

دوره ۷، شماره ۲، ۱۴۰۰، صفحات ۷۷-۸۹

(DOI): 10.22044/JRAG.2021.9539.1284 شناسه دیجیتال

موقعیت مکانی چشمه گاما-آشکارساز - حفره حفر شده بر کیفیت کشف مخازن نفتی به روش مونت کارلو

سعید رضایی فرد^۱ و حسین توکلی انبران^{۲*}

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

۲- دانشیار؛ دانشکده فیزیک و مهندسی هسته‌ای، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود، ایران

دریافت مقاله: ۱۳۹۹/۰۱/۱۸؛ پذیرش مقاله: ۱۳۹۹/۱۰/۱۳

* نویسنده مسئول مکاتبات: tavakoli-anbaran@shahroodut.ac.ir

چکیده

استفاده از اندرکنش پرتوهای گاما با مواد، یک روش غیر مخرب و جدید برای بدست آوردن اطلاعات مفیدی همچون چگالی ماده می‌باشد. در این پژوهش، با استفاده از کد MCNP یک بلوک متشکل از سنگهای رسوبی به همراه چهار حفره درون آن شبیه‌سازی و در هر کدام از این حفره‌ها یک آشکارساز قرار داده شده است. سپس با قرار دادن یک چشمه ^{137}Cs در یکی از حفره‌ها و اضافه نمودن درصدهای مختلفی از آب و نفت به سنگهای رسوبی تشکیل دهنده بلوک، مقدار تباین برای پرتوهای گامای خروجی و پس پراکنده شده بدست آمده است و تابع پاسخ آشکارساز درون حفره‌ای که روبروی چشمه قرار گرفته، بیشتر از بقیه آشکارسازها بدست آمده است. تباین بدست آمده در بلوک حاوی سنگهای رسوبی با چهل درصد نفت در حفره‌های اول تا چهارم به ترتیب برابر با ۲۱۹،۱۰-، ۳۵۴،۸۵-، ۱۷۴،۷۵- و ۱۹۷،۳۰- و برای آب ۱۹۸،۳۱-، ۳۳۰،۸۷-، ۱۶۷،۷۳- و ۱۸۵،۲۶- می‌باشد. با توجه به این موضوع که با حفر کردن چند حفره از هر دو روش گامای عبوری و پس پراکنده استفاده شده، می‌توان موقعیت مکانی بهتری را برای جایگاه آشکارساز بدست آورد. همچنین از مقادیر محاسبه شده مشخص است که تباین بدست آمده از حفره دوم (حفره‌ای که روبروی چشمه است) بیشتر از بقیه تباین‌ها می‌باشد؛ که می‌توان گفت از لحاظ موقعیت دارای جایگاه بهتری نسبت به بقیه حفره‌ها می‌باشد. البته با توجه به کمیت D (تفاوت نسبی بین تباین‌های محاسبه شده برای نفت و آب به درصد) حفره اول نسبت به بقیه برتری دارد. زیرا در آن می‌توان مواد با درصدهای پایین موجود در خاک را از یکدیگر تفکیک نمود.

واژگان کلیدی

مخازن نفتی،
پس پراکندگی پرتوهای گاما
مونت کارلو

به دلیل وجود ضریب تضعیف خطی، با عبور پرتوهای گاما از درون مواد مختلف از شدت پرتوها کاسته می‌شود. این ضریب معرف احتمال برهم‌کنش بر واحد فاصله پیموده شده توسط پرتو گاما در ماده است؛ که تابعی از انرژی پرتو گامای آشکارسازی شده است و به عواملی همچون انرژی چشمه، چگالی، عدد اتمی ماده استفاده شده و ساختار مولکولی ماده بستگی دارد (Evans, 1955). لذا مقدار آن برای مواد مختلف متفاوت بوده و با استفاده از آن می‌توان به برخی از اطلاعات مربوط به ماده مانند چگالی دست پیدا کرد. ضریب تضعیف جرمی کل که از تقسیم ضریب تضعیف خطی به چگالی ماده بدست می‌آید. از مجموع ضرایب تضعیف جرمی سه پدیده اصلی اندرکنش پرتوهای گاما با مواد که شامل اثر فوتوالکتریک ($\tau(m^{-1})$ ، پدیده کامپتون ($\sigma(m^{-1})$ و پدیده تولید زوج ($\kappa(m^{-1})$ هستند؛ بدست می‌آید. باید توجه داشت که با توجه به شکل ۱ و استفاده از پرتوهای گاما در محدوده انرژی مشخص شده، پدیده غالب در اندرکنش‌های گاما با خاک پدیده کامپتون است (Knoll, 1979).

اطلاعات مربوط به خصوصیات یک خاک به کمک روش استفاده از پرتوهای گاما را می‌توان با تجزیه و تحلیل پرتوهای گاما عبوری از خاک و یا پس پراکنده شده بدست آورد. تجهیزات میدانی و آزمایشگاهی برای هر دو روش عبوری و پس پراکنده طراحی شده و استفاده می‌شود. روش استفاده از اندرکنش پرتوهای گاما با مواد بر روی خاک اولین بار توسط ووموسیل^۱ (۱۹۵۴) انجام گرفت (MacIntyre and Leleand, 1970). پس از او ون باول^۲ و همکاران (۱۹۵۷) با استفاده از چشمه Cs^{137} با اکتیویته ۲۰۰ میلی کوری و ۵ میلی کوری و طول مسیر جذب پرتو از ۱۵ تا ۳۵ سانتیمتر آزمایشات خود را انجام دادند (MacIntyre and Leleand, 1970). در سال ۱۹۷۱ دی اسوارت^۳ و گرونولت^۴ (۱۹۷۱) با استفاده از چشمه‌های Am^{241} و Cs^{137} توانستند چگالی حجمی مواد متخلخل موجود در خاک را اندازه گیری کنند (De Swart and Groenevelt, 1971). در سال ۱۹۷۵ راولز^۵ و بروکز^۶ (۱۹۷۵) مقدار آب موجود در یک حجم کوچک از خاک را با استفاده از چگالی سنجی هسته‌ای محاسبه کردند (Rawls and Brooks, 1975). پس از آن برتوزی^۷ و همکاران (۱۹۸۷) با استفاده از این روش مقدار چگالی حجمی خشک خاک را به صورت عملی اندازه گیری و خطاهای آنالیز و کالیبره کردن این اندازه گیری‌ها را محاسبه کردند (Bertuzzi et al., 1987). در ادامه صدیق^۸ و لیندزی^۹ (۱۹۸۸) توانستند یک اکسید فرومغناطیسی

(Fe_2O_3) را به کمک اندرکنش پرتوهای گاما با مواد در خاک شناسایی و جداسازی کنند (Sadiq and Lindsay, 1988). در سال ۱۹۹۹ میلادی باراتاود^{۱۰} و همکاران (۱۹۹۹) مقدار نفوذ آب در خاک یک جنگل دست نخورده را با استفاده از روش چگالی سنجی به کمک پرتوهای گاما با استفاده از دو پرتو با انرژی متفاوت بدست آوردند (Barataud et al., 1999). در همان سال واز^{۱۱} و همکاران (۱۹۹۹) اندازه ذرات خاک را با استفاده از میرایی پرتوهای گاما محاسبه کردند (Vaz et al., 1999). در سال ۲۰۰۳ گویماراس^{۱۲} و همکاران (۲۰۰۳) از یک چشمه Cs^{137} برای مطالعه روی فرسایش خاک و رسوب در جنوب شرقی برزیل استفاده کردند (Guimarães et al., 2003). در ادامه سانگویینی^{۱۳} و همکاران (۲۰۰۶) ماگمایت را در آثار سرامیکی شناسایی و توصیف کردند و در منطقه آمازون باستان‌شناسی انجام دادند (Sanguini et al., 2006). در سال ۲۰۱۳ لیو^{۱۴} و همکاران (۲۰۱۳) آزمایشی مبنی بر نگهداری نیکل در خاک با استفاده از روش جذب پرتوهای ایکس و گاما انجام دادند و نتایج بدست آمده را ارائه کردند (Liao et al., 2006). پس از آن چنگ^{۱۵} و همکاران (۲۰۱۵) آلودگی فلزی در خاک باغچه‌های نیویورک را ردیابی کرد، آنها در این تحقیق خاک ۱۶۵۲ باغچه را مورد ارزیابی قرار دادند (Cheng et al., 2015). با توجه به پژوهش‌های انجام شده بر روی خاک به کمک روش استفاده از اندرکنش پرتوهای گاما با مواد که قبلاً به برخی از آن‌ها اشاره شده است می‌توان اطلاعات زیادی در مورد خاک مورد آزمایش بدست آورد و اهداف زیادی را به انجام رسانید.

در این پژوهش با انجام شبیه‌سازی‌های مختلف بر روی خاک و سنگهای رسوبی اطلاعاتی مانند برد پرتوهای گاما در انرژی‌های مختلف یا چگالی منطقه مورد آزمایش بدست می‌آید. با استفاده از این اطلاعات می‌توان مناطق زیادی را برای کشف مخازن نفت و گاز بررسی کرد. پژوهش دیگری توسط توکلی عنبران و رضایی فرد (۱۳۹۹) با استفاده از روش فعال‌سازی با گاما به منظور کشف مخازن نفتی انجام شده است.

روش فعال‌سازی گاما تحلیلی کمی و کیفی از یک نمونه ناشناخته است؛ که با پرتو دهی به نمونه و در نتیجه تولید هسته‌های پرتوزا از ایزوتوپ‌های پایدار یا ناپایدار موجود در آن و تجزیه و تحلیل آن‌ها و فیزیک حاکم بر آن می‌توان به خصوصیات ماده مورد مطالعه و از جمله کشف مخازن نفتی پی برد (توکلی عنبران و رضایی فرد، ۱۳۹۹). این در حالی است که در این پژوهش جدید روش تضعیف و پس پراکندگی پرتوهای گاما و فیزیک حاکم بر آن در ماده که نتیجه سه اندرکنش غالب پرتوهای گاما با ماده (اندرکنش فوتوالکتریک، پدیده کامپتون و تولید زوج) می‌باشد؛ برای پیدا کردن موقعیت بهینه چشمه گاما-آشکار ساز-حفره حفر شده استفاده شده است. در واقع در این پژوهش در نظر است بررسی شود موقعیت مکانی

- 1 Vomocil
- 2 Van Bavel
- 3 De Swart
- 4 Groenevelt
- 5 Rawls
- 6 Brooks
- 7 Bertuzzi
- 8 Sadiq
- 9 Lindsay

¹⁰ Barataud

¹¹ Vaz

¹² Guimarães

¹³ Sanguini

¹⁴ Liao

¹⁵ Cheng

(Anderson et al., 2017)، در زمینه پزشکی کار توکلی عنبران و احمدی (۲۰۲۰) با عنوان بررسی مونت کارلو روی پارامترهای دوزیمتری نوترونی از چشمه براکی تراپی ایزوترون Cf^{252} (Tavakoli-Anbaran and Ahmadi, 2020) و کار خدابخش و همکاران (۱۳۹۴) با عنوان بررسی اثرات ذرات بتا بر سلول های سرطانی رده K562 (خدابخش و همکاران، ۱۳۹۴) و تحقیق (Zhang et al (2011) با عنوان ضرایب تبدیل دوز ارگانه بر اساس مدل موس وکسل و کد MCNP برای تابش فوتون خارجی (Zhang et al., 2011)، در زمینه حفاظ گذاری کار غلامی و همکاران (۱۳۹۴) با عنوان ارزیابی حفاظ بیمارستان شریعتی به روش محاسباتی و مقایسه نتایج با کد MCNPX اشاره کرد (غلامی و همکاران، ۱۳۹۴).

با توجه به این نکته که انجام این گونه پژوهش‌ها و آزمایش‌ها در طبیعت بسیار زمان بر بوده و نیازمند هزینه بسیار بالایی می‌باشد و همچنین مواد مورد نیاز برای آزمایش مانند چشمه‌های رادیواکتیو استفاده شده نیازمند هماهنگی با مراجع قانونی و ... دارد؛ لذا محققان و دانشمندان ابتدا این پژوهش‌ها را در آزمایشگاه‌های مجازی مانند استفاده از کد MCNP که دارای دقت بسیار بالا می‌باشد، بررسی می‌کنند؛ تا مشخص گردد که آیا این روش جوابگو خواهد بود یا خیر و در صورت مثبت بودن پاسخ ابتدا سعی بر آن است که مجموعه سیستم آشکارسازی بهینه گردد؛ تا از انجام سعی و خطا در تجربه جلوگیری گردد. همچنین یکی از مزیت‌های استفاده از آزمایشگاه‌های مجازی این است که می‌توان هندسه مورد آزمایش را در هر ابعادی به راحتی تغییر داد و آزمایش را بصورت مجازی انجام داد و نتایجی با دقت بالا بدست آورد.

در این پژوهش به منظور شناسایی بهترین حفره از لحاظ موقعیت مکانی با حفر چهار حفره از فیزیک حاکم بر هر دو روش گامای عبوری و گامای پس پراکنده شده استفاده شده است؛ که نتایج بدست آمده نشان دهنده آن است که موقعیت مکانی حفره اول نسبت به چشمه گاما و آشکارساز بهتر از سه حفره دیگر می‌باشد.

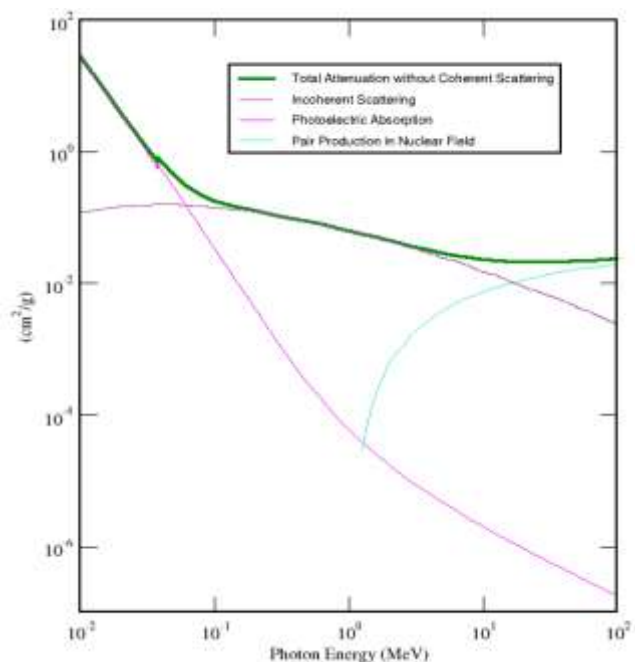
۲- معرفی تئوری انجام کار

بررسی مواد با استفاده از پرتوهای گاما به دو صورت: ۱) زمانی که هر دو طرف ماده در دسترس باشد، ۲) زمانی که فقط یک طرف ماده در دسترس باشد؛ انجام می‌شود (Abro et al., 1999).

حالتی که هر دو طرف ماده در دسترس است، بر اساس شار خارج شده عبوری از ماده تحقیقات انجام می‌شود. لذا اگر فرض شود باریکه‌ای کاملاً موازی از ذرات تک انرژی از تیغه‌ای از ماده عبور کند، برای این ذرات سه اتفاق آتی رخ می‌دهد:

۱- درون ماده اندرکنش فوتوالکتریک^۱ انجام داده و جذب ماده شود. ۲- بدون انجام اندرکنش از ماده خارج شود. ۳- درون ماده اندرکنش

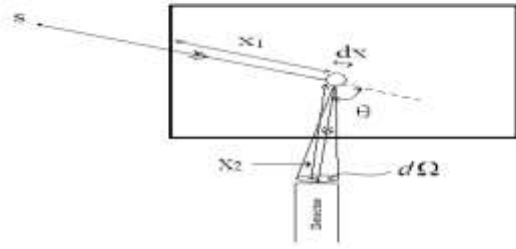
چشمه، آشکارساز و حفره حفر شده نسبت به یکدیگر چگونه می‌تواند بر تابین و تفکیک مخازن نفت و آب از یکدیگر تاثیر گذار باشد و قرار است حالت بهینه موقعیت مکانی چشمه گاما-آشکارساز-حفره حفر شده بدست آید.



شکل ۱: نمودار ضریب تضعیف جرمی (ضریب تضعیف خطی بر حسب چگالی (μ/ρ)) پرتوهای گاما بر حسب انرژی در خاک

علت استفاده از روش مونت کارلو با کد MCNP قابلیت بسیار بالای آن در زمینه‌های مختلف از جمله صنعت، پزشکی، نظامی و ... دارد؛ که به عنوان مثال در زمینه نظامی صلح آمیز می‌توان به کار توکلی عنبران و همکاران (۱۳۹۱) با عنوان بکارگیری پرتوهای گاما در کشف مین های زمینی باقیمانده از جنگ تحمیلی در خاک ایران با استفاده از روش مونت کارلو (توکلی عنبران و همکاران، ۱۳۹۱) و تحقیق (Allen et al. (2018) با عنوان امکان سنجی استفاده از راکتور میکرو مدولار در کاربردهای نظامی (Allen et al., 2018)، در زمینه دوز سنجی کار جاویدی و همکاران (۱۳۹۵) با عنوان محاسبه آهنگ دوز پرتوها در تراز اصلی نیروگاه اتمی بوشهر در زمان سوخت گذاری، در انتهای چیدمان اول سوخت (جاویدی و همکاران، ۱۳۹۵) و کار (Yoriyaz et al (2000) با عنوان برآورد توزیع دوز جذب شده مبتنی بر مونت کارلو MCNP-4B برای دوزیمتری مشخص بیمار (Yoriyaz et al., 2000) و تحقیق (Reynaert et al (2002) با عنوان وابستگی پارامتر انتقال الکترون MCNP در تعیین توزیع دوز (Reynaert et al., 2002)، در زمینه صنعت کار رحمانی زاده و شیرمردی (۱۳۹۵) با عنوان بررسی تغییر شار فوتونی گذرنده ناشی از چشمه های گاما از بتن های مختلف با استفاده از کد شبیه سازی MCNP (رحمانی زاده و شیرمردی، ۱۳۹۵) و کار (Anderson et al (2017) با عنوان تولید پرتوهای دلتا در MCNP 6

^۱ پدیده‌ای است که در آن الکترون، بعد از جذب انرژی یک پرتوی الکترومغناطیسی مانند پرتوی ایکس یا انوار مرئی، از ماده گسیل می‌شود.



شکل ۲: شکل راستاهای برخورد و پس پراکنده شدن پرتو در ماده

با ضرب این احتمال‌ها در یکدیگر شدت خروجی پرتو از ماده به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$dI = Bc \left[e^{-\mu_0 x_1} \right] [\mu dx] \left[\frac{d\sigma_\theta}{d\Omega} d\Omega \right] \left[e^{-\mu_0 x_2} \right] \quad (3)$$

$$I = \int dI = Bc \int e^{-\mu_0 x_1} \mu e^{-\mu_0 x_2} \frac{d\sigma_\theta}{d\Omega} d\Omega dx \quad (4)$$

در این رابطه $\frac{d\sigma_\theta}{d\Omega}$ برابر است با:

$$\frac{d\sigma_\theta}{d\Omega} = \frac{r_0^2}{2} \left(\frac{\nu'}{\nu_0} \right)^2 \left(\frac{\nu_0}{\nu'} + \frac{\nu'}{\nu_0} - \sin^2 \theta \right) \quad (5)$$

$$\frac{\nu'}{\nu} = \frac{E_{\gamma'}}{E_\gamma} = \frac{1}{1 + \frac{E_\gamma}{m_0 c^2} (1 + \cos \theta)} \quad (6)$$

که به فرمول کلین - نیشینا^۱ معروف است. در این روابط r_0 شعاع کلاسیکی الکترون، B ضریب انباشت، c معرف تمامی ثابت‌هایی است که به نوع شرایط انجام آزمایش از جمله راندمان آشکارساز ارتباط دارد. μ ضریب تضعیف، I شار، ν بسامد و E_γ انرژی است (Blake and Fogelman, 1997).

باید توجه داشت در روابط بالا (رابطه ۴ و ۵) عواملی همچون مشخصات چشمه (از قبیل انرژی، توزیع زاویه‌ای)، مشخصات آشکارساز مثل اندازه سطح پنجره ورودی، مشخصات ماده (مانند ضخامت، عدد اتمی)، فاصله بین ماده و آشکارساز و چشمه و هندسه مساله تأثیرگذار هستند. برای نشان دادن تأثیر آشکارساز در این روابط می‌توان به تحقیق توکلی عنبران و همکاران (۲۰۰۹) که تأثیر ابعاد آشکارساز روی تابع پاسخ آشکارساز NaI(Tl) را مورد بررسی قرار داده است، مراجعه کرد (Tavakoli-Anbaran et al., 2009).

۳- روش انجام کار

از آنجایی که پردازش اطلاعات بدست آمده در این پژوهش به منظور اندازه‌گیری مطلق نیاز به داشتن ضرایب متفاوت از جمله راندمان آشکارساز، قدرت و اکتیویته چشمه و غیره است و نیاز به دقت بالایی دارد؛ لذا در این پژوهش از کمیتی به نام "تباین" C ، که اساس آن بر

کامپتون انجام داده و مقداری از انرژی خود را از دست داده و با باقیمانده انرژی خود تحت زاویه‌ای پراکنده و از ماده خارج شود (Knoll, 1979). در حالت "الف"، برای یک باریکه موازی از فوتون‌های تک انرژی با شدت $I_0 (\gamma/cm^2.s)$ و انرژی $E_\gamma (MeV)$ چنانچه پرتوهای گاما از درون ماده‌ای به ضخامت $d (cm)$ و چگالی $\rho (m/v)$ عبور کنند؛ بر طبق قانون لامبرت-بیزر داریم:

$$I (\gamma/cm^2.s) = BI_0 e^{(-\mu \rho d)} \quad (1)$$

که در این رابطه $\mu (m^2/kg)$ نمایانگر ضریب جذب جرمی کل، I شار پرتوهای گامایی است که بدون اندرکنش از ماده عبور کرده‌اند (سولفانی‌دیس، ۱۳۷۱) و B ضریب انباشت (کمیتی بدون بعد) می‌باشد. ضریب انباشت یک عامل مهم در اندازه‌گیری‌هاست که از کارهای انجام شده در این زمینه می‌توان به تحقیق رسولی و توکلی عنبران (۲۰۱۷) که بررسی رابطه بین ضریب انباشت شار گاما و هندسه چشمه است؛ اشاره نمود (Rasouli and Tavakoli-Anbaran, 2017).

از رابطه شماره ۱ می‌توان مقدار چگالی را به صورت زیر بدست آورد:

$$\rho = \frac{1}{\mu d} \ln \left(\frac{BI_0}{I} \right) = \frac{1}{\mu d} \left[\ln \left(\frac{I_0}{I} \right) + \ln B \right] \quad (2)$$

این رابطه نشان می‌دهد، در صورت مشخص بودن B و d می‌توان چگالی ماده را بدست آورد (Vasiliev et al., 2011).

برای حالت "ب" که فقط یک طرف ماده در دسترس است، باید با استفاده از گامای پس پراکنده از ماده تحقیقات را انجام داد؛ که برای این کار به صورت زیر عمل می‌شود:

❖ ابتدا احتمال این که پرتو تا فاصله x_1 بدون برهم‌کنش در ماده

حرکت کند را محاسبه می‌کنیم که متناسب با $e^{-\mu_0 x_1}$ است.

❖ سپس در ضخامت x_1 تا $x_1 + dx$ برهم‌کنش از نوع پراکندگی کامپتون انجام دهد، که بصورت μdx محاسبه می‌شود.

❖ پس از انجام برهم‌کنش، پرتو پس پراکنده با احتمال متناسب با $\frac{d\sigma_\theta}{d\Omega}$ تحت زاویه θ پراکنده شده و درون زاویه فضایی $d\Omega$ آشکارساز قرار

می‌گیرد؛ که متناسب است با $\frac{d\sigma_\theta}{d\Omega}$.

❖ در نهایت احتمال آن که پرتوهای پراکنده شده با عبور از فاصله x_2 بدون انجام اندرکنش وارد آشکارساز شوند، را به صورت $e^{-\mu_0 x_2}$ محاسبه می‌کنند (Evans, 1955).

در شکل ۲ راستاهای برخورد و پس پراکنده شدن پرتوهای گاما در ماده را مشاهده می‌کنید.

ازمایشگاه لوس آلاموس ابداع کنند، که با پیشرفت در زمینه علوم کامپیوتر در محاسبات بکار گرفته شد. کد MCN^1 اولین کد مونت کارلویی ترابرد ذرات و پس از آن MCN^2 برای حل مسائل اندرکنش نوترون نوشته شد. در نهایت در سال ۱۹۷۷ کد $MCNP^3$ که در آن زمان کد مونت کارلویی نوترون-فوتون نامیده می‌شد، تهیه گردید (Briesmeister, 2000). برای استفاده از این کد می‌بایست یک فایل ورودی با ساختار مشخص که شامل چهار بخش اصلی سلول‌ها، سطوح، کارت داده و خروجی مساله می‌شود تهیه گردد. بخش سلول‌ها بر اساس الگوی تعریف شده در کد و بر اساس مواد و سطوح مورد استفاده شده تعریف می‌شود. در بخش سطوح، مشخصات سطح‌های مورد نیاز برای تعریف سلول‌ها تعریف می‌شود. در قسمت کارت داده اطلاعاتی مانند نوع ماده، انرژی چشمه، توزیع زاویه‌ای و ... مشخص می‌گردد. در قسمت خروجی با استفاده از ۸ تالی تعریف شده توسط کد می‌توان اطلاعاتی از جمله جریان عبوری از یک سطح که با F1، شار عبوری از یک سلول که با F4، انرژی تخلیه شده در یک سلول که با F6 و تابع پاسخ آشکارساز که با F8 نشان داده می‌شوند، را بدست آورد. فایل ورودی بسته به نوع کاربرد (هندسه مساله، مشخصات چشمه، نوع خروجی و ...) می‌تواند متفاوت باشد. برای اطلاع از توضیحات کامل‌تر می‌توان به راهنمای کد $MCNP$ نوشته Briesmeister (2000) و یا کتاب آموزش کد $MCNP$ نوشته کاسه‌ساز و حسن زاده (۱۳۹۴) مراجعه کرد. کد با استفاده از اطلاعات فایل ورودی و استفاده از کتابخانه سطح مقطع‌ها مساله را حل و نتایج را در یک فایل خروجی تولید می‌کند. این کد تقریباً در تمامی مسائلی که به نوعی با انواع پرتوها سر و کار دارند مانند: طراحی نوترونی راکتورهای هسته‌ای، پرتو پزشکی، چاه پیمایی هسته‌ای، رادیو گرافی، ردیابی مواد هسته‌ای و غیره کاربرد دارد (Briesmeister, 2000). در این تحقیق با استفاده از کد $MCNP$ یک بلوک با چهار حفره در آن شبیه‌سازی شده، که نحوه قرار گرفتن حفره‌ها، آشکارسازها و چشمه در شکل ۳ مشاهده می‌شود.

پایه اندازه‌گیری نسبی و مقایسه با یک حالت اولیه معین است و به فرم زیر که تفاوت نسبی بین شار فرودی I_{Inc} و شار پس پراکنده I_{Bsc} به درصد است، استفاده می‌شود (توکلی عنبران و رضایی فرد، ۱۳۹۹).

$$C(\%) = \frac{I_{Inc} - I_{Bsc}}{I_{Inc}} \times 100 \quad (7)$$

$$\sigma_c = \frac{I_{Bsc}}{I_{Inc}} \sqrt{\left(\frac{\sigma_{I_{Inc}}}{I_{Inc}}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_{I_{Bsc}}}{I_{Bsc}}\right)^2} \quad (8)$$

کمیت σ_c خطای مربوط به تباین است که با استفاده از فرمول انتشار خطا بدست آمده است. همچنین از کمیت D که تفاوت نسبی بین تباین‌های محاسبه شده برای نفت و آب به درصد است نیز استفاده شده که با استفاده از این کمیت می‌توان نفت و آب را از یکدیگر تفکیک نمود.

$$D(\%) = \frac{C_{Oil} - C_{Water}}{C_{Oil}} \times 100 \quad (9)$$

$$\sigma_D = \frac{C_{Water}}{C_{Oil}} \sqrt{\left(\frac{\sigma_{C_{Water}}}{C_{Water}}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_{C_{Oil}}}{C_{Oil}}\right)^2} \quad (10)$$

به منظور تفکیک نفت و آب را از یکدیگر، می‌توان این گونه در نظر گرفت که هرگاه مقدار قدر مطلق کمیت D بیشتر از ۵ درصد با خطای زیر ۰٫۲ درصد باشد می‌توان بین مخازن تفکیک قائل شد (توکلی عنبران و رضایی فرد، ۱۳۹۹). در شبیه سازی به روش مونت کارلو نتایج بدست آمده با کد $MCNP$ با خطای نسبی کمتر از ۱۰ درصد قابل قبول است و نتایج بدست آمده با خطای نسبی کمتر از ۵ درصد مطمئن می‌باشد. لذا در این پژوهش می‌توان با خطای نسبی زیر ۰٫۲ درصد اطمینان کامل به مقادیر بدست آمده داشت (Briesmeister, 2000). انتخاب مقدار D برابر با ۵ درصد بستگی به دقت سیستم آشکارسازی برای محاسبه تباین دارد. به این صورت که هر چه دقت اندازه‌گیری‌ها بیشتر باشد، می‌توان عدد کوچکتری را برای این منظور انتخاب نمود. در نتیجه چون در $D=5$ خطای بدست آمده بسیار پایین بوده و از دقت بسیار خوب و مطمئنی برخوردار است در این پژوهش این مقدار مناسب در نظر گرفته شده است.

۴- شبیه‌سازی‌ها

در این پژوهش با استفاده از کد $MCNP$ قسمتی از کره زمین به صورت یک بلوک شبیه‌سازی شده؛ که در شکل ۳ نشان داده شده است. روش مونت کارلو یک روش عددی برای حل مسایل ریاضی به وسیله نمونه‌برداری تصادفی است. در این روش یک فرآیند به وسیله نمونه‌برداری تصادفی چندین بار (تا سقف ۲ میلیارد و بیشتر) با رعایت تمامی قوانین موجود در طبیعت و اعمال تمام فاکتورهای تأثیر گذار روی این فرآیند تکرار می‌شود و سپس میانگین آن بعنوان جواب قابل قبول ارائه می‌گردد. این روش به عنوان یک تکنیک عددی جامع بعد از ورود کامپیوتر به زمینه محاسبات عددی ظهور پیدا کرد. در طول جنگ جهانی دوم «انریکو فرمی» و دانشمندان دیگری توانستند روش مونت کارلو را در

1 Monte Carlo Simulation

2 Monte Carlo Neutron

3 Monte Carlo Neutron - Photon

جدول ۱: میانگین عناصر موجود در سنگهای رسوبی (Wenk and Bulakh, 2004)

عناصر	درصد موجود	عناصر	درصد موجود
SiO ₂	۵۸,۱۱	H ₂ O	۴,۹۹
Al ₂ O ₃	۱۵,۴۰	CO ₂	۲,۶۳
Fe ₂ O ₃	۴,۰۲	TiO ₂	۰,۶۵
FeO	۲,۴۵	P ₂ O ₃	۰,۱۷
MgO	۲,۴۴	SO ₃	۰,۶۵
CaO	۳,۱۰	BaO	۰,۵۰
Na ₂ O	۱,۳۰	C	۰,۳۵
K ₂ O	۳,۲۴		

جدول ۲: حد پایین تا حد بالای عناصر موجود در نفت (Burruss and Ryder, 2004)

عناصر	درصد موجود
کربن	۸۳ تا ۸۵ درصد
هیدروژن	۱۰ تا ۱۴ درصد
نیتروژن	۰,۱ تا ۲ درصد
اکسیژن	۰,۵ تا ۱,۵ درصد
گوگرد	۰,۵ تا ۶ درصد
فلزات دیگر	کمتر از ۰,۱ درصد

۵- نتایج

شبیه‌سازی‌ها برای بلوکی متشکل از سنگهای رسوبی، نفت خام، آب، مخلوطی از سنگهای رسوبی با آب و مخلوطی از سنگهای رسوبی با نفت با مقادیر ۲۰، ۴۰، ۶۰ و ۸۰ درصد آب یا نفت مخلوط با سنگهای رسوبی انجام گرفت؛ که نتایج تابع پاسخ آشکارساز و تباین بدست آمده در جداول ۳ تا ۷ و نمودارهای ۴ تا ۱۱ ارائه شده است. در این شبیه‌سازی‌ها مقدار تباین محاسبه شده از تابع پاسخ آشکارساز که با استفاده از تالی F8 بدست می‌آید، درون حفره‌ای که روبروی چشمه قرار گرفته است (حفره دوم)، بیشتر از مقدار تباین محاسبه شده برای بقیه آشکارسازها است. به عنوان مثال برای بلوک متشکل از سنگهای رسوبی با چهل درصد نفت در حفره‌های اول تا چهارم به ترتیب برابر با ۲۱۹,۱۰-، ۳۵۴,۸۵-، ۱۷۴,۷۵- و ۱۹۷,۳۰- و برای آب ۱۹۸,۳۱-، ۳۳۰,۸۷-، ۱۶۷,۷۳- و ۱۸۵,۲۶- می‌باشد. همانطور که از جداول مشخص است مقدار عددی تباین بدست آمده در حفره دوم مقدار بیشتری را نسبت به بقیه حفره‌ها نشان می‌دهد. این تفاوت بدلیل اختلاف در تابع پاسخ آشکارسازها می‌باشد، یعنی شار عبور کرده از ماده بیشتر از شار پس پراکنده شده است. دلیل این اختلاف توزیع زاویه‌ای ذرات گسیلی از چشمه و مکان آشکارساز می‌باشد. به این صورت که برای ذرات عبور



شکل ۳: نحوه قرار گرفتن حفره‌ها، آشکارسازها و چشمه در شبیه‌سازی‌ها

در این شبیه‌سازی‌ها بلوک مکعبی شکلی به ضلع ۲ متر در نظر گرفته شده است که ماده تشکیل دهنده آن نوعی از سنگهای رسوبی، نفت، آب و ترکیبی از این سنگها و آب یا نفت می‌باشد. میزان عناصر تشکیل دهنده بلوک در جداول ۱ و ۲ آمده است. حفره‌های شبیه‌سازی شده در این کار دارای عمقی برابر با ۱۸۰ سانتی متر و شعاعی به اندازه ۷,۶۲ سانتی متر می‌باشد. فاصله هر حفره از مرکز بلوک ۳۰ سانتی متر است. در این تحقیق ما چشمه ¹³⁷Cs با انرژی گامای ۶۶۲ کیلو الکترون ولت را درون حفره اول قرارداده‌ایم و در همه حفره‌ها یک آشکارساز NaI(Tl) با ابعاد ۲ اینچ تعبیه کرده‌ایم. با تغییر ماده تشکیل دهنده بلوک با درصد مشخصی از آب یا نفت شبیه‌سازی‌های مختلفی انجام شده؛ که نتایج آنها در جداول ۳ تا ۷ و شکل‌های ۴ تا ۱۱ نشان داده شده است.

از آنجایی که در کد MCNP یک فرآیند به وسیله نمونه‌برداری تصادفی چندین بار (تا سقف ۲ میلیارد و بیشتر) با رعایت تمامی قوانین موجود در طبیعت و اعمال تمام فاکتورهای تأثیر گذار روی این فرآیند تکرار می‌شود و سپس میانگین آن بعنوان جواب قابل قبول ارائه می‌گردد و طبق تعریف این کد، مقادیر با خطای زیر ۱۰ درصد خطای قابل قبول و خطای زیر ۵ درصد مطمئن تعریف می‌شود و همچنین با توجه به این نکته که از این کد در زمینه‌های بسیار زیادی استفاده شده است و نتایج بدست آمده از این کد با نتایج بدست آمده از تجربه همخوانی خوبی داشته است. لذا می‌توان به نتایج بدست آمده از این کد در این پژوهش که با خطای زیر ۵ درصد محاسبه شده است اطمینان داشت (Briesmeister, 2000).

کرده از ماده توزیع زاویه‌ای مقدار کمی دارد، یعنی تعداد ذرات بیشتری از ماده عبور می‌کند که بیشتر بودن شار عبوری از ماده را نشان می‌دهد. با افزایش مقدار توزیع زاویه‌ای از تعداد ذرات پس پراکنده شده که به آشکارساز می‌رسند، کاسته می‌شود؛ که نشان دهنده کاهش شار پس پراکنده ثبت شده در آشکارساز است. این اختلاف در شار عبوری و پس پراکنده باعث اختلاف در تابع پاسخ آشکارسازها شده و دلیل مقدار عددی تباین بیشتر در حفره دوم نسبت به بقیه حفره‌ها است.

۶- راستی آزمایی نتایج

جدول ۳: تالی F8 که نشان دهنده تابع پاسخ آشکارساز است در حفره اول

ردیف	درصد موجود در خاک	تابع پاسخ آشکارساز		تباین مربوط به آب	تباین مربوط به نفت
		آب	نفت خام		
1	0	8.9E-8±6.675E-9	8.9E-8±6.675E-9	0	0
2	20	1.68E-7±9.172E-9	1.775E-7±9.425E-9	-88.76404±0.175	-99.4382±0.183
3	40	2.655E-7±1.152E-8	2.84E-7±1.192E-8	-198.31461±0.258	-219.10112±0.274
4	60	4.185E-7±1.448E-8	4.305E-7±1.468E-8	-370.22472±0.388	-383.70787±0.398
5	80	7.035E-7±1.878E-8	8.02E-7±2.005E-8	-690.44944±0.629	-801.1236±0.712
6	100	1.1785E-6±2.427E-8	1.404E-6±2.653E-8	-1224.1573±1.029	-1477.52809±1.22

جدول ۴: تالی F8 که نشان دهنده تابع پاسخ آشکارساز است در حفره دوم

ردیف	درصد موجود در خاک	تابع پاسخ آشکارساز		تباین مربوط به آب	تباین مربوط به نفت
		آب	نفت خام		
1	0	6.025E-7±1.735E-8	6.025E-7±1.735E-8	0	0
2	20	1.264E-6±2.515E-8	1.2915E-6±2.544E-8	-109.79253±0.073	-114.35685±0.074
3	40	2.596E-6±3.608E-8	2.7405E-6±3.699E-8	-330.87137±0.137	-354.85477±0.144
4	60	5.83E-6±5.421E-8	6.274E-6±5.583E-8	-867.63485±0.292	-941.3278±0.313
5	80	1.3034E-5±8.081E-8	1.4688E-5±8.519E-8	-2063.3195±0.637	-2337.84232±0.716
6	100	2.9744E-5±1.219E-7	3.5461E-5±1.347E-7	-4836.76349±1.436	-5785.64315±1.709

جدول ۵: تالی F8 که نشان دهنده تابع پاسخ آشکارساز است در حفره سوم

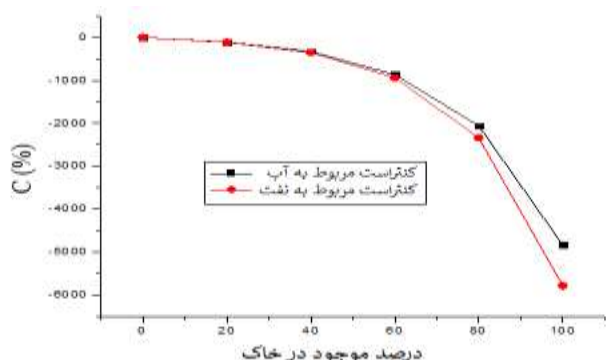
ردیف	درصد موجود در خاک	تابع پاسخ آشکارساز		تباین مربوط به آب	تباین مربوط به نفت
		آب	نفت خام		
1	0	1.8735E-6±3.053E-8	1.8735E-6±3.053E-8	0	0
2	20	3.022E-6±3.898E-8	3.08E-6±3.911E-8	-61.30238±0.033	-64.39819±0.033
3	40	5.016E-6±5.016E-8	5.1475E-6±5.096E-8	-167.73419±0.051	-174.75314±0.052
4	60	8.613E-6±6.545E-8	9.12E-6±6.748E-8	-359.72778±0.082	-386.78943±0.087
5	80	1.5016E-5±8.709E-8	1.6432E-5±9.037E-8	-701.49453±0.138	-777.07499±0.15
6	100	2.6441E-5±1.136E-7	3.1112E-5±1.244E-7	-1311.31572±0.237	-1560.63517±0.278

جدول ۶: تالی F8 که نشان دهنده تابع پاسخ آشکارساز است در حفره چهارم

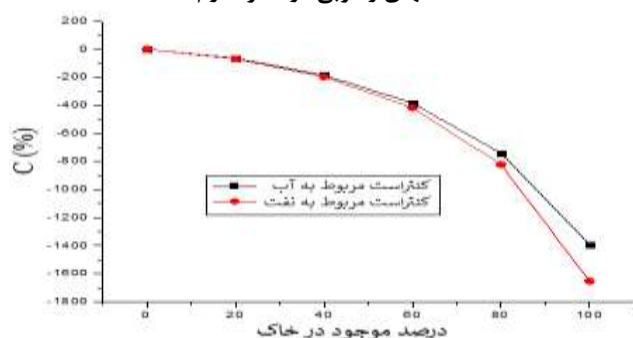
ردیف	درصد موجود در خاک	تابع پاسخ آشکارساز		تباين مربوط به آب	تباين مربوط به نفت
		آب	نفت خام		
1	0	$1.781E-6 \pm 2.99E-8$	$1.781E-6 \pm 2.99E-8$	0	0
2	20	$2.9505E-6 \pm 3.83E-8$	$3.0125E-6 \pm 3.88E-8$	-65.66536 ± 0.035	-69.14655 ± 0.035
3	40	$5.0805E-6 \pm 5.02E-8$	$5.295E-6 \pm 5.13E-8$	-185.26109 ± 0.055	-197.30488 ± 0.057
4	60	$8.6415E-6 \pm 6.56E-8$	$9.22E-6 \pm 6.82E-8$	-385.20494 ± 0.089	-417.68669 ± 0.095
5	80	$1.4993E-5 \pm 8.69E-8$	$1.6441E-5 \pm 9.04E-8$	-741.83043 ± 0.149	-823.13307 ± 0.163
6	100	$2.6585E-5 \pm 1.14E-7$	$3.1241E-5 \pm 1.24E-7$	-1392.70073 ± 0.258	-1654.1269 ± 0.302

جدول ۷: اختلاف نسبی بین نفت و آب در درصدهای مختلف موجود در خاک

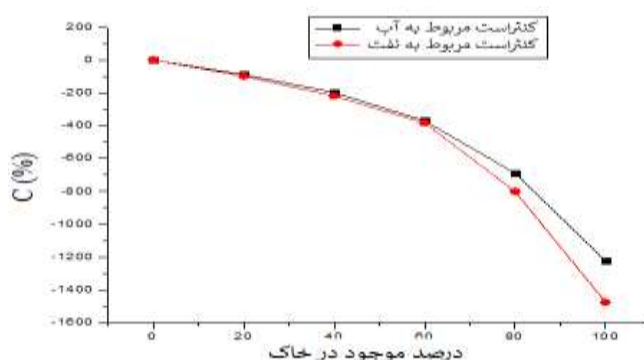
ردیف	درصد موجود در خاک	اختلاف نسبی نفت و آب به درصد			
		حفره اول	حفره دوم	حفره سوم	حفره چهارم
1	0	--	--	--	--
2	20	10.73446 ± 0.002	3.99129 ± 0.0008	4.80729 ± 0.0007	5.03451 ± 0.0007
3	40	9.48718 ± 0.001	6.75865 ± 0.0005	4.01649 ± 0.0004	6.10415 ± 0.0003
4	60	3.51391 ± 0.001	7.82862 ± 0.0004	6.99648 ± 0.0002	7.77658 ± 0.0002
5	80	13.81487 ± 0.001	11.74257 ± 0.0003	9.72628 ± 0.0002	9.87722 ± 0.0002
6	100	17.14829 ± 0.0009	16.40059 ± 0.0003	15.97551 ± 0.0002	15.80448 ± 0.0002



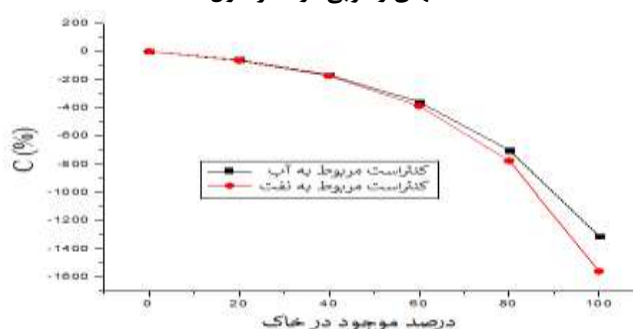
شکل ۵: تباين محاسبه شده بر حسب درصد نفت و يا آب موجود در سنگهای رسوبي در حفره دوم



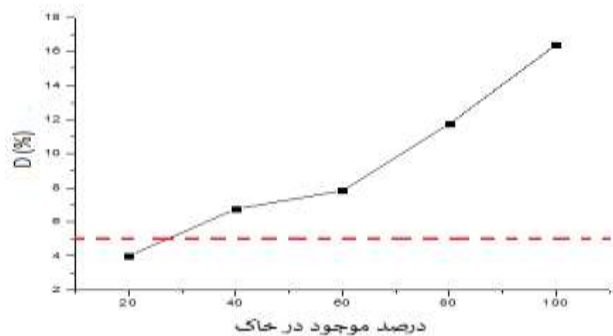
شکل ۷: تباين محاسبه شده بر حسب درصد نفت و يا آب موجود در سنگهای رسوبي در حفره چهارم



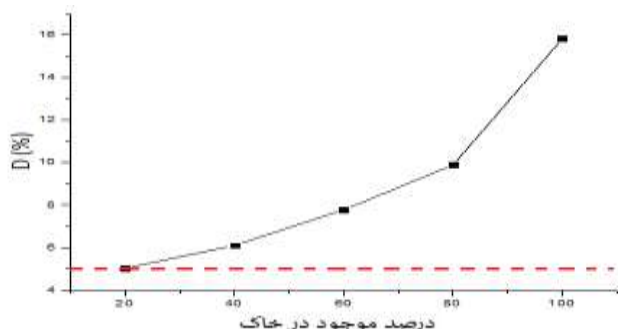
شکل ۴: تباين محاسبه شده بر حسب درصد نفت و يا آب موجود در سنگهای رسوبي در حفره اول



شکل ۶: تباين محاسبه شده بر حسب درصد نفت و يا آب موجود در سنگهای رسوبي در حفره سوم

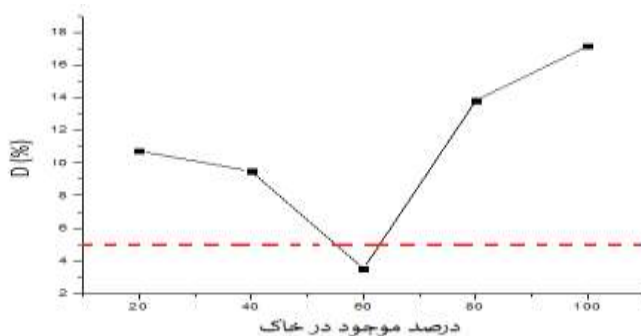


شکل ۹: اختلاف نسبی به درصد بین نفت و آب بر حسب درصدهای موجود در سنگهای رسوبی در حفره دوم

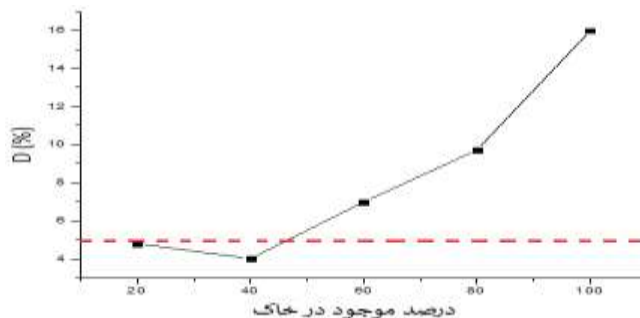


شکل ۱۱: اختلاف نسبی به درصد بین نفت و آب بر حسب درصدهای موجود در سنگهای رسوبی در حفره چهارم

پیدا کرده است. در تمامی حفره‌ها مقادیر تابع پاسخ آشکارساز برای آب مخلوط با سنگهای رسوبی کمتر از مقادیر تابع پاسخ آشکارساز برای نفت مخلوط با سنگهای رسوبی بدست آمده است. همچنین قدر مطلق مقدار عددی تباین مربوط به آب نیز مقدار کمتری نسبت به قدر مطلق مقدار عددی تباین مربوط به نفت داشته است. عامل این کوچکتر بودن را می‌توان بیشتر بودن چگالی آب از نفت خام دانست. بیشتر بودن چگالی آب نسبت به نفت خام باعث رسیدن کمتر پرتوهای گسیلی از چشمه به آشکارساز شده و در نتیجه تابع پاسخ آشکارساز مقدار کمتری نسبت به نفت خام بدست می‌آید. با توجه به نمودارهای ۴ تا ۷ مقدار تباین بدست آمده برای هر دو ماده آب و نفت با افزایش درصد آب یا نفت مخلوط با سنگهای رسوبی کاهش یافته است و اختلاف بین مقادیر مربوط به آب با مقادیر مربوط به نفت قابل مشاهده است؛ که این اختلاف با استفاده از کمیت D بصورت کامل‌تر بررسی شده و در جدول ۷ و شکل‌های ۸ تا ۱۱ نشان داده شده است. با توجه به جدول ۷، مقادیر بدست آمده برای کمیت D در حفره‌های اول و سوم در ۲۰ درصد ماده موجود در سنگهای رسوبی یک کاهش مقدار نامتعادل بدست آمده است؛ که باعث بوجود آمدن یک دره در نمودار مربوط به آنها (شکل‌های ۸ و ۱۰) شده است. دلیل بوجود آمدن این دره این است که با اضافه کردن نفت و آب به خاک مواد تشکیل دهنده بلوک تغییر کرده است، که این تغییر در مواد باعث تغییر در ضریب تضعیف جرمی و در نتیجه تباین محاسبه شده



شکل ۸: اختلاف نسبی به درصد بین نفت و آب بر حسب درصدهای موجود در سنگهای رسوبی در حفره اول



شکل ۱۰: اختلاف نسبی به درصد بین نفت و آب بر حسب درصدهای موجود در سنگهای رسوبی در حفره سوم

همان طور که در نمودارها مشخص است، خط $D=5$ منحنی مربوطه را در حفره اول در نقاط ۵۵ و ۶۵، برای حفره دوم در نقطه ۲۷، برای حفره سوم در نقطه ۴۵ و برای حفره چهارم در نقطه ۲۰ قطع می‌کند. لذا می‌توان گفت که به ترتیب برای حفره اول در درصدهای پایین‌تر از ۵۵ و بالاتر از ۶۵، برای حفره دوم در درصدهای بالاتر از ۲۷، برای حفره سوم در درصدهای بالاتر از ۴۵ و برای حفره چهارم در درصدهای بالاتر از ۲۰ مخازن نفت و آب از یکدیگر تفکیک پذیر هستند.

۷- بحث

از آنجا که در این اندازه‌گیری‌ها از هر دو روش گامای عبوری (حفره دوم) و گامای پس پراکنده (حفره‌های اول، سوم و چهارم) استفاده شده است می‌توان با استفاده از نتایج بدست آمده و مقایسه آنها به جواب‌های دقیق‌تری در مورد چگالی ماده استفاده شده و یا تباین بدست آمده، دست یافت. با توجه به جدول ۳ که مربوط به حفره‌ای است که چشمه در آن قرار گرفته است، مقدار عددی تابع پاسخ آشکارساز با افزایش درصد آب یا نفت مخلوط با سنگهای رسوبی، افزایش یافته است؛ این رفتار تابع پاسخ آشکارساز در بقیه حفره‌ها نیز مشاهده می‌شود، که مقادیر آن در جداول ۴ تا ۶ آمده است. قدر مطلق مقدار عددی تباین بدست آمده مربوط به آب و نفت نیز مانند مقدار عددی تابع پاسخ آشکارساز، در تمامی حفره‌ها با افزایش درصد آب یا نفت مخلوط با سنگهای رسوبی افزایش

خدابخش، ر.، علیزاده، ز.، محمدی، م.، ۱۳۹۴، بررسی اثرات ذرات بتا بر سلول های سرطانی رده K562، کنفرانس هسته ای ایران، دوره ۲۲.

رحمانی زاده، ف.، شیرمردی، پ.، ۱۳۹۵، بررسی تغییر شار فوتونی گذرنده ناشی از چشمه های گاما از بتن های مختلف با استفاده از کد شبیه سازی MCNP، همایش ملی مهندسی قدرت و نیروگاه های هسته ای، دوره ۱.

سولفانی دیس، ن.، ۱۳۷۱، اندازه گیری و آشکار سازی تابش های هسته ای، مشهد، انتشارات دانشگاه مشهد شماره ۶۲۴.

غلامی، ف.، علی بیگی، ا.، شمسایی، م.، قاسمی، م.، ۱۳۹۴، ارزیابی حفاظ بیمارستان شریعتی به روش محاسباتی و مقایسه نتایج با کد MCNPX، کنفرانس هسته ای ایران، شماره ۲۲.

کاسه ساز، ی.، حسن زاده، م.، ۱۳۹۴، آموزش کد MCNPX، مرکز آموزش و توسعه کدهای محاسباتی.

Abro, E., Johansen, G.A., and Opedal, H., 1999, A radiation transport model as a design tool for gamma Densitometers, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A 431, 347-355.

Allen, K. S., Hartford, S. K., Merkel, G. J., 2018, Feasibility Study of a Micro Modular Reactor for Military Ground Applications, Journal of Defense Management, vol. 8, issue 1.

Anderson, C., McKinne, G., Tutt, J., James, M., 2017, Delta-ray Production in MCNP 6.2.0, Physics Procedia, vol. 90, 229-236.

Barataud, F., Moyne, C., Stemmelen, D., 1999, Measurement of soil water diffusivity of an undisturbed forest soil using dual-energy gamma radiation technique, Soil Science j. 164(7):493-502.

Bertuzzi, P., Bruckler, L., Gabilly, Y., and More, 1987, Calibration, field-testing, and error analysis of a gamma-ray probe for in situ measurement of dry bulk density, Soil Science j. 144(6):425-436.

Blake, GM. and Fogelman, I., 1997, Technical principles of dual energy x-ray absorptiometry, Semin. Nucl. Med. 27,210-228.

Briesmeister, J. F., 2000, MCNPTM-A General Monte Carlo N-Particle Transport Code, Version 5.

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.

Cheng, Z., Paltseva, A., Li, I., and More, 2015, Trace Metal Contamination in New York City Garden Soils, Soil

می شود. این تغییر در تباین در تمامی ۲۰، ۴۰، ۶۰ و ۸۰ درصد آب یا نفت مخلوط با سنگهای رسوبی تاثیر گذاشته ولی در ۲۰ درصد ماده موجود در خاک این تاثیر بطور واضح تری خود را نشان داده و باعث ایجاد دره شده است. این دره در حفره اول مشخص تر از حفره سوم می باشد که می توان گفت با زاویه پراکندگی متناسب است (مقدار این زاویه برای حفره اول ۱۸۰ درجه، برای حفره دوم صفر درجه و برای حفره های سوم و چهارم ۹۰ درجه است)، یعنی هر چه زاویه پراکندگی بیشتر باشد این دره در نمودار واضح تر دیده می شود؛ اما در حفره دوم و چهارم نمودار D یک نمودار کاملاً صعودی است و هیچ دره ای در آن بوجود نیامده است. همانطور که از مقادیر محاسبه شده مشخص است تباین بدست آمده از حفره دوم (حفره ای که روبه روی چشمه است) از بقیه تباین ها بیشتر می باشد؛ که می توان گفت از لحاظ موقعیت دارای جایگاه بهتری نسبت به بقیه حفره ها می باشد. البته با استفاده از کمیت D مشخص است که در حفره اول نفت و آب را می توان در تمامی درصدها به جز درصدهای بین ۵۵ تا ۶۵ درصد موجود در خاک از همدیگر تفکیک نمود. لذا باید گفت بهترین حفره از لحاظ موقعیت حفره اول می باشد.

۸- نتیجه گیری

هدف این پژوهش بررسی موقعیت مکانی چشمه گاما-آشکار ساز- حفره و پیدا کردن موقعیت بهینه این مجموعه به منظور کشف مخازن نفتی می باشد که با استفاده از نتایج بدست آمده توسط شبیه سازی های انجام شده، مقدار کمیت تباین مربوط به حفره دوم (حفره ای که روبه روی چشمه است) از بقیه تباین ها دارای مقدار بیشتری است و می توان گفت از لحاظ موقعیت دارای جایگاه بهتری نسبت به بقیه حفره ها می باشد. اما با توجه به کمیت D حفره اول نسبت به بقیه حفره ها برتری دارد زیرا در آن می توان مواد با درصدهای پایین موجود در خاک را از یکدیگر تفکیک نمود.

۹- منابع

توکلی عنبران، ح.، رضایی فرد، س.، ۱۳۹۹، کشف مخازن نفتی با استفاده از فعال سازی مواد به وسیله پرتوهای گاما به روش مونت کارلو، پژوهش های ژئوفیزیک کاربردی، دوره ۶، شماره ۱، ۹۱-۱۰۳.

توکلی عنبران، ح.، علویان، ه.، ایزدی، ر.، سمیع، ع.، ۱۳۹۱، بکارگیری پرتوهای گاما در کشف مینه های زمینی باقیمانده از جنگ تحمیلی در خاک ایران با استفاده از روش مونت کارلو، نوزدهمین کنفرانس هسته ای ایران، دوره ۱۹، ۹۵۳-۹۵۸.

جاویدی، ح.، رحیمی، ا.، علیزاده، م.، عباسی، ک.، ۱۳۹۵، محاسبه آهنگ دوز پرتوها در تراز اصلی نیروگاه اتمی بوشهر در زمان سوخت گذاری، در انتهای چیدمان اول سوخت، همایش ملی مهندسی قدرت و نیروگاه های هسته ای، دوره ۱.

- Vasiliev, M.A. and Others, 2011, a New Natural Gamma Radiation Measurement System for Marine Sediment and Rock Analysis, *J. Appl. Geophys.* 75.
- Vaz, C. M. P., de Mendonça, N. J., Macedo, Á., 1999, Soil particle size fractions determined by gamma-ray attenuation, *Soil Science j.* 164(6):403-410.
- Wenk, H. R. and Bulakh, A. G., 2004, *Minerals: their constitution and origin*, Cambridge University Press, p. 359.
- Yoriyaz, H., Stabin, M. G., Santos, A., 2000, Monte Carlo MCNP-4B-Based Absorbed Dose Distribution Estimates for Patient-Specific Dosimetry, *The Journal of Nuclear Medicine*, vol. 42, no. 4.
- Zhang, X., Xie, X., Cheng, J., Ning, J., Yuan, Y., Pan, J., Yang, G., 2011, Organ dose conversion coefficients based on a voxel mouse model and MCNP code for external photon irradiation, *Radiation Protection Dosimetry*, Volume 148, Issue 1, Pages 9–19.
- Science j. 180(4/5):167-174.
- De Swart, J. G. and Groenevelt, P. H., 1971, Column scanning with 60 kev gamma radiation, *Soil Science j.* 112(6):419-424.
- Evans, 1955, *The Atomic Nucleus*, McGraw-Hill Book Co., New York.
- Guimarães, M. F., Filho, V. F., Nascimento, Ritchie, J., 2003, Application of cesium-137 in a study of soil erosion and deposition in southeastern Brazil, *Soil Science j.* 168(1):45-53.
- Knoll, 1979, *Radiation Detection and Measurement*, John Wiley & Sons, New York.
- Lixia, L., Amitava, R., Kirk, K., and More, 2013, Retention of Nickel in Soils: Sorption-Desorption and Extended X-ray Absorption Fine Structure Experiments, *Soil Science j.* 178(5):215-221.
- MacIntyre, A. and Leleand, J., 1970, Soil density measurement by transmitted gamma radiation, *The University of Arizona*.
- Rasouli, A. and Tavakoli-Anbaran, H., 2017, Study of relation between the gamma flux buildup factors and source geometry by M-C simulation, *Nuclear Science and Techniques*, 28:136.
- Rawls, W. J. and Brooks, R. H., 1975, Gamma probe dry bulk densities, *Soil Science j.* 120(1):68-70.
- Reynaert, N., Palmans, H., Thierens, H., Jeraj, R., 2002, Parameter dependence of the MCNP electron transport in determining dose distributions, the international Journal of medical physics research and practice, vol. 29, issue 10.
- Sadiq, M. and Lindsay W. L., 1988, the solubility product of soil maghemite, *Soil Science j.* 146(1):1-5.
- Sanguini, S. C., Pereira, S. G., Magela, C. G., and More, 2006, Identification and characterization of magnetite in ceramic artifacts and archaeological black earth of amazon region, *Soil Science j.* 171(1):59-64.
- Tanimoto, T., 1995, *Crustal Structure of the Earth*, American Geophysical Union.
- Tavakoli-Anbaran, H., Ahmadi, O. L., 2020, Monte Carlo Investigation on Neutron Dosimetry Parameters of ²⁵²Cf Isotron Brachytherapy Source, *Sains Malaysiana Journal*, vol. 49, Issue 3.
- Tavakoli-Anbaran, H., Miri-Hakimabad, H., and Izadi-Najafabadi, R., 2009, The Effect of Detector Dimensions on the NaI (Tl) Detector Response Function, *Journal of Applied Sciences*, Volume: 9, Issue: 11, 2168 – 2173.

۹- ضمیمه

پرتوهای گسیلی از چشمه، اندرکنش تولید زوج انجام نمی‌شود. باید به این نکته اشاره کرد که تعداد پرتوهای شبیه‌سازی شده در هر شبیه‌سازی می‌تواند متفاوت باشد؛ که در هر کدام از شبیه‌سازی‌های انجام شده در این پژوهش این مقدار برابر با ۲ میلیارد پرتو بوده است.

فلوچارتی که در ادامه مشاهده می‌کنید، نحوه عملکرد کد MCNP متناسب با موضوع این مقاله برای پرتوهای گسیل شده از چشمه می‌باشد؛ با این تفاوت که در این مقاله با توجه به پایین بودن انرژی

