0.2294	0.2897	3.80000E-08±0.2294	0.2897	3.80000E-08±0.2294	0	0	0	--	--	--
2	20	31.2484	2.60000E-08±0.2774	9.2069	2.80000E-08±0.2673	7.9781	3.80000E-08±0.2294	31.57895	26.31579	0	100	100	-20
3	40	49.9575	4.00000E-08±0.2236	24.0658	4.40000E-08±0.2132	20.7895	3.40000E-08±0.2425	-5.26316	-15.78947	10.52632	300	166.66667	66.66667
4	60	78.9608	7.00000E-08±0.1690	53.0427	3.60000E-08±0.2357	46.7889	4.00000E-08±0.2236	-84.21053	5.26316	-5.26316	93.75	200	1700
5	80	172.666	3.80000E-08±0.2294	142.9649	3.80000E-08±0.2294	123.3050	7.60000E-08±0.1622	0	0	-100	--	--	--
6	100	--	6.60000E-08±0.1741	--	6.00000E-08±0.1826	--	1.06000E-07±0.1374	-73.68421	-57.89474	-178.94737	-142.85714	-209.09091	-27.27273

جدول ۶ - شار ثبت شده در انرژی ۱۰۰ کیلو الکترون ولت مربوط به تالی ۸ برای حالت اول

ردیف	درصد موجود در خاک	آب		نفت خام		گاز		کنتراست مربوط به آب	کنتراست مربوط به نفت	کنتراست مربوط به گاز	اختلاف نسبی گاز و آب	اختلاف نسبی نفت و گاز	اختلاف نسبی نفت و آب
		A ₁	شار ثبت شده	A _{2 oil}	شار ثبت شده	A _{2 gas}	شار ثبت شده						
1	0	21.8206	7.10000E-07±0.0531	0.2897	7.10000E-07±0.0531	0.2897	7.10000E-07±0.0531	0	0	0	--	--	--
2	20	31.2484	9.64000E-07±0.0455	9.2069	9.94000E-07±0.0449	7.9781	9.20000E-07±0.0466	-35.77465	-40	-29.57746	17.32283	26.05634	10.56338
3	40	49.9575	1.42600E-06±0.0375	24.0658	1.46800E-06±0.0369	20.7895	1.36400E-06±0.0383	-100.84507	-106.76056	-92.11268	8.65922	13.72032	5.5409
4	60	78.9608	2.08800E-06±0.0309	53.0427	2.05800E-06±0.0312	46.7889	1.99800E-06±0.0316	-194.08451	-189.85915	-181.40845	6.5312	4.45104	-2.22552
5	80	172.666	2.89800E-06±0.0263	142.9649	3.03200E-06±0.0257	123.3050	2.94800E-06±0.0260	-308.16901	-327.04225	-315.21127	-2.28519	3.61757	5.77089
6	100	--	3.94200E-06±0.0225	--	4.03400E-06±0.0223	--	3.56800E-06±0.0237	-455.21127	-468.16901	-402.53521	11.57178	14.01925	2.76775

جدول ۷ - شار ثبت شده برای پهنای انرژی صفر تا 24 MeV مربوط به تالی ۸ برای حالت اول

ردیف	درصد موجود در خاک	آب		نفت خام		گاز		کنتراست مربوط به آب	کنتراست مربوط به نفت	کنتراست مربوط به گاز	اختلاف نسبی گاز و آب	اختلاف نسبی نفت و گاز	اختلاف نسبی نفت و آب
		A ₁	شار ثبت شده	A _{2 oil}	شار ثبت شده	A _{2 gas}	شار ثبت شده						
1	0	21.8206	2.7260E-06±0.0271	0.2897	2.7260E-06±0.0271	0.2897	2.7260E-06±0.0271	0	0	0	--	--	--
2	20	31.2484	3.4660E-06±0.0240	9.2069	3.4040E-06±0.0242	7.9781	3.2760E-06±0.0247	-27.146	-24.87161	-20.17608	25.67568	18.87906	-9.14454
3	40	49.9575	4.4540E-06±0.0212	24.0658	4.5120E-06±0.0211	20.7895	4.34400E-06±0.0215	-63.38958	-65.51724	-59.35437	6.36574	9.40649	3.24748
4	60	78.9608	6.0820E-06±0.0181	53.0427	5.9960E-06±0.0183	46.7889	5.8840E-06±0.0184	-123.11079	-119.95598	-115.8474	5.89988	3.42508	-2.62997
5	80	172.666	7.7240E-06±0.0161	142.9649	8.1580E-06±0.0157	123.3050	7.9960E-06±0.0158	-183.34556	-199.26632	-193.32355	-5.44218	2.98233	7.98969
6	100	--	1.0642E-05±0.0137	--	1.1280E-05±0.0133	--	1.0186E-05±0.0140	-290.38885	-313.7931	-273.66104	5.76049	12.78934	7.4585

A₁: نسبت درصد اکسیژن موجود به درصد آهن موجود در خاک

A₂: نسبت درصد کربن موجود به درصد آهن موجود در خاک

جدول ۸ - شار ثبت شده در انرژی ۵۱۱ کیلو الکترون ولت مربوط به تالی ۸ برای حالت دوم

ردیف	درصد موجود در خاک	آب		نفت خام		گاز		کنتراست مربوط به آب	کنتراست مربوط به نفت	کنتراست مربوط به گاز	اختلاف نسبی گاز و آب	اختلاف نسبی نفت و گاز	اختلاف نسبی نفت و آب
		A ₁	شار ثبت شده	A _{2 oil}	شار ثبت شده	A _{2 gas}	شار ثبت شده						
1	0	21.8206	4.72500E-04±0.0065	0.2897	4.72500E-04±0.0065	0.2897	4.72500E-04±0.0065	0	0	0	--	--	--
2	20	31.2484	4.72500E-04±0.0065	9.2069	4.72500E-04±0.0065	7.9781	4.72520E-04±0.0065	0	0	-0.00423	--	--	--
3	40	49.9575	4.72500E-04±0.0065	24.0658	4.72400E-04±0.0065	20.7895	4.72420E-04±0.0065	0	0.02116	0.01693	--	20	100
4	60	78.9608	4.72480E-04±0.0065	53.0427	4.72380E-04±0.0065	46.7889	4.72300E-04±0.0065	0.00423	0.0254	0.04233	-900	-66.66667	83.33333
5	80	172.666	4.72600E-04±0.0065	142.9649	4.72440E-04±0.0065	123.3050	4.72400E-04±0.0065	-0.02116	0.0127	0.02116	200	-66.66667	266.66667
6	100	--	4.72380E-04±0.0065	--	4.72380E-04±0.0065	--	4.72360E-04±0.0065	0.0254	0.0254	0.02963	-16.66667	-16.66667	0

جدول ۹ - شار ثبت شده در انرژی ۵۰ کیلو الکترون ولت مربوط به تالی ۸ برای حالت دوم

ردیف	درصد موجود در خاک	آب		نفت خام		گاز		کنتراست مربوط به آب	کنتراست مربوط به نفت	کنتراست مربوط به گاز	اختلاف نسبی گاز و آب	اختلاف نسبی نفت و گاز	اختلاف نسبی نفت و آب
		A ₁	شار ثبت شده	A _{2 oil}	شار ثبت شده	A _{2 gas}	شار ثبت شده						
1	0	21.8206	6.83920E-04±0.0054	0.2897	6.83920E-04±0.0054	0.2897	6.83920E-04±0.0054	0	0	0	--	--	--
2	20	31.2484	6.84420E-04±0.0054	9.2069	6.83960E-04±0.0054	7.9781	6.83800E-04±0.0054	-0.07311	-0.00585	0.01755	124	400	-1150
3	40	49.9575	6.84900E-04±0.0054	24.0658	6.84480E-04±0.0054	20.7895	6.84320E-04±0.0054	-0.14329	-0.08188	-0.05849	59.18367	28.57143	-75
4	60	78.9608	6.85520E-04±0.0054	53.0427	6.85320E-04±0.0054	46.7889	6.84760E-04±0.0054	-0.23395	-0.2047	-0.12282	47.5	40	-14.28571
5	80	172.666	6.85500E-04±0.0054	142.9649	6.86040E-04±0.0054	123.3050	6.85060E-04±0.0054	-0.23102	-0.30998	-0.16669	27.8481	46.22642	25.4717
6	100	--	6.88220E-04±0.0054	--	6.88900E-04±0.0054	--	6.84900E-04±0.0054	-0.62873	-0.72816	-0.14329	77.2093	80.32129	13.65462

جدول ۱۰ - شار ثبت شده برای پهنای انرژی صفر تا 24 MeV مربوط به تالی ۸ برای حالت دوم

ردیف	درصد موجود در خاک	آب		نفت خام		گاز		کنتراست مربوط به آب	کنتراست مربوط به نفت	کنتراست مربوط به گاز	اختلاف نسبی گاز و آب	اختلاف نسبی نفت و گاز	اختلاف نسبی نفت و آب
		A ₁	شار ثبت شده	A _{2 oil}	شار ثبت شده	A _{2 gas}	شار ثبت شده						
1	0	21.8206	1.9981E-03±0.0032	0.2897	1.9981E-03±0.0032	0.2897	1.9981E-03±0.0032	0.095	0.095	0.095	0	0	0
2	20	31.2484	2.0010E-03±0.0032	9.2069	2.0004E-03±0.0032	7.9781	1.9983E-03±0.0032	-0.05	-0.02	0.085	270	525	-150
3	40	49.9575	2.0013E-03±0.0032	24.0658	2.0008E-03±0.0032	20.7895	1.9990E-03±0.0032	-0.065	-0.04	0.05	176.92308	225	-62.5
4	60	78.9608	2.0014E-03±0.0032	53.0427	2.0001E-03±0.0032	46.7889	1.9988E-03±0.0032	-0.07	-0.005	0.06	185.71429	1300	-1300
5	80	172.666	2.0016E-03±0.0032	142.9649	2.0000E-03±0.0032	123.3050	1.9962E-03±0.0032	-0.08	0	0.19	337.5	--	--
6	100	--	2.0036E-03±0.0032	--	2.0026E-03±0.0032	--	1.9897E-03±0.0032	-0.18	-0.13	0.515	386.11111	496.15385	-38.46154

جدول ۱۱ - شار ثبت شده در انرژی ۵۱۱ کیلو الکترون ولت مربوط به تالی ۸ برای حالت سوم

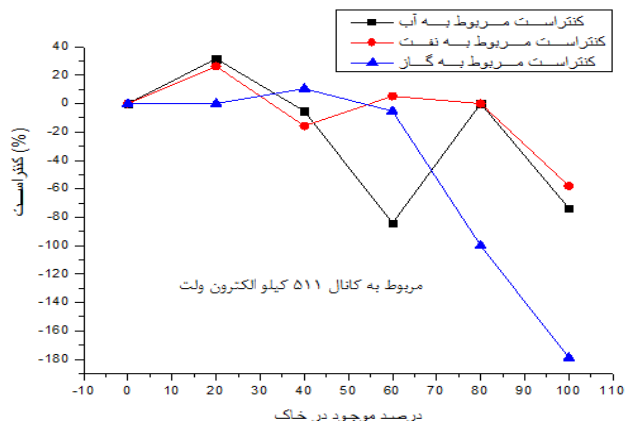
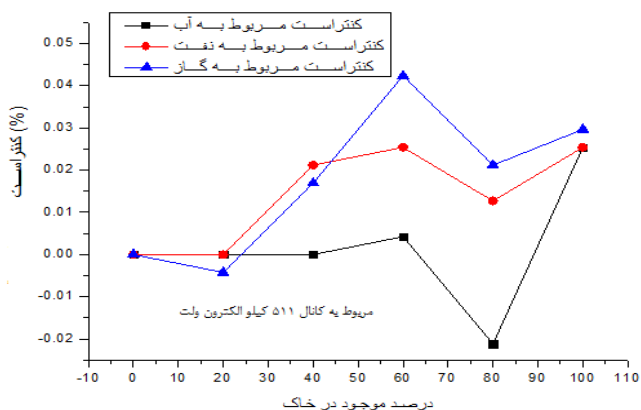
ردیف	درصد موجود در خاک	آب		نفت خام		گاز		کنتراست مربوط به آب	کنتراست مربوط به نفت	کنتراست مربوط به گاز	اختلاف نسبی گاز و آب	اختلاف نسبی نفت و گاز	اختلاف نسبی نفت و آب
		A ₁	شار ثبت شده	A _{2 oil}	شار ثبت شده	A _{2 gas}	شار ثبت شده						
1	0	21.8206	1.53744E-03±0.0036	0.2897	1.53744E-03±0.0036	0.2897	1.53744E-03±0.0036	0.16623	0.16623	0.16623	0	0	0
2	20	31.2484	1.37410E-03±0.0038	9.2069	1.33060E-03±0.0039	7.9781	1.31118E-03±0.0039	10.77273	13.5974	14.85844	-37.92646	-9.27412	20.77364
3	40	49.9575	1.20280E-03±0.0041	24.0658	1.12630E-03±0.0042	20.7895	1.06816E-03±0.0043	21.8961	26.86364	30.63896	-39.92883	-14.05366	18.49166
4	60	78.9608	1.03472E-03±0.0044	53.0427	9.35780E-04±0.0046	46.7889	8.41160E-04±0.0049	32.81039	39.23506	45.37922	-38.30747	-15.65986	16.37483
5	80	172.666	8.77460E-04±0.0048	142.9649	7.44040E-04±0.0052	123.3050	6.19660E-04±0.0057	43.02208	51.68571	59.76234	-38.91086	-15.62641	16.76215
6	100	--	7.14480E-04±0.0053	--	5.63520E-04±0.0060	--	4.01960E-04±0.0071	53.60519	63.40779	73.8987	-37.85735	-16.54514	15.45961

جدول ۱۲ - شار ثبت شده در انرژی ۵۰ کیلو الکترون ولت مربوط به تالی ۸ برای حالت سوم

ردیف	درصد موجود در خاک	آب		نفت خام		گاز		کنتراست مربوط به آب	کنتراست مربوط به نفت	کنتراست مربوط به گاز	اختلاف نسبی گاز و آب	اختلاف نسبی نفت و گاز	اختلاف نسبی نفت و آب
		A ₁	شار ثبت شده	A _{2 oil}	شار ثبت شده	A _{2 gas}	شار ثبت شده						
1	0	21.8206	3.43322E-03±0.0024	0.2897	3.43322E-03±0.0024	0.2897	3.43322E-03±0.0024	-0.09388	-0.09388	-0.09388	0	0	--
2	20	31.2484	3.11890E-03±0.0025	9.2069	3.04276E-03±0.0026	7.9781	2.94016E-03±0.0026	9.06997	11.2898	14.28105	-57.45419	-26.4952	-1150
3	40	49.9575	2.80570E-03±0.0027	24.0658	2.65846E-03±0.0027	20.7895	2.45530E-03±0.0029	18.20117	22.49388	28.41691	-56.12686	-26.33175	-75
4	60	78.9608	2.52018E-03±0.0028	53.0427	2.32348E-03±0.0029	46.7889	1.99278E-03±0.0032	26.52536	32.26006	41.90146	-57.96751	-29.88649	-14.28571
5	80	172.666	2.28136E-03±0.0030	142.9649	2.04738E-03±0.0031	123.3050	1.55026E-03±0.0036	33.48805	40.30962	54.80292	-63.64919	-35.95493	25.4717
6	100	--	2.16206E-03±0.0030	--	2.01212E-03±0.0031	--	1.08968E-03±0.0043	36.96618	41.33761	68.2309	-84.57656	-65.05769	13.65462

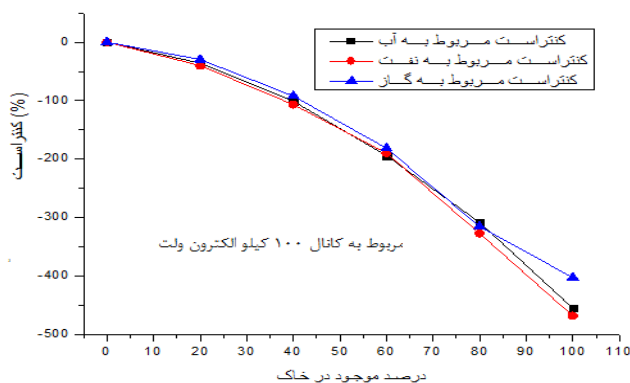
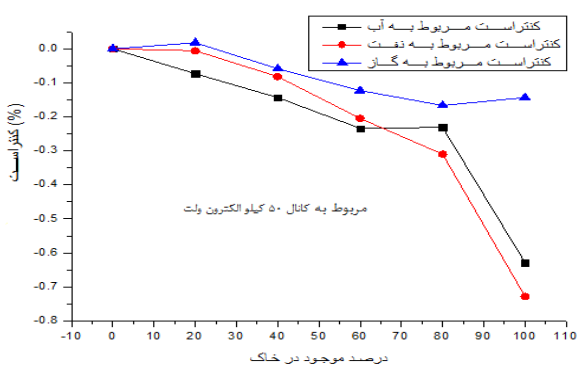
جدول ۱۳ - شار ثبت شده برای پهنای انرژی صفر تا 24 MeV مربوط به تالی ۸ برای حالت سوم

ردیف	درصد موجود در خاک	آب		نفت خام		گاز		کنتراست مربوط به آب	کنتراست مربوط به نفت	کنتراست مربوط به گاز	اختلاف نسبی گاز و آب	اختلاف نسبی نفت و گاز	اختلاف نسبی نفت و آب
		A ₁	شار ثبت شده	A _{2 oil}	شار ثبت شده	A _{2 gas}	شار ثبت شده						
1	0	21.8206	1.5884E-02±0.0011	0.2897	1.5884E-02±0.0011	0.2897	1.5884E-02±0.0011	-0.02519	-0.02519	-0.02519	0	0	0
2	20	31.2484	1.4417E-02±0.0012	9.2069	1.4094E-02±0.0012	7.9781	1.3487E-02±0.0012	9.21285	11.24685	15.06927	-63.56801	-33.98656	18.08511
3	40	49.9575	1.2880E-02±0.0012	24.0658	1.2233E-02±0.0013	20.7895	1.1212E-02±0.0013	18.89169	22.96599	29.39547	-55.6	-27.99561	17.74061
4	60	78.9608	1.1282E-02±0.0013	53.0427	1.0383E-02±0.0014	46.7889	8.9091E-03±0.0015	28.95466	34.61587	43.89736	-51.60722	-26.81281	16.35438
5	80	172.666	9.6471E-03±0.0014	142.9649	8.5194E-03±0.0015	123.3050	6.5190E-03±0.0017	39.25	46.35139	58.94836	-50.18691	-27.17713	15.32076
6	100	--	7.9904E-03±0.0016	--	6.8304E-03±0.0017	--	4.0227E-03±0.0022	49.68262	56.98741	74.66814	-50.29026	-31.02568	12.81825



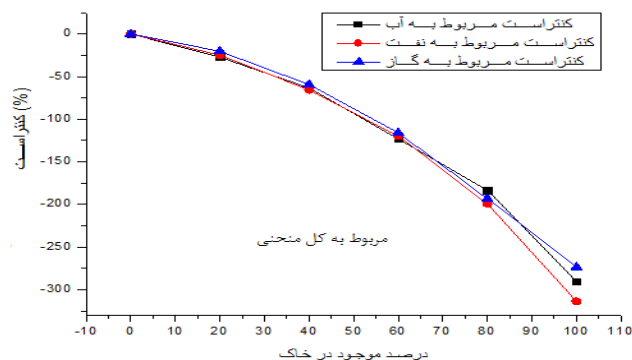
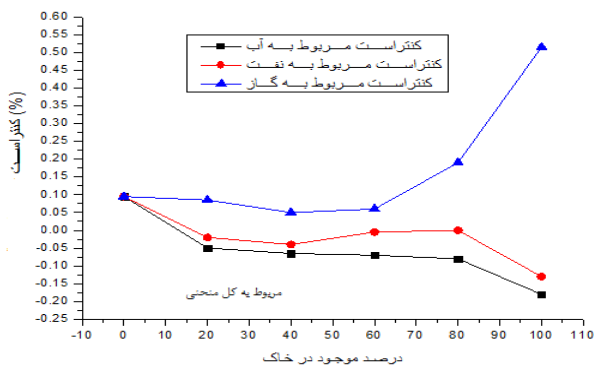
شکل ۳- منحنی کنتراست بر حسب انرژی برای انرژی ۵۱۱ کیلو الکترون ولت در حالت دوم توضیح داده شده در مقاله

شکل ۴- منحنی کنتراست بر حسب انرژی برای انرژی ۵۱۱ کیلو الکترون ولت در حالت اول توضیح داده شده در مقاله



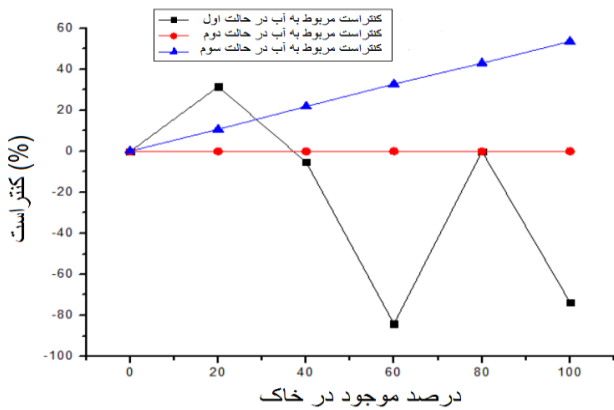
شکل ۵- منحنی کنتراست بر حسب انرژی برای انرژی ۵۰ کیلو الکترون ولت در حالت دوم توضیح داده شده در مقاله

شکل ۶- منحنی کنتراست بر حسب انرژی برای انرژی ۱۰۰ کیلو الکترون ولت در حالت اول توضیح داده شده در مقاله



شکل ۷- منحنی کنتراست بر حسب انرژی برای پهنای انرژی صفر تا 24 MeV در حالت دوم توضیح داده شده در مقاله

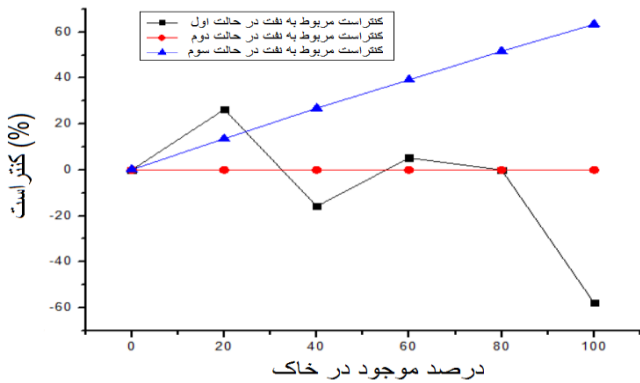
شکل ۸- منحنی کنتراست بر حسب انرژی برای پهنای انرژی صفر تا 24 MeV در حالت اول توضیح داده شده در مقاله



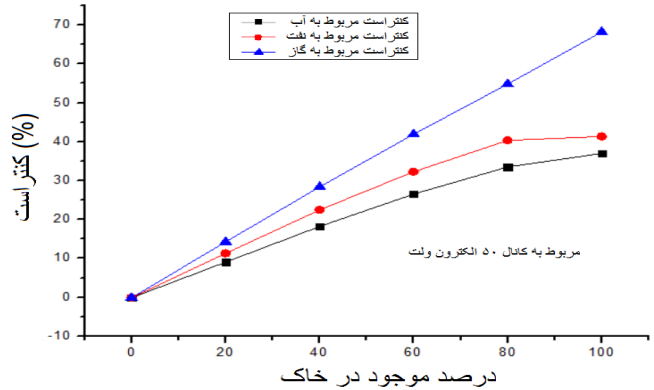
کنتراست (%)

شکل ۹ - منحنی کنتراست بر حسب انرژی برای انرژی ۵۱۱ کیلو الکترون ولت در حالت سوم توضیح داده شده در مقاله

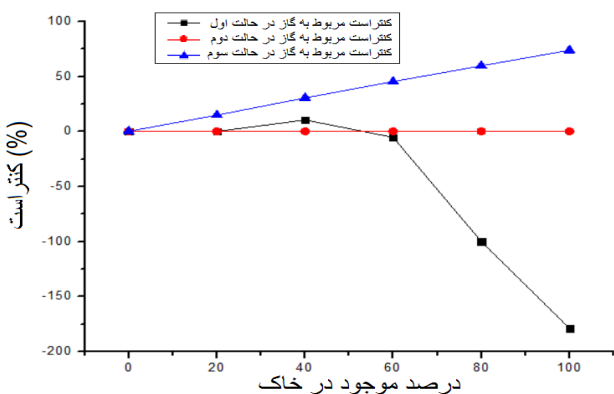
شکل ۱۰ - مقایسه منحنی کنتراست بر حسب انرژی در هر سه حالت برای آب در پهنای انرژی صفر تا ۲۴ MeV



شکل ۱۱ - منحنی کنتراست بر حسب انرژی برای ۵۰ کیلو الکترون ولت در حالت سوم توضیح داده شده در مقاله



شکل ۱۲ - مقایسه منحنی کنتراست بر حسب انرژی در هر سه حالت برای نفت در پهنای انرژی صفر تا ۲۴ MeV



شکل ۱۳ - منحنی کنتراست بر حسب انرژی برای پهنای انرژی صفر تا ۲۴ MeV در حالت سوم توضیح داده شده در مقاله

شکل ۱۴ - مقایسه منحنی کنتراست بر حسب انرژی در هر سه حالت برای نفت در پهنای انرژی صفر تا ۲۴ MeV

در هر سه حالت رسم شده است که با توجه به آن دقیق تر و بهینه بودن حالت سوم کاملاً مشخص است.

در نمودارهای شماره ۱۰، ۱۲ و ۱۴ منحنی کنتراست بر حسب درصد مخازن ترکیب شده با سنگ‌های رسوبی برای هر معدن بصورت جداگانه

- (2015). Nondestructive assay of fluorine in geological and other materials by instrumental photon activation analysis with a microtron, *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B* 342, 82-86.
- Lutz, G. J. and DeSoete, D. A., (1968). Determination of carbon in sodium by photon activation analysis, *ANAL. CHEM.* 40, 902.
- Lutz, G. J. and Masters, L. W., (1970). Determination of Carbon in High Purity Metals by Photon Activation Analysis, *ANALYTICAL CHEMISTRY*, VOL. 42, NO. 8, JULY.
- Lutz, George J., (1971). Photon Activation Analysis -A Review, *ANALYTICAL CHEMISTRY*, VOL. 43, NO. 1, JANUARY.
- Mezhiborskaya, K. B., (1961). Photoneutron Method for Determining Beryllium, Gosatomizdat, State Press for Literature of Atomic Science and Technology, Moscow.
- Mizera, J., Randa, Z., (2010). Instrumental neutron and photon activation analyses of selected geochemical reference materials, *J Radioanal Nucl Chem*, 284: 157-163.
- Randa, Z., Kucera, J., Soukal, L., (2003). Elemental characterization of the new Czech meteorite 'Morávka' by neutron and photon activation analysis, *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, Vol. 257, No. 2, 275-283.
- Revel, G., Chaudron, T., DeBrun, J. and Albert, P., (1968). Dosage du carbone dans quelques metaux purs par irradiation dans les photons γ , *Compt. Rend.*, 266, 322.
- SCHULZE, D., KUPSCH, H., SEGEBADE, C., (1994). Determination of Heavy Metals in Humic Substances by Instrumental Photon Activation Analysis, *Biological Trace Element Research*.
- Wenk, H. R. and Bulakh, A. G., (2004). *Minerals: their constitution and origin*, Cambridge University Press, p. 359.
- X-5 Monte Carlo Term, (2013). MCNP-A General Monte Carlo N-particle transport code, Version 5.
- Yagi, M. and Masumoto, K., (1984). A new internal standard method for activation analysis and its application determination of Co, Ni, Rb, Sr in pepperbush by means of photon activation, *Journal of Radio analytical and Nuclear Chemistry, Articles*, 319-331.
- مزیت استفاده از این روش آن است که به دلیل آنکه حداقل انرژی لازم برای انجام اندرکنش کربن 18.7 MeV است؛ نیازی به بررسی چشمه‌های موجود در طبیعت نیست. زیرا بیشترین انرژی ساطع شده توسط آنها کمتر از 18.7 است. بنابراین چشمه‌های موجود در طبیعت هیچگونه اختلالی در این اندازه‌گیری‌ها ایجاد نمی‌کنند.
- ### ۶-منابع:
- سولفانیدیس، ن.، (۱۳۷۱). اندازه‌گیری و آشکارسازی تابش‌های هسته‌ای. انتشارات دانشگاه مشهد.
- Baker, C. A. and Williams, D. R., (1968). Photon-activation analysis for carbon and oxygen, *Talanta*, 15, 1143.
- Ball, -A.J., Solomon, C.J. and Zarnecki, J.C., (1998), The response of gamma backscatter density gauges to spatial inhomogeneity - An extension of the single scattering model, *Nuclear Instruments and Methods in Physics, Research B* 140.
- Basile, R., Hure, J., Leveque, P. and Schuhl, C., (1954). *Compt. Red.*, 239, 422.
- Beigzadeh, A., Afarideh H., Asadi Amirabadi E., Soltani Z., and Etaati G. R., (2013), An Optimized Gamma-ray Densitometry Tool for Oil Products Determination, *International Journal of Innovation and Applied Studies*.
- Burruss, R. C. and Ryder, R. T., (2004). Composition of crude oil and natural gas produced from 14 wells in the Lower Silurian <Clinton> sandstone and Medina Group, northeastern Ohio and northwestern Pennsylvania, U.S. Department of Interior.
- Englemann, C., Gosset, J., Locuillet, M., Marschal, A., Ossart, P., and Boissier, M., (1968). NEUTRON, PHOTON, AND CHARGED PARTICLE REACTIONS FOR ACTIVATION ANALYSIS, Conference on Modern Trends in Activation Analysis, Gaithersburg, Md., Oct.
- Evans, R. D., (1955). *The Atomic Nucleus*, New York: McGraw-Hill Book Co.
- Gaudin, A. M., Dasher, J., Pannell, J. H. and Freyberger, W. L., (1950). *Trans. AIME*, 187,495.
- Gorov, L. I., Demidov, A. M. and Ivanov, V. A., (1971). POSSIBILITIES OF OIL-WELL LOGGING WITH A Ge(Li) γ -DETECTOR AND Po-Be NEUTRON SOURCE, *Atomnaya Energiya*, Vol. 30, No. 1, pp. 66-69.
- Knoll, G. F., (1979). *Radiation Detection and Measurement*, New York: John Wiley & Sons.
- Krausova, I., Mizera, J., Randa, Z., Chvatil, D., Krist, P.,



Exploration of oil reservoirs using activation of materials by gamma rays with the help of Monte Carlo method

Saeed Rezaei Fard¹; Hossein Tavakoli-Anbaran^{2*}

1. Faculty of Physics and Nuclear Engineering, Shahrood University of Technology, Shahrood, Semnan, Iran.

2. Faculty of Physics and Nuclear Engineering, Shahrood University of Technology, Shahrood, Semnan, Iran.

Received: 10 July 2019; Accepted: 30 October 2019

Corresponding author: tavakoli.anbaran@gmail.com

Keywords

oil mine, Oil reservoirs
Back-scattering gamma
Monte Carlo method

Extended Abstract

Summary

The Gorshov and Coworkers research on finding beryllium by the rapid release of radionuclide neutrons in 1930 is the first study on soil using gamma-ray activation. In this study, using MCNP code, simulations were performed on soil and sedimentary rocks, and the flux of gamma rays resulting from the destruction of the positron ejected from the material was calculated, and then, using this quantity, some information about the material has been achieved. Using these results in these simulations, an optimal location for the source and detector was obtained to identify oil reservoirs, in which oil, gas and water reservoirs can be identified and separated from each other. In this optimum case, the contrast values for the water, oil and gas reservoirs varied from zero to 53.60, 63.40 and 73.89%, respectively, which were due to changes in the percentage of oil, water and gas in sedimentary rocks at the energy 511 keV. The advantage of using this method is that due to the minimal amount of energy required for carbon interactions of 18.7 MeV, there is no need to investigate existing sources in nature, since the maximum energy emitted by these sources is less than 18.7 MeV. Therefore, the sources in nature do not cause any disruption in these measurements.

Introduction

In the field of nuclear physics, the use of gamma rays is an important and practical method. This method is used in various industries such as oil and gas production, mining and quarrying, environmental monitoring and so on. The technology of using gamma rays is based on the interaction of the beams with materials. The three main phenomena are the interaction of gamma rays with photoelectric material, Compton scattering, and pair- production phenomena. Due to its very high sensitivity, activation analysis has become an important and applicable tool in various fields ranging from science and engineering to industry, mineral exploration, medicine, etc. One of the biggest advantages of analyzing by this activation method is that it can detect most isotopes with very high sensitivity. In this research, different simulations have been carried out on sedimentary rocks in order to find a suitable method for exploration of oil reservoirs. These simulations are performed in three different states and by comparing the results obtained in each case, the best results are selected to explore the oil reservoirs.

Methodology and Approaches

The Monte Carlo method is a class of computational algorithms that rely on random iterative sampling to calculate their results. To use this method, a structured input file must be provided, including problem information such as geometry, material type, source, output type, and so on. The code, based on this method, solves the problem using input file information and the cross-section library and generates the results in an output file. In the simulations by this code, a cubic block of about 2 meters is considered to be a type of sedimentary rocks, oil, gas, water and a combination of these rocks with water, gas or oil. The simulated cavity has a depth of 180 cm and a radius of 7.62 cm. A 2-inch NaI (TI) detector is inserted into the specified hole.

Results and Conclusions

According to the obtained results, it is possible to detect and identify the oil reservoirs and to separate the oil reservoirs from the gas and water reservoirs. The advantage of using this method is that due to the minimal amount of energy required for carbon interactions of 18.7 MeV, there is no need to investigate existing sources in nature, since the maximum energy emitted by these sources is less than 18.7 MeV. Thus, the sources in nature do not cause any disruption in the measurements.