

الْحَمْدُ لِلَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشکده پردیس خوارزمی

رساله دکتری رشته فیزیک گرایش هسته‌ای

امکان سنجی استفاده از پس پراکندگی پرتوهای گاما به منظور

طراحی سیستم کشف مخازن نفت به روش مونت کارلو

نگارنده: سعید رضایی فرد

استاد راهنما:

دکتر حسین توکلی عنبران

بهمن ۱۳۹۹

تهدنامه

اینجانب سعید رضایی فرد دانشجوی دوره دکتری رشته فیزیک هسته‌ای دانشکده مجازی دانشگاه صنعتی

شاهرود نویسنده پایان‌نامه امکان‌سنجی استفاده از پس پراکندگی پرتوهای گاما به منظور طراحی

سیستم کشف معادن نفت به روش مونت کارلو تحت راهنمایی دکتر حسین توکلی عنبران متعهد می‌شوم.

- تحقیقات در این پایان‌نامه توسط اینجانب انجام شده است و از صحت و اصالت برخوردار است.
- در استفاده از نتایج پژوهشهای محققان دیگر به مرجع مورد استفاده استناد شده است.
- مطالب مندرج در پایان‌نامه تاکنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ جا ارائه نشده است.
- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می‌باشد و مقالات مستخرج با نام « دانشگاه صنعتی شاهرود » و یا « Shahrood University of Technology » به چاپ خواهد رسید.
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی پایان‌نامه تأثیرگذار بوده اند در مقالات مستخرج از پایان‌نامه رعایت می‌گردد.
- در کلیه مراحل انجام این پایان‌نامه، در مواردی که از موجود زنده (یا بافتهای آنها) استفاده شده است ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است.
- در کلیه مراحل انجام این پایان‌نامه، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده است اصل رازداری، ضوابط و اصول اخلاق انسانی رعایت شده است.

تاریخ

امضای دانشجو

مالکیت نتایج و حق نشر

کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج، کتاب، برنامه‌های رایانه‌ای، نرم افزارها و تجهیزات ساخته شده است) متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می‌باشد. این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود. استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان‌نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی‌باشد.

چکیده

در سال‌های اخیر استفاده از پرتوهای گاما در صنایع مختلف رونق بسیار زیادی داشته است. از جمله چگالی سنجی استخوان و عکس برداری در پزشکی، کشف مواد منفجره در صنایع نظامی، بررسی استحکام بتون در سد سازی و موارد بیشمار دیگر.

در سال ۱۹۳۹ از آشکارسازی پرتو گامای طبیعی، که تابش گامای حاصل از عناصر رادیواکتیو مثل اورانیوم، توریم و پتاسیم موجود در سنگ را آشکار میکند، در مطالعات استفاده شد. پس از آن در سال ۱۹۵۳ میلادی، نگار گاما-گاما جهت اندازه گیری پرتوی گامای پراکنده شده از چشمه‌های مصنوعی مورد استفاده قرار گرفت.

در این پژوهش ما به بررسی امکان کشف معادن نفتی با استفاده از چگالی سنجی به کمک پرتوهای گاما می‌پردازیم. برای این منظور با استفاده از شبیه سازی‌های مختلف لایه‌های کره زمین و معادن نفتی، به تجزیه و تحلیل مقادیر بدست آمده پرداخته تا در صورت امکان روش جدیدی را برای کشف معادن نفتی معرفی کنیم.

در این پژوهش شبیه سازی‌های بدست آمده با استفاده از کد MCNP انجام شده است. این شبیه سازی‌ها برای سه نوع ماده مختلف آب شور، گاز و نفت خام انجام شده است و با حالتی که هیچ ماده‌ای به جز سنگ‌های رسوبی موجود نیست مقایسه می‌گردد. این شبیه سازی‌ها در پنج مرحله متفاوت انجام گرفته است که نتایج آنها به ترتیب بیان می‌شود. در ابتدا با استفاده از کد MCNP قسمتی از کره زمین را شبیه سازی کرده‌ایم که بدست آمدن عمق نفوذ پرتوهای گاما برای پنج چشمه گسیل کننده از نتایج این شبیه سازی‌هاست.

در ادامه به منظور پیدا کردن موقعیت مکانی بهینه چاه حفر شده بر کیفیت کشف معادن نفتی با استفاده از کد MCNP یک بلوکه متشکل از سنگ‌های رسوبی به همراه چهار حفره درون آن شبیه

سازی نموده‌ایم که در هر کدام از این حفره‌ها یک آشکارساز قرار داده شده است. نتایج بدست آمده از این شبیه سازی‌ها نشان دهنده آن است که موقعیت مکانی بهینه، مکانی روبه‌روی چشمه است و استفاده از گاما‌های عبوری دارای مقدار خطای کمتری نسبت به استفاده از گاما‌های پس پراکنده است.

سپس برای کشف معادن نفتی با استفاده از کد MCNP یک بلوکه با یک حفره در آن را شبیه سازی کرده‌ایم که در این شبیه سازی‌ها سه حالت مختلف اعمال شد. حالت اول مربوط به چشمه بدون وجود هیچ اختلالی، حالت دوم مربوط به اختلال بوجود آمده توسط ایزوتوپ‌های موجود در طبیعت و حالت سوم مربوط به چشمه با وجود اختلال بوجود آمده توسط ایزوتوپ‌های موجود در طبیعت که برای حذف اختلال ناشی از چشمه‌های موجود در طبیعت، افزایش اکتیویته چشمه در شبیه سازی‌ها اعمال شده است. نتایج حاصل از این شبیه سازی‌ها نشان دهنده امکان کشف معادن نفتی با استفاده از پرتوهای گاما است و مقدار اکتیویته لازم برای حذف اختلال ناشی از چشمه‌های موجود در طبیعت نیز بدست آمده است.

در آخر با استفاده از تحلیل به روش فعالسازی گاما شبیه سازی‌هایی به منظور کشف معادن نفتی انجام شد که نتایج خوبی از آن شبیه سازی‌ها به منظور کشف معادن نفتی بدست آمد. مزیت استفاده از این روش آن است که بدلیل آنکه حداقل انرژی لازم برای انجام اندرکنش کربن 18.7 MeV است نیازی به بررسی چشمه‌های موجود در طبیعت نمی‌باشد، زیرا بیشترین انرژی ساطع شده توسط آنها کمتر از 18.7 است، بنابراین چشمه‌های موجود در طبیعت هیچ گونه اختلالی در این اندازه‌گیری‌ها ایجاد نمی‌کنند.

کلمات کلیدی: پرتوهای گاما، مخازن نفت، روش مونت کارلو

لیست مقالات مستخرج از رساله دکتری

۱- رضایی فرد، س. و توکلی عنبران، ح. (۱۳۹۹) "کشف مخازن نفتی با استفاده از فعالسازی مواد به وسیله پرتوهای گاما به روش مونت کارلو" پژوهش‌های ژئوفیزیک کاربردی، دوره ۶، شماره ۱، ۹۱-۱۰۳.

۲- رضایی فرد، س. و توکلی عنبران، ح. (۱۳۹۹) "موقعیت مکانی چشمه گاما-آشکارساز- حفره حفر شده بر کیفیت کشف مخازن نفتی به روش مونت کارلو" پژوهش‌های ژئوفیزیک کاربردی.

۳- رضایی فرد، س. و توکلی عنبران، ح. (۱۳۹۸) "امکان سنجی تفکیک مخازن نفت، گاز و آب با استفاده از پس پراکندگی پرتوهای گاما چشمه Cs137 به روش مونت کارلو" کنفرانس فیزیک ایران، ۲۱-۱۸.

۴- رضایی فرد، س. و توکلی عنبران، ح. (۱۳۹۹) "مقایسه شار عبوری و پس پراکنده پرتوهای گاما چشمه Cs137 در سنگ‌های رسوبی به منظور تشخیص نسبت کربن به آهن و اکسیژن به آهن به روش مونت کارلو" کنفرانس فیزیک ایران، ۲۵-۲۲.

5- Rezaei Fard S. and Tavakoli Anbaran H. (2020) "Investigation of the interaction of gamma rays with soil and sedimentary rocks to discover oil mines using the Monte Carlo method" (در حال تدوین)

۶- رضایی فرد، س. و توکلی عنبران، ح. (۱۳۹۹) "کشف مخازن نفتی با استفاده از پس پراکندگی پرتوهای گاما به روش مونت کارلو" پژوهش‌های ژئوفیزیک کاربردی. (در حال داوری)

۷- رضایی فرد، س. و توکلی عنبران، ح. (۱۳۹۹) "کاهش اختلال ایزوتوپ های گاما دهنده طبیعی موجود در خاک به منظور کشف مخازن نفتی با استفاده از پس پراکندگی پرتوهای گامای چشمه Cs137" پژوهش های نوین فیزیک. (در حال داوری)

فهرست مطالب

ج فهرست جداول

ه فهرست اشکال

۱ فصل ۱: پرتوهای گاما، آشکارسازی و عوامل موثر بر آن

۲ ۱-۱ مقدمه

۳ ۲-۱ برهم کنش های پرتو گاما با مواد

۳ ۱-۲-۱ اثر فوتوالکتریک

۴ ۲-۲-۱ پدیده تولید زوج

۵ ۳-۲-۱ پدیده کامپتون

۶ ۳-۱ ضریب جذب فوتون

۱۳ ۴-۱ ضریب انباشت

۱۶ ۵-۱ تحلیل به روش فعالسازی

۱۹ ۶-۱ آشکارسازها

۲۵ فصل ۲: ساختار و سازه زمین و آشنایی با روش مونت کارلو

۲۶ ۱-۲ ساختار و سازه زمین

۲۸ ۱-۱-۲ مواد تشکیل دهنده کره زمین

۲۹ ۲-۱-۲ انواع سنگ ها

۳۱ ۲-۲ آشنایی با روش مونت کارلو

۳۷ فصل ۳: فیزیک چگالی سنجی با استفاده از پرتوهای گاما و کاربرد آن در کشف معادن

۳۸ ۱-۳ تاریخچه استفاده از پرتوهای گاما

۳۹ ۱-۱-۳ تاریخچه استفاده از پرتوهای گاما روی خاک

۴۲	۳-۱-۲ تاریخچه تحلیل با روش فعالسازی
۴۳	۳-۲ روش‌های اندازه گیری
۴۳	۳-۲-۱ هر دو طرف ماده در دسترس باشد
۴۴	۳-۱-۲ فقط یک طرف ماده در دسترس باشد
۴۶	۳-۳ معرفی کمیت کنتراست
۴۹	فصل ۴: انجام شبیه سازی و بررسی نتایج بدست آمده
۵۰	۴-۱ عمق نفوذ مفید پرتوهای گاما در خاک و سنگ‌های رسوبی
۵۳	۴-۲ موقعیت مکانی بهینه
۵۶	۴-۲-۱ اختلاف نسبی بین معادن نفت و آب در درصد‌های مختلف موجود در خاک
	۴-۳ امکان سنجی کشف معادن نفتی و بررسی اختلال بوجود آمده توسط رادیوایزوتوپ‌های طبیعی موجود در زمین
۵۸	
۶۲	۴-۳-۱ بررسی نتایج حاصل از پرتوهای گسیلی مربوط به چشمه ^{137}Cs
۶۴	۴-۳-۲ بررسی نتایج حاصل از پرتوهای گسیلی مربوط به ایزوتوپ‌های موجود در طبیعت
	۴-۳-۳ بررسی نتایج حاصل از پرتوهای گسیلی مربوط به ایزوتوپ‌های موجود در طبیعت و چشمه ^{137}Cs با اکتیویته برابر با هم
۶۶	
	۴-۳-۴ بررسی نتایج حاصل از پرتوهای گسیلی مربوط به چشمه ^{137}Cs با اکتیویته چند برابر نسبت به ایزوتوپ‌های موجود در طبیعت
۶۸	
۷۵	۴-۴ امکان سنجی کشف معادن نفتی با استفاده از تحلیل به روش فعالسازی
۷۶	۴-۴-۱ بررسی نتایج حاصل از پرتوهای گامای بدست آمده از فعالسازی با پرتوهای گاما
۸۶	۴-۴-۲ بررسی نتایج حاصل از نوترون‌های تولید شده از فعالسازی با پرتوهای گاما
۸۹	۴-۵ خطای بدست آمده در شبیه سازی‌ها
۸۹	نتیجه گیری
۹۱	مراجع

فهرست جداول

جدول شماره ۱-۱) سطح مقطع فوتوالکتریک بر حسب انرژی برای چند ماده مختلف	۸
جدول شماره ۲-۱) اندرکنش عناصر با پرتوهای گاما در فعالسازی فوتونی و نیمه عمر آنها	۱۸
جدول شماره ۱-۲) اکسیدهای سازنده پوسته زمین	۲۸
جدول شماره ۲-۲) ضخامت و چگالی صفحه‌های کره زمین	۲۹
جدول شماره ۳-۲) میانگین عناصر موجود در خاک	۳۰
جدول شماره ۴-۲) میانگین عناصر موجود در سنگ‌های رسوبی پوسته زمین	۳۰
جدول شماره ۵-۲) عناصر موجود در نفت خام	۳۱
جدول شماره ۶-۲) عناصر تشکیل دهنده گاز طبیعی	۳۱
جدول شماره ۱-۴) عناصر موجود در هوا	۵۱
جدول شماره ۲-۴) عناصر موجود در آب شور	۵۱
جدول شماره ۳-۴) انرژی پرتوی فرودی بر حسب بیشینه عمق تغییرات قابل مشاهده کنتراست	۵۲
جدول شماره ۴-۴) کنتراست بدست آمده مربوط به چشمه‌های Cs^{137} , Co^{60} , 10 MeV, 50 MeV, 100 MeV	۵۲
جدول شماره ۵-۴) تالی F8 در چاه اول	۵۵
جدول شماره ۶-۴) تالی F8 در چاه دوم	۵۵
جدول شماره ۷-۴) تالی F8 در چاه سوم	۵۵
جدول شماره ۸-۴) تالی F8 در چاه چهارم	۵۵
جدول شماره ۹-۴) اختلاف نسبی بین معادن نفت و آب در درصد‌های مختلف موجود در خاک	۵۷
جدول شماره ۱۰-۴) مقدار اکتیویته ویژه چشمه Cs^{137} استفاده شده در شبیه‌سازی‌ها	۶۱
جدول شماره ۱۱-۴) نتایج حالت اول (فقط چشمه Cs^{137} در شبیه‌سازی‌ها وجود دارد و از خود پرتو ساطع می‌کند)	۶۳
جدول شماره ۱۲-۴) نتایج حالت دوم (فقط ایزوتوپ‌های موجود در طبیعت (U^{238} , Th^{232} , K^{40}) در شبیه‌سازی‌ها به عنوان چشمه زمینه وجود دارند و از خود پرتو ساطع می‌کنند)	۶۵
جدول شماره ۱۳-۴) اکتیویته چشمه سزیم برابر با اکتیویته ایزوتوپ‌های موجود در طبیعت که به عنوان تابش زمینه بکار رفته‌اند	۶۷
جدول شماره ۱۴-۴) اکتیویته چشمه سزیم دو برابر اکتیویته ایزوتوپ‌های موجود در طبیعت که به عنوان تابش زمینه بکار رفته‌اند	۶۹
جدول شماره ۱۵-۴) اکتیویته چشمه سزیم چهار برابر اکتیویته ایزوتوپ‌های موجود در طبیعت که به عنوان تابش زمینه بکار رفته‌اند	۶۹

جدول شماره ۴-۱۶) اکتیویته چشمه سزیم هشت برابر اکتیویته ایزوتوپ‌های موجود در طبیعت که به عنوان تابش زمینه بکار رفته‌اند.....	۶۹
جدول شماره ۴-۱۷) اکتیویته چشمه سزیم شانزده برابر اکتیویته ایزوتوپ‌های موجود در طبیعت که به عنوان تابش زمینه بکار رفته‌اند.....	۷۰
جدول شماره ۴-۱۸) اکتیویته چشمه سزیم دویست و پنجاه و شش برابر اکتیویته ایزوتوپ‌های موجود در طبیعت که به عنوان تابش زمینه بکار رفته‌اند.....	۷۰
جدول شماره ۴-۱۹) اکتیویته چشمه سزیم هزار و بیست و چهار برابر اکتیویته ایزوتوپ‌های موجود در طبیعت که به عنوان تابش زمینه بکار رفته‌اند.....	۷۰
جدول شماره ۴-۲۰) اکتیویته چشمه سزیم شانزده هزار و سیصد و هشتاد و چهار برابر اکتیویته ایزوتوپ‌های موجود در طبیعت که به عنوان تابش زمینه بکار رفته‌اند.....	۷۱
جدول شماره ۴-۲۱) شار ثبت شده در انرژی ۵۱۱ کیلو الکترون ولت مربوط به تالی F8 برای حالت اول.....	۷۹
جدول شماره ۴-۲۲) شار ثبت شده در انرژی ۱۰۰ کیلو الکترون ولت مربوط به تالی F8 برای حالت اول.....	۷۹
جدول شماره ۴-۲۳) شار ثبت شده برای پهنای انرژی صفر تا 24 MeV مربوط به تالی F8 برای حالت اول.....	۷۹
جدول شماره ۴-۲۴) شار ثبت شده در انرژی ۵۱۱ کیلو الکترون ولت مربوط به تالی F8 برای حالت دوم.....	۸۰
جدول شماره ۴-۲۵) شار ثبت شده در انرژی ۵۰ کیلو الکترون ولت مربوط به تالی F8 برای حالت دوم.....	۸۰
جدول شماره ۴-۲۶) شار ثبت شده برای پهنای انرژی صفر تا 24 MeV مربوط به تالی F8 برای حالت دوم.....	۸۰
جدول شماره ۴-۲۷) شار ثبت شده در انرژی ۵۱۱ کیلو الکترون ولت مربوط به تالی F8 برای حالت سوم.....	۸۱
جدول شماره ۴-۲۸) شار ثبت شده در انرژی ۵۰ کیلو الکترون ولت مربوط به تالی F8 برای حالت سوم.....	۸۱
جدول شماره ۴-۲۹) شار ثبت شده برای پهنای انرژی صفر تا 24 MeV مربوط به تالی F8 برای حالت سوم.....	۸۱
جدول شماره ۴-۳۰) شار ثبت شده برای نوترون‌های تولید شده مربوط به تالی F4.....	۸۸

فهرست اشکال

- شکل شماره ۱-۱) اثر فوتوالکتریک ۴
- شکل شماره ۲-۱) پدیده تولید زوج ۵
- شکل شماره ۳-۱) پدیده کامپتون ۶
- شکل شماره ۴-۱) سطح مقطع تولید زوج بر حسب انرژی برای آلومینیوم ۹
- شکل شماره ۵-۱) سطح مقطع کامپتون بر حسب انرژی برای اتم هیدروژن ۱۰
- شکل شماره ۶-۱) نمودار ضریب تضعیف بر حسب انرژی برای هوا ۱۱
- شکل شماره ۷-۱) اهمیت نسبی سه برهم‌کنش اصلی گاما ۱۱
- شکل شماره ۸-۱) تغییرات ضریب تضعیف جرمی بر حسب مکان ماده بین چشمه و آشکارساز ۱۲
- شکل شماره ۹-۱) هندسه آزمایش ۱۳
- شکل شماره ۱۰-۱) تغییرات ضریب انباشت جذب انرژی بر حسب انرژی فوتون فرودی برای مواد مختلف در دو عمق نفوذ متفاوت ۱۶
- شکل شماره ۱۱-۱) شمارش بر حسب انرژی بدست آمده با دو آشکارساز NaI و HPGe ۲۱
- شکل شماره ۱-۲) نمایی از تقسیم بندی صفحه‌های کره زمین ۲۷
- شکل شماره ۱-۳) راستهای برخورد و پس پراکنده شدن فوتون در ماده ۴۵
- شکل شماره ۱-۴) شکل استفاده شده در شبیه سازی‌ها ۵۰
- شکل شماره ۲-۴) نمودار انرژی پرتوی فرودی بر حسب بیشینه عمق تغییرات قابل مشاهده کنتراست ۵۲
- شکل شماره ۳-۴) نحوه قرار گرفتن حفره‌ها، آشکارسازها و چشمه در شبیه سازی‌ها ۵۴
- شکل شماره ۴-۴) کنتراست محاسبه شده بر حسب درصد نفت و یا آب موجود در سنگ‌های رسوبی در چاه اول ۵۶
- شکل شماره ۵-۴) کنتراست محاسبه شده بر حسب درصد نفت و یا آب موجود در سنگ‌های رسوبی در چاه دوم ۵۶
- شکل شماره ۶-۴) کنتراست محاسبه شده بر حسب درصد نفت و یا آب موجود در سنگ‌های رسوبی در چاه سوم ۵۶
- شکل شماره ۷-۴) کنتراست محاسبه شده بر حسب درصد نفت و یا آب موجود در سنگ‌های رسوبی در چاه چهارم ۵۶
- شکل شماره ۸-۴) اختلاف نسبی به درصد بین معادن نفت و آب بر حسب درصدهای موجود در سنگ‌های رسوبی در چاه اول ۵۷
- شکل شماره ۹-۴) اختلاف نسبی به درصد بین معادن نفت و آب بر حسب درصدهای موجود در سنگ‌های رسوبی در چاه دوم ۵۷

شکل شماره ۴-۱۰) اختلاف نسبی به درصد بین معادن نفت و آب بر حسب درصدهای موجود در	۵۷
سنگ‌های رسوبی در چاه سوم	
شکل شماره ۴-۱۱) اختلاف نسبی به درصد بین معادن نفت و آب بر حسب درصدهای موجود در	۵۷
سنگ‌های رسوبی در چاه چهارم	
شکل شماره ۴-۱۲) نحوه قرار گرفتن حفره، آشکارساز و چشمه در شبیه سازی‌ها	۶۰
شکل شماره ۴-۱۳) نمودار کنتراست بر حسب درصد عناصر ترکیب شده با سنگ‌های رسوبی برای	۶۳
حالت اول	
شکل شماره ۴-۱۴) نمودار کمیت D بر حسب درصد عناصر ترکیب شده با سنگ‌های رسوبی برای	۶۳
حالت اول	
شکل شماره ۴-۱۵) نمودار کنتراست بر حسب نسبت درصد اکسیژن یا کربن به درصد آهن موجود در	۶۳
سنگ‌های رسوبی برای حالت اول	
شکل شماره ۴-۱۶) نمودار کنتراست بر حسب درصد عناصر ترکیب شده با سنگ‌های رسوبی برای	۶۵
حالت دوم	
شکل شماره ۴-۱۷) نمودار کمیت D بر حسب درصد عناصر ترکیب شده با سنگ‌های رسوبی برای	۶۵
حالت دوم	
شکل شماره ۴-۱۸) نمودار کنتراست بر حسب نسبت درصد اکسیژن یا کربن به درصد آهن موجود در	۶۵
سنگ‌های رسوبی برای حالت دوم	
شکل شماره ۴-۱۹) نمودار کنتراست بر حسب درصد عناصر ترکیب شده با سنگ‌های رسوبی برای	۶۷
حالت سوم	
شکل شماره ۴-۲۰) نمودار کمیت D بر حسب درصد عناصر ترکیب شده با سنگ‌های رسوبی برای	۶۷
حالت سوم	
شکل شماره ۴-۲۱) نمودار کنتراست بر حسب نسبت درصد اکسیژن یا کربن به درصد آهن موجود در	۶۷
سنگ‌های رسوبی برای حالت سوم	
شکل شماره ۴-۲۲) نمودار کنتراست بر حسب نسبت درصد اکسیژن به درصد آهن موجود در	۷۲
سنگ‌های رسوبی	
شکل شماره ۴-۲۳) نمودار کنتراست بر حسب درصد عناصر ترکیب شده با سنگ‌های رسوبی	۷۲
شکل شماره ۴-۲۴) نمودار کنتراست بر حسب نسبت درصد کربن به درصد آهن موجود در سنگ‌های	۷۲
رسوبی	
شکل شماره ۴-۲۵) نمودار کنتراست بر حسب درصد عناصر ترکیب شده با سنگ‌های رسوبی	۷۲
شکل شماره ۴-۲۶) نمودار کنتراست بر حسب نسبت درصد کربن به درصد آهن موجود در سنگ‌های	۷۲
رسوبی	
شکل شماره ۴-۲۷) نمودار کنتراست بر حسب درصد عناصر ترکیب شده با سنگ‌های رسوبی	۷۲
شکل شماره ۴-۲۸) نحوه قرار گرفتن حفره، آشکارساز و چشمه در شبیه سازی‌ها	۷۵

شکل شماره ۴-۲۹) نمودار شار ذرات شمارش شده در آشکارساز بر حسب انرژی در هر سه حالت	
برای بازه صفر تا 0.9 MeV.....	۷۷
شکل شماره ۴-۳۰) منحنی کنتراست بر حسب درصد عناصر ترکیب شده با سنگ‌های رسوبی برای	
انرژی ۵۱۱ کیلو الکترون ولت در حالت اول توضیح داده شده در رساله.....	۸۱
شکل شماره ۴-۳۱) منحنی کنتراست بر حسب درصد عناصر ترکیب شده با سنگ‌های رسوبی برای	
انرژی ۵۱۱ کیلو الکترون ولت در حالت دوم توضیح داده شده در رساله.....	۸۱
شکل شماره ۴-۳۲) منحنی کنتراست بر حسب درصد عناصر ترکیب شده با سنگ‌های رسوبی برای	
انرژی ۵۰ کیلو الکترون ولت در حالت اول توضیح داده شده در رساله.....	۸۱
شکل شماره ۴-۳۳) منحنی کنتراست بر حسب درصد عناصر ترکیب شده با سنگ‌های رسوبی برای	
انرژی ۵۰ کیلو الکترون ولت در حالت دوم توضیح داده شده در رساله.....	۸۱
شکل شماره ۴-۳۴) منحنی کنتراست بر حسب درصد عناصر ترکیب شده با سنگ‌های رسوبی برای	
پهنای انرژی صفر تا 24 MeV در حالت اول توضیح داده شده در رساله.....	۸۱
شکل شماره ۴-۳۵) منحنی کنتراست بر حسب درصد عناصر ترکیب شده با سنگ‌های رسوبی برای	
پهنای انرژی صفر تا 24 MeV در حالت دوم توضیح داده شده در رساله.....	۸۱
شکل شماره ۴-۳۶) منحنی کنتراست بر حسب درصد عناصر ترکیب شده با سنگ‌های رسوبی برای	
انرژی ۵۱۱ کیلو الکترون ولت در حالت سوم توضیح داده شده در رساله.....	۸۲
شکل شماره ۴-۳۷) مقایسه منحنی کنتراست بر حسب درصد عناصر ترکیب شده با سنگ‌های رسوبی	
برای انرژی ۵۱۱ کیلو الکترون ولت در هر سه حالت برای آب.....	۸۲
شکل شماره ۴-۳۸) منحنی کنتراست بر حسب درصد عناصر ترکیب شده با سنگ‌های رسوبی برای	
انرژی ۵۰ کیلو الکترون ولت در حالت سوم توضیح داده شده در رساله.....	۸۲
شکل شماره ۴-۳۹) مقایسه منحنی کنتراست بر حسب درصد عناصر ترکیب شده با سنگ‌های رسوبی	
برای انرژی ۵۱۱ کیلو الکترون ولت در هر سه حالت برای نفت.....	۸۲
شکل شماره ۴-۴۰) منحنی کنتراست بر حسب درصد عناصر ترکیب شده با سنگ‌های رسوبی برای	
پهنای انرژی صفر تا 24 MeV در حالت سوم توضیح داده شده در رساله.....	۸۲
شکل شماره ۴-۴۱) مقایسه منحنی کنتراست بر حسب درصد عناصر ترکیب شده با سنگ‌های رسوبی	
برای انرژی ۵۱۱ کیلو الکترون ولت در هر سه حالت برای گاز.....	۸۲
شکل شماره ۴-۴۲) نمودار شار نوترون‌های تولید شده بر حسب انرژی برای بازه صفر تا 10 MeV.....	۸۶
شکل شماره ۴-۴۳) کمیت کنتراست بر حسب درصد مخازن موجود در سنگ‌های رسوبی برای هر	
سه مخزن.....	۸۸
شکل شماره ۴-۴۴) کمیت D بر حسب درصد مخازن موجود در سنگ‌های رسوبی برای هر سه	
مخزن.....	۸۸
شکل شماره ۴-۴۵) کمیت کنتراست بر حسب نسبت درصد اکسیژن و یا کربن موجود به درصد آهن	
موجود در سنگ‌های رسوبی برای هر سه مخزن.....	۸۸

فصل اول: پرتوهای گاما، آشکارسازی و عوامل موثر

بر آن

۱-۱) مقدمه:

پرتوهای گاما عبارتند از تابش‌های الکترومغناطیسی تک انرژی که از هسته‌های برانگیخته حاصل از تبدیل پرتوزا گسیل می‌شوند. پرتوهای گاما برای اولین بار توسط بکرل^۱ و ویلارد^۲ در سال ۱۹۰۰ به عنوان ترکیبی از پرتوهای گسیل شده از اورانیوم و رادیوم شناسایی شد که نسبت به ذرات آلفا و بتا قدرت نفوذ بسیار بالاتری دارند. در سال ۱۹۰۹ ساددی^۳ و راسل^۴ به این موضوع پی بردند که تضعیف پرتوهای گاما از یک تابع نمایی تبعیت می‌کند و نسبت ضریب تضعیف به چگالی ماده تضعیف کننده برای تمامی مواد تقریباً ثابت است [۱].

با توجه به این نکته که در عبور ذرات باردار و فوتونها از درون ماده علاوه بر برهم‌کنش‌های صورت گرفته با الکترون‌های ماده، برهم‌کنش‌هایی هم با هسته روی می‌دهد، عمدتاً ائتلاف انرژی و پدیده‌های پراکندگی اصلی ناشی از برهم‌کنش با الکترون‌های اتمی است. با توجه به این که هسته‌ها فقط کسر بسیار کوچکی در حدود 10^{-8} از حجم اتم را اشغال می‌کنند بنابراین احتمال برخورد ذره با الکترون تقریباً 10^8 بار بیش از احتمال برخورد با هسته است. از این رو ساز و کار غالب در کاهش انرژی ذرات باردار پراکندگی کولنی آنها در برخورد با الکترون‌های اتمی است [۱].

از چشمه‌های تولید کننده گاما می‌توان به Th^{228} , Ra^{226} , Cs^{137} , Ba^{133} , Cd^{109} , Se^{75} , Co^{60} اشاره کرد که معمولاً در آزمایشگاه‌ها استفاده می‌شوند [۲].

¹ Becquerel

² Villard

³ Soddy

⁴ Rosel

۲-۱) برهم‌کنش‌های پرتو گاما با مواد:

سه برهم‌کنش غالب پرتوهای گاما با مواد عبارتند از: اثر فوتوالکتریک، تولید زوج و پدیده کامپتون که در ادامه به توصیف هر یک می‌پردازیم.

۱-۲-۱) اثر فوتوالکتریک:

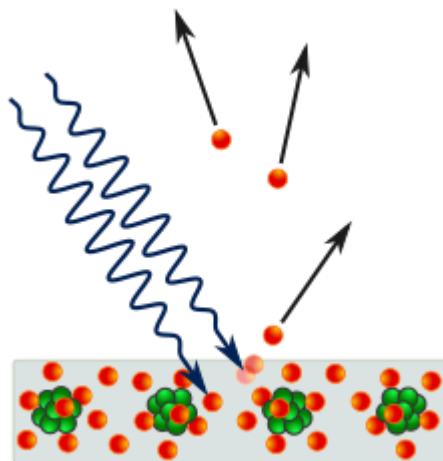
اثر فوتوالکتریک پدیده‌ای است که در آن الکترون، بعد از جذب انرژی یک پرتوی الکترومغناطیسی مانند پرتوی ایکس و یا انوار مرئی، از ماده گسیل می‌شود (شکل ۱-۱). در این فرایند فوتون فرودی تمام انرژی خود را به یک الکترون اتمی مقید می‌دهد و خود نابود می‌شود. احتمال انجام این اندرکنش وابستگی بسیار زیادی با انرژی فوتون فرودی و عدد اتمی ماده دارد. این پدیده همچنین به اثر هرتز معروف است و این به خاطر کشفش توسط هاینریش هرتز^۵ در سال ۱۸۸۷ است (هرچند امروزه این لفظ بلا استفاده می‌باشد). اثر فوتوالکتریک با فوتون‌هایی با انرژی پایین در حدود چند الکترون‌ولت نیز مشاهده می‌شود [۳].

اثر فوتوالکتریک به علت از دست دادن تمام انرژی فوتون و ایجاد کردن یک قله تمام انرژی در آشکارسازی پرتوهای گاما از اهمیت بالایی برخوردار است. انرژی الکترون موجود در این فرایند بصورت زیر محاسبه می‌شود:

$$E_e = E_\gamma - E_b \quad (1-1)$$

که در آن E_γ انرژی فوتون و E_b انرژی بستگی الکترون است [۲].

^۵ Heinrich Hertz



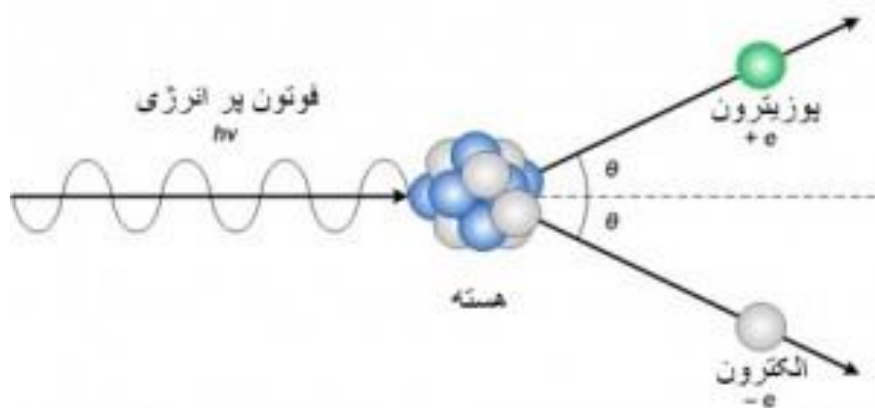
شکل ۱-۱) اثر فوتوالکتریک

۱-۲-۲) پدیده تولید زوج:

فرایندی را که طی آن از تابش الکترومغناطیسی، یک زوج الکترون-پوزیترون آفریده می‌شود، پدیده تولید زوج می‌گویند (شکل ۱-۲). در این پدیده با نابود شدن یک فوتون در مجاورت یک هسته دو ذره الکترون و پوزیترون بوجود می‌آیند.

باید توجه داشت که کمینه انرژی فوتون فرودی برای انجام شدن پدیده تولید زوج برابر با مجموع جرم سکون الکترون و پوزیترون یعنی 1.02 MeV می‌باشد و برای انرژی‌های کمتر از این مقدار پدیده تولید زوج اتفاق نمی‌افتد. در نتیجه این مقدار انرژی آستانه انرژی پدیده تولید زوج می‌باشد. اگر انرژی فوتون فرودی بیشتر از 1.02 MeV باشد اضافه آن به صورت مساوی بین الکترون و پوزیترون تقسیم شده و انرژی جنبشی اولیه آن‌ها را تشکیل می‌دهد. باید اشاره داشت که الکترون و پوزیترون تولید شده خلاف جهت یکدیگر به حرکت درمی‌آیند [۱].

همچنین باید به این نکته توجه کرد که به علت ناپایداری پوزیترون، این ذره پس از تولید به سرعت با الکترون‌های موجود در محیط اندرکنش انجام داده و دو پرتو گامای 0.511 MeV تولید می‌کند و خود نابود می‌شود [۳].



شکل ۱-۲) پدیده تولید زوج

۳-۲-۱) پدیده کامپتون:

در پدیده کامپتون فوتون با یک الکترون آزاد برخورد کرده و مقداری از انرژی خود را به آن منتقل می‌کند و خود فوتون با زاویه مشخصی نسبت به راستای برخورد پراکنده می‌شود (شکل ۱-۳). آرتور هالی کامپتون^۱ در سال ۱۹۲۷ جایزه نوبل فیزیک را به خاطر کشف این پدیده در دانشگاه واشنگتن در سنت لویس دریافت نمود.

در شرایط معمولی همه الکترون‌های موجود در یک محیط آزاد نیستند بلکه مقیدند، با این همه اگر انرژی فوتون از مرتبه keV یا بیشتر باشد در حالی که انرژی بستگی الکترون از مرتبه eV است میتوان الکترون را آزاد انگاشت [۲].

پس از یک پراکندگی کامپتون فوتون ناپدید نمی‌شود، فقط راستای حرکت و انرژی آن تغییر می‌کند. بنابراین روابط مربوط به این پدیده بصورت زیر است:

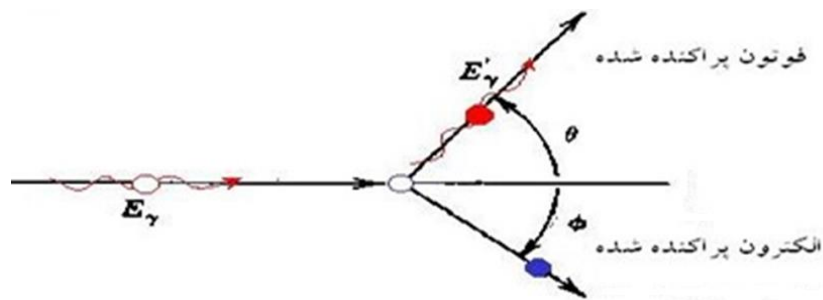
$$T_e = E_\gamma - E'_\gamma \quad (۲-۱)$$

^۱ Arthur Holly Compton

$$E_{\gamma'} = \frac{E_{\gamma}}{1 + (1 - \cos \theta) \frac{E_{\gamma}}{m_0 c^2}} \quad (3-1)$$

$$T_e = \frac{E_{\gamma} (1 - \cos \theta) \frac{E_{\gamma}}{m_0 c^2}}{1 + (1 - \cos \theta) \frac{E_{\gamma}}{m_0 c^2}} \quad (4-1)$$

از آنجاییکه کمینه انرژی فوتون پراکنده شده به ازای $\theta = \pi$ است و مقدار آن بزرگتر از یک می باشد، لذا به این مسئله پی می بریم که فوتون فرودی هیچگاه تمام انرژی خود را به الکترون منتقل نمی کند [۲].



شکل ۳-۱) پدیده کامپتون

۳-۱) ضریب جذب فوتون:

ضریب جذب جرمی کل از مجموع ضرایب جذب جرمی سه پدیده اثر فوتوالکتریک τ ، پدیده کامپتون σ و پدیده تولید زوج K بدست می آید.

ضریب جذب فوتوالکتریک را می توان از رابطه زیر بدست می آورد:

$$\tau = \alpha N \frac{Z^m}{E_{\gamma}^n} [1 - \varepsilon(Z)] \quad (5-1)$$

که در آن α یک ضریب ثابت و مستقل از Z و E_γ است، N تعداد اتم ها در واحد حجم و $\varepsilon(Z)$ نماینده جمله تصحیحی از مرتبه اول Z است. مقادیر m و n نیز اعدادی بین ۳ تا ۵ هستند که با توجه به انرژی فوتون انتخاب می‌شوند. همچنین در این رابطه از سطح مقطع فوتو الکتریک نیز استفاده شده است [۲].

تغییرات سطح مقطع فوتوالکتریک با تغییر Z در انرژی ۰,۱ MeV که برای Z های بین ۰ تا ۸۲ محاسبه شده است و دارای یک پهن شدگی در منحنی مربوطه در نزدیکی ۸۲ است. اگرچه در این محدوده از انرژی سطح مقطع فوتوالکتریک تقریباً با Z^4 تغییر می‌کند. در انرژی‌های بالاتر منحنی‌های بدست آمده به هم نزدیکتر هستند اما هیچ وقت یکدیگر را قطع نمی‌کنند. بنابراین در اینجا همیشه سطح مقطع با سرعتی کمتر از Z^5 تغییر می‌کند. به وسیله آنالیزهای انجام شده توسط راسموسن^۱ مقدار توان Z در رابطه سطح مقطع فوتوالکتریک برای انرژی بین ۰,۱ تا ۳ مگا الکترون ولت از ۴ به تقریباً ۴,۶ افزایش می‌یابد [۱]. همچنین در نزدیکی ۱۰۰ keV توان انرژی بین ۲ و ۳ تغییر می‌کند [۴].

با توجه به رابطه ارائه شده به این موضوع پی می‌بریم که اثر فوتوالکتریک برای موادی با Z بالا و یا فوتون‌های انرژی پایین از اهمیت بالایی برخوردار است.

برای این کمیت محاسبه‌های مستقیمی در محدوده انرژی ۰,۲ تا ۳ مگا الکترون ولت توسط افرادی مانند لاتیشو^۲، سیمن^۳، تیتوس^۴ و ... انجام شده است. بهترین اطلاعات مربوط به انرژی‌های بالا معمولاً به صورت تئوری محاسبه شده است. این اطلاعات بدست آمده معمولاً با پوسته K محاسبه شده است، البته اطلاعات مربوط به پوسته L نیز موجود است. محاسبات راکاوی-رون^۵ در مقایسه با نتایج تئوری قبلی، در زیر انرژی ۰,۲ MeV با نتایج تجربی تطابق بهتری دارند [۵].

¹ Rasmussen

² Latyshev

³ Seeman

⁴ Titus

⁵ Rakavy - Ron

در جدول (۱-۱) مقادیر سطح مقطع چند ماده در انرژی‌های مختلف به منظور درک بهتر آورده شده است.

جدول (۱-۱) سطح مقطع فوتوالکتریک بر حسب انرژی برای چند ماده مختلف [۵]

Photon energy (MeV)	τ_{pe} (b/atom)		
	${}^6\text{C}$	${}^{26}\text{Fe}$	${}^{82}\text{Pb}$
0.01	3.93×10^1	1.59×10^4	4.54×10^4
0.10	2.16×10^{-2}	1.89×10^1	1.89×10^3
1.0	2.89×10^{-5}	3.38×10^{-2}	6.39×10^0
10	1.12×10^{-6}	1.19×10^{-3}	1.78×10^{-1}
100	1.01×10^{-7}	1.04×10^{-4}	1.41×10^{-2}

ضریب جذب پدیده تولید زوج با استفاده از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$\kappa = NZ^2 f(E_\gamma, Z) \quad (۶-۱)$$

که در آن $f(E_\gamma, Z)$ تابعی است که اندکی با تغییر Z تغییر می‌کند و همچنین با افزایش انرژی افزایش می‌یابد.

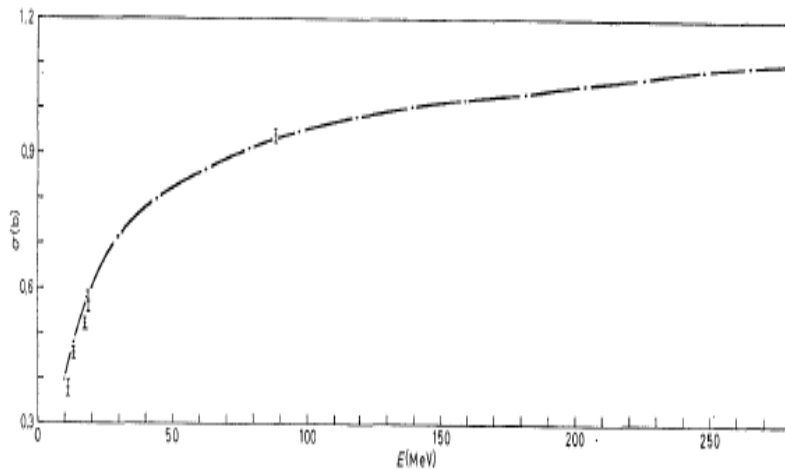
این ضریب تقریباً از صفر برای انرژی آستانه شروع شده و تقریباً به صورت خطی با انرژی افزایش می‌یابد، تا جایی که در انرژی نزدیک به 50 MeV برای مواد با عدد اتمی بالا و انرژی بالاتر برای مواد با عدد اتمی پایین از شیب منحنی مربوطه کاسته می‌شود [۵].

افراد بسیاری مانند بث^۱، هیتلر^۲، السن^۳ و ... این کمیت را با روش‌های مختلف محاسبه کرده‌اند که تمامی آن‌ها یک وابستگی مشابه به انرژی را برای عناصر مختلف نشان می‌دهند. با این تفاسیر می‌توان سطح مقطع پدیده تولید زوج را برای فوتون با انرژی بین 10^5 الی 10^6 مگا الکترون ولت و برای عناصری با عدد اتمی بین ۱ تا ۹۲ را محاسبه کرد [۶]. شکل (۴-۱) سطح مقطع تولید زوج را بر حسب انرژی برای آلومینیوم نشان می‌دهد.

¹ Bethe

² Heitler

³ Olsen



شکل ۴-۱) سطح مقطع تولید زوج بر حسب انرژی برای آلومینیوم [۶]

ضریب جذب کامپتون بصورت زیر محاسبه می‌شود:

$$\sigma = NZf(E_{\gamma}) \quad (۷-۱)$$

که در آن مقدار چگالی ρ ماده بصورت زیر وابسته است:

$$N = \frac{\rho N_{Av}}{A} \quad (۸-۱)$$

پس خواهیم داشت:

$$\sigma = \rho N_{Av} \left(\frac{Z}{A} \right) f(E_{\gamma}) \quad (۹-۱)$$

که در آن Z عدد اتمی یا تعداد الکترون‌ها، A عدد جرمی و N_{Av} عدد آووگادرو است. مقدار $\frac{Z}{A}$ برای

تمام عناصر (به جز هیدروژن) تقریباً ثابت و برابر $\frac{1}{2}$ است. در نتیجه برای یک انرژی معلوم می‌توان

از روی ضریب تضعیف کامپتون چگالی ماده را بدست آورد [۷].

کمیت $f(E_{\gamma})$ را می‌توان با σ_e نیز نمایش می‌دهند که نشانگر سطح مقطع پدیده کامپتون است

[۱]. زمانی که تکانه جابه‌جا شده از فوتون به الکترون کوچکتر از mc باشد، یعنی برای فوتون‌هایی با

انرژی پایین ($\lambda \gg 1$) در هر زاویه پس پراکندگی یا برای زاویه پس پراکندگی کوچک ($1 - \cos \theta \approx \lambda$) در هر انرژی فرودی، می توان از رابطه سطح مقطع تامسون که به صورت زیر است استفاده کرد:

$$\frac{d\sigma_{Th}}{d\lambda d\Omega} = \frac{1}{2} \left(\frac{e^2}{mc^2} \right)^2 (1 + \cos^2 \theta) \delta(1 - \cos \theta + \lambda - \lambda') \quad (10-1)$$

که پس از انتگرال گیری برابر می شود با:

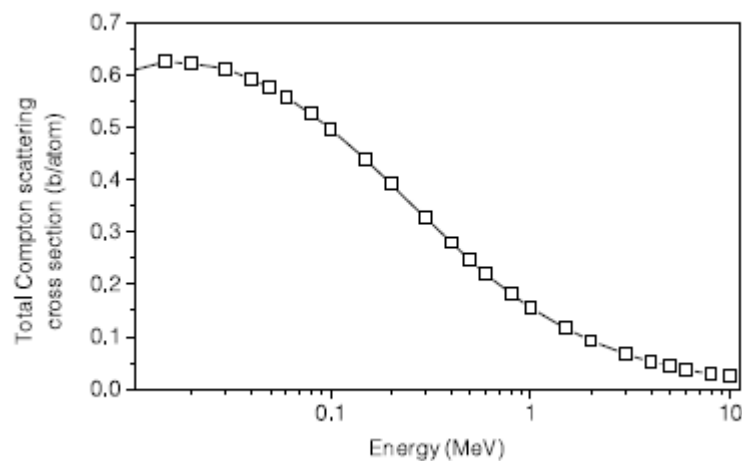
$$\sigma_{Th} = \frac{8\pi}{3} \left(\frac{e^2}{mc^2} \right)^2 = 6.653 \times 10^{-25} \text{ cm}^2, \text{ for } \lambda \gg 1 \quad (11-1)$$

در انرژی های بالاتر رابطه سطح مقطع پدیده کامپتون به صورت زیر تغییر می کند:

$$\sigma \approx \frac{3}{8} \sigma_{Th} \lambda \log \frac{3.28}{\lambda}, \text{ for } \lambda \gg 1, \quad \lambda = \frac{\nu}{\nu'}, \quad \lambda' = \frac{\nu'}{\nu} \quad (12-1)$$

نتایج به دست آمده از این روابط با نتایج تجربی مقایسه شده و تقریباً با دقت مناسبی با هم برابری می کنند [۸].

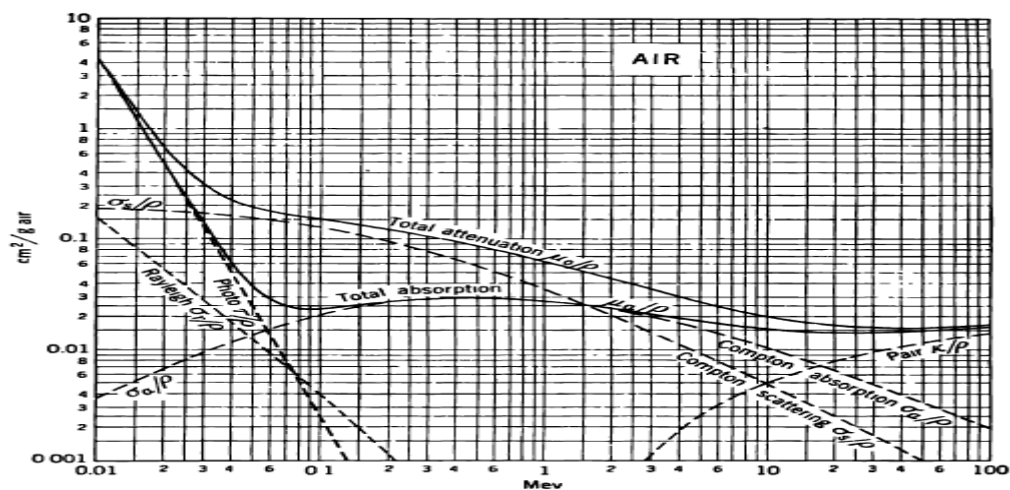
شکل (۵-۱) سطح مقطع کامپتون بر حسب انرژی را برای اتم هیدروژن نشان می دهد [۹].



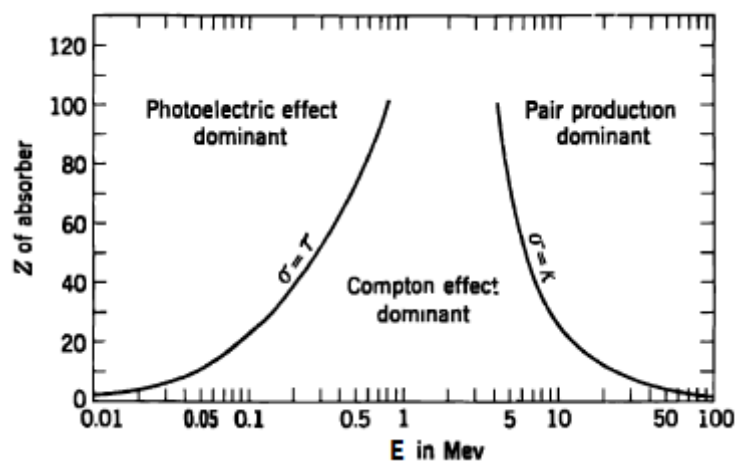
شکل (۵-۱) سطح مقطع کامپتون بر حسب انرژی برای اتم هیدروژن [۹]

البته باید توجه داشت که با توجه به نمودار زیر و استفاده از پرتوهای گاما در رنج انرژی مشخص، پدیده غالب در اندرکنش‌های گاما با مواد پدیده کامپتون است و می‌توان از روابط قبلی با تقریب بسیار خوبی استفاده کرد [۲].

شکل نمودار (۶-۱) ضریب تضعیف بر حسب انرژی برای هوا و شکل (۷-۱) محدوده سه برهم‌کنش اصلی گاما با توجه به عدد اتمی بر حسب انرژی گاما را نشان می‌دهد.



شکل (۶-۱) نمودار ضریب تضعیف بر حسب انرژی برای هوا [۱]



شکل (۷-۱) اهمیت نسبی سه برهم‌کنش اصلی گاما [۱]

همان طور که گفته شد ضریب جذب خطی کل بصورت زیر محاسبه می‌شود:

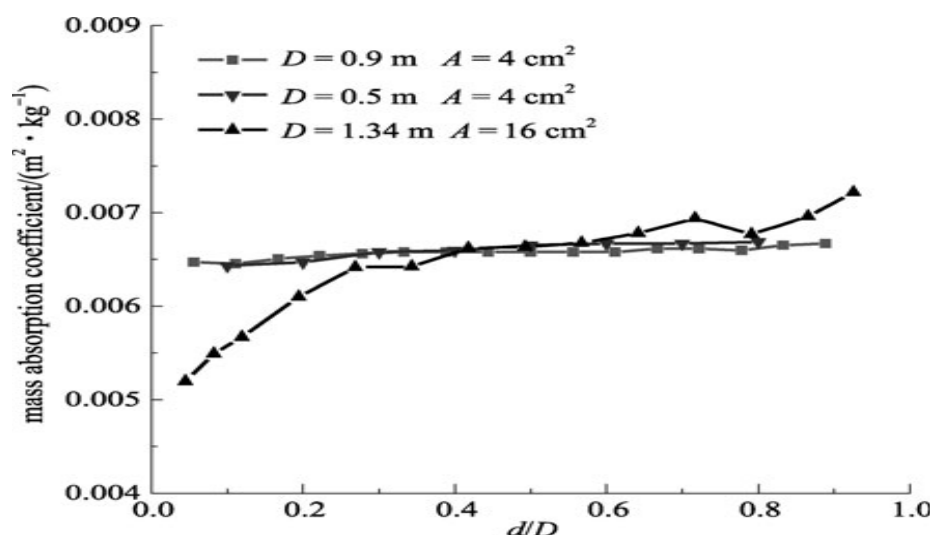
$$\mu(m^{-1}) = \tau + \kappa + \sigma \quad (13-1)$$

که می‌توان از روی آن ضریب جذب جرمی را این گونه بدست آورد:

$$\mu(m^2/Kg) = \frac{\mu(m^{-1})}{\rho(Kg/m^3)} \quad (14-1)$$

ضریب جذب، یک تابع از انرژی پرتو گامای آشکارسازی شده است؛ در نتیجه به عواملی همچون انرژی چشمه، چگالی و نوع ماده استفاده شده بستگی دارد [۱].

همچنین تاثیرات مکان ماده روی ضریب جذب جرمی در شکل زیر مشاهده می‌شود، که در آن d فاصله بین آشکارساز و ماده، D فاصله بین چشمه و آشکارساز و A سطح پنجره آشکارساز می‌باشد. دلیل این اختلاف مقدار ضریب جذب در تغییر مکان وجود عامل ضریب انباشت است که با توجه به نمودار در فواصل دور یا نزدیک به آشکارساز وجود این عامل به وضوح مشخص است. پس باید مکان ماده در جایی باشد که تا حد امکان از تاثیر این ضریب کاسته شود تا دقت اندازه گیری در آزمایش افزایش یابد.

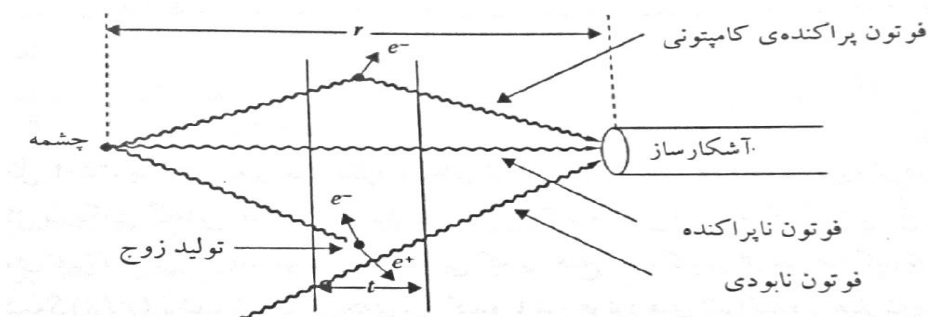


شکل ۸-۱) تغییرات ضریب تضعیف جرمی بر حسب نسبت مکان ماده بین چشمه و آشکارساز [۱۰]

همان طور که از شکل (۸-۱) مشخص است ضریب جذب جرمی برای مکان‌هایی که خیلی نزدیک یا خیلی دور از آشکارساز ($d/D < 0.2$ or $d/D > 0.8$) هستند تغییر زیادی می‌کند ولی برای ($d/D = 0.2 - 0.8$) تاثیر مکان روی ضریب جذب جرمی ناچیز است [۱۰].

۴-۱) ضریب انباشت:

یک چشمه نقطه‌ای همسانگرد گاما را در فاصله‌ای دور از یک آشکارساز در نظر بگیرید (مطابق شکل ۹-۱).



شکل ۹-۱) هندسه آزمایش

کل باریکه‌ای که به آشکارساز برخورد می‌کند متشکل از دو مولفه است:

الف) باریکه ناپراکنده (ϕ_u) که نشانگر پرتوهایی است که بدون هیچ برهم‌کنشی از درون ماده بین چشمه و آشکارساز عبور می‌کنند. اگر شدت چشمه را S در نظر بگیریم، شدت باریکه ناپراکنده یا شار فوتون‌های ناپراکنده به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$\phi_u = \frac{S}{4\pi r^2} e^{-\mu t} \quad (۱۵-۱)$$

ب) باریکه پراکنده (ϕ_s)، که شامل گاما‌های پراکنده و تولید شده از طریق برهم‌کنش فوتون‌های فرودی درون ماده می‌شود. محاسبه این باریکه به سادگی محاسبه رابطه قبل نیست لذا برای محاسبه آن به این صورت عمل می‌کنیم که از روی شار کل باریکه‌ای که به آشکارساز می‌رسد باریکه پراکنده را به دست می‌آوریم. باریکه کل برابر است با:

$$\phi_{tot} = \phi_s + \phi_u \quad (16-1)$$

تجربه نشان داده است که به جای استفاده از رابطه قبل برای محاسبه شار کل بهتر است از رابطه زیر استفاده کنیم:

$$\phi_{tot} = B \phi_u \quad (17-1)$$

که در آن B ضریب انباشت نام دارد. به منظور صحیح بودن روابط، دو رابطه قبلی باید با یکدیگر برابر باشند پس ضریب انباشت برابر می‌شود با:

$$B = \frac{\phi_{tot}}{\phi_u} = \frac{\phi_s + \phi_u}{\phi_u} = 1 + \frac{\phi_s}{\phi_u} \geq 1 \quad (18-1)$$

ضریب انباشت به انرژی فوتون، مسیر آزاد میانگین فوتون در ماده، هندسه مسئله (از جمله هندسه چشمه (باریکه موازی یا چشمه همسانگرد)، هندسه محیط تضعیف کننده، هندسه آشکارساز و فاصله بین هر کدام)، عدد اتمی ماده، چگالی و ... بستگی دارد. محاسبات گسترده‌ای برای تعیین ضریب‌های انباشت صورت گرفته و نتایج برای چندین انرژی گاما، محیط و فاصله جدول بندی شده‌اند. علاوه بر این تلاش‌هایی برای بدست آوردن معادله‌های تحلیلی تجربی نیز صورت گرفته است که دو تا از مفیدترین آن‌ها عبارتند از:

فرمول برژه [۲]:

$$B(E, \mu_r) = 1 + a(E) \mu_r [\exp(b(E) \mu_r)] \quad (19-1)$$

فرمول تیلور [۱۱]:

$$B(E, \mu_r) = A(E) e^{-a_1(E) \mu_r} + [1 - A(E)] e^{-a_2(E) \mu_r} \quad (20-1)$$

که در آن ثابت‌های $a(E)$, $a_1(E)$, $a_2(E)$, $b(E)$ و $A(E)$ از برازش نتایج محاسبات بر این عبارت-های تحلیلی تعیین شده‌اند. بهترین معادلات نشان دهنده ضریب انباشت (مبتنی بر تصاعد هندسی) به شکل زیر است:

$$B(E, x) = \frac{1 + (b-1)(K^x - 1)}{(K-1)}, \quad K \neq 1$$

$$= 1 + (b-1)x, \quad K=1 \quad (21-1)$$

که در آن

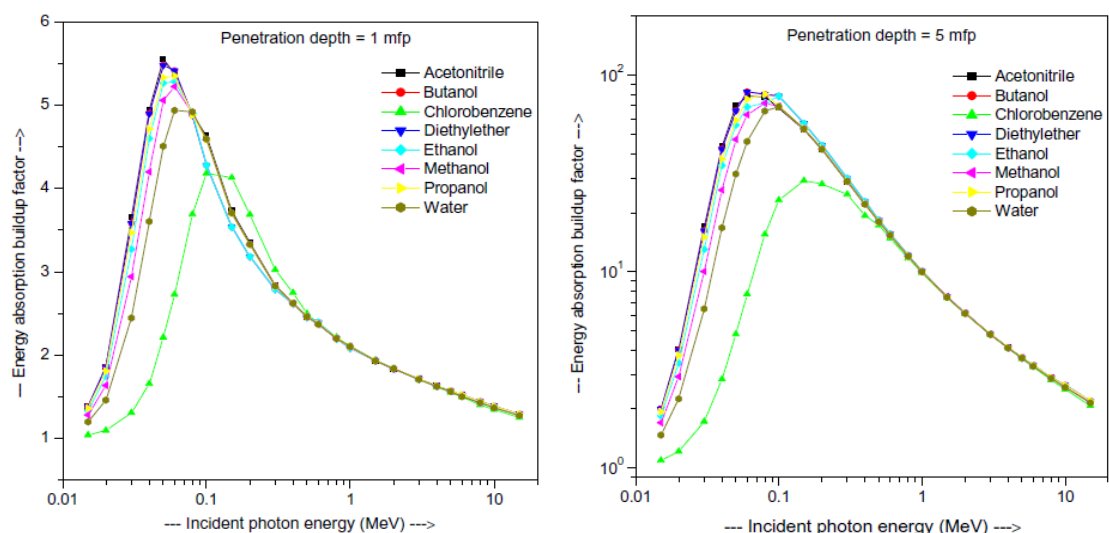
$$K(x) = cx^a + d \frac{\tanh\left[\left(\frac{x}{X_k}\right) - 2\right] - \tanh(-2)}{1 - \tanh(-2)} \quad (22-1)$$

در رابطه قبل کمیت $x = \mu_r$ مسافت طی شده بر حسب پویش آزاد میانگین، b مقدار B که به ازای $x=1$ محاسبه شده است، K ضریب تکثیر به ازای یک مسیر آزاد میانگین و a, b, c, d, X_k پارامترهایی هستند که به انرژی بستگی دارند [۲].

ضرایب انباشت در طراحی حفاظ لازم و مناسب برای چشمه‌های پرتوزا و راکتورهای هسته‌ای دارای اهمیت زیادی هستند و در محاسبات دز جذبی تابش‌های پرتوزا در بافت‌های مختلف بدن کاربرد گسترده‌ای دارند. به لحاظ اهمیتی که این ضرایب دارند کوشش‌های زیادی جهت اندازه‌گیری این ضرایب برای چند ماده مهم مورد استفاده در تکنولوژی هسته‌ای صورت گرفته است. از آنجا که تعیین

مقادیر دقیق ضرایب انباشت از طریق آزمایش در همه موارد کار آسانی نیست، این ضرایب را اغلب با استفاده از سطح مقطع‌های مربوط به جذب و پراکندگی فوتون‌ها محاسبه می‌کنند [۱۲]. بررسی رابطه بین ضریب انباشت شار گاما و هندسه چشمه با استفاده از شبیه سازی مونت کارلو یکی از پژوهش‌های صورت گرفته در زمینه ضریب انباشت است [۱۳].

در زیر دو نمودار (شکل ۱-۱۰) مربوط به ضریب انباشت جذب انرژی بر حسب انرژی فوتون‌های فرودی برای چند حلال مختلف با عمق نفوذ مضربی از مسیر آزاد میانگین نشان داده شده است [۱۴].



شکل ۱-۱۰ تغییرات ضریب انباشت جذب انرژی بر حسب انرژی فوتون فرودی برای مواد مختلف در دو عمق نفوذ متفاوت [۱۴]

۱-۵) تحلیل با روش فعالسازی

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 [۳].

به علت حساسیت خیلی بالا، تحلیل به روش فعالسازی 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 [۱].

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، زیست شناسی، پزشکی، صنعت، باستان شناسی و غیره کاربرد دارد [۲].

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. فعالسازی نمونه می‌تواند با نوترون‌ها و یا پرتوهای گاما انجام شود که بسته به نوع مسئله، هدف از فعالسازی و بهینه کردن نتایج با حذف واکنش‌های ناخواسته، نوترون‌ها و یا پرتوهای گاما به عنوان چشمه مورد استفاده جهت فعالسازی مواد انتخاب می‌شوند [۲].

در جدول شماره (۱-۲) پرتوهای گامای مورد نیاز برای فعالسازی فوتونی چندین عنصر مختلف موجود در خاک از جمله کربن آمده است.

جدول شماره ۱-۲) اندرکنش عناصر با پرتوهای گاما در فعالسازی فوتونی و نیمه عمر آنها [۱۵]

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	$^{88}\text{Sr}(\gamma, n)^{87}\text{Sr}$	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	$^{52}\text{Cr}(\gamma, p)^{51}\text{V}$	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

با توجه به جدول شماره (۱-۲) با استفاده از پرتوهای گاما واکنش هسته‌ای $^{12}\text{C}(\gamma, n)^{11}\text{C}$ درون ماده رخ می‌دهد که به منظور شناسایی عنصر کربن موجود در نمونه می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد. همانطور که قبلاً با آن اشاره شد هسته‌های پرتوزا را می‌توان از خواص تابش‌هایی که گسیل می‌دارند شناخت. برای شناسایی عنصر کربن از آنجایی که ایزوتوپ ^{11}C از خود واپاشی β^+ گسیل می‌کند و در نتیجه واپاشی β^+ ذره پوزیترون بوجود می‌آید، با آشکارسازی مقدار شار گامای حاصل از نابودی پوزیترون تولید شده می‌توان عنصر کربن موجود در نمونه (برای شناسایی عناصر نیتروژن و اکسیژن نیز به همین صورت اقدام می‌شود) را شناسایی کرد. از این رو در این کار برای مشخص کردن 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 سنگ معدن سدیم [۱۶]، مولیبدنوم [۱۷]، آهن [۱۸] و نیوبیوم و تانتالوم [۱۹] را شناسایی کرده‌اند. مقدار انرژی لازم برای فعالسازی عناصر کربن و نیتروژن به کمک پرتوهای گاما به ترتیب برابر با ۱۸,۷ و ۱۰,۶ MeV است.

باید به این موضوع اشاره کرد که یکی از چشمه‌های خطا در تحلیل به روش فعالسازی، واکنش‌های مداخله‌گر هستند. این‌ها واکنش‌هایی هستند که از طریق بمباران ایزوتوپ دیگری در هدف، همان ایزوتوپ را تولید می‌کنند که مد نظر این پژوهش است. اندرکنش‌هایی که باعث اختلال در اندازه

گیری 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 ۲۲,۷ MeV و $^{18}\text{O}(\gamma, \alpha n)^{11}\text{C}$ با انرژی آستانه ۲۶ MeV و برای اکسیژن $^{16}\text{O}(\gamma, t)^{12}\text{N}$ با انرژی آستانه ۲۵ MeV هستند [۱۵].

۱-۶) آشکارسازها:

در فیزیک ذرات بنیادی، فیزیک هسته‌ای و مهندسی هسته‌ای آزمایشگاهی و کاربردی آشکارساز ذرات (Particle detector) یا آشکارساز پرتو به ابزاری گویند که با آن می‌توان ذرات پرانرژی را آشکار، ردیابی یا شناسایی کرد، مانند موارد حاصل از واپاشی هسته‌ای، پرتوهای کیهانی یا واکنش‌های شتاب دهنده‌های ذرات بنیادی.

اصول کار اغلب دستگاه‌های آشکارساز مشابه است. تابش وارد آشکارساز می‌شود، با اتم‌های ماده آشکارساز برهم‌کنش می‌کند (اثر تابش بر ماده) و ذره ورودی بخشی از انرژی خود را صرف جداسازی الکترون‌های کم انرژی ماده آشکارساز از مدارهای اتمی خود می‌کند. این الکترون‌ها و یونش ایجاد شده جمع‌آوری می‌شود و توسط یک مدار الکترونیکی برای تحلیل به صورت یک تپ ولتاژ یا جریان در می‌آید.

از مهمترین آشکارسازها یا شمارنده‌های موجود می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

۱) آشکارسازهای نیمه رساناها، مثل آشکارساز ژرمانیم خلوص بالا (HPGe) با یک توان تفکیک انرژی بالا، عدد اتمی در حد متوسط ($Z_{Ge} = 32$) و چگالی متوسط ($\rho_{Ge} = 5.3 \text{ g/cm}^3$).

۲) آشکارسازهای سوسوزن غیر آلی، مانند NaI، CsI و BGO با توان تفکیک انرژی متوسط و چگالی‌های متوسط به بالا ($\rho_{NaI} = 3.7$, $\rho_{CsI} = 4.5$, $\rho_{BGO} = 7.1 g/cm^3$) و ترکیباتی با مقدار Z بالا.

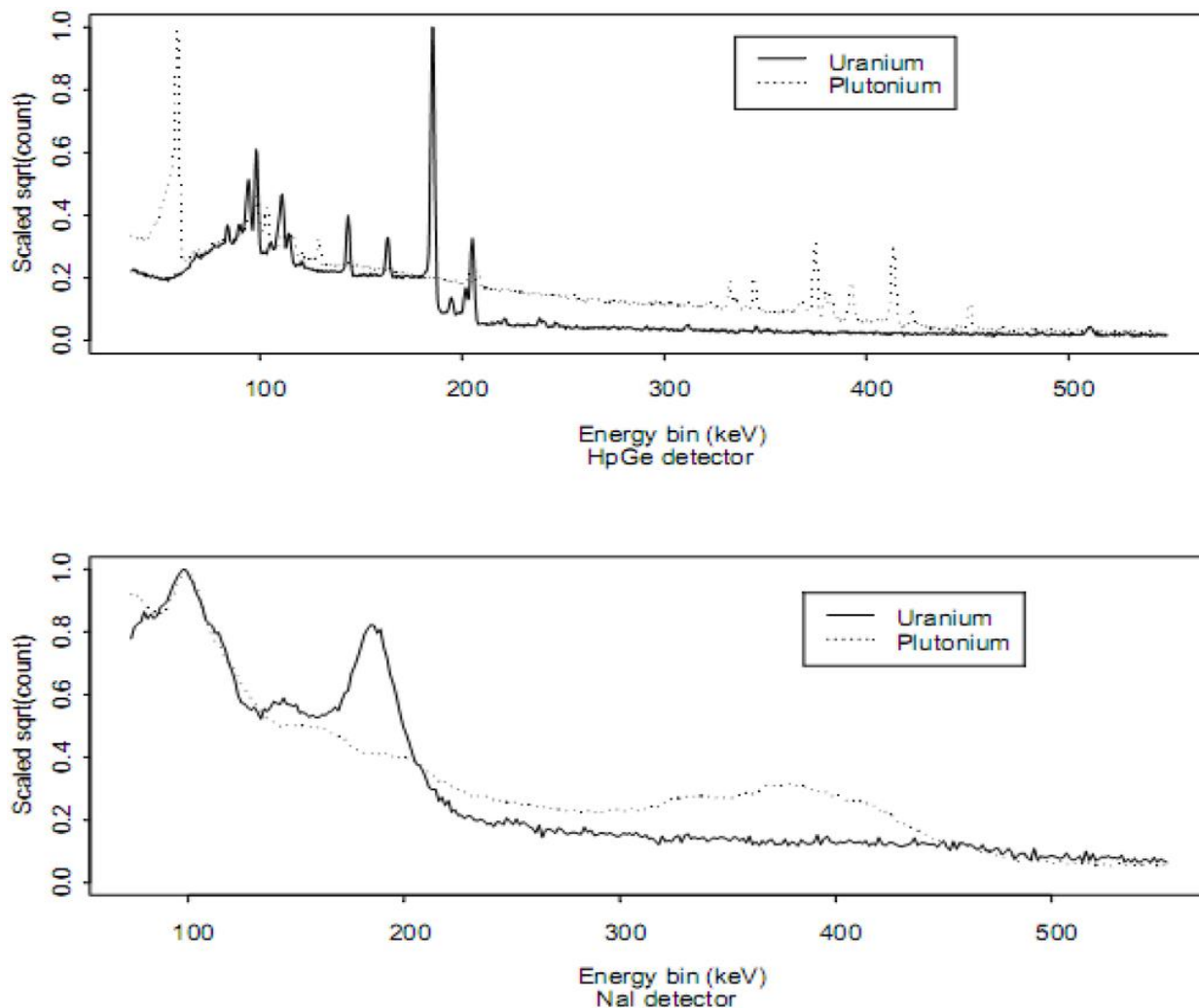
۳) آشکارسازهای سوسوزن آلی (پلاستیک‌ها)، با چگالی پایین ($\rho \approx 1 g/cm^3$) و مقدار Z پایین.

۴) آشکارسازهای گازی، مانند آشکارساز گایگر - مولر که کار با آن بسیار ساده است و می‌توان آن را برای هر نوع تابش یونیزانی به کار برد.

در میان این آشکارسازها طیف بدست آمده از شمارنده HPGe دارای قله نوک تیز روی یک زنجیره نسبتاً پایین است، در صورتیکه شمارنده‌های پلاستیکی یک زنجیره بدون هیچ ویژگی را نشان می‌دهند. شمارنده‌های سوسوزن غیر طبیعی جایی در میان این دو با قله گسترده روی زنجیره نسبتاً بالا قرار می‌گیرند [۲۰].

در شکل (۱-۱۱) نمودار مربوط به دو آشکارساز NaI و HpGe برای دو ذره اورانیوم و پلوتونیوم نشان داده شده است [۲].

بیشتر سوسوزن‌های غیر آلی بلورهای فلزات قلیایی هستند که مقدار کمی از یک ناخالصی را در بر دارند. ترکیب‌هایی مثل NaI(Tl)، CsI(Tl)، CaI(Na) و بسیاری دیگر از این مقوله‌اند. عنصر داخل پراتنز همان ناخالصی یا فعال‌ساز است. هرچند که ناخالصی دارای غلظت نسبتاً کمی است ولی عاملی است که موجب لیانی بلور می‌شود.



شکل ۱-۱۱) شمارش بر حسب انرژی بدست آمده با دو آشکارساز HPGe و NaI

حالت‌های انرژی الکترونی یک اتم در ترازهای گسسته‌ای قرار دارند که در نمودار تراز انرژی به صورت خط‌های گسسته‌ای نمایش داده می‌شوند. در یک بلور حالت‌های مجاز انرژی پهن می‌شوند و بصورت نوار درمی‌آیند. در حالت پایه بلور بالاترین نوار مجاز که شامل الکترون‌هاست کاملاً پر است. این نوار را نوار ظرفیت می‌نامند. نوار مجاز بعدی خالی است و آن را نوار رسانش می‌خوانند. یک الکترون ممکن است با دریافت انرژی لازم از تابش فرودی از نوار ظرفیت به نوار رسانش برود. در آنجا الکترون آزاد است که در هر جایی در درون شبکه حرکت کند. الکترون جاله‌جا شده در نوار ظرفیت حفره‌ای از خود

باقی می‌گذارد که آن نیز می‌تواند حرکت کند. زوج الکترون-حفره‌ای که به این ترتیب بوجود می‌آید اکسیتون نام دارد.

در آشکارسازهای غیر آلی سوسوزدن پیامد این رویدادهاست:

(۱) عبور تابش یوننده از بلور

(۲) رفتن الکترون‌ها به نوار رسانش بالاتر

(۳) خلق حفره‌ها در نوار ظرفیت

(۴) تشکیل اکسیتون‌ها

(۵) جذب الکترون، حفره و اکسیتون از طرف مراکز فعال‌ساز و بالا رفتن به حالت‌های برانگیخته

(۶) گسیل فوتون و واانگیزش

نوری که بر اثر سوسوزدن گسیل می‌شود بیشتر نتیجه گذارهای اتم‌های فعال‌ساز است.

آشکارساز NaI(Tl) متداول‌ترین سوسوزن برای پرتوهای گاما است. تک بلورهای آن تا قطر ۰٫۷۵ m و ضخامت ۰٫۲۵ m ساخته شده‌اند. چگالی نسبتاً بالا ($3.67 \times 10^3 \text{ Kg/m}^3$) و عدد اتمی بالا همراه با حجم زیاد این بلور آن را به صورت یک آشکارساز با بازده بسیار بالا برای پرتوهای گاما در می‌آورد. هرچند که آشکارسازهای نیمه رسانا دارای قدرت تفکیک انرژی بالاتری هستند ولی در آزمایش‌هایی که حجم‌های بزرگ آشکارساز مورد نیاز باشند این آشکارسازها نمی‌توانند جایگزین NaI(Tl) شوند. طیف گسیلی NaI دارای یک قله در ۴۱۰ nm است و بازده تبدیل-نور آن از همه سوسوزن‌های غیر آلی دیگر بالاتر است. به عنوان یک ماده NaI دارای چند ویژگی نامطلوب است؛ از جمله اینکه شکننده بوده و به شیب‌های دما و شوک‌های گرمایی حساس است. همچنین چنان جاذب رطوبت است که همواره باید آن را در کپسول سربسته‌ای نگه داشت. آشکارساز NaI همیشه دارای مقدار کمی پتاسیم است که به دلیل وجود ^{40}K پرتوزا در آن، مقداری زمینه ایجاد می‌کند.

آشکارساز CsI(Tl) نسبت به NaI(Tl) دارای چگالی ($4.51 \times 10^3 \text{ Kg/m}^3$) و عدد اتمی بالاتری است، لذا بازده آن برای آشکارسازی گاما بالاتر است. در دمای اتاق بازده تبدیل-نور CsI تقریباً ۴۵ درصد NaI است. در دمای ازت مایع (۷۷ K)، CsI خالص دارای یک نور خروجی برابر با خروجی NaI در دمای اتاق و یک ثابت واپاشی 10^{-8} s ثانیه است. طیف گسیلی CsI از ۴۲۰ nm تا تقریباً ۶۰۰ nm است.

آشکارساز CsI جاذب رطوبت نیست. چون نرم‌تر و پلاستیک‌تر از NaI است می‌تواند شوک‌ها، شتاب‌ها، ارتعاش‌های شدید و نیز شیب‌های بزرگ و تغییرات ناگهانی دما را تحمل کند. این ویژگی‌ها CsI را برای آطمایش‌های فضایی مناسب می‌سازد. باید توجه داشت که در CsI پتاسیم وجود ندارد. پاسخ NaI به پرتوهای گاما خطی است مگر برای انرژی‌های کمتر از ۴۰۰ keV که اندکی غیر خطی است.

مواد سوسوزن آلی با بازده بالا به رده ترکیب‌های معطر تعلق دارند. این مواد از مولکول‌های مسطحی ساخته شده‌اند که از حلقه‌های بنزنی تشکیل شده است. تولوین و آنتراسین دو نمونه از این نوع ترکیب‌ها هستند.

سوسوزن‌های آلی از در آمیختن ترکیب‌های مناسب با هم درست می‌شوند و بسته به تعداد ترکیب‌های موجود در آمیخته به صورت یکتایی، دوتایی، سه‌تایی و جز این‌ها رده بندی می‌شوند. ماده با بالاترین غلظت را حلال و بقیه را محلول می‌نامند. سوسوزن دوتایی از یک حلال و یک محلول تشکیل شده است در حالی که یک سوسوزن سه‌تایی از یک حلال و یک محلول اولیه و یک محلول ثانویه ساخته شده است.

یکی از اختلاف‌های مهم بین سوسوزن‌های آلی و غیر آلی در زمان پاسخ آن‌هاست که در آلی کمتر از ۱۰ ns و در غیر آلی حدود ۱ μs است و سوسوزن‌های آلی را برای اندازه‌گیری‌های شامل زمان سریع مناسب می‌سازد. همچنین باید توجه داشت که می‌توان آشکارسازهای آلی را با اندازه بزرگ ساخت ولی آشکارسازهای غیرآلی این امکان را فراهم نمی‌کنند.

از انواع سوسوزن‌های آلی می‌توان به سوسوزن‌های آلی بلوری، آبگون، پلاستیکی و گازی اشاره کرد که از هر کدام در موارد خاصی استفاده می‌شود.

در مورد پاسخ سوسوزن‌های آلی می‌توان گفت که این آشکارسازها معمولاً به علت بازده پایین‌شان برای آشکارسازی پرتوهای گاما به کار نمی‌روند. سوسوزن آبگون ^{213}Ne در حال حاضر برای آشکارسازی پرتوهای گاما در میدان‌های آمیخته نوترون-گاما به کار برده می‌شود زیرا توانایی آن در جداسازی نوترون و گاما بسیار خوب است [۲].

در این پژوهش از یک آشکارساز NaI(Tl) با بلور استوانه‌ای با ابعاد 2×2 اینچ استفاده شده است. یکی از دلایل استفاده از این آشکارساز بازدهی بسیار بالا برای پرتوهای گاما است. همچنین ارزانتر از آشکارسازهای نیمرسانا هستند و بدلیل داشتن اندازه‌های بزرگ تهیه آن‌ها نیز راحت‌تر است.

فصل دوم: ساختار و سازه زمین و آشنایی با روش

موننت کارلو

۲-۱) ساختار و سازه کره زمین:

زمین یک سیاره سنگی است یعنی به جای آنکه مانند سیاره مشتری یک گول گازی باشد، از خاک و سنگ ساخته شده است. زمین از لحاظ جرم و حجم، در میان چهار سیاره سنگی سامانه خورشیدی، در جایگاه نخست قرار دارد. همچنین زمین در میان آن‌ها از بیشترین چگالی و گرانش سطحی، نیرومندترین میدان مغناطیسی و سریع‌ترین سرعت در گردش برخوردار است [۲۱].

شکل زمین مانند یک کره‌است با این تفاوت که بر روی دو قطب آن و در راستای محور میان آن دو، دچار پهن شدگی و در گرداگرد استوا دچار بیرون زدگی شده است (شکم داده‌است) [۲۲]. این بیرون زدگی در ناحیه استوا، به دلیل گردش زمین بوجود آمده است و باعث ایجاد اختلاف ۴۳ کیلومتری میان قطر زمین در مدار استوایی و قطر آن میان دو قطب شده‌است [۲۳].

کوه اورست با بلندی ۸۸۴۸ متر بالاتر از سطح آزاد دریاها و دراز گودال ماریانا با عمق ۱۰،۹۱۱ متر پایین‌تر از سطح آزاد دریاها به ترتیب بلندترین و عمیق‌ترین نقاط در سطح کره زمین‌اند. اما باید به این نکته توجه داشت که به دلیل شکم دادگی کره زمین در مدار استوا، نوک کوه اورست همچنان دورترین نقطه از مرکز کره زمین نیست. دورترین نقطه از مرکز کره زمین یا به عبارت دیگر بیرونی‌ترین نقطه از سطح زمین، نوک آتشفشانی به نام چیمبورازو در اکوادور و کوه اوآسکاران در پرو هستند [۲۴].

درون زمین را مانند دیگر سیاره‌های خاکی می‌توان بسته به تفاوت‌های شیمیایی و فیزیکی که در آن دیده می‌شود، به چندین لایه تقسیم کرد (شکل ۲-۱). لایه بیرونی زمین که پوسته نام دارد، جامد است و بیشتر از سیلیکات‌ها ساخته شده است. درست در زیر پوسته، گوشته جامد، لایه‌ای با گرانی زیاد بسیار بالا قرار دارد. پوسته و گوشته با کمک لایه‌ای به نام ناپیوستگی موهروویچیچ^۱ از هم جدا می‌شوند. ضخامت پوسته در نقاط گوناگون زمین تغییر می‌کند، این ضخامت به طور متوسط در زیر اقیانوس‌ها حدود ۶ کیلومتر است و در بخش‌های قاره‌ای به ۳۰ تا ۵۰ کیلومتر هم می‌رسد. مجموعه پوسته و ناحیه بالایی گوشته که سرد و سخت است روی هم لیتوسفر نام دارد. در زیر لیتوسفر، لایه آستنسفر قرار دارد. این لایه به نسبت از گرانی کمی برخوردار است به گونه‌ای که لیتوسفر بر روی آن روان است. دگرگونی‌های مهم در ساختار بلوری در گوشته در عمقی میان ۴۱۰ تا ۶۶۰ کیلومتری از سطح زمین رخ می‌دهد. این بازه، که ناحیه گذار نام دارد، گوشته بیرونی و درونی را از یکدیگر جدا می‌کند. زمین بر خلاف دیگر سیاره‌های خاکی از دو هسته بیرونی و درونی جدا از هم

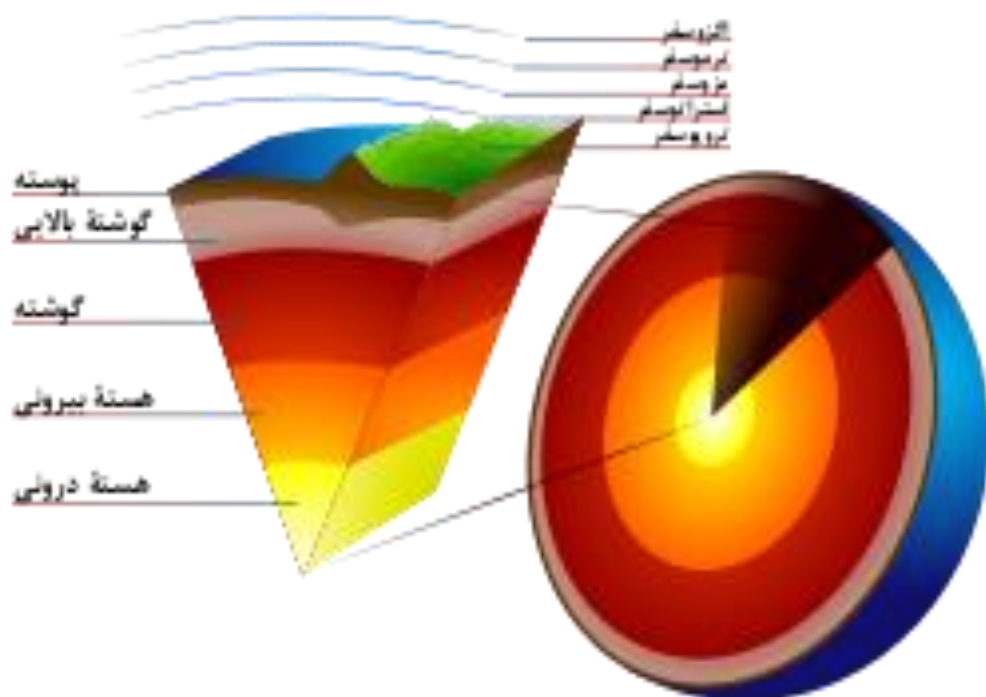
^۱ Mohorovičić discontinuity

ساخته شده است. در زیر گوشته، لایه‌ای با گرانروی بسیار کم قرار دارد، این لایه که هسته بیرونی نام دارد بر روی لایه جامد و در حال گردش هسته درونی جای گرفته است [۲۵].

شکل ۲-۱) نمایی از تقسیم بندی صفحه‌های کره زمین

۲-۱-۱) مواد تشکیل دهنده کره زمین:

جرم زمین تقریباً $5,98 \times 10^{24}$ کیلوگرم است و بیشتر از عنصرهایی مانند آهن (۳۲,۱٪)، اکسیژن (۳۰,۱٪)، سیلیسیم (۱۵,۱٪)، منیزیم (۱۳,۹٪)، گوگرد (۲,۹٪)، نیکل (۱,۸٪)، کلسیم (۱,۵٪) و آلومینیم (۱,۴٪) ساخته شده است ۱,۲٪ باقی‌مانده را نیز رگه‌هایی از دیگر عناصر می‌سازد.



دانشمندان بر این باورند که ۸۸,۸٪ از هسته زمین از آهن، ۵,۸٪ از نیکل، ۴,۵٪ از گوگرد و ۱٪ از دیگر عناصرها ساخته شده است [۲۶].

فرانک کلارک، زمین‌شناس سرشناس محاسبه کرده است که کمی بیش از ۴۷٪ پوسته زمین از اکسیژن ساخته شده است. بیشتر سنگ‌های سازنده پوسته زمین از مواد اکسید شده ساخته شده‌اند. البته کالر، گوگرد و فلوئور در این مورد استثناء هستند و مقدار آن‌ها در سنگ‌ها معمولاً کمتر از ۱٪ است. اکسیدهای مهم عبارتند از: سیلیس، آلومینا، اکسید آهن، اکسید منیزیم، آهک، پتاس و سودا یا اکسید سدیم. در میان اکسیدهای گفته شده، سیلیس از همه مهم‌تر است. کلارک نتیجه‌گیری کرده است که ۹۹٫۶٪ از مواد پوسته زمین از ۱۲ اکسید ساخته شده‌اند. این مواد در جدول (۱-۲) آمده‌اند [۲۷].

جدول (۱-۲) اکسیدهای سازنده پوسته زمین

ترکیب شیمیایی	فرمول	درصد در		ترکیب شیمیایی	فرمول	درصد در	
		قاره‌ها	اقیانوس‌ها			قاره‌ها	اقیانوس‌ها
سیلیسیم دی اکسید	SiO _۲	۶۰٫۲٪	۴۸٫۶٪	پتاسیم اکسید	K _۲ O	۲٫۸٪	۰٫۴٪
آلومینا	Al _۲ O _۳	۱۵٫۲٪	۱۶٫۵٪	اکسید آهن (III)	Fe _۲ O _۳	۲٫۵٪	۲٫۳٪
کلسیم اکسید	CaO	۵٫۵٪	۱۲٫۳٪	آب	H _۲ O	۱٫۴٪	۱٫۱٪
اکسید منیزیم	MgO	۳٫۱٪	۶٫۸٪	دی اکسید کربن	CO _۲	۱٫۲٪	۱٫۴٪
اکسید آهن	FeO	۳٫۸٪	۶٫۲٪	تیتانیوم دی اکسید	TiO _۲	۰٫۷٪	۱٫۴٪
اکسید سدیم	Na _۲ O	۳٫۰٪	۲٫۶٪	پنتا اکسید فسفر	P _۲ O _۵	۰٫۲٪	۰٫۳٪

۲-۱-۲) انواع سنگ‌ها:

بخشی از پوسته زمین از سنگ‌هایی با چگالی کم مانند سنگ‌های آذرین، سنگ خارا و آندزیت ساخته شده است. سنگی مانند بازالت که سازنده اصلی کف اقیانوس‌ها است و خود از آذرین‌های با چگالی بیشتر است، کمتر در پوسته زمین دیده می‌شوند [۲۸].

گونه دیگر سنگ‌ها، سنگ‌های رسوبی است که از انباشته و فشرده شدن مواد ته نشینی ساخته می‌شود. نزدیک به ۷۵٪ صفحه‌های قاره‌ای از سنگ‌های رسوبی پوشیده شده‌است. با این حال این گونه سنگ، تنها ۵٪ پوسته زمین را می‌سازند [۲۹]. گونه سوم سنگ‌ها، سنگ‌های دگرگون است که از دگرگونی سنگ‌هایی که پیشتر در زمین بوده‌اند با وارد شدن گرما یا فشار بسیار بالا و یا هر دو ساخته می‌شوند. فراوان‌ترین کانی‌های سیلیکاتی در سطح زمین عبارتند از: کوارتز، فلدسپات، آمفیبول، میکا، پیروکسن و الیون [۳۰]. همچنین از جمله کانی‌های کربناتی فراوان می‌توان به کلسیت (که در سنگ آهک پیدا می‌شود) و دولومیت اشاره کرد [۳۱].

جدول ۲-۲) ضخامت و چگالی صفحه‌های کره زمین

چگالی g/cm^3	نام لایه	عمق Km
۲,۹-۲,۲	پوسته	۰-۳۵
۴,۴-۳,۴	گوشته بالایی	۳۵-۶۰
۵,۶-۳,۴	گوشته	۳۵-۲۸۹۰
۱۲,۲-۹,۹	هسته بیرونی	۲۸۹۰-۵۱۰۰
۱۳,۱-۱۲,۸	هسته درونی	۵۱۰۰-۶۳۷۸

عناصر موجود در سنگ‌های آذرین و عناصر موجود در سنگ‌های رسوبی در پوسته زمین در جداول زیر به همراه درصد وزنی‌شان آورده شده‌اند:

جدول ۳-۲) میانگین عناصر موجود در خاک [۳۲]

Element	Percent range	Element	Percent range
SiO ₂	67.9	H ₂ O	3.14
Al ₂ O ₃	14.4	CO ₂	1.75

Fe ₂ O ₃	4.97	TiO ₂	0.75
MgO	1.36	P ₂ O ₅	0.16
CaO	0.83	SO ₃	0.11
Na ₂ O	0.79	BaO	0.5
K ₂ O	2.38	C	0.83
MnO	0.13		

جدول ۲-۴) میانگین عناصر موجود در سنگ‌های رسوبی پوسته زمین [۳۳]

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		

پوسته لایه‌ای است که در زمین‌شناسی نفت از اهمیت بالایی برخوردار است. زمین‌شناسی بین پوسته‌ی اقیانوسی و پوسته‌ی قاره‌ای تمایز قایل می‌شود. پوسته‌ی اقیانوس در زیر اقیانوس قرار دارد و ضخامت آن حدود ۵-۷ مایل (۸-۱۱ کیلومتر) می‌باشد و از سنگ‌های سنگینی که از انجماد مواد مذاب (ماگما) حاصل می‌شود، تشکیل می‌شود.

پوسته‌ی قاره‌ای ضخامتی حدود ۱۰-۳۰ مایل (یا ۱۶-۴۸ کیلومتر) دارد و سنگ‌های تشکیل دهنده‌ی آن از سنگ‌های پوسته‌ی اقیانوسی سبک‌تر است.

سنگ‌های آذرین، دگرگونی و رسوبی توسط چرخه‌ی سنگ با هم ارتباط دارند. فرایند چرخه‌ای به گونه‌ای است که هر کدام از دیگری تشکیل می‌شود، سنگ‌ها هوازده می‌شوند به فرم رسوبی بعد از

اینکه ته نشین شدند، در طول تدفین عمیق و عمیق‌تر سنگ‌ها تحت تاثیر متامورفیسم و یا ذوب شدن قرار می‌گیرند. بعد آنها دوباره به صورت کوه‌ها بالا می‌آیند و رشته کوه‌ها را تشکیل می‌دهند. سنگ‌های رسوبی در صنعت نفت مهم‌ترین انواع سنگ‌ها می‌باشد. زیرا تمام تجمعات نفتی (نفتگیرها) در آنها ایجاد می‌شود. سنگ‌های آذرین و دگرگونی به ندرت می‌توانند شامل گاز و نفت باشند. علاوه بر این، اکثر نفت‌های دنیا در سنگ‌های رسوبی که از رسوبات دریایی در خلاف پیشروی قاره‌ها تشکیل شده‌اند، قرار دارند، مانند خلیج مکزیک و خلیج فارس. متوسط ضخامت لایه سنگ‌های رسوبی داخل پوسته زمین در قاره‌ها حدوداً ۳۴۰۰ متر، در شبه قاره‌ها ۲۸۰۰ متر و در اقیانوس‌ها تقریباً ۵۰۰ متر تعیین شده است [۳۴].

اکثر چاه‌های نفت و گاز بین ۹۰۰ تا ۵۰۰۰ متر عمق دارند، اما یک مته می‌تواند تا ۸۰۰۰ متر نیز پایین برود. در جداول زیر عناصر تشکیل دهنده نفت و گاز خام را مشاهده می‌کنید که در شبیه سازی ها استفاده می‌شود.

جدول ۲-۶) عناصر تشکیل دهنده گاز طبیعی [۳۵]

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		

جدول ۲-۵) عناصر موجود در نفت خام [۳۵]

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%

۲-۲) آشنایی با روش مونت کارلو:

روش مونت کارلو یک روش عددی برای حل مسایل ریاضی به وسیله نمونه برداری تصادفی است. این روش به عنوان یک تکنیک عددی جامع بعد از ورود کامپیوتر به زمینه محاسبات عددی ظهور پیدا کرد.

روش مونت کارلو یک طبقه از الگوریتم‌های محاسبه‌گر می‌باشند که برای محاسبه نتایج خود بر نمونه گیری‌های تکرار شونده تصادفی اتکاء می‌کنند. روش‌های مونت کارلو اغلب زمان انجام شبیه‌سازی یک سامانه ریاضیاتی یا فیزیکی می‌شوند استفاده می‌شوند. به دلیل اتکای آن‌ها بر محاسبات تکراری و اعداد تصادفی یا تصادفی کاذب، روش‌های مونت کارلو اغلب به گونه‌ای تنظیم می‌شوند که توسط رایانه اجرا شوند. گرایش به استفاده از روش‌های مونت کارلو زمانی بیشتر می‌شود که محاسبه پاسخ دقیق با کمک الگوریتم‌های قطعی ناممکن یا ناموجه باشد [۳۶].

روش‌های شبیه‌سازی مونت کارلو مخصوصاً در مطالعه سیستم‌هایی که در آن تعداد زیادی متغیر با درجه آزادی‌های دو به دو مرتبط وجود دارد مفید است، از جمله این سیستم‌ها می‌توان به سیالات، جامداتی که به شدت کوپل شده‌اند، مواد بی نظم و ساختارهای سلولی اشاره نمود. از آن گذشته، روش‌های مونت کارلو برای شبیه‌سازی پدیده‌هایی که عدم قطعیت زیادی در ورودی‌های آن‌ها وجود دارد نیز مفید هستند، مثلاً محاسبه ریسک در تجارت. همچنین این روش‌ها به طور گسترده‌ای در ریاضیات مورد استفاده قرار می‌گیرند: یک نمونه استفاده سنتی کاربرد این روش‌ها در برآورد انتگرال‌های معین است، به خصوص انتگرال‌های چند بعدی با محدوده‌های مرزی پیچیده. واژه مونت کارلو^۱ در دهه ۱۹۴۰ میلادی به وسیله فیزیکدانانی که روی پروژه ساخت یک سلاح اتمی در آزمایشگاه ملی لوس آلاموس آمریکا کار می‌کردند رایج شده است [۳۷].

اولین تلاش‌ها به منظور استفاده از اعداد تصادفی در حل مسایل ریاضی در سال ۱۷۷۲ آغاز شد و به دنبال آن «لاپلاس^۲» در سال ۱۷۸۶ اظهار داشت که عدد π را می‌توان با استفاده از اعداد تصادفی ساخت. همان طور که گفته شد روش مونت کارلو از فعالیت‌های انجام شده در آزمایشگاه لوس آلاموس در طی سال‌های دهه ۱۹۴۰ در طول جنگ جهانی دوم و با تلاش دانشمندان برجسته ای از

^۱ Monte Carlo

^۲ Laplace

جمله «انریکو فرمی»^۱ ابداع شد. در سال ۱۹۴۷ فرمی دستگاهی که آن را FERMIAC نامید ساخت که قادر بود با استفاده از روش نمونه برداری تصادفی حرکات نوترون‌ها را در یک ماده شکاف پذیر ردیابی و پیش بینی کند. روش مونت کارلو در ۱۹۵۰ در لوس آلاموس برای تحقیقات جدیدی که درباره بمب‌های هیدروژنی آغاز شده بود مورد استفاده قرار گرفت و در رشته‌های فیزیک و شیمی فیزیک و تحقیق در عملیات مشهور شد. شرکت رند (Rand) و نیروی هوایی ایالات متحده دو سازمان مرتبط برای جمع‌آوری و ارسال اطلاعات درباره روش‌های مونت کارلو در طول این زمان بوده است، و کاربردهای گسترده این روش را یافته‌اند [۳۷].

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^۲ نوشته شد. در سال ۱۹۶۵ MCN^۳ 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^۴ که در آن زمان کد مونت کارلویی نوترون - فوتون نامیده می‌شد تهیه گردید.

در MCNP کتابخانه‌های داده‌های اتمی و کتابخانه‌های داده‌های هسته‌ای وجود دارد. منابع اصلی داده‌های هسته‌ای بر اساس برآوردهای انجام شده از مجموعه‌های ACTL, ENDL, ENDF است که در لیومور گردآوری شده و برآورد انجام شده توسط گروه (T-2) در لوس آلاموس است. به طور کلی این کد توانایی حل مسایل مربوط به ترابرد ذرات را دارد. از این کد می‌توان در موارد زیر استفاده نمود:

- ترابرد نوترون به تنهایی

¹ Enrico Fermi

² Monte Carlo Simulation

³ Monte Carlo Neutron

⁴ Monte Carlo Neutron - Photon

- ترابرد فوتون به تنهایی
- ترابرد الکترون به تنهایی
- ترابرد نوترون و فوتون
- ترابرد فوتون و الکترون
- ترابرد نوترون، فوتون و الکترون

البته در استفاده از کد MCNP برای ذرات مختلف محدودیت انرژی نیز موجود است به طوری که تنها قادر به انجام محاسبات مربوط به نوترون در بازه انرژی 10^{-11} - 20 MeV و برای فوتونها و الکترون ها در بازه انرژی 1 KeV - 1000 MeV است.

در این کد تمام برهم کنش های پرتو گاما شامل پراکندگی های هم دوس و ناهم دوس و فرایندهای جذب از لحظه گسیل پرتو توسط چشمه تا لحظه نابودی (که یا در ماده جذب و یا از محیط مورد مطالعه خارج شده) شبیه سازی می شود [۳۶].

تنها یک روش مونت کارلو وجود ندارد، بلکه این واژه به گستره وسیعی از روش هایی که بسیار به کار گرفته می شوند اطلاق می گردد. به هر حال، این رویکردها یک الگوی مشخصی را پیروی می کنند:

۱. محدوده ای از ورودی های ممکن را تعریف می کنند.
۲. از آن محدوده ورودی های تصادفی را تولید می کنند.
۳. با استفاده از ورودی های بدست آمده یک سری محاسبات مشخص را انجام می دهند.
۴. نتایج هر یک از اجراهای محاسباتی را در پاسخ نهایی ادغام می کنند.

همچنین به این نکته توجه داشته باشید که دو ویژگی مشترک دیگر روش های مونت کارلو این است:

- اتکای محاسبات بر اعداد تصادفی خوب

- همگرایی تدریجی به سمت تخمین‌های بهتر در زمانی که داده‌های بیشتری شبیه‌سازی می‌شوند.

استفاده کننده این کد باید یک فایل ورودی بنویسد که اطلاعاتی مانند:

- ۱- هندسه مسئله
 - ۲- شرح مواد برای انتخاب مقادیر سطح مقطع
 - ۳- موقعیت و ویژگی چشمه
 - ۴- نوع پاسخ یا شرح خروجی
 - ۵- استفاده از تکنیک کاهش واریانس برای بهبود کارایی را شامل می‌شود.
- ورودی MCNP شامل سه قسمت اصلی است. ابتدا سلول‌های موجود در مسئله را معرفی می‌کنیم. در این قسمت با توجه به هندسه مسئله تمامی سلول‌های موجود (سلول‌ها حجم‌هایی هستند که توسط سطوح احاطه شده‌اند) را تعریف می‌کنیم. در ادامه به تعریف سطوح (سطوحی که سلول‌ها را تشکیل داده‌اند) می‌پردازیم. و در نهایت قسمت سوم که شامل معرفی مواد، چشمه، نوع ذره ترابرد شده، نوع خروجی و ... است را می‌نویسیم [۳۶].

فصل سوم: فنریک چکالی سخی با استفاده از پرتوهای

گاما و کاربرد آن در کشف معادن

۳-۱) تاریخچه استفاده از پرتوهای گاما:

تعیین چگالی با استفاده از فناوری هسته‌ای اطلاعات ذی قیمتی برای صنایع متعدد از جمله صنعت نفت و گاز فراهم می‌کند. در این فناوری سعی شده است تا با استفاده از برهم‌کنش پرتو گاما با محیط اطراف اطلاعات مربوط به چگالی آن تعیین شود. با تحلیل میزان تضعیف شار چشمه گاما با اکتیویته معین امکان ارزیابی چگالی محیط اطراف ممکن خواهد شد [۳۸].

در سال‌های اخیر استفاده از پرتوهای گاما در صنایع مختلف رونق بسیار زیادی داشته است که می‌توان به مواردی مانند چگالی سنجی استخوان و عکس برداری در پزشکی، کشف مواد منفجره در صنایع نظامی، بررسی استحکام بتون در سد سازی و موارد بیشمار دیگر اشاره نمود.

طیف نگاری پرتوهای گاما در اواخر سال ۱۹۳۰ بعنوان اولین طیف نگاری غیر الکتریکی معرفی شد و به دلیل غیر مخرب بودن به سرعت برای آزمایش‌های مختلف مورد استفاده قرار گرفت [۱۰].

می‌توان به این نکته اشاره کرد که از پرتو زایی در چگالی سنجی چوب در سال ۱۹۴۰ میلادی استفاده شده است و بیشترین توسعه و تکامل این روش برای تعیین چگالی چوب توسط «پولج»^۱ در سال ۱۹۷۰ الی ۱۹۷۸ صورت پذیرفت. در سال ۱۹۷۰ و ۱۹۷۱ «اچولز»^۲ روش چگالی سنجی به کمک پرتو زایی را بهبود بخشید و در ادامه «الیس»^۳، «فلچر»^۴ و «هیوجیز»^۵ در همان سال باعث پیشرفت بیشتر این روش شدند [۳۹].

^۱ Polge

^۲ Echols

^۳ Ellis

^۴ Fletcher

^۵ Hugues

همچنین در سال ۱۸۹۵ فیزیکدان آلمانی «ویلهلم رونتگن»^۱ کشف کرد که چگونه می‌توان از پرتوزایی در عکس برداری اعضای داخل بدن استفاده کرد. به خاطر این کشف ۶ سال بعد به او جایزه نوبل فیزیک تعلق گرفت. تکامل این روش در این زمینه در سال ۱۹۷۰ با بوجود آمدن اولین تجهیزات عکس برداری ترکیبی یا همان سی‌تی (CT) صورت پذیرفت. به خاطر این کشف در سال ۱۹۷۰ جایزه نوبل در پزشکی و عکس برداری به کاشفان آن «آلن ام کورماک»^۲ و «گودفری آن هونسفیلد»^۳ اعطا شد [۴۰].

در سال ۱۹۸۶ شخصی به نام «هولوژیک»^۴ بحث چگالی سنجی استخوان با استفاده از پرتوزایی را مطرح کرد و در عرض یک سال توانست اولین دستگاه سنجش چگالی استخوان صنعتی را معرفی کند [۴۰].

۳-۱-۱) تاریخچه استفاده از پرتوهای گاما روی خاک:

با استفاده از روش چگالی سنجی به کمک پرتوزایی «ووموسیل»^۵ در سال ۱۹۵۴ توانست برای اولین بار اطلاعات مفیدی در مورد خاک بدست آورد. وی در آزمایشات خود از یک چشمه یک میلی کوری Co^{60} استفاده کرد. پس از او در سال ۱۹۵۷ «ون باول»^۶، «آندروود»^۷ و «راجر»^۸ 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. در سال ۱۹۶۲ «فرگوسن»^۹ و «گاردنر»^{۱۰} با استفاده از چشمه Cs^{137} با

¹ Wilhelm Röntgen

² Allan M Cormack

³ Godfrey N Hounsfield

⁴ Hologic

⁵ Vomocil

⁶ van Bavel

⁷ Underwood

⁸ Rogar

⁹ Ferguson

¹⁰ Gardner

اکتیویته ۲۰ میلی کوری را گزارش کردند. در سال ۱۹۶۴ «مک هنری»^۱ و «دندای»^۲ آزمایش خود را با یک چشمه ۷ میلی کوری Cs^{137} انجام دادند، در همان «رجیناتو»^۳ و «ون باول» با استفاده از یک چشمه ۵ میلی کوری Cs^{137} و طول مسیر جذب پرتو در ۳۰ سانتی متری محاسباتی را انجام دادند. در سال ۱۹۶۵ «کلاسمان»^۴ و «ار»^۵ از یک چشمه ۵۰۰ میلی کوری Cs^{137} استفاده نمودند. در سال ۱۹۶۷ «شالوهوت»^۶ و «یارون»^۷ با استفاده از طول مسیر جذب ۵ سانتی متری و یک چشمه ۱۹ میلی کوری Cs^{137} مطالعات خود را به پایان رساندند، زمان شمارش برای آزمایش آنها ۱۵ ثانیه بود [۴۱].

از آن زمان تا کنون با استفاده از چگالی سنجی هسته‌ای تحقیقات فراوانی در زمینه خاک انجام شده است که به چند مورد از آنها اشاره می‌کنیم [۴۲]. در سال ۱۹۷۱ «دی اسوارت»^۸ و «گرونولت»^۹ با استفاده از چشمه‌های Am^{241} و Cs^{137} توانستند چگالی حجمی مواد متخلخل را اندازه گیری کنند [۴۳]. «استروسنیجر»^{۱۰} و «دی اسوارت» در سال ۱۹۷۴ با استفاده همزمان از چشمه‌های Am^{241} و Cs^{137} یک ستون متشکل از خاک را بررسی کردند [۴۴]. در سال ۱۹۷۵ «راولز»^{۱۱} و «بروکز»^{۱۲} توانستند مقدار آب موجود در یک حجم کوچک از خاک را با استفاده از چگالی سنجی هسته‌ای محاسبه کنند [۴۵]. در سال ۱۹۸۷ «برتوزی»^{۱۳}، «بروکلر»^{۱۴} و «گابیلی»^{۱۵} مقدار چگالی حجمی خشک خاک را بصورت عملی اندازه گیری کردند و خطاهای آنالیز و کالیبره کردن را محاسبه کردند [۴۶]. در سال ۱۹۸۸ «صدیق»^{۱۶}، «محمد»^۱ و «لیندزی»^۲ توانستند با استفاده روش چگالی سنجی

¹ McHenry

² Bendy

³ Reginato

⁴ Clasmann

⁵ Orr

⁶ Shalhevet

⁷ Yaron

⁸ DE SWART

⁹ GROENEVELT

¹⁰ STROOSNIJDER

¹¹ RAWLS

¹² BROOKS

¹³ BERTUZZI

¹⁴ BRUCKLER

¹⁵ GABILLY

¹⁶ SADIQ

هسته‌ای یک اکسید فرومگناطیسی (Fe_2O_3) را در خاک شناسایی و جداسازی کنند [۴۷]. در سال ۱۹۹۳ «وارد»^۲ و «ون دونتر»^۴ مقدار چگالی حجمی خاک خشک و مرطوب را در عمق یک متری اندازه گیری کردند [۴۸]. در ۱۹۹۹ میلادی «باراتاود»^۵، «موین»^۶ و «استملن»^۷ مقدار نفوذ آب در خاک یک جنگل دست نخورده را با استفاده از تکنیک چگالی سنجی به کمک پرتوزایی گاما با دو انرژی بدست آوردند [۴۹]. در همان سال «واز»^۸، «دی مندونکا نایمه»^۹ و «ماسدو»^{۱۰} اندازه ذرات خاک را با استفاده از تضعیف پرتوهای گاما محاسبه کردند [۵۰].

در سال ۲۰۰۱ «سارینن»^{۱۱} و «پترسون»^{۱۲} [۵۱] و در سال ۲۰۰۲ «اجالا»^{۱۳} و «فرانکوس»^{۱۴} از روش چگالی سنجی هسته‌ای برای تجزیه و تحلیل رسوبات استفاده کردند [۵۲]. در سال ۲۰۰۳ «گویماراس»^{۱۵}، «فیلهو»^{۱۶} و «ریچی»^{۱۷} از یک چشمه Cs^{137} برای مطالعه روی فرسایش خاک و رسوب در جنوب شرقی برزیل استفاده کردند [۵۳]. در ۲۰۰۶ «سرجیو»^{۱۸}، «سانتانا»^{۱۹} و «داکوستا»^{۲۰} توانستند ماگمایت^{۲۱} را در آثار سرامیکی شناسایی و توصیف کنند و در منطقه آمازون باستان شناسی انجام دهند [۵۴].

¹ MUHAMMAD

² LINDSAY

³ WARD

⁴ van DEVENTER

⁵ Barataud

⁶ Moyne

⁷ Stemmelen

⁸ Vaz

⁹ de Mendonça Naime

¹⁰ Macedo

¹¹ Saarinen

¹² Petterson

¹³ Ojala

¹⁴ Francus

¹⁵ Guimarães

¹⁶ Filho

¹⁷ Ritchie

¹⁸ Sergio

¹⁹ Santana

²⁰ da Costa

²¹ Maghemite

در ۲۰۰۹ میلادی «داوونا»^۱، «تاینا»^۲ و «هک»^۳ میزان تخلخل فریک آکریسول و فری-پلینتیک آکریسول را با استفاده روش چگالی سنجی هسته‌ای آنالیز کردند [۵۵]. در سال ۲۰۱۲ «اوداواتا»^۴، «گانتزر»^۵ و دیگران پارامترهای منافذ هندسی سه بعدی ناشی از هوازدگی سنگ‌ها را با استفاده روش چگالی سنجی هسته‌ای تجزیه و تحلیل کردند [۵۶]. در سال ۲۰۱۳ «لیاو»^۶ و دیگران آزمایشی مبنی بر نگهداری نیکل در خاک با استفاده از روش جذب پرتوهای ایکس و گاما انجام دادند و نتایج بدست آمده را ارایه کردند [۵۷]. در ۲۰۱۵ «چنگ»^۷ و دیگران آلودگی فلزی در خاک باغچه‌های نیویورک ردیابی کردند، آنها در این تحقیق خاک ۱۶۵۲ باغچه را مورد ارزیابی قرار دادند [۵۸]. در سال ۲۰۱۶ نیز «باومگارت»^۸، «ریدل»^۹ و «التنر»^{۱۰} از Be^7 به عنوان یک ایزوتوپ ردیاب مناسب برای مشخص کردن تغییرات سطحی خاک با مقیاس خوب که توسط بارش بوجود آمده است، استفاده کردند [۵۹].

۳-۱-۲) تاریخچه تحلیل با روش فعالسازی:

اولین بار گرشاو^{۱۱} و کوورکرز^{۱۲} در سال ۱۹۳۰ از تحلیل با روش فعالسازی برای مشخص کردن برلیوم بوسیله انتشار نوترون‌های سریع با چشمه رادیوم استفاده کردند [۶۰]. پس از آن در سال ۱۹۵۰ گاودین و چند نفر دیگر تئوری گرشاو و کوورکرز را توسعه دادند، آنها از ^{124}Sb به عنوان چشمه استفاده کردند [۶۱]. در سال ۱۹۵۴ باسیل، هیور، لوکویی و شول به اولین تلاش برای استفاده از تابش ترمزی^{۱۳} از یک شتاب دهنده الکترونی دست زدند، که نتیجه آن مشخص کردن اکسیژن در

¹ Dowuona

² Taina

³ Heck

⁴ Udawatta

⁵ Gantzer

⁶ Liao

⁷ Cheng

⁸ Baumgart

⁹ Riedel

¹⁰ Eltner

¹¹ Gorshov

¹² Coworkers

¹³ Bremsstrahlung

مواد طبیعی مختلفی بود [۶۲]. لوتز و مسترز در سال ۱۹۷۰ با استفاده از تحلیل به روش فعالسازی فوتونی توانستند مقدار کربن را در فلزات با خلوص بالا تعیین کنند [۶۳]. در سال ۱۹۸۳ یاگی و ماسوموتو مقدار کبالت، نیکل، روبیدیوم و استرانیوم موجود در یک گیاه را با استفاده از تحلیل به روش فعالسازی فوتونی بدست آوردند [۶۴]. در سال ۱۹۹۴ شولزه و همکاران توانستند با این روش فلزات سنگین را در مواد اسیدی هیومیک و آب مشخص کنند [۶۵]. راندا، کوکرا و سوکال در ۲۰۰۲ عناصر تشکیل دهنده یک شهاب سنگ را با این روش شناسایی کردند [۶۶]. میزرا و راندا در سال ۲۰۱۰ با استفاده از تحلیل به روش فعالسازی چند سنگ را مورد آزمایش قرار دادند و توانستند ۴۷ عنصر را شناسایی کنند [۶۷]. در ۲۰۱۵ کراوسوا و همکاران با یک آزمایش غیر مخرب عنصر فلئور را در زمین و برخی مواد دیگر با این روش شناسایی کردند [۶۸].

۳-۲) روش‌های اندازه گیری:

با عبور پرتوهای گاما از درون مواد مختلف ممکن است یکی از سه گزینه زیر برای پرتوی گامای فرودی اتفاق بیافتد:

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

بررسی مواد با استفاده از پرتوهای گاما به دو صورت عمده تقسیم می‌شود:

الف) چشمه ساطع کننده پرتوها در یک سمت ماده و آشکارساز در سمت دیگر ماده قرار داشته باشند.

ب) چشمه ساطع کننده پرتوها و آشکارساز هردو در یک طرف ماده قرار داشته باشند [۶۹].

۳-۲-۱) هر دو طرف ماده در دسترس باشد:

در این حالت (چشمه ساطع کننده پرتوها در یک سمت ماده و آشکارساز در سمت دیگر ماده قرار داشته باشند)، برای یک باریکه موازی از فوتون‌های تک انرژی با شدت I_0 و انرژی E_γ چنانچه پرتوهای گاما از درون ماده‌ای به ضخامت d و چگالی ρ عبور کنند بر طبق قانون لامبرت - بیزر داریم:

$$I = BI_0 e^{(-\mu\rho d)} \quad (1-3)$$

که در این رابطه μ نمایانگر ضریب جذب جرمی کل، I شار پرتوهای گامایی است که بدون اندرکنش از ماده عبور کرده‌اند [۲] و B ضریب انباشت می‌باشد [۱]. از رابطه (3-1) خواهیم داشت:

$$\rho = \frac{1}{\mu d} \ln\left(\frac{BI_0}{I}\right) = \frac{1}{\mu d} \left[\ln\left(\frac{I_0}{I}\right) + \ln B \right] \quad (2-3)$$

از آنجایی که کمیت μ نیز به نوع ماده وابسته است، لذا با استفاده از رابطه فوق برای دو نوع ذره فرودی با انرژی متفاوت دو معادله مختلف با دو کمیت مجهول (μ و ρ) بدست می‌آید که با حل این دو معادله می‌توان چگالی ماده را محاسبه کرد [۷۰].

۳-۲-۲) فقط یک طرف ماده در دسترس باشد:

برای این حالت (چشمه ساطع کننده پرتوها و آشکارساز هردو در یک طرف ماده قرار داشته باشند) که چشمه ساطع کننده پرتوها و آشکارساز هردو در یک طرف ماده قرار دارند باید با استفاده از گامای پس پراکنده از ماده تحقیقات را انجام داد که برای این کار به صورت زیر عمل می‌کنیم:

❖ ابتدا احتمال اینکه پرتو تا فاصله X_1 بدون برهم‌کنش در ماده حرکت کند را محاسبه می‌کنیم

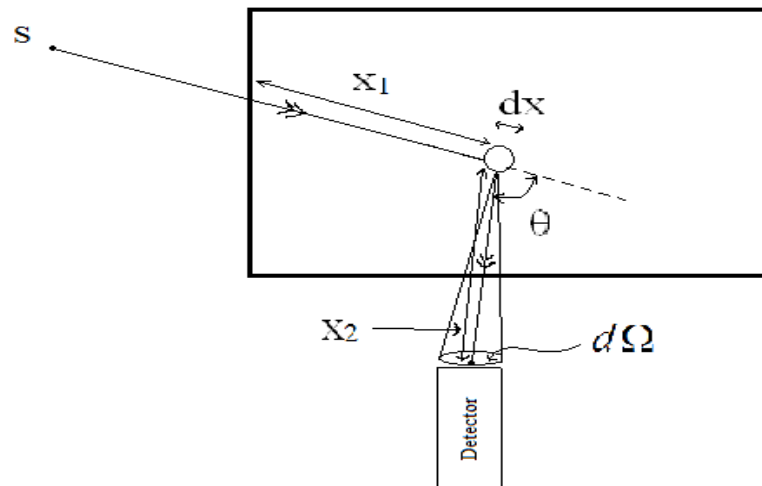
که متناسب با $e^{-\mu_{E_0} X_1}$ است.

❖ سپس در ضخامت x_1 تا x_1+dx برهم کنش از نوع پراکندگی کامپتون انجام دهد که بصورت μdx محاسبه می شود.

❖ پس از انجام برهم کنش، 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 می گیرد که متناسب است با $\frac{d\sigma_\theta}{d\Omega} d\Omega$.

❖ در نهایت احتمال آنکه پرتوهای پراکنده شده با عبور از فاصله x_2 بدون انجام اندرکنش وارد آشکارساز شوند را بصورت $e^{-\mu_E x_2}$ محاسبه می کنیم [۱].



شکل ۳-۱) راستاهای برخورد و پس پراکنده شدن فوتون در ماده

با ضرب این احتمال ها در یکدیگر شدت خروجی پرتو از ماده به صورت زیر محاسبه می شود [۷۱]:

$$dI = Bc \left[e^{-\mu_{E0} x_1} \right] \left[\mu dx \right] \left[\frac{d\sigma_\theta}{d\Omega} d\Omega \right] \left[e^{-\mu_E x_2} \right] \quad (3-3)$$

$$I = \int dI = Bc e^{-\mu_{E0} x_1} \mu L e^{-\mu_E x_2} \int \frac{d\sigma_\theta}{d\Omega} d\Omega \quad (4-3)$$

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

$$\frac{d\sigma_\theta}{d\Omega} = \frac{r_0^2}{2} \left(\frac{\nu'}{\nu_0} \right)^2 \left(\frac{\nu_0}{\nu'} + \frac{\nu'}{\nu_0} - \sin^2 \theta \right) \quad (5-3)$$

$$\frac{\nu'}{\nu} = \frac{E_{\gamma'}}{E_{\gamma}} = \frac{1}{1 + \frac{E_{\gamma}}{m_0 c^2} (1 + \cos \theta)} \quad (۳-۶)$$

که به فرمول کلین - نیشینا^۱ معروف است. در این روابط I_0 شعاع کلاسیکی الکترون، B ضریب انباشت، C معرف کلیه کمیت‌های ثابتی است که به نوع شرایط انجام آزمایش از جمله راندمان آشکارساز ارتباط دارد، μ ضریب تضعیف، I شار، ν و ν' بسامد، E_{γ} و $E_{\gamma'}$ انرژی هستند [۷۲].

۳-۳) معرفی کمیت کنتراست:

با توجه به آنکه برای اندازه‌گیری مطلق نیاز به داشتن ضرایب متفاوت از جمله راندمان آشکارساز، قدرت و اکتیویته چشمه و ... است؛ لذا اندازه‌گیری مطلق کاری سخت است و نیاز به دقت بالایی دارد. بر همین اساس ما در این پژوهش اقدام به معرفی کمیتی به نام کنتراست C می‌نماییم که اساس آن بر پایه اندازه‌گیری نسبی و مقایسه با یک حالت اولیه معین است که به فرم زیر که تفاوت نسبی بین شار پس پراکنده ثبت شده توسط آشکارساز I_{Inc} بدون حضور نمونه و شار پس پراکنده ثبت شده توسط آشکارساز I_{Bsc} با حضور نمونه به درصد است را بیان می‌کنیم [۷۳].

$$C(\%) = \frac{I_{Bsc} - I_{Inc}}{I_{Inc}} \times 100 \quad (۳-۷)$$

خطای مربوط به کنتراست را نیز (با استفاده از فرمول انتشار خطا) از رابطه زیر بدست می‌آوریم:

$$\sigma_C = \frac{I_{Bsc}}{I_{Inc}} \sqrt{\left(\frac{\sigma_{I_{Bsc}}}{I_{Bsc}}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_{I_{Inc}}}{I_{Inc}}\right)^2} \quad (۳-۸)$$

باید توجه داشت که در محاسبه شار پس پراکنده عواملی همچون مشخصات چشمه (از قبیل انرژی، توزیع زاویه‌ای و ...)، مشخصات آشکارساز مثل اندازه سطح پنجره ورودی، مشخصات ماده (مانند ضخامت، عدد اتمی و ...)، فاصله بین ماده و آشکارساز و چشمه و هندسه مسئله تاثیر گذار هستند.

¹ Klein-Nishina

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

$$D(\%) = \frac{C_{Oil} - C_{Water}}{C_{Oil}} \times 100 \quad (9-3)$$

$$\sigma_D = \frac{C_{Water}}{C_{Oil}} \sqrt{\left(\frac{\sigma_{C_{Water}}}{C_{Water}}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_{C_{Oil}}}{C_{Oil}}\right)^2} \quad (10-3)$$

برای این کار، می‌توان اینگونه در نظر گرفت که هرگاه مقدار قدر مطلق کمیت D بیشتر از ۵ درصد با خطای زیر ۰,۲ درصد باشد می‌توان بین معادن تفکیک قائل شد [۷۱].

برای مشخص کردن مقدار نفت در سنگ‌ها کمیتی بصورت نسبت شدت مربوط به انرژی گامای کربن در انرژی ۴,۴۳ MeV به شدت گامای مربوط به آهن در انرژی ۴,۲۱۷ MeV در نظر گرفته می‌شود [۷۴]. لذا با استفاده از کمیت بالا ما نیز در این کار مقدار نسبت درصد وزنی کربن موجود به درصد وزنی آهن موجود برحسب کنتراست و نسبت درصد وزنی اکسیژن موجود به درصد وزنی آهن موجود برحسب کنتراست را محاسبه نموده‌ایم.

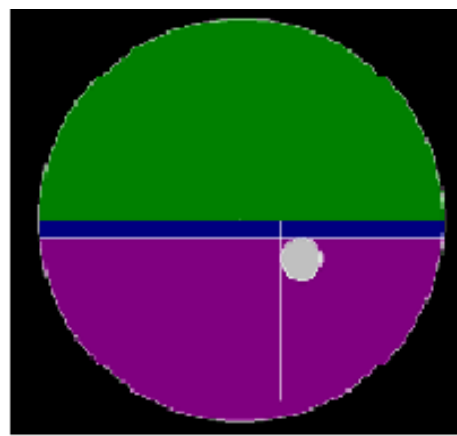
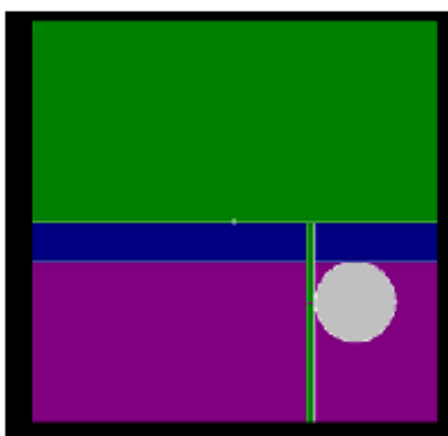
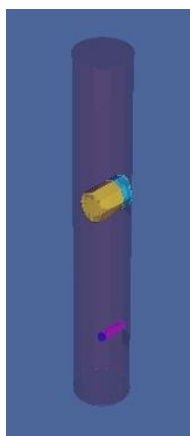
فصل چهارم: انجام شیه سازی و بررسی نتایج

بدست آمده

۴-۱) عمق نفوذ مفید پرتوهای گاما در خاک و سنگ‌های

رسوبی:

در این کار ما با استفاده از کد MCNP قسمتی از کره زمین را شبیه سازی کرده‌ایم که در شکل (۴-۱) نشان داده شده است. به منظور امکان سنجی بررسی وسیع مناطق با استفاده از پس پراکندگی پرتوهای گاما در ابتدا در این شبیه سازی‌ها کره‌ای به شعاع ۱۰ کیلومتر در نظر گرفته شده است که نشان دهنده قسمت کوچکی از کره زمین می‌باشد. نیم کره بالایی که در شکل با رنگ سبز مشخص شده، سطح بالای خاک و نیم کره پایینی خاک موجود در کره زمین را نشان می‌دهد. قسمت آبی رنگ خاک معمولی است که میزان عناصر تشکیل دهنده آن در جدول شماره (۲-۳) آمده است. قسمت



پایین تر که در شکل با رنگ بنفش مشخص شده نوعی از سنگ‌های رسوبی است که معمولاً به آن‌ها سنگ معدن می‌گویند و عناصر سازنده آن در جدول شماره (۲-۴) نشان داده شده است.

الف) شکل شماره ۴-۱) شکل استفاده شده در شبیه سازی‌ها. الف) هندسه کلی استفاده شده در شبیه سازی،
ب) بزرگنمایی هندسه کلی استفاده شده در شبیه سازی، ج) پکیج سربی حاوی چشمه و آشکارساز

در ادامه، کره‌ای به شعاع یک کیلومتر درون سنگ‌های رسوبی معین شده است که نشان دهنده معدن مورد نظر می‌باشد و با رنگ خاکستری در شکل قابل مشاهده است. چاه شبیه سازی شده در این کار دارای عمقی برابر با ۹ کیلومتر و شعاعی به اندازه ۵۰ سانتی متر می‌باشد. یک پکیج سربی که چشمه و آشکارساز (با رنگ زرد در شکل مشخص شده) در خود جای داده است در این شبیه سازی‌ها انتخاب شده است. شبیه سازی‌ها برای چهار معدن متشکل از نفت خام، آب شور، گاز طبیعی و همچنین محیطی بدون وجود معدن نیز انجام شده است. در این شبیه سازی‌ها از پنج چشمه استفاده شده است که عبارتند از ^{60}Co ، ^{137}Cs ، چشمه‌ای با گامای ۱۰ MeV، چشمه‌ای با گامای ۵۰ MeV و چشمه‌ای با گامای ۱۰۰ MeV. فاصله دیواره چاه از معدن نیز متغیر بوده و مقادیر آن برابر با ۵، ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۵۰ سانتی متر و بیشتر تغییر داده شده است.

به منظور اینکه این سیستم بتواند تغییر چگالی را شناسایی کند، باید در شار خروجی اندازه گیری شده اختلالی وجود داشته باشد، لذا در این شبیه سازی‌ها پکیج حاوی چشمه و آشکارساز درون چاه در عمق‌های مختلفی قرار داده شده‌اند. از این جهت پرتوهای گسیلی از چشمه به داخل خاک و سنگ-های رسوبی نفوذ کرده و شار پس پراکنده شده در آن عمق اندازه گیری می‌شود که در این پژوهش با استفاده از تالی F8 تابع پاسخ آشکارساز برای پرتوهای پس پراکنده شده بدست آمده است.

جدول ۴-۲) عناصر موجود در آب شور

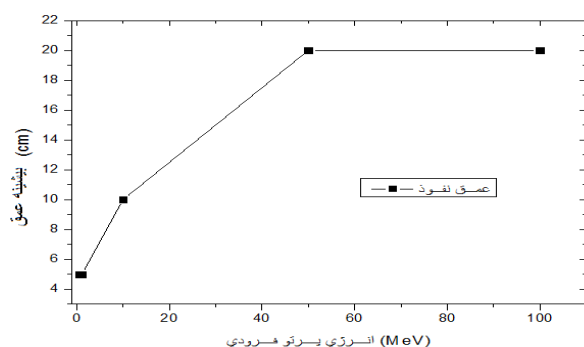
جدول ۴-۱) عناصر موجود در هوا

عنصر	درصد
H	78
O	21

عنصر	درصد
H	64.5
O	32.5
Na	1.75
Cl	1.75

0.9	Ar
0.1	CO ₂

برای چشمه ^{137}Cs و ^{60}Co در چاهی با فاصله ۵ سانتی متری تغییر شار پس پراکنده قابل مشاهده است و در بقیه فواصل هیچگونه تغییری مشاهده نمی‌شود. با افزایش انرژی پرتوهای گامای فرودی، تغییر شار پس پراکنده در انرژی‌های 10 MeV, 50 MeV و 100 MeV به ترتیب در فواصل 10, 20 و 20 سانتی‌متری مشاهده می‌گردد. بر همین اساس مقادیر کنتراست با استفاده از رابطه (۷-۳) و عمق نفوذ مفید پرتوهای گسیلی از هر چشمه در این فواصل بدست آمده که در جداول (۳-۴) و (۴-۴) این نتایج بیان گردیده است.



شکل شماره ۳-۴) نمودار انرژی پرتوی فرودی بر حسب بیشینه عمق تغییرات قابل مشاهده کنتراست

جدول شماره ۳-۴) انرژی پرتوی فرودی بر حسب بیشینه عمق تغییرات قابل مشاهده کنتراست

ردیف	انرژی پرتو فرودی (MeV)	بیشینه عمق (cm)
1	0.661 (Cs^{137})	5
2	1.173 (and 1.332) (Co^{60})	5
3	10	10
4	50	20
5	100	20

جدول شماره ۴-۴) کنتراست بدست آمده مربوط به چشمه‌های ^{137}Cs , ^{60}Co , 10 MeV, 50 MeV, 100

MeV

گاز طبیعی	نفت خام	آب شور	چشمه ^{137}Cs	کنتراست
0	-0.57389	0.14347	چشمه ^{60}Co	
0.74906	-0.74906	-0.37453	چشمه با انرژی پرتو گامای	
-0.1321	0.6605	0.1321		

			فرودی ۱۰ MeV	
0.07541	-0.37707	-0.07541	چشمه با انرژی پرتو گامای فرودی ۵۰ MeV	
0.19737	0.32895	0.13158	چشمه با انرژی پرتو گامای فرودی ۱۰۰ MeV	

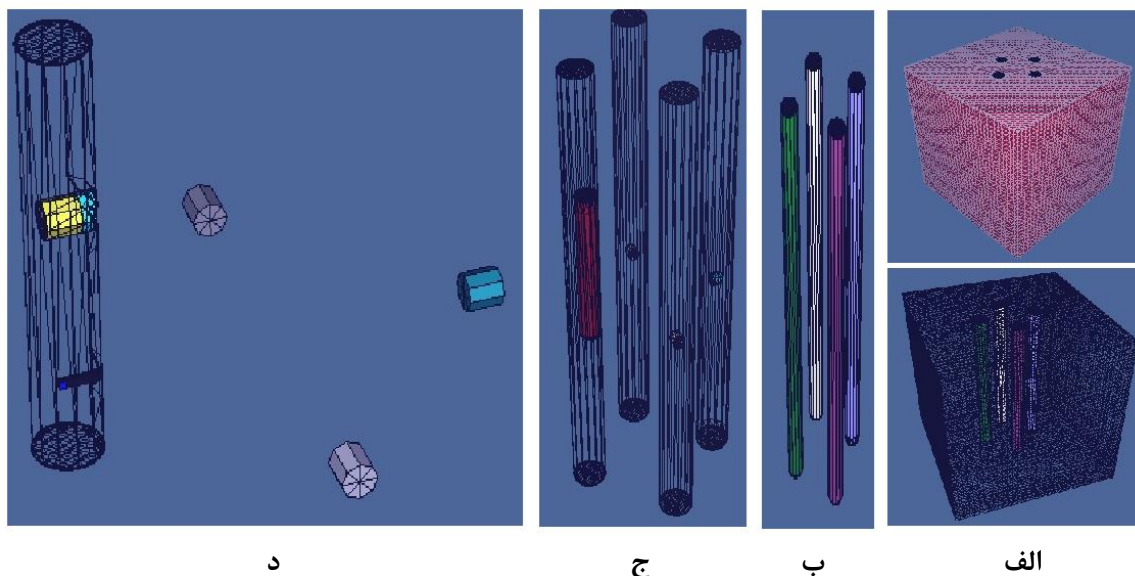
با توجه به رابطه (۳-۴) اندازه شار پس پراکنده بدست آمده وابسته به انرژی ذره فرودی است. به دلیل اینکه مقدار کنتراست در فواصلی دورتر از مقادیر موجود در جدول (۴-۴) برابر با صفر می‌باشد می‌توان اینگونه نتیجه گیری نمود که عمق نفوذ مفید پرتوهای گاما در سنگ‌های رسوبی و خاک استفاده شده در این شبیه سازی‌ها حدوداً ۲۰ سانتی متر برای گاماها با انرژی ۱۰۰ MeV می‌باشد و با کاهش انرژی از عمق نفوذ مفید نیز کاسته می‌شود، بطوریکه در استفاده از گامایی با انرژی keV ۶۶۱ که کمترین انرژی استفاده شده در این شبیه سازی‌ها و مربوط به چشمه ^{137}Cs بوده است مقدار عمق نفوذ مفید در حدود ۵ سانتی متر بدست آمده است. همچنین بیشینه کنتراست برای پرتوهای گامای حاصل از چشمه ^{60}Co در نفت خام، گاز طبیعی و آب شور به ترتیب برابر با ۰,۷۴۹۰۶، ۰,۷۴۹۰۶ و ۰,۳۷۴۵۳- بدست آمده است. بنابراین با استفاده از این روش تنها می‌توان فضای کوچکی از ماده حول چشمه و آشکارساز را بررسی کرد.

۴-۲) موقعیت مکانی بهینه:

به منظور پیدا کردن موقعیت مکانی بهینه چاه حفر شده بر کیفیت کشف معادن نفتی با استفاده از کد MCNP یک بلوکه متشکل از سنگ‌های رسوبی به همراه چهار حفره درون آن شبیه سازی نموده‌ایم که 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 بلوکه مقدار کنتراست را برای پرتوهای گامای خروجی و پس پراکنده شده بدست آورده‌ایم. نحوه قرار گرفتن حفره‌ها، آشکارسازها و چشمه در شکل شماره (۴-۳) مشاهده می‌کنید.

در این شبیه سازی ها بلوکه مکعبی شکلی به ضلع ۲ متر در نظر گرفته شده است که ماده تشکیل دهنده آن نوعی از سنگ های رسوبی، نفت، آب و ترکیبی از این سنگ ها و آب یا نفت می باشد. قسمت خاکستری رنگ مواد بیان شده هستند که میزان عناصر تشکیل دهنده آنها در جداول شماره (۲-۴)، (۲-۵) و (۴-۲) آمده است. حفره های شبیه سازی شده در این کار دارای عمقی برابر با ۱۸۰ سانتی متر و شعاعی به اندازه ۷,۶۲ سانتی متر می باشد.

در این کار ما چشمه ^{137}Cs را درون حفره اول قرارداده ایم و در همه حفره ها یک آشکارساز NaI(Tl) با ابعاد ۲ اینچ تعبیه نموده ایم.



شکل شماره ۴-۳) نحوه قرار گرفتن حفره ها، آشکارسازها و چشمه در شبیه سازی ها. الف) شکل بلوکه و حفره های تعبیه شده در آن، ب) شکل حفره های قرار گرفته شده در بلوکه، ج) نحوه قرار گرفتن چشمه و آشکارسازها درون حفره ها، د) شکل چشمه و آشکارسازهای قرار گرفته شده در حفره ها

شبیه سازی ها برای بلوکه ای متشکل از سنگ های رسوبی، نفت خام، آب، مخلوطی از سنگ های رسوبی با آب و مخلوطی از سنگ های رسوبی با نفت با مقادیر ۲۰، ۴۰، ۶۰ و ۸۰ درصد آب یا نفت مخلوط با سنگ های رسوبی انجام گرفت که نتایج شار ثبت شده توسط آشکارساز و کنتراست بدست آمده در جداول شماره (۴-۵) الی (۴-۸) و نمودارهای شماره (۴-۴) الی (۴-۷) ارائه شده است. در این شبیه سازی ها مقدار کنتراست محاسبه شده از شار ثبت شده در آشکارساز درون حفره ای که روبه روی

چشمه قرار گرفته است (حفره دوم) بیشتر از مقدار کنتراست بقیه آشکارسازها است، به عنوان مثال برای بلوکه متشکل از سنگ‌های رسوبی با چهل درصد نفت در چاه‌های اول تا چهارم به ترتیب برابر با ۲۱۹،۱۰، ۳۵۴،۸۵، ۱۷۴،۷۵ و ۱۹۷،۳۰ و برای آب ۱۹۸،۳۱، ۸۷، ۳۳۰، ۱۶۷،۷۳ و ۱۸۵،۲۶ می‌باشد. همانطور که از جداول شماره (۴-۵) الی (۴-۸) مشخص است مقدار عددی کنتراست بدست آمده در حفره دوم مقدار بیشتری را نسبت به بقیه حفره‌ها نشان می‌دهد. این تفاوت بدلیل اختلاف در شار ثبت شده در آشکارسازها می‌باشد که از لحاظ تئوری نیز صحیح است، به این صورت که شار عبور کرده از ماده بیشتر از شار پس پراکنده شده است.

جدول شماره ۴-۵) تالی F8 در چاه اول

ردیف	درصد موجود در خاک	شار آب	شار نفت خام	کنتراست مربوط به آب	کنتراست مربوط به نفت
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 شماره ۴-۶) تالی F8 در چاه دوم

ردیف	درصد موجود در خاک	شار آب	شار نفت خام	کنتراست مربوط به آب	کنتراست مربوط به نفت
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

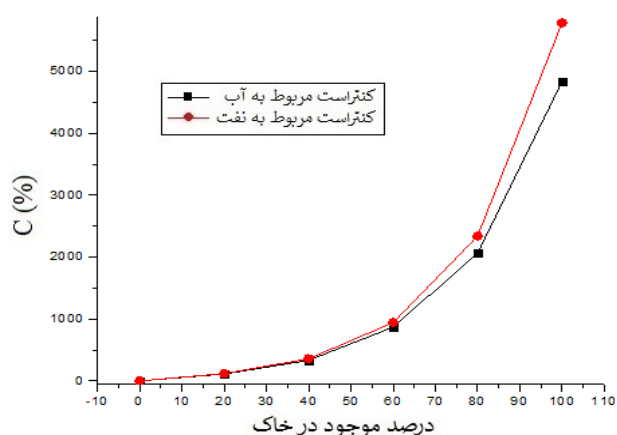
جدول شماره ۴-۷) تالی F8 در چاه سوم

ردیف	درصد موجود در خاک	شار آب	شار نفت خام	کنتراست مربوط به آب	کنتراست مربوط به نفت
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

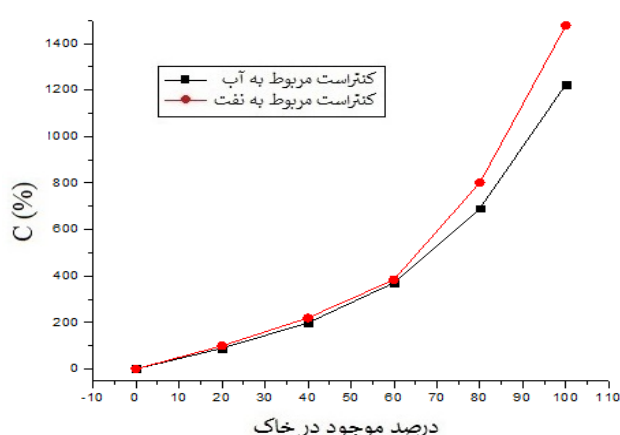
5	80	$1.5016E-5 \pm 8.709E-8$	$1.6432E-5 \pm 9.037E-8$	701.49453 ± 0.138	777.07499 ± 0.15
6	100	$2.6441E-5 \pm 1.136E-7$	$3.1112E-5 \pm 1.244E-7$	1311.31572 ± 0.237	1560.63517 ± 0.278

جدول شماره ۴-۸) تالی F8 در چاه چهارم

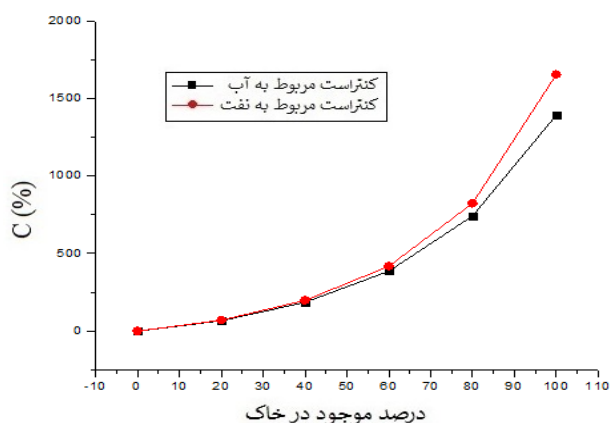
ردیف	درصد موجود در خاک	شار آب	شار نفت خام	کنتراست مربوط به آب	کنتراست مربوط به نفت
1	0	$1.781E-6 \pm 2.99E-8$	$1.781E-6 \pm 2.99E-8$	0	0
2	20	$2.9505E-6 \pm 3.83E-8$	$3.0125E-6 \pm 3.88E-8$	65.66536 ± 0.035	69.14655 ± 0.035
3	40	$5.0805E-6 \pm 5.02E-8$	$5.295E-6 \pm 5.13E-8$	185.26109 ± 0.055	197.30488 ± 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



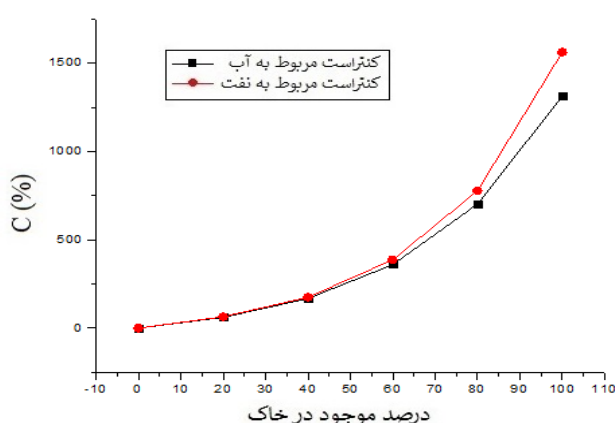
شکل شماره ۴-۵) کنتراست محاسبه شده بر حسب درصد نفت و یا آب موجود در سنگ‌های رسوبی در چاه دوم



شکل شماره ۴-۴) کنتراست محاسبه شده بر حسب درصد نفت و یا آب موجود در سنگ‌های رسوبی در چاه اول



شکل شماره ۴-۷) کنتراست محاسبه شده بر حسب درصد نفت و یا آب موجود



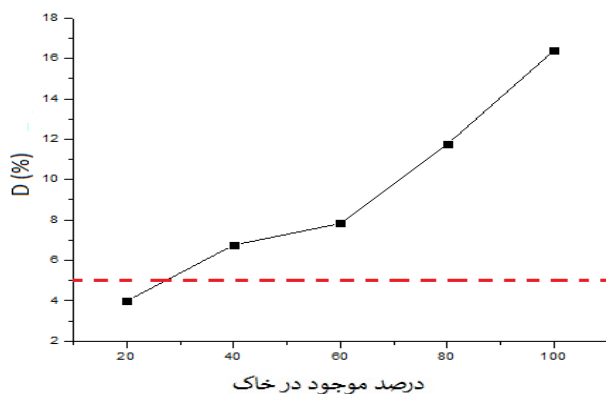
شکل شماره ۴-۶) کنتراست محاسبه شده بر حسب درصد نفت و یا آب موجود

۴-۲-۱) اختلاف نسبی بین معادن نفت و آب در درصد‌های مختلف موجود در خاک:

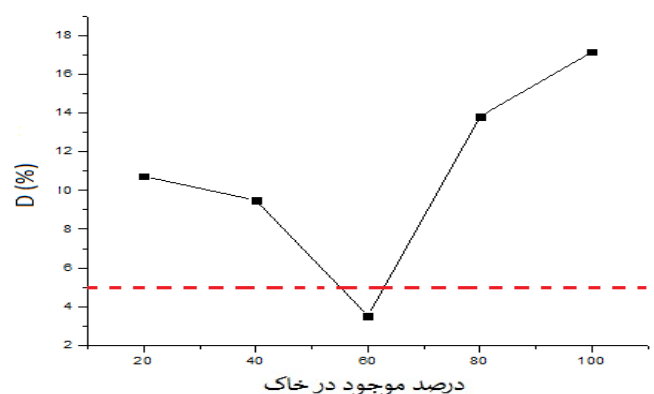
همانطور که در نمودارهای شماره (۴-۸) الی (۴-۱۱) مشخص است خط $D=5$ منحنی مربوطه را برای حفره اول در نقاط ۵۵ و ۶۵، برای حفره دوم در نقطه ۲۷، برای حفره سوم در نقطه ۴۵ و برای حفره چهارم در نقطه ۲۰ قطع می‌کند، لذا می‌توان گفت که به ترتیب برای حفره اول در درصد‌های پایین‌تر از ۵۵ و بالاتر از ۶۵، برای حفره دوم در درصد‌های بالاتر از ۲۷، برای حفره سوم در درصد‌های بالاتر از ۴۵ و برای حفره چهارم در درصد‌های بالاتر از ۲۰ معادن نفت و آب از یکدیگر تفکیک پذیر هستند.

جدول شماره ۴-۹) اختلاف نسبی بین معادن 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

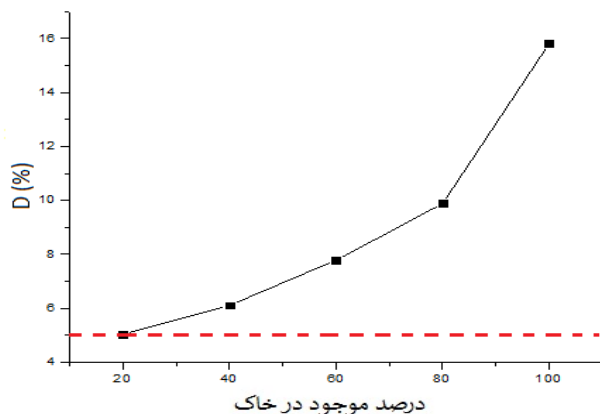


شکل شماره ۴-۹) اختلاف نسبی به درصد بین معادن نفت و آب بر حسب درصد‌های موجود

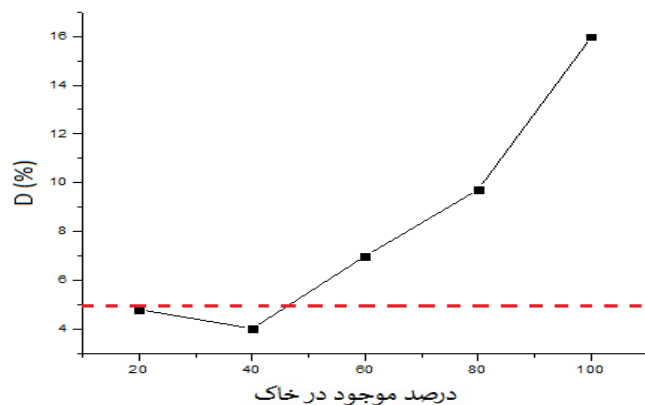


شکل شماره ۴-۸) اختلاف نسبی به درصد بین معادن نفت و آب بر حسب درصد‌های موجود

در سنگ‌های رسوبی در چاه اول



شکل شماره ۴-۱۱) اختلاف نسبی به درصد بین معادن نفت و آب بر حسب درصدهای موجود در سنگ‌های رسوبی در چاه چهارم



شکل شماره ۴-۱۰) اختلاف نسبی به درصد بین معادن نفت و آب بر حسب درصدهای موجود در سنگ‌های رسوبی در چاه سوم

از آن جهت که در این اندازه گیری‌ها از هر دو روش گامای عبوری (چاه 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 کنتراست بدست آمده دست یافت. با توجه به مقادیر بدست آمده برای کمیت D در حفره‌های اول و سوم در ۲۰ درصد ماده موجود در خاک یک کاهش مقدار نامتعادل در نمودارها بدست آمده است که باعث بوجود آمدن یک دره در نمودار مربوط به آنها شده است. این دره در حفره اول مشخص تر از حفره سوم می‌باشد که می‌توان گفت با زاویه پراکندگی متناسب است، یعنی هر چه زاویه پراکندگی بیشتر باشد این دره در نمودار واضح تر دیده می‌شود. اما در حفره دوم و چهارم نمودار D یک نمودار کاملاً صعودی است و هیچ دره‌ای در آن بوجود نیامده است. همانطور که از مقادیر محاسبه شده مشخص است کنتراست بدست آمده از حفره دوم (حفره‌ای که روبه‌روی چشمه است) از بقیه کنتراست‌ها بیشتر می‌باشد که می‌توان گفت از لحاظ موقعیت دارای جایگاه بهتری نسبت به بقیه حفره‌ها می‌باشد. اما با استفاده از کمیت D و مقادیر مشخص است که در حفره اول معادن نفت و آب را در تمامی درصدها به جز درصدهای بین ۵۵ تا ۶۵ درصد موجود در خاک می‌توان از همدیگر تفکیک نمود، لذا باید گفت بهترین حفره از لحاظ موقعیت چاه اول می‌باشد.

۴-۳) امکان سنجی کشف معادن نفتی و بررسی اختلال بوجود

آمده توسط رادیوایزوتوپ‌های طبیعی موجود در زمین:

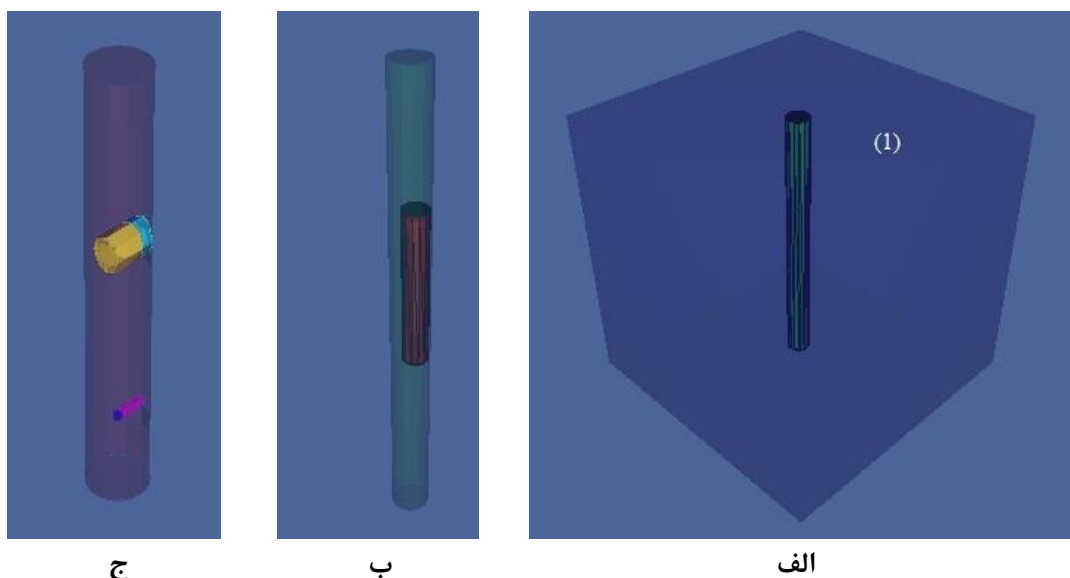
در ادامه برای کشف معادن نفتی با استفاده از کد MCNP یک بلوکه با یک حفره در آن را شبیه سازی کرده‌ایم که نحوه قرار گرفتن حفره، آشکارساز و چشمه در شکل شماره (۴-۱۲) مشاهده می‌کنید.

در این شبیه سازی‌ها بلوکه 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 شماره (۲-۴)، (۲-۵)، (۲-۶) و (۴-۲) آمده است. حفره شبیه سازی شده در این کار دارای عمقی برابر با ۱۸۰ سانتی متر و شعاعی به اندازه ۷,۶۲ سانتی متر می‌باشد.

چشمه ^{137}Cs و آشکارساز NaI(Tl) با ابعاد ۲ اینچ درون یک پکیج سربی داخل حفره مشخص شده قرار داده شده است.

سپس برای قابلیت تشخیص این روش در تفکیک معادن مختلف با درصد آب، گاز و یا نفت متفاوت در سنگ‌های رسوبی اقدام به شبیه‌سازی با درصد متفاوت از مواد فوق در سنگ‌های رسوبی نموده‌ایم.

در این کار در سه حالت مختلف شبیه سازی‌ها انجام شده است: (۱) حالت اول حالتی است که در آن ماده تشکیل دهنده بلوکه هیچ رادیوایزوتوپ پرتوزای طبیعی ندارد و فقط پرتوهای گسیلی به درون ماده مربوط به چشمه ^{137}Cs است. (۲) در حالت دوم چشمه ^{137}Cs از شبیه سازی‌ها حذف شده است و به جای آن ایزوتوپ‌های موجود در طبیعت (^{238}U , ^{232}Th , ^{40}K) که در سنگ‌های رسوبی یافت می‌شود با فرض توزیع یکنواخت در ماده تشکیل دهنده بلوکه اضافه شده است که کار گسیل پرتوها در این شبیه سازی‌ها را انجام می‌دهند. (۳) حالت سوم ترکیب دو حالت قبل است، یعنی در آن هم از ایزوتوپ‌های موجود در طبیعت و هم از چشمه ^{137}Cs استفاده شده است.



شکل شماره ۴-۱۲) نحوه قرار گرفتن حفره، آشکارساز و چشمه در شبیه سازی‌ها. الف) شکل بلوکه و حفره تعبیه شده در آن، ب) نحوه قرار گرفتن پکیج سربی درون حفره، ج) شکل چشمه و آشکارساز قرار گرفته شده در پکیج سربی

از آنجایی که حالت اول مربوط به چشمه بدون وجود هیچ اختلالی، حالت دوم مربوط به اختلال بوجود آمده توسط ایزوتوپ‌های موجود در طبیعت و حالت سوم مربوط به چشمه با وجود تابش زمینه طبیعی بوجود آمده توسط ایزوتوپ‌های موجود در طبیعت است برای از بین بردن اثر تابش زمینه طبیعی به صورت زیر عمل می‌کنیم.

با تغییر اکتیویته ویژه چشمه ^{137}Cs شبیه سازی‌های دیگری انجام داده که در جداول شماره (۴-۱۴) الی (۴-۲۰) مقادیر بدست آمده از آن‌ها را مشاهده می‌کنید. در حالت سوم اکتیویته ویژه چشمه ^{137}Cs با اکتیویته معادل سه چشمه موجود در طبیعت با هم برابر است. با توجه به تعریف اکتیویته چشمه یا فعالیت نمونه که برابر با تعداد هسته‌هایی است که در واحد زمان وامی‌پاشند می‌توان اینگونه استنباط کرد که اکتیویته معادل برای چند چشمه ترکیب شده با هم برابر است با مجموع اکتیویته هر یک از چشمه‌ها. اکتیویته ویژه (اکتیویته (بکرل) بر واحد وزن (گرم)) چشمه‌های موجود در طبیعت برابر است با:

$$A_U = 134.16 \text{ Bq/gr}$$

$$A_K = 0.016 \text{ Bq/gr}$$

$$A_{Th} = 55 \text{ Bq/gr}$$

در نتیجه اکتیویته معادل برای ایزوتوپ‌های موجود در طبیعت برابر می‌شود با [۲۶]:

$$A_{tot} = A_U + A_K + A_{Th} = 134.16 + 0.016 + 55 = 189.176 \text{ Bq/gr}$$

در جدول زیر اکتیویته ویژه چشمه سزیم برای حالت‌های سوم تا دهم آورده شده است:

جدول شماره ۴-۱۰) مقدار اکتیویته ویژه چشمه ^{137}Cs استفاده شده در شبیه سازی‌ها

اکتیویته ویژه چشمه سزیم (بکرل بر گرم)	رابطه اکتیویته ویژه چشمه سزیم با اکتیویته ویژه ایزوتوپ‌های موجود در طبیعت	حالت‌های شبیه سازی شده	ردیف
۱۸۹,۱۷۶	با هم برابرند	حالت سوم	۱
۳۷۸,۳۵۲	۲ برابر	حالت چهارم	۲
۷۵۶,۷۰۴	۴ برابر	حالت پنجم	۳
۱۵۱۳,۴۰۸	۸ برابر	حالت ششم	۴
۳۰۲۶,۸۱۶	۱۶ برابر	حالت هفتم	۵
۴۸۴۲۹,۰۵۶	۲۵۶ برابر	حالت هشتم	۶
۱۹۳۷۱۶,۲۲۴	۱۰۲۴ برابر	حالت نهم	۷
۳۰۹۹۴۶۰	۱۶۳۸۴ برابر	حالت دهم	۸

شبیه سازی‌ها برای بلوک‌های متشکل از سنگ‌های رسوبی، نفت خام، گاز طبیعی و آب به تنهایی و مخلوطی از سنگ‌های رسوبی با هر یک از آن‌ها از ۰ تا ۱۰۰ درصد به صورت ۰، ۲۰، ۴۰، ۶۰، ۸۰ و ۱۰۰ درصد که 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 شماره (۴-۱۱) الی (۴-۲۰) و شماره (۴-۱۳)

الی (۲۷-۴) ارائه شده است که جدول (۱۱-۴) مربوط به حالتی است که در آن ماده تشکیل دهنده بلوکه هیچ گونه پرتوی رادیواکتیوی از خود ساطع نمی‌کند و فقط پرتوهای گسیلی به درون ماده مربوط به چشمه ^{137}Cs است. جدول شماره (۱۲-۴) مربوط به حالت دوم است که چشمه ^{137}Cs از شبیه سازی‌ها حذف شده است و به جای آن ایزوتوپ‌های موجود در طبیعت (^{238}U , ^{232}Th , ^{40}K) که در سنگ‌های رسوبی یافت می‌شود با فرض توزیع یکنواخت در ماده تشکیل دهنده بلوکه اضافه شده است که کار گسیل پرتوها در این شبیه سازی‌ها را انجام می‌دهند. جداول شماره (۱۳-۴) الی (۲۰-۴) مربوط به حالتی است که ترکیب دو حالت قبل است، یعنی در آن هم از ایزوتوپ‌های موجود در طبیعت و هم از چشمه ^{137}Cs استفاده شده است با این تفاوت که اکتیویته ویژه چشمه ^{137}Cs نسبت به اکتیویته ویژه ایزوتوپ‌های موجود در طبیعت به ترتیب افزایش شماره جدول، افزایش پیدا می‌کند.

۱-۳-۴) بررسی نتایج حاصل از پرتوهای گسیلی مربوط به چشمه ^{137}Cs :

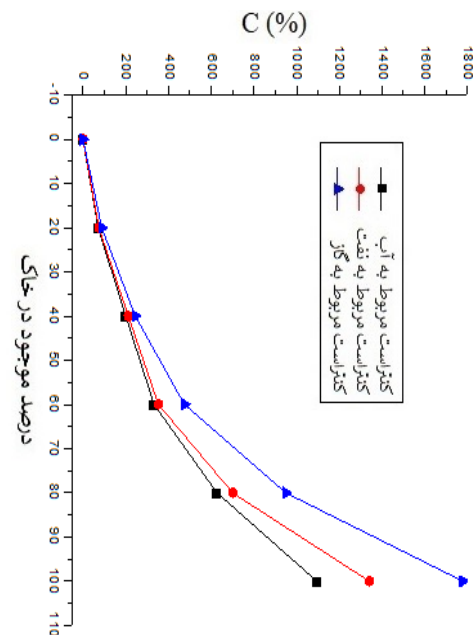
مقادیر بدست آمده و نمودار شماره (۱۳-۴) نشان دهنده این است که منحنی کنتراست بر حسب درصد معادن ترکیب شده با سنگ‌های رسوبی، یک منحنی صعودی است و می‌توان این مقادیر را با یکدیگر مقایسه نمود. همچنین از نمودار شماره (۱۴-۴) مشخص است که با استفاده از کمیت D یا همان تفاوت نسبی به درصد بین کنتراست‌های محاسبه شده می‌توان معادن را از یکدیگر با دقت خوبی تفکیک نمود. نمودار شماره (۱۵-۴) نیز که مربوط به روش استفاده از درصد کربن و اکسیژن به درصد آهن موجود در سنگ‌های رسوبی است یک نمودار تقریباً خطی و صعودی بدست آمده است که می‌توان مقادیر آن را با دقت تقریباً مناسبی از یکدیگر تفکیک کرد.

جدول شماره ۴-۱۱) نتایج حالت اول (فقط چشمه Cs^{137} در شبیه‌سازی‌ها وجود دارد و از خود پرتو ساطع می‌کند)

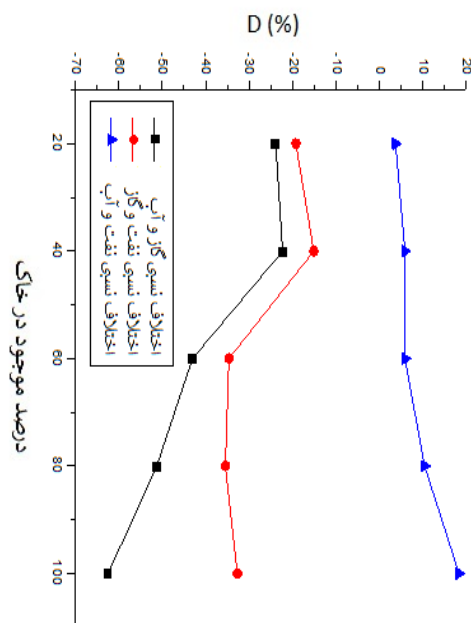
ردیف	درصد موجود در خاک	آب		نفت خام		گاز		کنتراست مربوط به آب، C_W	کنتراست مربوط به نفت، C_O	کنتراست مربوط به گاز، C_G	اختلاف نسبی گاز و آب، D_{GW}	اختلاف نسبی نفت و گاز، D_{OG}	اختلاف نسبی نفت و آب، D_{OW}
		A_1	شار ثبت شده	$A_{2 \text{ oil}}$	شار ثبت شده	$A_{2 \text{ gas}}$	شار ثبت شده						
1	0	21.8206	$1.28\text{E-}7 \pm 8\text{E-}9$	0.2897	$1.28\text{E-}7 \pm 8\text{E-}9$	0.2897	$1.28\text{E-}7 \pm 8\text{E-}9$	0	0	0	--	--	--
2	20	31.2484	$2.18\text{E-}7 \pm 1.044\text{E-}8$	9.2069	$2.215\text{E-}7 \pm 1.052\text{E-}8$	7.9781	$2.395\text{E-}7 \pm 1.094\text{E-}8$	70.3125	73.04687	87.10937	-23.88889	-19.25134	3.74332
3	40	49.9575	$3.835\text{E-}7 \pm 1.384\text{E-}8$	24.0658	$3.995\text{E-}7 \pm 1.414\text{E-}8$	20.7895	$4.405\text{E-}7 \pm 1.484\text{E-}8$	199.60938	212.10938	244.14063	-22.3092	-15.10129	5.89319
4	60	78.9608	$5.53\text{E-}7 \pm 1.664\text{E-}8$	53.0427	$5.795\text{E-}7 \pm 1.703\text{E-}8$	46.7889	$7.36\text{E-}7 \pm 1.920\text{E-}8$	332.03125	352.73438	475	-43.05882	-34.66224	5.86932
5	80	172.666	$9.31\text{E-}7 \pm 2.159\text{E-}8$	142.9649	$1.0245\text{E-}6 \pm 2.264\text{E-}8$	123.3050	$1.3425\text{E-}6 \pm 2.591\text{E-}8$	627.34375	700.39062	948.82813	-51.24533	-35.47128	10.42945
6	100	--	$1.529\text{E-}6 \pm 2.767\text{E-}8$	--	$1.8435\text{E-}6 \pm 3.041\text{E-}8$	--	$2.4045\text{E-}6 \pm 3.462\text{E-}8$	1094.53125	1340.23438	1778.5156	-62.49108	-32.70184	18.33285

A_1 : نسبت درصد اکسیژن موجود به درصد آهن موجود در خاک

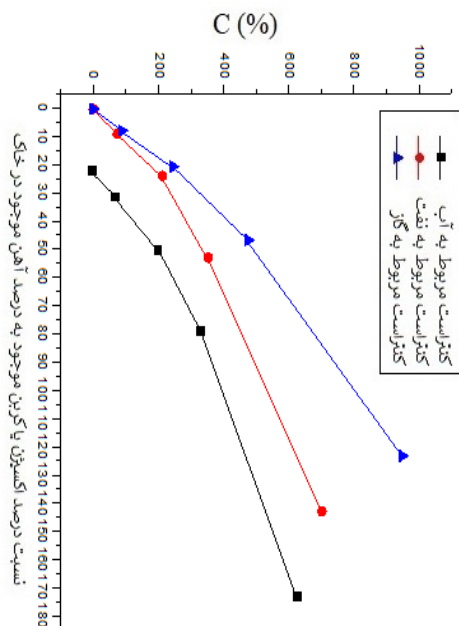
A_2 : نسبت درصد کربن موجود به درصد آهن موجود در خاک



شکل شماره ۴-۱۳) نمودار کنتراست بر حسب درصد عناصر ترکیب شده با سنگ‌های رسوبی برای حالت اول



شکل شماره ۴-۱۴) نمودار کمیت D بر حسب درصد عناصر ترکیب شده با سنگ‌های رسوبی برای حالت اول



شکل شماره ۴-۱۵) نمودار کنتراست بر حسب درصد اکسیژن یا کربن موجود به درصد آهن موجود در سنگ‌های رسوبی برای حالت اول

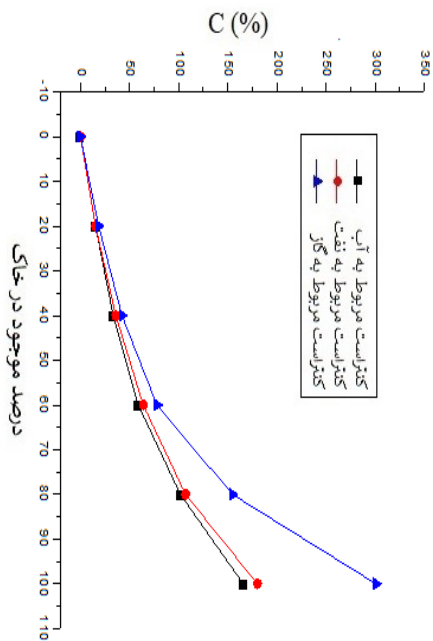
۴-۳-۲) بررسی نتایج حاصل از پرتوهای گسیلی مربوط به ایزوتوپ‌های

موجود در طبیعت:

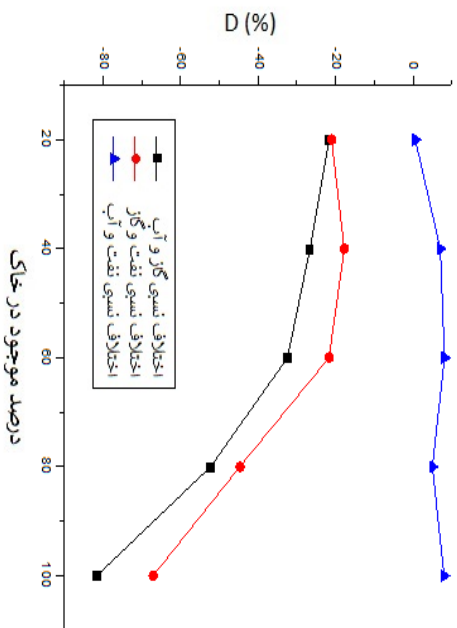
در این شبیه سازی‌ها نیز مانند حالت قبل یک منحنی صعودی برای کنتراست بر حسب درصد معادن ترکیب شده با سنگ‌های رسوبی بدست آمده است که در نمودار شماره (۴-۱۶) نشان داده شده است. همچنین با استفاده از کمیت D یا همان تفاوت نسبی به درصد بین کنتراست‌های محاسبه شده می‌توان معادن را از یکدیگر با دقت خوبی تفکیک نمود (نمودار شماره (۴-۱۷)). باید توجه داشت که مقادیر بدست آمده برای کمیت کنتراست و کمیت D در این حالت کمتر از حالت قبل می‌باشد. در روش استفاده از درصد کربن و اکسیژن به درصد آهن موجود در سنگ‌های رسوبی است نیز یک نمودار تقریباً خطی و صعودی بدست آمده است که می‌توان مقادیر آن را با دقت تقریباً مناسبی از یکدیگر تفکیک کرد (نمودار شماره (۴-۱۸)).

جدول شماره ۴-۱۲) نتایج حالت دوم (فقط ایزوتوپ‌های موجود در طبیعت (U^{238} , Th^{232} , K^{40}) در شبیه‌سازی‌ها به عنوان چشمه زمینه وجود دارند و از خود پرتو ساطع می‌کنند)

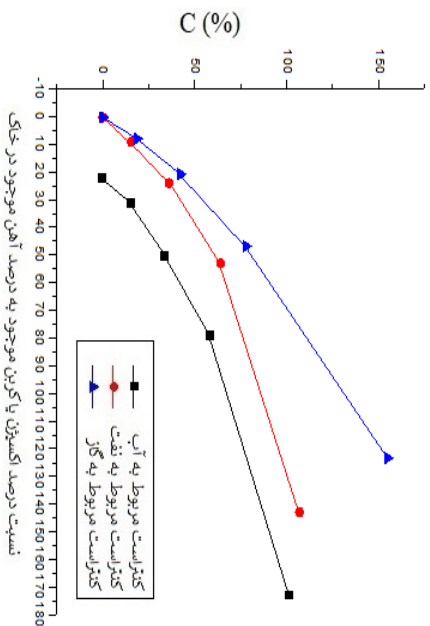
ردیف	درصد موجود در خاک	آب		نفت خام		گاز		کنتراست مربوط به آب، C_W	کنتراست مربوط به نفت، C_O	کنتراست مربوط به گاز، C_G	اختلاف نسبی گاز و آب، D_{GW}	اختلاف نسبی نفت و گاز، D_{OG}	اختلاف نسبی نفت و آب، D_{OW}
		A_1	شار ثبت شده	$A_2 \text{ oil}$	شار ثبت شده	$A_2 \text{ gas}$	شار ثبت شده						
1	0	21.8206	9.456E-5±1.371E-6	0.2897	9.456E-5±1.371E-6	0.2897	9.456E-5±1.371E-6	0	0	0	--	--	--
2	20	31.2484	1.0902E-4±1.471E-6	9.2069	1.091E-4±1.472E-6	7.9781	1.1216E-4±1.502E-6	15.29188	15.37648	18.61252	-21.71508	-21.04539	0.55021
3	40	49.9575	1.2618E-4±1.589E-6	24.0658	1.2856E-4±1.607E-6	20.7895	1.346E-4±1.642E-6	33.43909	35.95601	42.34349	-26.62872	-17.76471	7
4	60	78.9608	1.5012E-4±1.726E-6	53.0427	1.5502E-4±1.767E-6	46.7889	1.6812E-4±1.832E-6	58.75635	63.93824	77.79188	-32.39741	-21.66722	8.10453
5	80	172.666	1.9068E-4±1.944E-6	142.9649	1.957E-4±1.976E-6	123.3050	2.409E-4±2.192E-6	101.64975	106.95854	154.75888	-52.24719	-44.69053	4.96342
6	100	--	2.5116E-4±2.235E-6	--	2.6474E-4±2.303E-6	--	3.7888E-4±2.765E-6	165.60914	179.97039	300.67682	-81.55811	-67.07016	7.97979



شکل شماره ۴-۱۶) نمودار کنتراست بر حسب درصد عناصر ترکیب شده با سنگ‌های رسوبی برای حالت دوم



شکل شماره ۴-۱۷) نمودار کمیت D بر حسب درصد عناصر ترکیب شده با سنگ‌های رسوبی برای حالت دوم



شکل شماره ۴-۱۸) نمودار کنتراست بر حسب درصد اکسیژن یا کربن موجود به درصد آهن موجود در سنگ‌های رسوبی برای حالت دوم

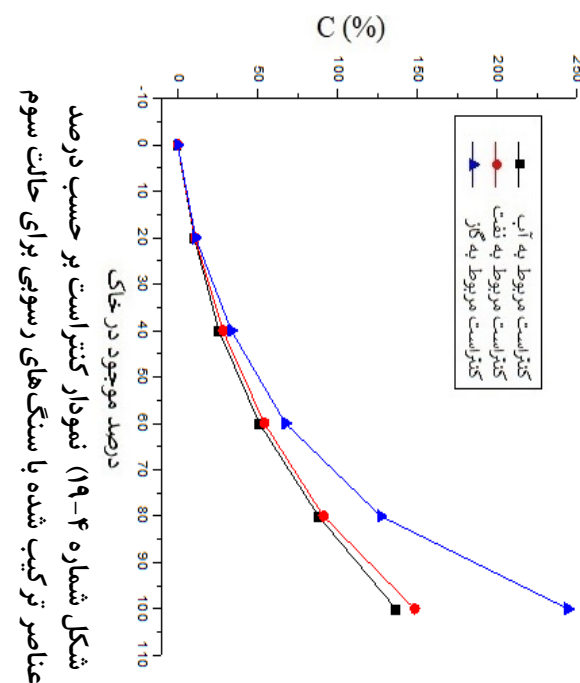
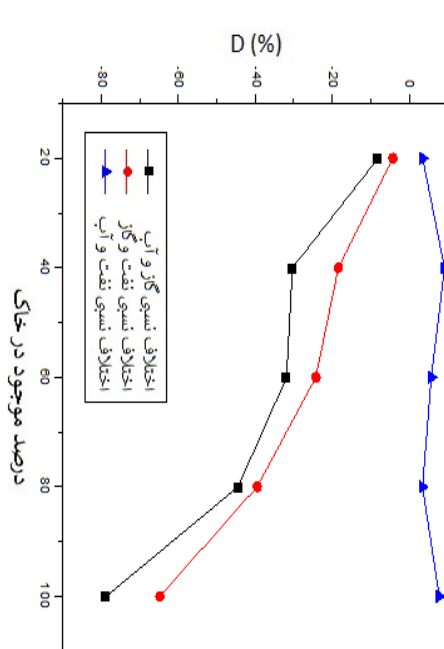
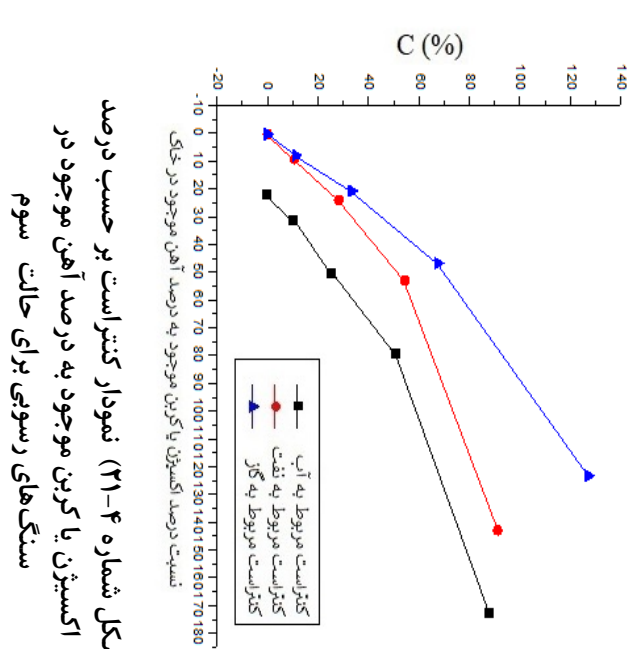
۴-۳-۳) بررسی نتایج حاصل از پرتوهای گسیلی مربوط به ایزوتوپ‌های

موجود در طبیعت و چشمه ^{137}Cs با اکتیویته برابر با هم:

در این شبیه سازی‌ها نیز مانند دو حالت قبل یک منحنی صعودی برای کنتراست بر حسب درصد معادن ترکیب شده با سنگ‌های رسوبی بدست آمده است که در نمودار شماره (۴-۱۹) نشان داده شده است. همچنین با استفاده از کمیت D یا همان تفاوت نسبی به درصد بین کنتراست‌های محاسبه شده می‌توان معادن را از یکدیگر با دقت خوبی تفکیک نمود (نمودار شماره (۴-۲۰)). در این حالت مقادیر بدست آمده برای کمیت‌های کنتراست و D از هر دو حالت قبلی کمتر می‌باشد. در روش استفاده از درصد کربن و اکسیژن به درصد آهن موجود در سنگ‌های رسوبی است نیز یک نمودار تقریباً خطی و صعودی بدست آمده است که می‌توان مقادیر آن را با دقت تقریباً مناسبی از یکدیگر تفکیک کرد (نمودار شماره (۴-۲۱)).

جدول شماره ۴-۱۳) اکتیویته چشمه سزیم برابر با اکتیویته ایزوتوپ‌های موجود در طبیعت که به عنوان تابش زمینه بکار رفته‌اند

ردیف	درصد موجود در خاک	آب		نفت خام		گاز		کنتراست مربوط به آب، C_W	کنتراست مربوط به نفت، C_O	کنتراست مربوط به گاز، C_G	اختلاف نسبی گاز و آب، D_{GW}	اختلاف نسبی نفت و گاز، D_{OG}	اختلاف نسبی نفت و آب، D_{OW}
		A_1	شار ثبت شده	$A_{2\text{ oil}}$	شار ثبت شده	$A_{2\text{ gas}}$	شار ثبت شده						
1	0	21.8206	$8.0067E-6 \pm 1.633E-7$	0.2897	$8.0067E-6 \pm 1.633E-7$	0.2897	$8.0067E-6 \pm 1.633E-7$	0	0	0	--	--	--
2	20	31.2484	$8.8333E-6 \pm 1.713E-7$	9.2069	$8.8633E-6 \pm 1.719E-7$	7.9781	$8.9E-6 \pm 1.726E-7$	10.32385	10.69854	11.15691	-8.0692	-4.28438	3.50222
3	40	49.9575	$1.006E-5 \pm 1.83E-7$	24.0658	$1.0267E-5 \pm 1.848E-7$	20.7895	$1.0683E-5 \pm 1.89E-7$	25.64477	28.23011	33.42576	-30.3414	-18.40464	9.15808
4	60	78.9608	$1.2103E-5 \pm 2.009E-7$	53.0427	$1.2353E-5 \pm 2.025E-7$	46.7889	$1.3407E-5 \pm 2.118E-7$	51.1609	54.28329	67.44726	-31.83361	-24.25051	5.75202
5	80	172.666	$1.505E-5 \pm 2.242E-7$	142.9649	$1.53E-5 \pm 2.264E-7$	123.3050	$1.8183E-5 \pm 2.454E-7$	87.96758	91.08996	127.09731	-44.48199	-39.52943	3.4278
6	100	--	$1.895E-5 \pm 2.52E-7$	--	$1.9877E-5 \pm 2.564E-7$	--	$2.757E-5 \pm 3.032E-7$	136.67678	148.25459	244.33662	-78.76966	-64.80881	7.80941



۴-۳-۴) بررسی نتایج حاصل از پرتوهای گسیلی مربوط به چشمه ^{137}Cs

با اکتیویته چند برابر نسبت به ایزوتوپ‌های موجود در طبیعت:

در ادامه شبیه سازی‌های دیگری انجام شده است که در آن‌ها مقدار اکتیویته چشمه ^{137}Cs نسبت به اکتیویته ایزوتوپ‌های موجود در طبیعت افزایش داشته است. در این تمامی شبیه سازی‌های یک منحنی صعودی برای کنتراست بر حسب درصد معادن ترکیب شده با سنگ‌های رسوبی بدست آمده است که در نمودارهای شماره (۴-۲۳)، (۴-۲۵) و (۴-۲۷) نشان داده شده است. در روش استفاده از درصد کربن و اکسیژن به درصد آهن موجود در سنگ‌های رسوبی است نیز یک نمودار تقریباً خطی و صعودی بدست آمده است که می‌توان مقادیر آن را با دقت تقریباً مناسبی از یکدیگر تفکیک کرد (نمودارهای شماره (۴-۲۲)، (۴-۲۴) و (۴-۲۶)). در این شبیه سازی‌ها مقادیر بدست آمده برای کمیت کنتراست با افزایش مقدار اکتیویته چشمه ^{137}Cs نسبت به اکتیویته ایزوتوپ‌های موجود در طبیعت، افزایش داشته و به مقادیر بدست آمده در حالت اول نزدیک می‌شوند که این تغییرات در نمودارها به وضوح مشخص است.

جدول شماره ۴-۱۴) اکتیویته چشمه سزیم دو برابر اکتیویته ایزوتوپ‌های موجود در طبیعت که به عنوان تابش زمینه بکار رفته‌اند

ردیف	درصد موجود در خاک	آب		نفت خام		گاز		کنتراست مربوط به آب، C_W	کنتراست مربوط به نفت، C_O	کنتراست مربوط به گاز، C_G	اختلاف نسبی گاز و آب، D_{GW}	اختلاف نسبی نفت و گاز، D_{OG}	اختلاف نسبی نفت و آب، D_{OW}
		A_1	شار ثبت شده	$A_{2\text{ oil}}$	شار ثبت شده	$A_{2\text{ gas}}$	شار ثبت شده						
1	0	21.8206	5.3867E-6±1.341E-7	0.2897	5.3867E-6±1.341E-7	0.2897	5.3867E-6±1.341E-7	0	0	0	--	--	--
2	20	31.2484	5.93E-6±1.405E-7	9.2069	5.9633E-6±1.407E-7	7.9781	6.0067E-6±1.417E-7	10.08595	10.70414	11.50983	-14.11743	-7.52688	5.77523
3	40	49.9575	6.7267E-6±1.500E-7	24.0658	6.85E-6±1.513E-7	20.7895	7.18E-6±1.543E-7	24.87608	27.16505	33.29125	-33.82836	-22.55177	8.42616
4	60	78.9608	8.14E-6±1.644E-7	53.0427	8.3833E-6±1.668E-7	46.7889	9.1533E-6±1.748E-7	51.11293	55.62961	69.92407	-36.80311	-25.69579	8.1192
5	80	172.666	1.0267E-5±1.848E-7	142.9649	1.0487E-5±1.866E-7	123.3050	1.2567E-5±2.048E-7	90.59907	94.6832	133.29682	-47.12825	-40.78191	4.31347
6	100	--	1.3107E-5±2.084E-7	--	1.389E-5±2.152E-7	--	1.9217E-5±2.536E-7	143.32151	157.85732	256.74903	-79.142	-62.64627	9.20819

جدول شماره ۴-۱۵) اکتیویته چشمه سزیم چهار برابر اکتیویته ایزوتوپ‌های موجود در طبیعت که به عنوان تابش زمینه بکار رفته‌اند

ردیف	درصد موجود در خاک	آب		نفت خام		گاز		کنتراست مربوط به آب، C_W	کنتراست مربوط به نفت، C_O	کنتراست مربوط به گاز، C_G	اختلاف نسبی گاز و آب، D_{GW}	اختلاف نسبی نفت و گاز، D_{OG}	اختلاف نسبی نفت و آب، D_{OW}
		A_1	شار ثبت شده	$A_{2\text{ oil}}$	شار ثبت شده	$A_{2\text{ gas}}$	شار ثبت شده						
1	0	21.8206	3.3E-6±1.049E-7	0.2897	3.3E-6±1.049E-7	0.2897	3.3E-6±1.049E-7	0	0	0	--	--	--
2	20	31.2484	3.61E-6±1.097E-7	9.2069	3.6167E-6±1.099E-7	7.9781	3.6267E-6±1.098E-7	9.39394	9.59697	9.9	-5.3871	-3.15756	2.11557
3	40	49.9575	4.1033E-6±1.169E-7	24.0658	4.1433E-6±1.176E-7	20.7895	4.3733E-6±1.207E-7	24.34242	25.55455	32.52424	-33.61135	-27.27381	4.74327
4	60	78.9608	5.09E-6±1.303E-7	53.0427	5.28E-6±1.325E-7	46.7889	5.8333E-6±1.394E-7	54.24242	60	76.76667	-41.52514	-27.94444	9.59596
5	80	172.666	6.54E-6±1.478E-7	142.9649	6.6033E-6±1.485E-7	123.3050	8.08E-6±1.64E-7	98.18182	100.1	144.84848	-47.53086	-44.70378	1.91627
6	100	--	8.5033E-6±1.683E-7	--	9.0667E-6±1.74E-7	--	1.2327E-5±2.021E-7	157.67576	174.74848	273.54545	-73.48606	-56.53667	9.76989

جدول شماره ۴-۱۶) اکتیویته چشمه سزیم هشت برابر اکتیویته ایزوتوپ‌های موجود در طبیعت که به عنوان تابش زمینه بکار رفته‌اند

ردیف	درصد موجود در خاک	آب		نفت خام		گاز		کنتراست مربوط به آب، C_W	کنتراست مربوط به نفت، C_O	کنتراست مربوط به گاز، C_G	اختلاف نسبی گاز و آب، D_{GW}	اختلاف نسبی نفت و گاز، D_{OG}	اختلاف نسبی نفت و آب، D_{OW}
		A_1	شار ثبت شده	$A_{2\text{ oil}}$	شار ثبت شده	$A_{2\text{ gas}}$	شار ثبت شده						
1	0	21.8206	1.9083E-6±5.648E-8	0.2897	1.9083E-6±5.648E-8	0.2897	1.9083E-6±5.648E-8	0	0	0	--	--	--
2	20	31.2484	2.1033E-6±5.91E-8	9.2069	2.1133E-6±5.938E-8	7.9781	2.1267E-6±5.954E-8	10.21852	10.74255	11.44474	-12	-6.53659	4.87805
3	40	49.9575	2.45E-6±6.394E-8	24.0658	2.4717E-6±6.426E-8	20.7895	2.5567E-6±6.519E-8	28.38652	29.52366	33.97789	-19.69725	-15.08697	3.85162
4	60	78.9608	3.0183E-6±7.093E-8	53.0427	3.085E-6±7.157E-8	46.7889	3.515E-6±7.662E-8	58.16695	61.66221	84.19536	-44.74775	-36.54287	5.66839
5	80	172.666	3.8817E-6±8.035E-8	142.9649	4.0183E-6±8.197E-8	123.3050	4.9933E-6±9.137E-8	103.41141	110.56962	161.66221	-56.32918	-46.20853	6.47393
6	100	--	5.2233E-6±9.349E-8	--	5.555E-6±9.61E-8	--	7.7583E-6±1.14E-7	173.71482	191.09679	306.55557	-76.47059	-60.41901	9.09589

جدول شماره ۴-۱۷) اکتیویته چشمه سزیم شانزده برابر اکتیویته ایزوتوپ‌های موجود در طبیعت که به عنوان تابش زمینه بکار رفته‌اند

ردیف	درصد موجود در خاک	آب		نفت خام		گاز		کنتراست مربوط به آب، C_W	کنتراست مربوط به نفت، C_O	کنتراست مربوط به گاز، C_G	اختلاف نسبی گاز و آب، D_{GW}	اختلاف نسبی نفت و گاز، D_{OG}	اختلاف نسبی نفت و آب، D_{OW}
		A_1	شار ثبت شده	$A_{2\text{ oil}}$	شار ثبت شده	$A_{2\text{ gas}}$	شار ثبت شده						
1	0	21.8206	1.08E-6±2.322E-8	0.2897	1.08E-6±2.322E-8	0.2897	1.08E-6±2.322E-8	0	0	0	--	--	--
2	20	31.2484	1.2205E-6±2.465E-8	9.2069	1.224E-6±2.472E-8	7.9781	1.251E-6±2.502E-8	13.00926	13.33333	15.83333	-21.70819	-18.75	2.43056
3	40	49.9575	1.5215E-6±2.753E-8	24.0658	1.5515E-6±2.792E-8	20.7895	1.6725E-6±2.893E-8	40.87963	43.65741	54.86111	-34.20159	-25.66278	6.36267
4	60	78.9608	1.9775E-6±3.144E-8	53.0427	2.056E-6±3.207E-8	46.7889	2.336E-6±3.41E-8	83.10185	90.37037	116.2963	-39.94429	-28.68852	8.04303
5	80	172.666	2.5985E-6±3.611E-8	142.9649	2.7335E-6±3.69E-8	123.3050	3.464E-6±4.156E-8	140.60185	153.10185	220.74074	-56.99704	-44.17901	8.1645
6	100	--	3.589E-6±4.235E-8	--	3.8245E-6±4.359E-8	--	5.3165E-6±5.157E-8	232.31481	254.12037	392.26852	-68.85213	-54.36327	8.5808

جدول شماره ۴-۱۸) اکتیویته چشمه سزیم دویست و پنجاه و شش برابر اکتیویته ایزوتوپ‌های موجود در طبیعت که به عنوان تابش زمینه بکار رفته‌اند

ردیف	درصد موجود در خاک	آب		نفت خام		گاز		کنتراست مربوط به آب، C_W	کنتراست مربوط به نفت، C_O	کنتراست مربوط به گاز، C_G	اختلاف نسبی گاز و آب، D_{GW}	اختلاف نسبی نفت و گاز، D_{OG}	اختلاف نسبی نفت و آب، D_{OW}
		A_1	شار ثبت شده	$A_{2\text{ oil}}$	شار ثبت شده	$A_{2\text{ gas}}$	شار ثبت شده						
1	0	21.8206	2.37E-7±1.087E-8	0.2897	2.37E-7±1.087E-8	0.2897	2.37E-7±1.087E-8	0	0	0	--	--	--
2	20	31.2484	3.175E-7±1.26E-8	9.2069	3.2E-7±1.264E-8	7.9781	3.465E-7±1.316E-8	33.96624	35.0211	46.20253	-36.02484	-31.92771	3.01205
3	40	49.9575	4.785E-7±1.545E-8	24.0658	4.94E-7±1.57E-8	20.7895	5.54E-7±1.662E-8	101.89873	108.43882	133.75527	-31.26294	-23.3463	6.03113
4	60	78.9608	7.415E-7±1.927E-8	53.0427	7.825E-7±1.979E-8	46.7889	9.47E-7±2.178E-8	212.8692	230.16878	299.57806	-40.7334	-30.15582	7.51604
5	80	172.666	1.0985E-6±2.339E-8	142.9649	1.1975E-6±2.442E-8	123.3050	1.627E-6±2.847E-8	363.50211	405.27426	586.49789	-61.34649	-44.71629	10.30713
6	100	--	1.704E-6±2.913E-8	--	1.8745E-6±3.055E-8	--	2.491E-6±3.537E-8	618.98734	690.92827	951.05485	-53.6469	-37.64885	10.41221

جدول شماره ۴-۱۹) اکتیویته چشمه سزیم هزار و بیست و چهار برابر اکتیویته ایزوتوپ‌های موجود در طبیعت که به عنوان تابش زمینه بکار رفته‌اند

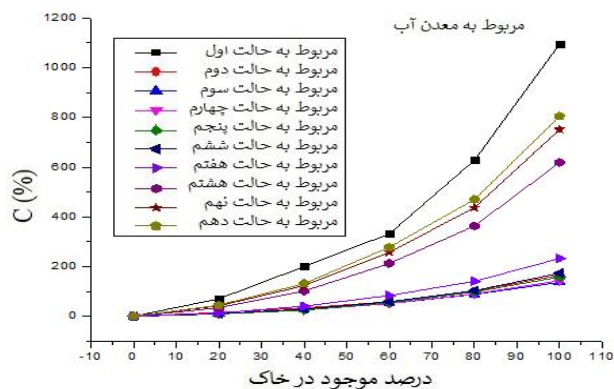
ردیف	درصد موجود در خاک	آب		نفت خام		گاز		کنتراست مربوط به آب، C_W	کنتراست مربوط به نفت، C_O	کنتراست مربوط به گاز، C_G	اختلاف نسبی گاز و آب، D_{GW}	اختلاف نسبی نفت و گاز، D_{OG}	اختلاف نسبی نفت و آب، D_{OW}
		A_1	شار ثبت شده	$A_{2\text{ oil}}$	شار ثبت شده	$A_{2\text{ gas}}$	شار ثبت شده						
1	0	21.8206	1.88E-7±9.7E-9	0.2897	1.88E-7±9.7E-9	0.2897	1.88E-7±9.7E-9	0	0	0	--	--	--
2	20	31.2484	2.67E-7±1.156E-8	9.2069	2.69E-7±1.159E-8	7.9781	2.9E-7±1.203E-8	42.02128	43.08511	54.25532	-29.11392	-25.92593	2.46914
3	40	49.9575	4.19E-7±1.445E-8	24.0658	4.33E-7±1.472E-8	20.7895	4.95E-7±1.574E-8	122.87234	130.31915	163.29787	-32.90043	-25.30612	5.71429
4	60	78.9608	6.715E-7±1.833E-8	53.0427	7.145E-7±1.893E-8	46.7889	8.725E-7±2.085E-8	257.18085	280.05319	364.09574	-41.57187	-30.0095	8.16714
5	80	172.666	1.0095E-6±2.251E-8	142.9649	1.109E-6±2.351E-8	123.3050	1.5255E-6±2.761E-8	436.96809	489.89362	711.43617	-62.81193	-45.22258	10.80347
6	100	--	1.5995E-6±2.831E-8	--	1.771E-6±2.975E-8	--	2.346E-6±3.425E-8	750.79787	842.02128	1147.87234	-52.887	-36.32344	10.83386

جدول شماره ۴-۲۰) اکتیویته چشمه سزیم شانزده هزار و سیصد و هشتاد و چهار برابر اکتیویته ایزوتوپ‌های موجود در طبیعت که به عنوان تابش زمینه بکار

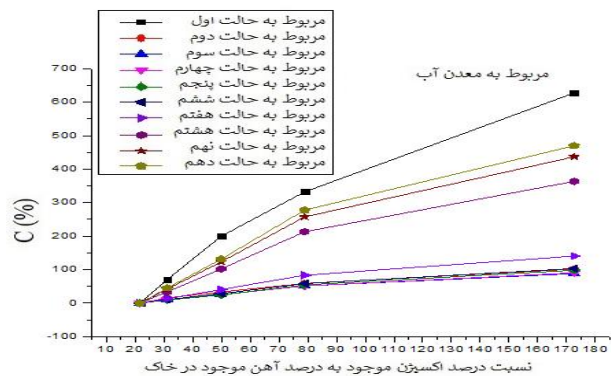
رفته‌اند

ردیف	درصد موجود در خاک	آب		نفت خام		گاز		کنتراست مربوط به آب، C_W	کنتراست مربوط به نفت، C_O	کنتراست مربوط به گاز، C_G	اختلاف نسبی گاز و آب، D_{GW}	اختلاف نسبی نفت و گاز، D_{OG}	اختلاف نسبی نفت و آب، D_{OW}
		A_1	شار ثبت شده	$A_{2\text{ oil}}$	شار ثبت شده	$A_{2\text{ gas}}$	شار ثبت شده						
1	0	21.8206	1.725E-7±9.28E-9	0.2897	1.725E-7±9.28E-9	0.2897	1.725E-7±9.28E-9	0	0	0	--	--	--
2	20	31.2484	2.5E-7±1.117E-8	9.2069	2.51E-7±1.119E-8	7.9781	2.715E-7±1.164E-8	44.92754	45.50725	57.3913	-27.74194	-26.11465	1.27389
3	40	49.9575	3.99E-7±1.412E-8	24.0658	4.125E-7±1.435E-8	20.7895	4.755E-7±1.54E-8	131.30435	139.13043	175.65217	-33.77483	-26.25	5.625
4	60	78.9608	6.515E-7±1.804E-8	53.0427	6.94E-7±1.859E-8	46.7889	8.47E-7±2.058E-8	277.68116	302.31884	391.01449	-40.8142	-29.33845	8.14957
5	80	172.666	9.825E-7±2.22E-8	142.9649	1.082E-6±2.326E-8	123.3050	1.489E-6±2.724E-8	469.56522	527.24638	763.18841	-62.53086	-44.74986	10.94008
6	100	--	1.5595E-6±2.791E-8	--	1.7295E-6±2.94E-8	--	2.296E-6±3.398E-8	804.05797	902.6087	1231.01449	-53.10022	-36.38407	10.91843

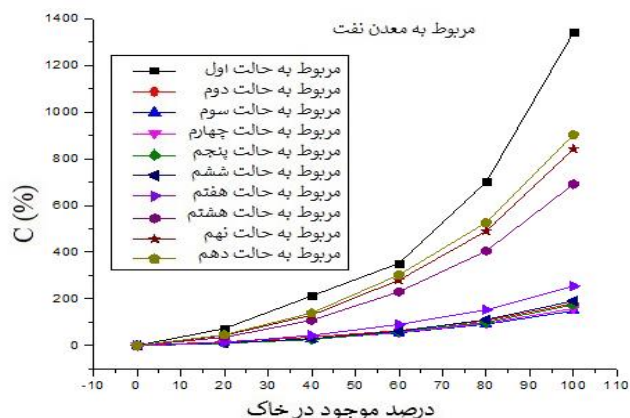
برای بررسی اثر ایزوتوپ‌های موجود در طبیعت (حالت دوم) نمودارهای مربوطه در زیر نشان داده شده است. در این نمودارها منحنی مربوط به حالت اول (فقط چشمه سزیم)، حالت دوم (فقط ایزوتوپ‌های موجود در طبیعت) و حالت سوم (ترکیب هر دو چشمه سزیم و ایزوتوپ‌های موجود در طبیعت) رسم شده است. باید توجه داشت که برای حالت سوم چندین منحنی ترسیم شده است که مربوط به اکتیویته‌های مختلف چشمه سزیم می‌باشد.



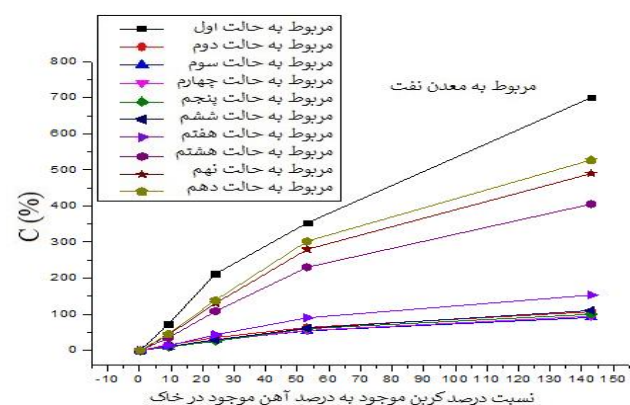
شکل شماره ۴-۲۳) نمودار کنتراست بر حسب درصد عناصر ترکیب شده با سنگ‌های رسوبی



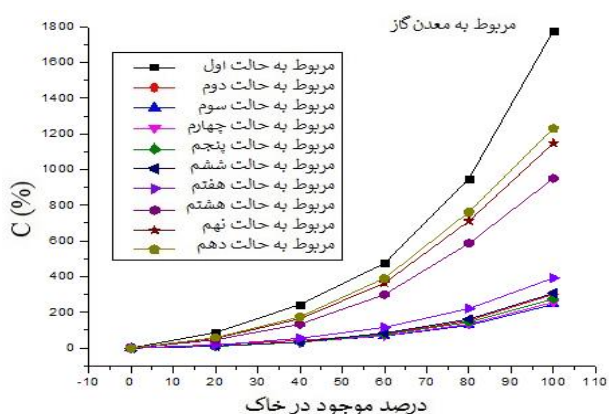
شکل شماره ۴-۲۲) نمودار کنتراست بر حسب نسبت درصد اکسیژن به درصد آهن موجود در سنگ‌های رسوبی



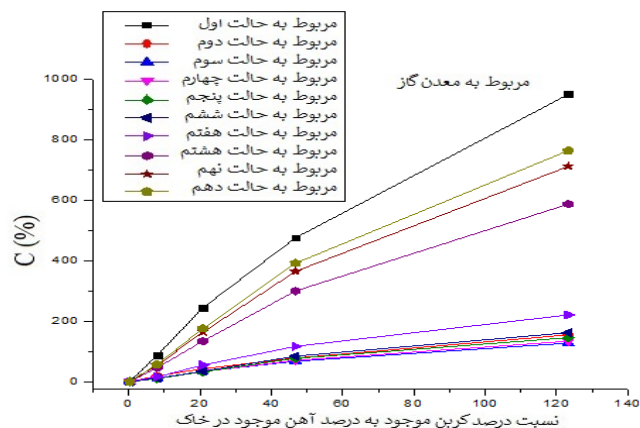
شکل شماره ۴-۲۵) نمودار کنتراست بر حسب درصد عناصر ترکیب شده با سنگ‌های رسوبی



شکل شماره ۴-۲۴) نمودار کنتراست بر حسب نسبت درصد کربن به درصد آهن موجود در سنگ‌های رسوبی



شکل شماره ۴-۲۷) نمودار کنتراست بر حسب درصد عناصر ترکیب شده با سنگ‌های رسوبی



شکل شماره ۴-۲۶) نمودار کنتراست بر حسب نسبت درصد کربن به درصد آهن موجود در سنگ‌های رسوبی

با توجه به نمودارهای شماره (۲۲-۴) الی (۲۷-۴) به این نتیجه خواهیم رسید که برای حذف اثر چشمه‌های موجود در طبیعت باید از چشمه سزیم با اکتیویته ویژه‌ای برابر با

$$2^{14} \times A_{tot} = 16384 \times 189.176 = 3099459.584 \text{ Bq/gr} \approx 3.09946 \text{ MBq/gr}$$

استفاده نمود.

مقادیر بدست آمده و نمودارهای مربوط به کنتراست (نمودارهای شماره (۱۳-۴)، (۱۶-۴) و (۱۹-۴)) نشان دهنده این هستند که منحنی کنتراست بر حسب درصد معادن ترکیب شده با سنگ‌های رسوبی، یک منحنی صعودی است و هر یک از معادن با درصد مشخص ترکیب شده با سنگ‌های رسوبی در هر یک از سه حالت شبیه‌سازی شده یک مقدار کنتراست به خصوص دارد که می‌توان این مقادیر را با یکدیگر مقایسه نمود، بنابراین با توجه به تفاوت کمیت کنتراست و تغییرات آن برای هر معدن در درصد‌های مختلف و در هر سه حالت می‌توان اینگونه استنباط کرد که معادن نفت، گاز و آب را با این روش می‌توان مشخص کرد. با استفاده از منحنی کنتراست به این موضوع پی می‌بریم که مقادیر کنتراست برای معدن گاز اختلاف بیشتری نسبت به معادن نفت و آب دارد، دلیل این اختلاف می‌تواند تفاوت چگالی بین این معادن باشد. از آنجایی که گاز چگالی کمتری نسبت به آب و نفت دارد لذا فاصله منحنی کنتراست معدن گاز از معادن نفت و آب بیشتر از فاصله منحنی معدن نفت از معدن آب است. همچنین از نمودارهای شماره (۱۴-۴) الی (۱۷-۴) و (۲۰-۴) مشخص است که با استفاده از کمیت D یا همان تفاوت نسبی به درصد بین کنتراست‌های محاسبه شده می‌توان معادن را از یکدیگر با دقت خوبی تفکیک نمود. در این نمودارها منحنی مربوط به کمیت D بین معادن نفت و آب در هر سه حالت اول، دوم و سوم مقادیری با علامت مثبت بدست آمده‌اند در صورتی که مقدار کمیت D برای معادن نفت و گاز و معادن آب و گاز مقادیری با علامت منفی بدست آمده است. بنابراین با استفاده از مثبت و یا منفی بودن این کمیت نیز می‌توان معادن را از یکدیگر تشخیص داد. در ضمن با استفاده از نمودارهای شماره (۱۵-۴) الی (۱۸-۴) و (۲۱-۴) که با روش استفاده از درصد کربن و اکسیژن به درصد آهن بدست آمده‌اند به دلیل تقریباً خطی بودن نمودار کنتراست برحسب نسبت

درصد وزنی کربن و یا اکسیژن موجود به درصد وزنی آهن موجود در سنگ‌های رسوبی نیز می‌توانیم میزان نفت، گاز و آب موجود در سنگ‌های رسوبی را مشخص نماییم. تمامی منحنی‌های نشان داده شده در این نمودارها حالت صعودی داشته و با افزایش نسبت درصد وزنی کربن و یا اکسیژن موجود به درصد وزنی آهن موجود در سنگ‌های رسوبی، مقدار کنتراست افزایش می‌یابد.

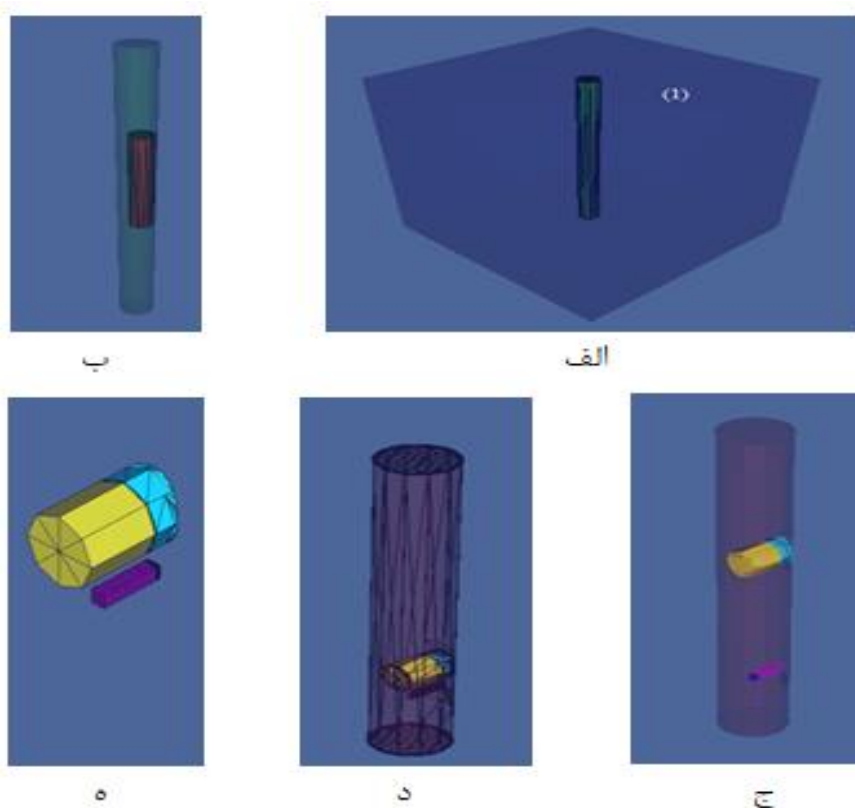
همانطور که از نمودارهای کنتراست بر حسب درصد معادن ترکیب شده با سنگ‌های رسوبی (نمودارهای شماره (۴-۲۳)، (۴-۲۵) و (۴-۲۷)) مشخص است منحنی بدست آمده یک منحنی صعودی است و با افزایش درصد معادن ترکیب شده با سنگ‌های رسوبی مقدار کنتراست افزایش می‌یابد. همچنین وجود ایزوتوپ‌های موجود در طبیعت باعث بوجود آمدن اختلال در اندازه‌گیری‌ها می‌شوند که با افزایش اکتیویته ویژه چشمه ^{137}Cs استفاده شده در شبیه‌سازی‌ها نسبت به ایزوتوپ‌های موجود در طبیعت، میزان اختلال بوجود آمده توسط این چشمه‌ها کاهش یافته است. با توجه به فاصله منحنی‌ها از یکدیگر می‌توان گفت حتی تا حالت هفتم اختلال بوجود آمده توسط ایزوتوپ‌های موجود در طبیعت تاثیر زیادی بر اندازه‌گیری‌ها داشته است که در حالت هشتم و حالت‌های بعد از آن مقدار این اختلال کاهش بسیاری پیدا کرده است تا جایی که در اکتیویته ویژه 3.09946 MBq/gr (حالت دهم) تقریباً این اختلال به صفر نزدیک می‌شود و می‌توان گفت در اکتیویته ویژه‌ای برابر با 3.09946 MBq/gr و یا بیشتر از آن می‌توان اثر ایزوتوپ‌های موجود در طبیعت را از بین برد و اختلال در شار ثبت شده توسط آشکارساز را به حداقل رساند. همچنین باید توجه داشت که در سنگ‌های رسوبی ترکیب شده با ۲۰ درصد از معادن مقدار کنتراست بدست آمده از تفاوت کمتری بین حالت‌های اول تا دهم نسبت به سنگ‌های رسوبی ترکیب شده با درصد‌های بالاتر از معادن دارد که در نمودارها به وضوح مشخص است. این رفتار در نمودارهای کنتراست بر حسب نسبت درصد وزنی کربن یا اکسیژن به درصد وزنی آهن موجود در سنگ‌های رسوبی (نمودارهای شماره (۴-۲۲)، (۴-۲۴) و (۴-۲۶)) نیز قابل مشاهده است.

۴-۴) امکان سنجی کشف معادن نفتی با استفاده از تحلیل به

روش فعالسازی:

با استفاده از تحلیل به روش فعالسازی گاما شبیه سازی‌هایی به منظور کشف معادن نفتی انجام شد که در ادامه به آن می‌پردازیم.

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 شماره (۴-۲۸) نشان داده شده است.



شکل شماره ۴-۲۸) الف) نحوه قرار گرفتن حفره در بلوک، ب) نحوه قرار گرفتن پکیج در حفره، ج) نحوه قرار گرفتن آشکارساز (جسم رنگ زرد رنگ) 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 چشمه در پکیج در حالت سوم

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 شماره (۲-۴)، (۲-۵)، (۲-۶) و (۴-۲) آمده است. در جدول شماره ۲ میانگین عناصر موجود در سنگ‌های رسوبی آورده شده است که این مقادیر مربوط به میانگینی از انواع سنگ‌های رسوبی مانند شیل‌ها، ماسه سنگ‌ها، سنگ آهک و غیره هستند. حفره شبیه سازی شده در این کار دارای عمقی برابر با ۱۸۰ سانتی متر و شعاعی به اندازه ۷,۶۲ سانتی متر می‌باشد. آشکارساز NaI(Tl) با ابعاد ۲ اینچ درون حفره مشخص شده قرار داده شده است. شبیه سازی‌ها در سه حالت مختلف انجام گرفته است 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 سانتی متر کاهش یافته است. (۳) در حالت سوم فاصله چشمه و آشکارساز ۵ سانتی متر و محفظه سربی حذف شده است.

۴-۴-۱) بررسی نتایج حاصل از پرتوهای گامای بدست آمده از

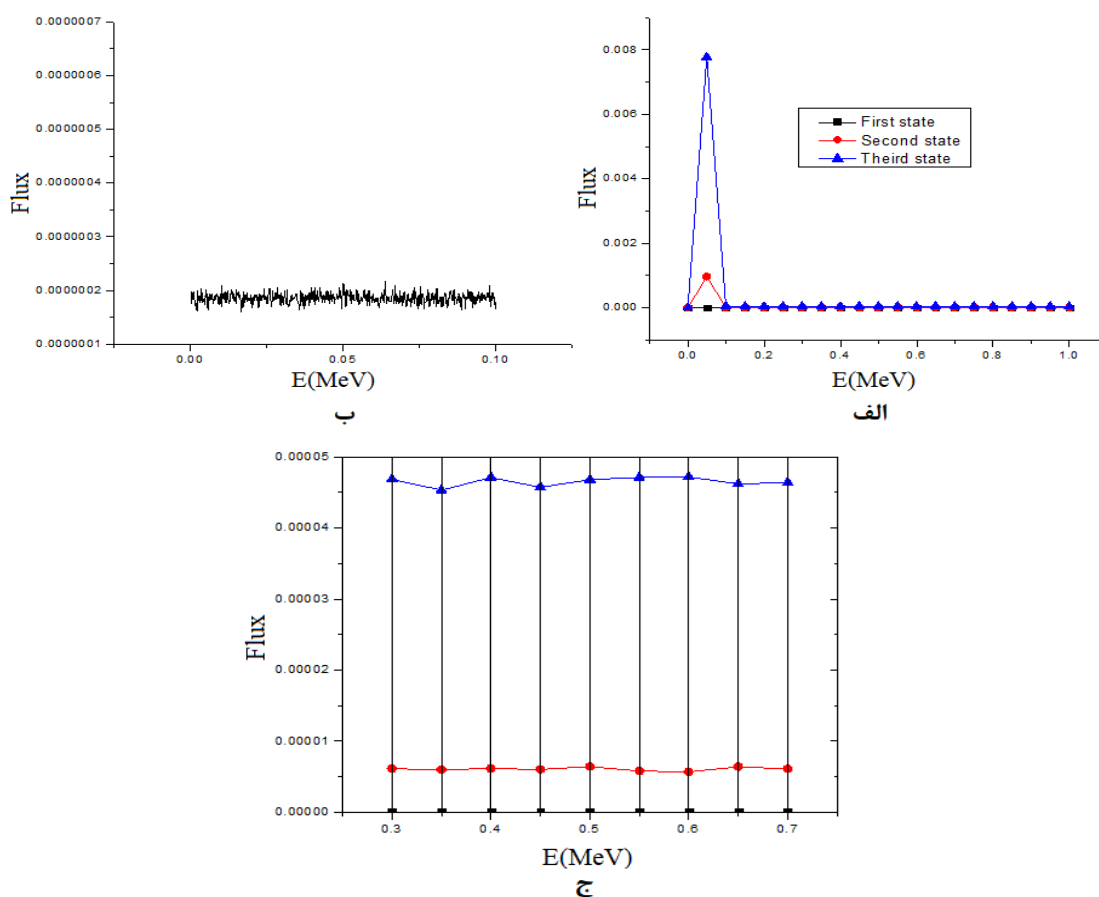
فعالسازی با پرتوهای گاما:

مقادیر بدست آمده در این شبیه سازی‌ها مربوط به تالی F8 می‌باشد که نشان دهنده توزیع انرژی حاصل از پالس‌های ایجاد شده در یک آشکارساز توسط تابش است. خطای بدست آمده برای محاسبات حدوداً ۰,۱ درصد بدست آمده است.

از آنجایی که هدف مشخص نمودن میزان کربن در این شبیه سازی‌ها است لذا با توجه به آنچه گفته شد انرژی چشمه باید بالاتر از ۱۸,۷ باشد تا واکنش کربن بتواند انجام شود. به همین صورت برای عدم اختلال در اندازه گیری‌ها انرژی چشمه باید پایین‌تر از ۲۲,۷ باشد، زیرا در این انرژی عنصر نیتروژن با

پرتوهای گامای فرودی اندرکنش انجام خواهد داد و در نتایج اختلال بوجود خواهد آمد. بنابراین ما در این شبیه سازی‌ها انرژی را 22 MeV در نظر گرفته‌ایم.

سپس برای قابلیت تشخیص این روش در تفکیک مخازن مختلف با درصد آب، گاز و یا نفت متفاوت در سنگ‌های رسوبی اقدام به شبیه‌سازی با درصد متفاوت از مواد فوق در سنگ‌های رسوبی نموده‌ایم. شبیه سازی‌هایی برای بلوک‌هایی متشکل از سنگ‌های رسوبی، نفت خام، 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 (۲۱-۴) تا (۲۹-۴) و شکل‌های (۳۰-۴) تا (۴۱-۴) ارائه شده است. در تجزیه و تحلیل نتایج، نمودار شار شمارش شده در آشکارساز بر حسب انرژی حالتی مانند شکل شماره (۲۹-۴) دارد. این منحنی، به جز در انرژی 511 keV که مربوط به گامای حاصل از نابودی پوزیترون می‌باشد یک پیک دیگر نیز دارد که در انرژی 50 keV است. لذا جداول و نمودارها برای انرژی 511.0 keV و 50 keV برای پهنای انرژی صفر تا 24 MeV رسم شده است.



شکل شماره ۴-۲۹) نمودار شار ذرات شمارش شده در آشکارساز بر حسب انرژی در هر سه حالت برای بازه صفر تا ۱ MeV ، (ب) نمودار شار ذرات شمارش شده در هر کانال آشکارساز بر حسب انرژی بارزولوشن بالاتر برای بازه صفر تا ۱ MeV ، (ج) نمودار شار ذرات شمارش شده در آشکارساز بر حسب انرژی در هر سه حالت برای بازه ۰,۳ تا ۰,۷ MeV

جدول ۴-۲۱) شار ثبت شده در انرژی ۵۱۱ کیلو الکترون ولت مربوط به تالی F8 برای حالت اول

ردیف	درصد موجود در خاک	آب		نفت خام		گاز		کنتراست مربوط به آب، C_W	کنتراست مربوط به نفت، C_O	کنتراست مربوط به گاز، C_G	اختلاف نسبی گاز و آب، D_{GW}	اختلاف نسبی نفت و گاز، D_{OG}	اختلاف نسبی نفت و آب، D_{OW}
		A_1	شار ثبت شده	$A_{2\text{ oil}}$	شار ثبت شده	$A_{2\text{ gas}}$	شار ثبت شده						
1	0	21.8206	6E-9±1.732E-9	0.2897	6E-9±1.732E-9	0.2897	6E-9±1.732E-9	0	0	0	--	--	--
2	20	31.2484	1.4E-8±3.742E-9	9.2069	1.3E-8±3.606E-9	7.9781	4E-9±2E-9	133.33333	116.66667	-33.33333	125	128.57143	-14.28571
3	40	49.9575	9E-9±2.999E-9	24.0658	1.3E-8±3.606E-9	20.7895	1.4E-8±3.742E-9	50	116.66667	133.33333	-166.66667	-14.28571	57.14286
4	60	78.9608	1.7E-8±4.122E-9	53.0427	1.9E-8±4.358E-9	46.7889	1.3E-8±2.549E-9	183.33333	216.66667	116.66667	36.36364	46.15385	15.38462
5	80	172.666	2.2E-8±4.69E-9	142.9649	2.2E-8±4.69E-9	123.3050	2.25E-8±3.354E-9	266.66667	266.66667	275	-3.125	-3.125	0
6	100	--	3.1E-8±5.567E-9	--	3.1E-8±5.567E-9	--	2.45E-8±3.501E-9	416.66667	416.66667	308.33333	26	26	0

جدول ۴-۲۲) شار ثبت شده در انرژی ۵۰ کیلو الکترون ولت مربوط به تالی F8 برای حالت اول

ردیف	درصد موجود در خاک	آب		نفت خام		گاز		کنتراست مربوط به آب، C_W	کنتراست مربوط به نفت، C_O	کنتراست مربوط به گاز، C_G	اختلاف نسبی گاز و آب، D_{GW}	اختلاف نسبی نفت و گاز، D_{OG}	اختلاف نسبی نفت و آب، D_{OW}
		A_1	شار ثبت شده	$A_{2\text{ oil}}$	شار ثبت شده	$A_{2\text{ gas}}$	شار ثبت شده						
1	0	21.8206	1.3355E-6±2.577E-8	0.2897	1.3355E-6±2.577E-8	0.2897	1.3355E-6±2.577E-8	0	0	0	--	--	--
2	20	31.2484	1.683E-6±4.106E-8	9.2069	1.686E-6±4.113E-8	7.9781	1.609E-6±4.006E-8	26.02022	26.24485	20.47922	21.29496	21.96862	0.85592
3	40	49.9575	2.194E-6±4.673E-8	24.0658	2.218E-6±4.702E-8	20.7895	2.106E-6±4.591E-8	64.28304	66.08012	57.69375	10.25044	12.69122	2.71955
4	60	78.9608	2.902E-6±5.397E-8	53.0427	2.826E-6±5.312E-8	46.7889	2.8735E-6±3.793E-8	117.29689	111.60614	115.16286	1.81934	-3.18685	-5.09896
5	80	172.666	3.851E-6±6.200E-8	142.9649	3.879E-6±6.245E-8	123.3050	3.994E-6±4.473E-8	188.35642	190.45301	199.06402	-5.68475	-4.52133	1.10085
6	100	--	5.279E-6±7.285E-8	--	5.469E-6±7.383E-8	--	4.975E-6±4.975E-8	295.28267	309.50955	272.51966	7.70889	11.95113	4.59659

جدول ۴-۲۳) شار ثبت شده برای پهنای انرژی صفر تا ۲۴ مگا الکترون ولت مربوط به تالی F8 برای حالت اول

ردیف	درصد موجود در خاک	آب		نفت خام		گاز		کنتراست مربوط به آب، C_W	کنتراست مربوط به نفت، C_O	کنتراست مربوط به گاز، C_G	اختلاف نسبی گاز و آب، D_{GW}	اختلاف نسبی نفت و گاز، D_{OG}	اختلاف نسبی نفت و آب، D_{OW}
		A_1	شار ثبت شده	$A_{2\text{ oil}}$	شار ثبت شده	$A_{2\text{ gas}}$	شار ثبت شده						
1	0	21.8206	2.704E-6±3.677E-8	0.2897	2.704E-6±3.677E-8	0.2897	2.704E-6±3.677E-8	0	0	0	--	--	--
2	20	31.2484	3.416E-6±5.841E-8	9.2069	3.403E-6±5.819E-8	7.9781	3.285E-6±5.715E-8	26.33136	25.85059	21.48669	18.39888	16.88126	-1.8598
3	40	49.9575	4.478E-6±6.672E-8	24.0658	4.488E-6±6.687E-8	20.7895	4.369E-6±6.597E-8	65.60651	65.97633	61.57544	6.14431	6.6704	0.56054
4	60	78.9608	5.973E-6±7.705E-8	53.0427	5.858E-6±7.673E-8	46.7889	5.8385E-6±5.429E-8	120.89497	116.64201	115.92086	4.11441	0.61826	-3.64616
5	80	172.666	7.796E-6±8.809E-8	142.9649	7.962E-6±8.917E-8	123.3050	8.048E-6±6.357E-8	188.31361	194.45266	197.63314	-4.94894	-1.6356	3.15709
6	100	--	1.0649E-5±1.032E-7	--	1.1191E-5±1.063E-7	--	9.993E-6±7.095E-8	293.82396	313.86834	269.56361	8.25677	14.11571	6.38624

جدول ۴-۲۴) شار ثبت شده در انرژی ۵۱۱ کیلو الکترون ولت مربوط به تالی F8 برای حالت دوم

ردیف	درصد موجود در خاک	آب		نفت خام		گاز		کنتراست مربوط به آب، C_W	کنتراست مربوط به نفت، C_O	کنتراست مربوط به گاز، C_G	اختلاف نسبی گاز و آب، D_{GW}	اختلاف نسبی نفت و گاز، D_{OG}	اختلاف نسبی نفت و آب، D_{OW}
		A_1	شار ثبت شده	$A_{2\text{ oil}}$	شار ثبت شده	$A_{2\text{ gas}}$	شار ثبت شده						
1	0	21.8206	6.41E-6±2.531E-7	0.2897	6.41E-6±2.531E-7	0.2897	6.41E-6±2.531E-7	0	0	0	--	--	--
2	20	31.2484	6.42E-6±2.535E-7	9.2069	6.41E-6±2.531E-7	7.9781	6.45E-6±2.541E-7	0.15601	0	0.62402	-300	--	--
3	40	49.9575	6.47E-6±2.542E-7	24.0658	6.48E-6±2.546E-7	20.7895	6.42E-6±2.535E-7	0.93604	1.09204	0.15601	83.33333	85.71429	14.28571
4	60	78.9608	6.44E-6±2.537E-7	53.0427	6.42E-6±2.535E-7	46.7889	6.45E-6±2.541E-7	0.46802	0.15601	0.62402	-33.33333	-300	-200
5	80	172.666	6.35E-6±2.52E-7	142.9649	6.46E-6±2.538E-7	123.3050	6.36E-6±2.524E-7	-0.93604	0.78003	-0.78003	16.66667	200	220
6	100	--	6.38E-6±2.526E-7	--	6.43E-6±2.533E-7	--	6.27E-6±2.501E-7	-0.46802	0.31201	-2.18409	-366.66667	800	250

جدول ۴-۲۵) شار ثبت شده در انرژی ۵۰ کیلو الکترون ولت مربوط به تالی F8 برای حالت دوم

ردیف	درصد موجود در خاک	آب		نفت خام		گاز		کنتراست مربوط به آب، C_W	کنتراست مربوط به نفت، C_O	کنتراست مربوط به گاز، C_G	اختلاف نسبی گاز و آب، D_{GW}	اختلاف نسبی نفت و گاز، D_{OG}	اختلاف نسبی نفت و آب، D_{OW}
		A_1	شار ثبت شده	$A_{2\text{ oil}}$	شار ثبت شده	$A_{2\text{ gas}}$	شار ثبت شده						
1	0	21.8206	9.6876E-4±3.1E-6	0.2897	9.6876E-4±3.1E-6	0.2897	9.6876E-4±3.1E-6	0	0	0	--	--	--
2	20	31.2484	9.6887E-4±3.1E-6	9.2069	9.6883E-4±3.1E-6	7.9781	9.6812E-4±3.097E-6	0.01135	0.00723	-0.06606	681.81818	1014.2857	-57.14286
3	40	49.9575	9.6899E-4±3.1E-6	24.0658	9.6877E-4±3.1E-6	20.7895	9.6716E-4±3.094E-6	0.02374	0.00103	-0.16516	795.65217	16100	-2200
4	60	78.9608	9.6934E-4±3.1E-6	53.0427	9.6945E-4±3.102E-6	46.7889	9.6783E-4±3.097E-6	0.05987	0.07123	-0.096	260.34483	234.78261	15.94203
5	80	172.666	9.7051E-4±3.1E-6	142.9649	9.6936E-4±3.101E-6	123.3050	9.6682E-4±3.093E-6	0.18064	0.06193	-0.20026	210.85714	423.33333	-191.6667
6	100	--	9.704E-4±3.1E-6	--	9.688E-4±3.1E-6	--	9.639E-4±3.084E-6	0.16929	0.00413	-0.50167	396.34146	12250	-4000

جدول ۴-۲۶) شار ثبت شده برای پهنای انرژی صفر تا ۲۴ مگا الکترون ولت مربوط به تالی F8 برای حالت دوم

ردیف	درصد موجود در خاک	آب		نفت خام		گاز		کنتراست مربوط به آب، C_W	کنتراست مربوط به نفت، C_O	کنتراست مربوط به گاز، C_G	اختلاف نسبی گاز و آب، D_{GW}	اختلاف نسبی نفت و گاز، D_{OG}	اختلاف نسبی نفت و آب، D_{OW}
		A_1	شار ثبت شده	$A_{2\text{ oil}}$	شار ثبت شده	$A_{2\text{ gas}}$	شار ثبت شده						
1	0	21.8206	0.002±4.393E-6	0.2897	0.002±4.393E-6	0.2897	0.002±4.393E-6	0	0	0	0	0	0
2	20	31.2484	0.002±4.397E-6	9.2069	0.002±4.396E-6	7.9781	0.002±4.392E-6	-0.06	-0.08	-0.17	-183.33333	-112.5	25
3	40	49.9575	0.002±4.399E-6	24.0658	0.002±4.398E-6	20.7895	0.002±4.392E-6	-0.015	-0.04	-0.17	-1033.3333	-325	62.5
4	60	78.9608	0.002±4.400E-6	53.0427	0.002±4.397E-6	46.7889	0.002±4.393E-6	0.005	-0.05	-0.155	3200	-210	110
5	80	172.666	0.002±4.401E-6	142.9649	0.002±4.398E-6	123.3050	0.00199±4.388E-6	0.025	-0.045	-0.26	1140	-477.7778	155.55556
6	100	--	0.002±4.402E-6	--	0.002±4.400E-6	--	0.00199±4.375E-6	0.055	0.005	-0.55	1100	11100	-1000

جدول ۴-۲۷) شار ثبت شده در انرژی ۵۱ کیلو الکترون ولت مربوط به تالی F8 برای حالت سوم

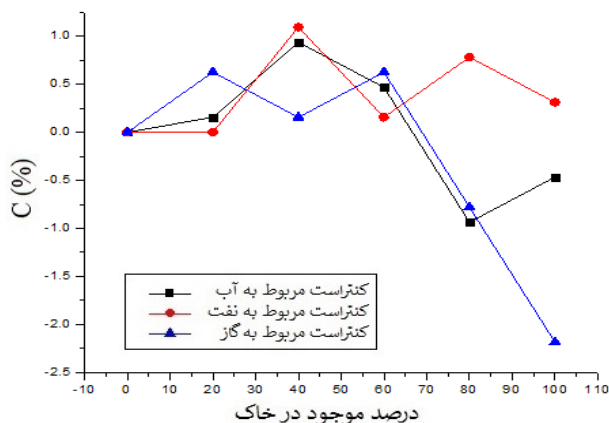
ردیف	درصد موجود در خاک	آب		نفت خام		گاز		کنتراست مربوط به آب، C_W	کنتراست مربوط به نفت، C_O	کنتراست مربوط به گاز، C_G	اختلاف نسبی گاز و آب، D_{GW}	اختلاف نسبی نفت و گاز، D_{OG}	اختلاف نسبی نفت و آب، D_{OW}
		A_1	شار ثبت شده	$A_{2\text{ oil}}$	شار ثبت شده	$A_{2\text{ gas}}$	شار ثبت شده						
1	0	21.8206	4.681E-5±6.834E-7	0.2897	4.681E-5±6.834E-7	0.2897	4.681E-5±6.834E-7	0	0	0	--	--	--
2	20	31.2484	4.222E-5±6.501E-7	9.2069	3.83E-5±1.957E-6	7.9781	3.98E-5±1.993E-6	-9.8056	-18.17988	-14.97543	-52.72331	17.62632	46.06345
3	40	49.9575	3.743E-5±6.101E-7	24.0658	3.47E-5±1.863E-6	20.7895	3.33E-5±1.824E-6	-20.03845	-25.87054	-28.86135	-44.02985	-11.56069	22.54335
4	60	78.9608	3.164E-5±5.631E-7	53.0427	3E-5±1.731E-6	46.7889	2.89E-5±1.699E-6	-32.40761	-35.91113	-38.26106	-18.06196	-6.54372	9.7561
5	80	172.666	2.97E-5±1.722E-6	142.9649	2.87E-5±1.693E-6	123.3050	1.95E-5±1.396E-6	-36.55202	-38.68831	-58.34223	-59.61426	-50.80066	5.52181
6	100	--	2.34E-5±1.53E-6	--	2.06E-5±1.435E-6	--	1.31E-5±1.144E-6	-50.01068	-55.99231	-72.01453	-43.99829	-28.61503	10.68295

جدول ۴-۲۸) شار ثبت شده در انرژی ۵۰ کیلو الکترون ولت مربوط به تالی F8 برای حالت سوم

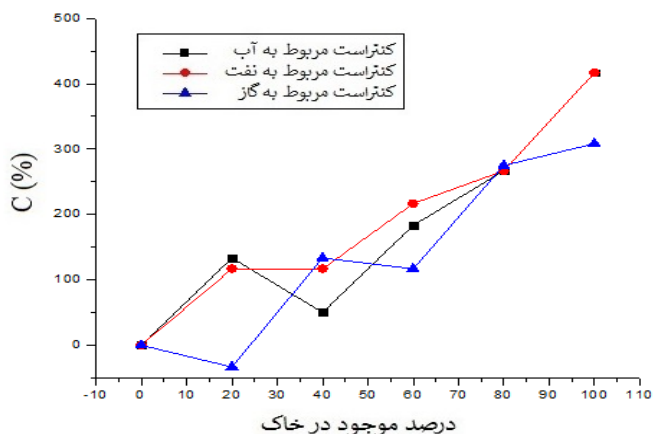
ردیف	درصد موجود در خاک	آب		نفت خام		گاز		کنتراست مربوط به آب، C_W	کنتراست مربوط به نفت، C_O	کنتراست مربوط به گاز، C_G	اختلاف نسبی گاز و آب، D_{GW}	اختلاف نسبی نفت و گاز، D_{OG}	اختلاف نسبی نفت و آب، D_{OW}
		A_1	شار ثبت شده	$A_{2\text{ oil}}$	شار ثبت شده	$A_{2\text{ gas}}$	شار ثبت شده						
1	0	21.8206	0.00777±8.544E-6	0.2897	0.00777±8.544E-6	0.2897	0.00777±8.544E-6	0	0	0	0	0	0
2	20	31.2484	0.00704±8.452E-6	9.2069	0.00688±2.613E-5	7.9781	0.00662±2.582E-5	-9.34801	-11.48649	-14.76963	-57.99763	-28.58263	18.61737
3	40	49.9575	0.0063±8.185E-6	24.0658	0.00599±2.454E-5	20.7895	0.0055±2.364E-5	-18.96371	-22.94595	-29.22136	-54.091	-27.3487	17.35487
4	60	78.9608	0.00553±7.188E-6	53.0427	0.00507±2.229E-5	46.7889	0.00435±2.087E-5	-28.83449	-34.79279	-44.02317	-52.67537	-26.52956	17.1251
5	80	172.666	0.00474±2.180E-5	142.9649	0.00417±2.043E-5	123.3050	0.00319±1.786E-5	-38.99871	-46.33462	-58.93951	-51.13194	-27.20404	15.83245
6	100	--	0.00391±1.957E-5	--	0.00336±1.813E-5	--	0.00196±1.389E-5	-49.61776	-56.77864	-74.81338	-50.77945	-31.76327	12.61192

جدول ۴-۲۹) شار ثبت شده برای پهنای انرژی صفر تا ۲۴ مگا الکترون ولت مربوط به تالی F8 برای حالت سوم

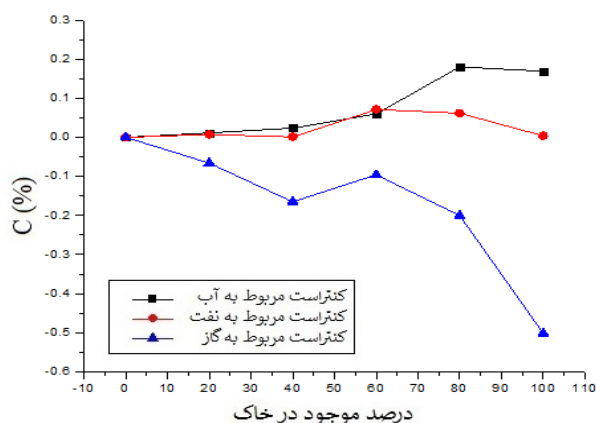
ردیف	درصد موجود در خاک	آب		نفت خام		گاز		کنتراست مربوط به آب، C_W	کنتراست مربوط به نفت، C_O	کنتراست مربوط به گاز، C_G	اختلاف نسبی گاز و آب، D_{GW}	اختلاف نسبی نفت و گاز، D_{OG}	اختلاف نسبی نفت و آب، D_{OW}
		A_1	شار ثبت شده	$A_{2\text{ oil}}$	شار ثبت شده	$A_{2\text{ gas}}$	شار ثبت شده						
1	0	21.8206	0.01588±1.270E-5	0.2897	0.01588±1.270E-5	0.2897	0.01588±1.270E-5	0	0	0	0	0	0
2	20	31.2484	0.0144±1.151E-5	9.2069	0.01405±3.653E-5	7.9781	0.01348±3.638E-5	-9.34509	-11.51134	-15.13854	-61.99461	-31.50985	18.81838
3	40	49.9575	0.01287±1.158E-5	24.0658	0.01222±3.422E-5	20.7895	0.01122±3.366E-5	-18.96096	-23.02267	-29.33249	-54.69944	-27.407	17.64223
4	60	78.9608	0.01128±1.014E-5	53.0427	0.01039±3.220E-5	46.7889	0.0089±2.938E-5	-28.99244	-34.58438	-43.92506	-51.50521	-27.00838	16.16897
5	80	172.666	0.00964±3.086E-5	142.9649	0.00849±2.886E-5	123.3050	0.00652±2.541E-5	-39.26385	-46.53589	-58.96411	-50.17401	-26.70672	15.62673
6	100	--	0.00799±2.796E-5	--	0.00679±2.581E-5	--	0.00399±1.993E-5	-49.67632	-57.21788	-74.89484	-50.76566	-30.8941	13.18043



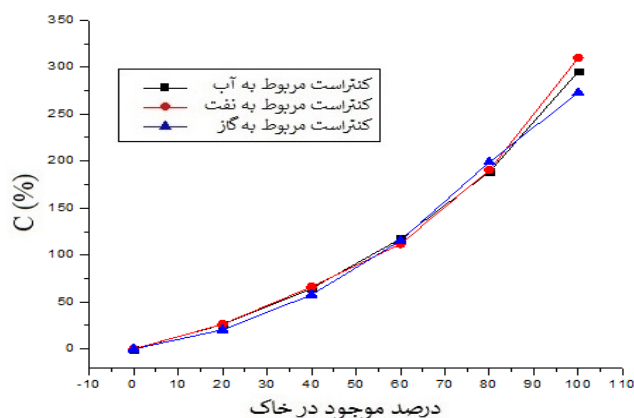
شکل شماره ۴-۳۱) منحنی کنتراست بر حسب درصد عناصر ترکیب شده با سنگ‌های رسوبی برای انرژی ۵۱ کیلو الکترون ولت در حالت دوم توضیح داده شده در رساله



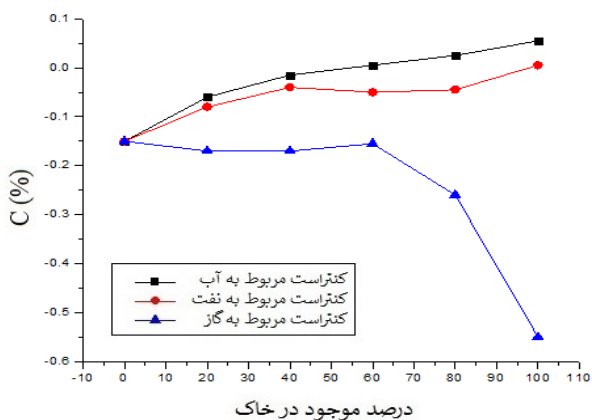
شکل شماره ۴-۳۰) منحنی کنتراست بر حسب درصد عناصر ترکیب شده با سنگ‌های رسوبی برای انرژی ۵۱ کیلو الکترون ولت در حالت اول توضیح داده شده در رساله



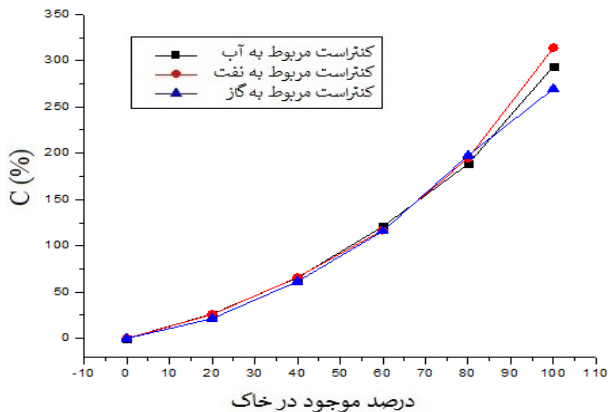
شکل شماره ۴-۳۳) منحنی کنتراست بر حسب درصد عناصر ترکیب شده با سنگ‌های رسوبی برای انرژی ۵۰ کیلو الکترون ولت در حالت دوم توضیح داده شده در رساله



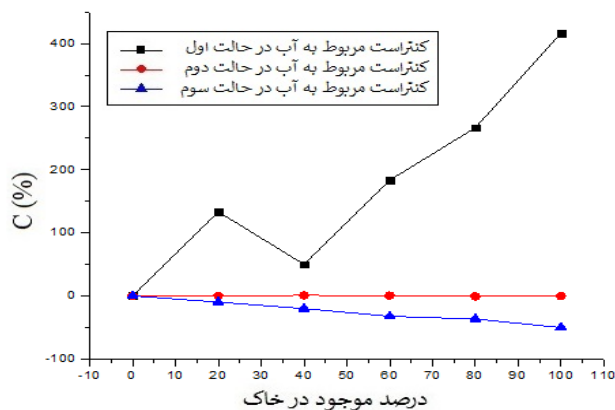
شکل شماره ۴-۳۲) منحنی کنتراست بر حسب درصد عناصر ترکیب شده با سنگ‌های رسوبی برای انرژی ۵۰ کیلو الکترون ولت در حالت اول توضیح داده شده در رساله



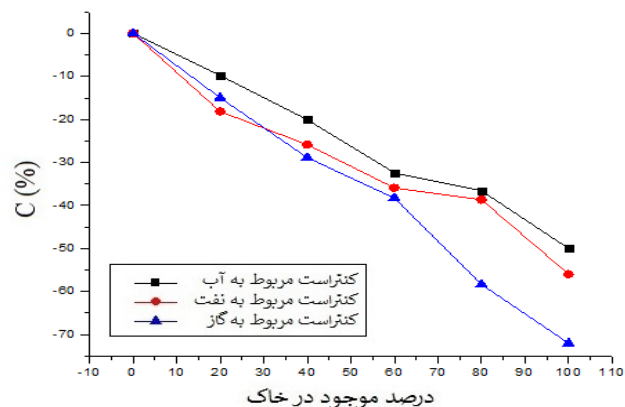
شکل شماره ۴-۳۵) منحنی کنتراست بر حسب عناصر ترکیب شده با سنگ‌های رسوبی برای پهنای انرژی صفر تا 24 MeV در حالت دوم توضیح داده شده در رساله



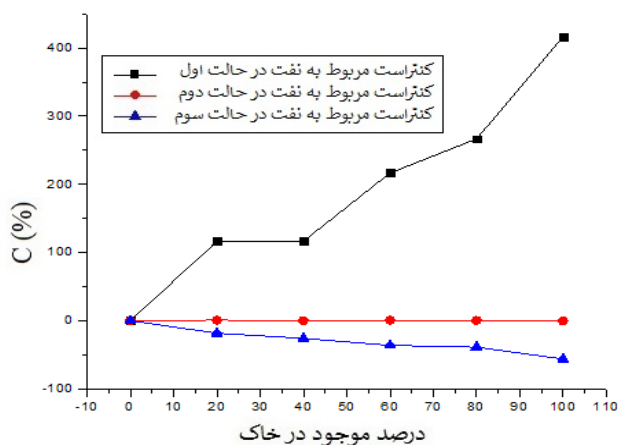
شکل شماره ۴-۳۴) منحنی کنتراست بر حسب عناصر ترکیب شده با سنگ‌های رسوبی برای پهنای انرژی صفر تا 24 MeV در حالت اول توضیح داده شده در رساله



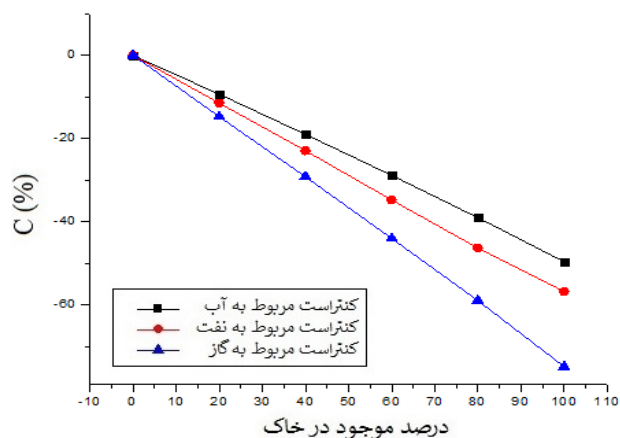
شکل شماره ۴-۳۷) مقایسه منحنی کنتراست بر حسب عناصر ترکیب شده با سنگ‌های رسوبی برای انرژی ۵۱۱ کیلو الکترون ولت در هر سه حالت برای آب



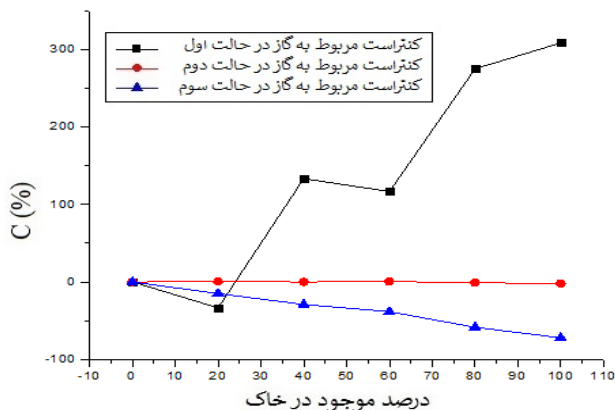
شکل شماره ۴-۳۶) منحنی کنتراست بر حسب عناصر ترکیب شده با سنگ‌های رسوبی برای انرژی ۵۱۱ کیلو الکترون ولت در حالت سوم توضیح داده شده در رساله



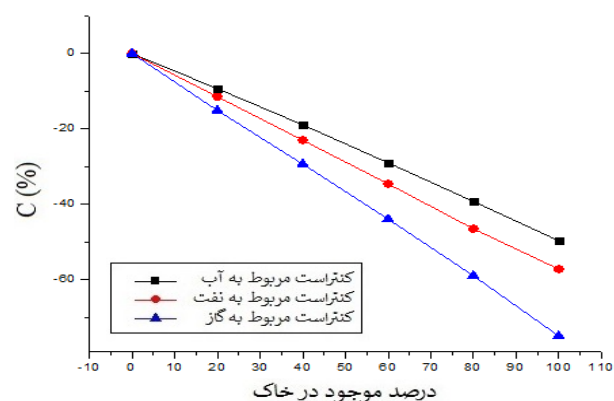
شکل شماره ۴-۳۹) مقایسه منحنی کنتراست بر حسب عناصر ترکیب شده با سنگ‌های رسوبی برای انرژی ۵۱۱ کیلو الکترون ولت در هر سه حالت برای نفت



شکل شماره ۴-۳۸) منحنی کنتراست بر حسب عناصر ترکیب شده با سنگ‌های رسوبی برای انرژی ۵۰ کیلو الکترون ولت در حالت سوم توضیح داده شده در رساله



شکل شماره ۴-۴۱) مقایسه منحنی کنتراست بر حسب عناصر ترکیب شده با سنگ‌های رسوبی برای انرژی ۵۱۱ کیلو الکترون ولت در هر سه حالت برای گاز



شکل شماره ۴-۴۰) منحنی کنتراست بر حسب عناصر ترکیب شده با سنگ‌های رسوبی برای انرژی ۵۰ کیلو الکترون ولت در حالت سوم توضیح داده شده در رساله

با توجه به نمودارهای نشان داده شده در شکل‌های شماره (۳۰-۴) تا (۴۱-۴) می‌توان نتیجه گرفت در حالتی که فاصله چشمه و آشکارساز از یکدیگر ۲۵ سانتیمتر است از روی کنتراست نمی‌توان مخازن را با استفاده از روش فعال سازی با فوتون شناسایی کرد، هرچند با کاهش این فاصله به ۵ سانتی متر 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 منحنی-هایی کاملاً نزولی برای انرژی ۵۱۱ کیلو الکترون ولت، انرژی ۵۰ کیلو الکترون ولت و بازه انرژی صفر تا ۲۴ MeV که از روی آنها می‌توان مخازن را مشخص نمود.

همانطور که از نمودارهای کنتراست بر حسب درصد مخازن ترکیب شده با سنگ‌های رسوبی در حالت اول (نمودارهای شماره (۳۰-۴)، (۳۲-۴) و (۳۴-۴)) مشخص است منحنی بدست آمده برای انرژی ۵۰ کیلو الکترون ولت و منحنی مربوط به کل شار ثبت شده یک منحنی صعودی است و با افزایش درصد مخازن ترکیب شده با سنگ‌های رسوبی مقدار قدر مطلق کنتراست افزایش می‌یابد، اما منحنی مربوط به انرژی ۵۱۱ 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 ۵۰ کیلو الکترون ولت و منحنی مربوط به شار ثبت شده برای پهنای انرژی صفر تا ۲۴ MeV را مشاهده کرد.

در نمودارهای حالت دوم (نمودارهای شماره (۳۱-۴)، (۳۳-۴) و (۳۵-۴)) 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 صعودی خود را تقریباً حفظ کرده است، همچنین منحنی مربوط به انرژی ۵۱۱ الکترون ولت رفتار نامتناسب خود را در این حالت نیز نشان داده و مانند حالت 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 (نمودارهای شماره (۳۶-۴)، (۳۸-۴) و (۴۰-۴)) 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 50 کیلو الکترون ولت و انرژی 511 کیلو الکترون ولت و هم در منحنی مربوط به کل شار ثبت شده حالت نزولی از خود نشان داده است و با افزایش درصد مخازن ترکیب شده با سنگ‌های رسوبی مقدار کنتراست کاهش می‌یابد. همچنین در این نمودارها اختلاف بین منحنی‌های مربوط به هر معدن در انرژی 50 کیلو الکترون ولت و انرژی 511 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.

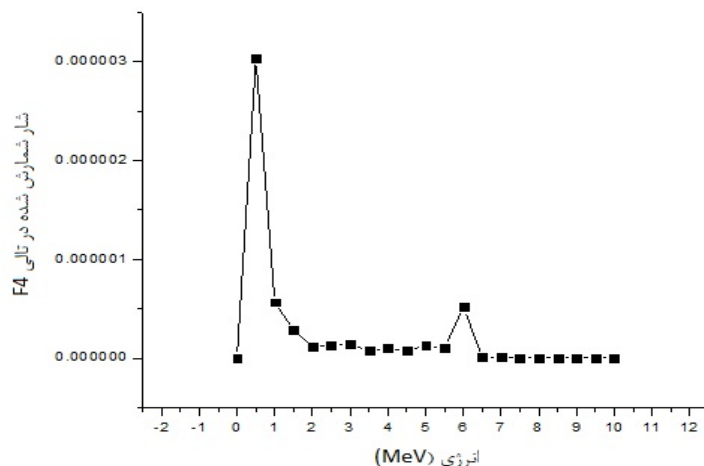
در نمودارهای شماره (۳۷-۴)، (۳۹-۴) و (۴۱-۴) منحنی کنتراست بر حسب درصد مخازن ترکیب شده با سنگ‌های رسوبی برای هر معدن بصورت جداگانه در هر سه حالت رسم شده است که با توجه به آن دقیق‌تر و بهینه بودن حالت سوم کاملاً مشخص است.

مزیت استفاده از این روش آن است که بدلیل آنکه حداقل انرژی لازم برای انجام اندرکنش کربن $18,7 \text{ MeV}$ است نیازی به بررسی چشمه‌های موجود در طبیعت نمی‌باشد، زیرا بیشترین انرژی ساطع شده توسط آنها کمتر از $18,7$ است، بنابراین چشمه‌های موجود در طبیعت هیچ گونه تابش زمینه طبیعی مزاحمی در این اندازه‌گیری‌ها ایجاد نمی‌کنند.

۴-۴-۲) بررسی نتایج حاصل از نوترون‌های تولید شده از فعالسازی با

پرتوهای گاما:

از آنجایی که در فعالسازی مواد با پرتوهای گاما امکان تولید نوترون نیز وجود دارد در شبیه‌سازی‌های انجام گرفته نیز مقدار نوترون‌های تولید شده توسط تالی F4 اندازه گیری شده است. نتایج مربوط به این نوترون‌ها برای درصد‌های مختلف هر مخزن موجود در خاک بدست آمده و کمیت کنتراست و کمیت D نیز برای این نتایج محاسبه شده است که در جدول شماره (۴-۳۰) قابل مشاهده می‌باشد. نمودار شماره (۴-۴۲) نشان دهنده شار نوترون‌های تولید شده بر حسب انرژی در بازه صفر تا MeV ۱۰ را نشان می‌دهد.



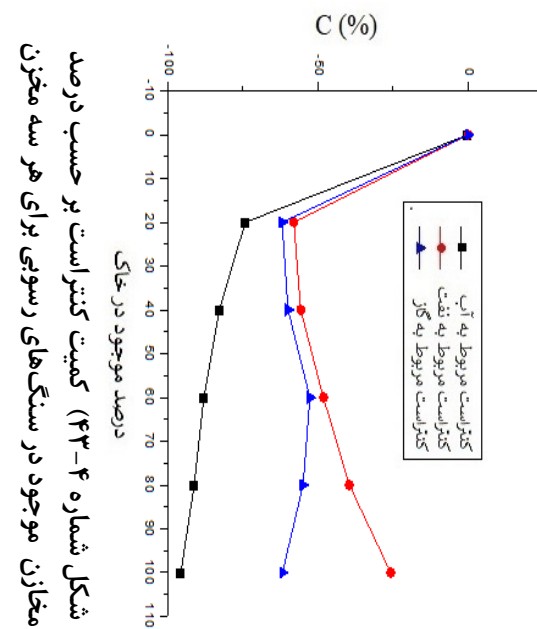
شکل شماره ۴-۴۲) نمودار شار نوترون‌های تولید شده بر حسب انرژی برای بازه صفر تا MeV ۱۰ به ازای یک نوترون

نمودارهای شماره (۴-۴۳) تا (۴-۴۵) نیز مربوط به نتایج بدست آمده برای نوترون‌های تولید شده می‌باشد. با مقایسه نمودارهای شماره (۴-۴۳) تا (۴-۴۵) که مربوط به نوترون‌های تولید شده می‌باشد با نمودارهای شماره (۴-۳۶)، (۴-۳۸) و (۴-۴۰) که مربوط به پرتوهای گاما است به این نتیجه می‌رسیم که نتایج بدست آمده برای پرتوهای گاما از کیفیت، ثبات و نظم بهتری برخوردار هستند. همچنین از آنجایی بررسی این نوترون‌ها در زمینه کاری این پژوهش نمی‌باشد، لذا از انجام شبیه-

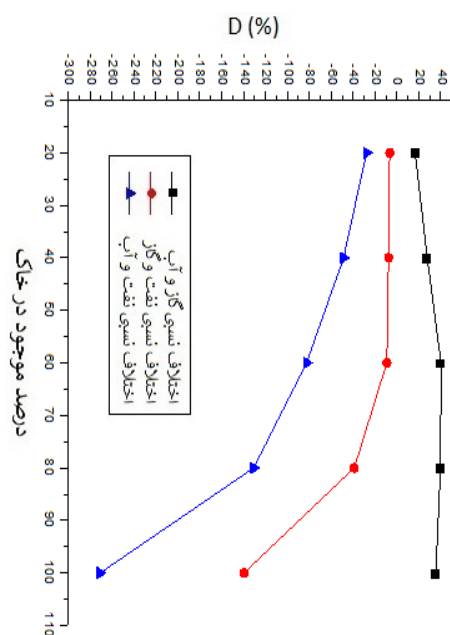
سازی‌ها و بررسی‌های بیشتر برای این نوترون‌ها صرف نظر شده است. باید توجه داشت که مقدار شار نوترون‌های تولید شده از مرتبه 10^{-6} می‌باشد و برای بدست آوردن نتایجی با خطای پایین برای این نوترون‌ها باید از چشمه‌ای با اکتیویته بالا (حدوداً به اندازه ۱۰۰ کوری) استفاده کرد، لذا این موضوع می‌تواند موضوع مناسبی برای پژوهش‌های بعدی باشد.

جدول شماره ۴-۳۰) شار ثبت شده برای نوترون‌های تولید شده مربوط به تالی F4

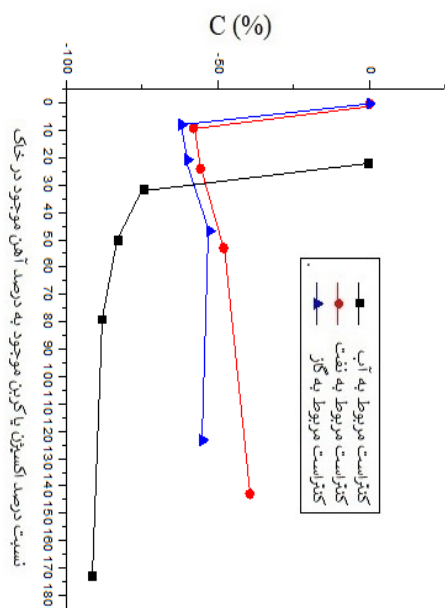
ردیف	درصد موجود در خاک	آب		نفت خام		گاز		کنتراست مربوط به آب، C_W	کنتراست مربوط به نفت، C_O	کنتراست مربوط به گاز، C_G	اختلاف نسبی گاز و آب، D_{GW}	اختلاف نسبی نفت و گاز، D_{OG}	اختلاف نسبی نفت و آب، D_{OW}
		A_1	شار ثبت شده	$A_2 \text{ oil}$	شار ثبت شده	$A_2 \text{ gas}$	شار ثبت شده						
1	0	21.8206	5.276E-6±4.926E-8	0.2897	5.297E-6±4.926E-8	0.2897	5.297E-6±4.926E-8	0	0	0	--	--	--
2	20	31.2484	1.432E-6±3.537E-8	9.2069	2.220E-6±9.838E-8	7.9781	2.014E-6±9.284E-8	-72.96512	-58.07913	-61.98278	15.05148	-6.72127	-25.63053
3	40	49.9575	9.407E-7±2.841E-8	24.0658	2.342E-6±1.014E-7	20.7895	2.117E-6±9.697E-8	-82.2412	-55.78753	-60.03285	27.00393	-7.6098	-47.41862
4	60	78.9608	7.158E-7±2.505E-8	53.0427	2.742E-6±1.105E-7	46.7889	2.506E-6±1.067E-7	-86.48784	-48.23883	-52.69556	39.07171	-9.2389	-79.29094
5	80	172.666	4.669E-7±2.054E-8	142.9649	3.202E-6±1.204E-7	123.3050	2.384E-6±1.023E-7	-91.1862	-39.55187	-54.98339	39.70207	-39.01589	-130.54837
6	100	--	2.879E-7±1.120E-8	--	3.929E-6±1.340E-7	--	2.020E-6±9.394E-8	-94.56376	-25.81924	-61.86386	34.57974	-139.60374	-266.25311



شکل شماره ۴-۳۳) کمیت کنتراست بر حسب درصد مخازن موجود در سنگ‌های رسوبی برای هر سه مخزن



شکل شماره ۴-۳۴) کمیت D بر حسب درصد مخازن موجود در سنگ‌های رسوبی برای هر سه مخزن



شکل شماره ۴-۳۵) کمیت کنتراست بر حسب نسبت درصد اکسیژن و یا کربن موجود به درصد آهن موجود در سنگ‌های رسوبی برای هر سه مخزن

۴-۵) خطای بدست آمده در شبیه سازی‌ها:

خطای بدست آمده در تمامی این شبیه سازی‌ها برای شار محاسبه شده مربوط به تالی F8 کمتر از ۷ درصد، برای کنتراست‌های محاسبه شده کمتر از ۵ درصد و برای تفاوت نسبی بین کنتراست‌های محاسبه شده (کمیت D) نیز کمتر از ۱ درصد بدست آمده است.

نتیجه گیری

با توجه به نتایج بدست آمده از شبیه سازی‌ها در بخش ۴-۱، بیشترین مقدار عمق نفوذ مفید بدست آمده برابر با ۲۰ سانتی متر بوده که مربوط به چشمه پرتوی گاما با انرژی ۱۰۰ MeV می‌باشد. کنتراست بدست آمده برای این چشمه برای آب شور، نفت و گاز طبیعی به ترتیب برابر با ۰,۱۳۱۵۸، ۰,۳۲۸۹۵ و ۰,۱۹۷۳۷ بدست آمده است. در نتیجه فقط محدوده کوچکی حول چشمه قابل بررسی می‌باشد و نمی‌توان منطقه وسیعی را با استفاده از این روش بررسی نمود.

با استفاده از شبیه سازی‌های بخش ۴-۲ کنتراست بدست آمده برای حفره‌های اول تا چهارم برای حالت ۱۰۰ درصد ماده ترکیب شده با سنگ‌های رسوبی (مخزن نفت یا آب به تنهایی) به ترتیب برابر با ۰,۱۲۲۴,۱۵۷۳، ۰,۴۸۳۶,۷۶۳۴۹، ۰,۱۳۱۱,۳۱۵۷ و ۰,۱۳۹۲,۷ برای مخزن آب و ۰,۱۴۷۷,۵۲، ۰,۵۷۸۵,۶۴، ۰,۱۵۶۰,۶۳ و ۰,۱۶۵۴,۱۲ برای مخزن نفت بدست آمده است. بررسی نتایج حاصل از کمیت D برای این قسمت نشان دهنده این است که استفاده از پرتوهای پس پراکنده نسبت به پرتوهای عبوری به منظور تفکیک مخازن از یکدیگر کارایی بهتری داشته و دارای موقعیت مکانی بهتری می‌باشد.

نتایج بدست آمده از بخش ۴-۳ به این نتیجه می‌رسیم که به منظور کشف مخازن نفتی با استفاده از پرتوهای پس پراکنده شده، اختلال ناشی از چشمه‌های موجود در طبیعت مقدار بالایی داشته و نتایج خوبی بدست نمی‌آید که با افزایش اکتیویته چشمه از این اختلال بوجود آمده کاسته می‌شود،

بصورتیکه با استفاده از یک چشمه ^{137}Cs با اکتیویته ویژه بالاتر از $3,09946 \text{ MBq/gr}$ می‌توان به کشف این مخازن پرداخت و اختلال ناشی از ایزوتوپ‌های موجود در طبیعت که باعث اختلال در این نتایج می‌شوند را نیز به حداقل رساند. کنتراست بدست آمده برای چشمه‌ای با اکتیویته ویژه برابر با $3,09946 \text{ MBq/gr}$ برای سه مخزن آب، نفت و گاز طبیعی برای حالت ۱۰۰ درصد ماده ترکیب شده با سنگ‌های رسوبی (مخزن نفت یا آب به تنهایی) به ترتیب برابر با ۸۰۴,۰۵، ۹۰۲,۶۰ و ۱۲۳۱,۰۱ بدست آمده است.

کشف مخازن نفتی با استفاده از روش تحلیل به روش فعالسازی نیز قابل انجام است که نتایج حاصل از بخش ۴-۴ این گفته را اثبات می‌کند و بدلیل بالا بودن انرژی لازم جهت اندرکنش هسته‌ای مورد نظر در کشف مخازن هیچ گونه اختلالی از ایزوتوپ‌های موجود در طبیعت در این اندازه گیری‌ها ایجاد نمی‌شود.

پیشنهادهات:

(۱) پیشنهاد می‌شود در پژوهش‌های بعدی از یک چشمه نوترون به تنهایی استفاده شود و نتایج آن با نتایج بدست آمده از این پژوهش مقایسه گردد.

(۲) پیشنهاد می‌شود در پژوهش‌های بعدی از یک چشمه گاما و یک چشمه نوترون بصورت همزمان استفاده گردد و با تجزیه و تحلیل نتایج نوترونی و تجزیه و تحلیل گامایی بصورت همزمان کیفیت کار انجام شده و دقت نتایج بدست آمده را افزایش داد.

مراجع

- [1] R. D. Evans, (1955) "The Atomic Nucleus", McGraw-Hill Book Co., New York.
- [2] سولفانی‌دیس ن., (۱۳۷۱) "اندازه‌گیری و آشکارسازی تابش‌های هسته‌ای"، ترجمه ر. کوهی و م. هادی زاده یزدی.
- [3] Knoll G. F., (1979) "Radiation Detection and Measurement", John Wiley & Sons, New York.
- [4] Hobbie R. K. and Roth B. J., (2015) "Intermediate Physics for Medicine and Biology", Fifth Edition.
- [5] Jaeger R. G. and Others, (1968) "Engineering Compendium on Radiation Shielding", Volume I.
- [6] Bellini D., Deninno M. M., Focardi S., Massa C. And Vandelli Massa T., (1979) "Cross-Section for Electron Pair Production on Nuclei in the Region $1 < Z < 92$.", LETTERE AL NUOVO CIMENTO, Vol. 26, N. 4.
- [7] Jahanbakhsh O., Ashrafi S., Salehpour B., Bodaghi Hossein Abadi R., Khaiiatoli N., (2013) "Industrial scattering densitometry using a mCi gamma-ray source", Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A 726, 47–51.
- [8] Flugge S., (1959) "ENCYCLOPEDIA OF PHYSICS", Volume VIII Berlin.
- [9] Rao D.V., Cesareo A. R., Brunetti A., and Gigante G.E., (2003) "Compton energy-absorption scattering cross-sections for H, C, N, O, P, Ca and assessment of Doppler broadening", Eur. Phys. J. D 23, 43–49.
- [10] Jian XU, Weisheng WEI and Kai ZHANG, (2010) "Application of gamma-ray attenuation technology in density measurement of a slurry reactor", Front. Chem. Eng. China, 4(4): 486–490.
- [11] J. J. Taylor, (1954) "Application of gamma-ray build-up data to shield design", WAPD-RM-217.
- [12] Singh P. S., Singh T., Kaur P., (2008) "Variation of energy absorption buildup factors with incident photon energy and penetration depth for some commonly used solvents", Annals of Nuclear Energy 35, 1093–1097.

[13] Rasouli A., Tavakoli-Anbaran H., (2017) "Study of relation between the gamma flux buildup factors and source geometry by MC simulation", Nuclear Science and Techniques, Vol. 28, Issue 9, 136.

[14] شیرانی ا.، علامت ساز م.، (۱۳۸۰) "محاسبه ضرایب انباشت پرتوگیری تابش‌های گاما برای چشمه‌های نقطه‌ای در آب و سرب"، مجله پژوهش فیزیک ایران، جلد سوم، شماره ۱.

[15] Lutz, G. J., (1971) "Photon Activation Analysis -A Review, ANALYTICAL CHEMISTRY", VOL. 43, NO. 1.

[16] Lutz, G. J. and DeSoete, D. A., (1968) "Determination of carbon in sodium by photon activation analysis", ANAL. CHEM. 40, 902.

[17] Baker, C. A. and Williams, D. R., (1968) "Photon-activation analysis for carbon and oxygen", Talanta, 15, 1143.

[18] 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.

[19] 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.

[20] Hendriks P.H.G.M., Limburg J. And De Meijer R. J., (2001) "Full-spectrum analysis of natural γ -ray spectra", Journal of Environmental Radioactivity 53, 365-380.

[21] David P Stern, (2007) "Planetary Magnetism".

[22] Milbert D. G., Smith D. A., (2007) "Converting GPS Height into NAVD88 Elevation with the GEOID96 Geoid Height Model", National Geodetic Survey.

[23] Sandwell D. T., Smith W.H.F., W. H. F., (2007) "Exploring the Ocean Basins with Satellite Altimeter Data".

[24] Senne J. H., (2000) "Did Edmund Hillary Climb the Wrong Mountain", Professional Surveyor 20 (5): 16–21.

[25] Morgan J. W., Anders E., (1980) "Chemical composition of Earth, Venus, and Mercury". Proceedings of the National Academy of Science 77 (12): 6973–6977.

[26] Sharp D., (2005) "Chimborazo and the old kilogram". The Lancet 365 (9462): 831–832.

[27] Tanimoto T., (1995) "Crustal Structure of the Earth", American Geophysical Union.

[28] Encyclopaedia Britannica, (1911), the eleventh edition.

- [29] Staff, (2007) "Layers of the Earth", Volcano World.
- [30] Jessey D., (2007) "Weathering and Sedimentary Rocks", Cal Poly Pomona.
- [31] de Pater I., Lissauer J. J., (2010) "Planetary Sciences", (2nd ed.) Cambridge University Press, p. 154.
- [32] Dreher G. B., Follmer L. R., and Zhang Y., (2002) "A Progress Report on the Chemical Composition of Soils in Illinois: Cores 1 through 10", Illinois State Geological Survey.
- [33] Clarke F. W. And Washington H. S., (1924) "THE COMPOSITION OF- THE EARTH'S CRUST", united states geological survey.
- [34] Erickson J., (2001) "Plate Tectonics, Unraveling the Mysteries of the Earth", Revised Edition.
- [35] 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.
- [36] X-5 Monte Carlo team, (2013) "MCNP-A General monte carlo N-particle transport code", Version 5.
- [37] شیر مردی پ., طاهری ع., امیری ج., (۱۳۸۹) "کاربرد کد شبیه سازی MCNP در محاسبات هسته‌ای" جلد اول، انتشارات سنوبرک، ص ۲۸۸.
- [38] ابراهیم نژاد ف., کاکویی ا. و قاسمی م., (۱۳۹۲) "امکان سنجی استفاده از چگالی سنج هسته ای برای تعیین چگالی مواد با عدد اتمی متفاوت"، اولین همایش ملی نفت و گاز ایران.
- [39] Moschler W. W., "Radiation Based Densitometry", the History and Evolution of a Unique Program at UT.
- [40] Claesson T., (2001) "A Medical Imaging Demonstrator of Computed Tomography and Bone Mineral Densitometry", Royal Institute of Technology.
- [41] James L, Mac Intyre, (1933) "Soil density measurement by transmitted gamma radiation", The University of Arizona.
- [42] Mauc̆ec M. And Denijs I., (2009) "Development and calibration of a γ -ray density-meter for sediment-like materials", Applied Radiation and Isotopes 67 1829–1836.
- [43] De Swart, J. G., Groenevelt, P. H., (1971) "Column Scanning With 60 Kev Gamma Radiation", Soil Science j. 112(6):419-424.
- [44] Stroosnijder, L., De Swart, J. G., (1974) "Column Scanning With Simultaneous Use Of 241am And 137cs Gamma Radiation", Soil Science j. 118(2):61-69.

- [45] Rawls, W. J.; Brooks, R. H., (1975) "Gamma Probe Dry Bulk Densities", *Soil Science j.* 120(1):68-70.
- [46] 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.
- [47] Sadiq, M., Lindsay, W. L., (1988) "The Solubility Product Of Soil Maghemite", *Soil Science j.* 146(1):1-5.
- [48] Ward, A. D., Van Deventer, A. P., (1993) "Calibration And Use Of A Single-Probe Gamma Density Depth Gauge", *Soil Science j.* 155(1):23-30.
- [49] 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.
- [50] Vaz, C. M. P.; de Mendonça N., Macedo, A., (1999) "Soil Particle Size Fractions Determined By Gamma-Ray Attenuation", *Soil Science j.* 164(6):403-410.
- [51] Ellis D. V. and Singer J. M., (2007) "Well Logging for Earth Scientists", 2nd Edition.
- [52] Francus P., (2004) "Image Analysis, Sediments and Paleoenvironments", Kluwer Academic Publishers, Volume 7.
- [53] 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.
- [54] Sanguini S. C., Pereira S. G., da Costa, Magela G. and More, (2006) "Identification And Characterization Of Maghemite In Ceramic Artifacts And Archaeological Black Earth Of Amazon Region", *Soil Science j.* 171(1):59-64.
- [55] Dowuona, G. N., Taina, I. A., Heck, R. J., (2009) "Porosity Analysis of Two Acrisols by X-Ray Computed Microtomography", *Soil Science j.* 174(11):583-593.
- [56] Udawatta, R. P., Gantzer, C. J., Anderson, S. H. and More, (2012) "Analysis of Three-dimensional Geometrical Pore Parameters From Rock Weathering", *Soil Science j.* 177(8):506-516.
- [57] Liao, L., Roy, A., Scheckel, K. G. 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.

- [58] Cheng, Z., Paltseva, A., Li, I. and More, (2015) “Trace Metal Contamination in New York City Garden Soils”, *Soil Science j.* 180(4/5):167-174.
- [59] Baumgart, P., Riedel, E., Eltner, A. and More, (2016) “Soil Surface Sampling Approaches for Reliable Radiogenic Isotope Tracer Investigations”, *Soil Science j.* 181(2):82-88.
- [60] Mezhiborskaya, K. B., (1961) “Photoneutron Method for Determining Beryllium, Gosatomizdat”, State Press for Literature of Atomic Science and Technology, Moscow.
- [61] Gaudin, A. M., Dasher, J., Pannell, J. H. and Freyberger, W. L., (1950) *Trans. AIIME*, 187,495.
- [62] Basile, R., Hure, J., Leveque, P. And Schuhl, C., (1954) *Compt. Rend.*, 239-422.
- [63] 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.
- [64] 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 Radioanalytical and Nuclear Chemistry, Articles*, 319-331.
- [65] Schulze, D., Kupsch, H., Segebade, C., (1994) “Determination of Heavy Metals in Humic Substances by Instrumental Photon Activation Analysis”, *Biological Trace Element Research*.
- [66] 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.
- [67] Mizera, J., Randa, Z., (2010) “Instrumental neutron and photon activation analyses of selected geochemical reference materials”, *J Radioanal Nucl Chem*, 284: 157–163.
- [68] Krausova, I., Mizera, J., Randa, Z., Chvátíl, D., Krist, P., (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.
- [69] 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.
- [70] Vasiliev M.A. and Others, (2011) “A New Natural Gamma Radiation Measurement System for Marine Sediment and Rock Analysis”, *et al. J.Appl.Geophys.* 75.

[71] رضایی فرد، س. و توکلی عنبران، ح. (۱۳۹۹) "موقعیت مکانی چشمه گاما-آشکارساز- حفره حفر شده بر کیفیت

کشف مخازن نفتی به روش مونت کارلو" پژوهش‌های ژئوفیزیک کاربردی.

[72] Blake GM, Fogelman I, (1997) "Technical principles of dual energy x-ray absorptiometry", Semin Nucl Med 27,210-228.

[73] رضایی فرد، س. و توکلی عنبران، ح. (۱۳۹۹) "کشف مخازن نفتی با استفاده از فعالسازی مواد به وسیله پرتوهای

گاما به روش مونت کارلو" پژوهش‌های ژئوفیزیک کاربردی، دوره ۶، شماره ۱، ۹۱-۱۰۳.

[74] 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.

Abstract

In recent years, the use of gamma rays in various industries has greatly prospered. These include bone densitometry and medical imaging, explosives detection in the military industry, the evaluation of concrete strength in barriers, and numerous others.

In 1939 natural gamma ray detection, which emits gamma radiation from radioactive elements such as uranium, thorium and potassium existing in the rock, was used in studies. Then in 1953, the gamma-gamma log was used to measure the gamma ray scattered from artificial sources.

In this research, we investigate the possibility of discovering oil mines by using gamma rays densitometry. For this purpose, using different simulations of the layers of the earth and the oil mines, we analyze the quantities obtained to introduce a new method for discovering the oil mines whenever possible.

In this study, simulations were performed using MCNP code. These simulations are performed for three different types of salty water, gas, and crude oils and are compared with the case where no material except sedimentary rocks is present. These simulations are carried out in five different stages, the results of which are expressed in order. We first simulated a portion of the Earth using the MCNP code to obtain the depth of penetration of the gamma rays for the five emitting sources from these simulations.

In order to find the optimal location of the drilled wells for the quality of oil exploration using MCNP code, we have simulated a block consisting of sedimentary rocks with four holes which a detector is inserted inside each of these holes. The results of these simulations show that the optimum location is opposite the sources and the use of passing gamma is less error than the use of backscattered gamma.

We then simulated a block with a hole inside using MCNP code to discover the oil mines, which three different types of simulations were applied. The first is related to the source without any disturbance, the second is to the disturbance caused by isotopes in nature and the third is to the source with disturbance caused by the isotopes in nature, which for elimination of the disturbance caused by the isotopes in nature, increased source activity has been applied to simulations. The results of these simulations indicate the possibility of discovering oil mines using gamma rays and the amount of activity needed to eliminate disturbance caused by isotopes in nature.

Finally, simulations were performed using the Gamma Activation Analysis to discover oil mines, which yielded good results from those simulations to discover oil mines. The advantage of using this method is that since the minimum energy required to conduct 18.7 MeV carbon interaction is not necessary to investigate the isotopes in nature, since most of the energy emitted by them is less than 18.7, so the isotopes existing in nature do not cause any disturbance to these measurements.

Keywords: Gamma Ray, Oil mine, Monte Carlo method



Shahrood University of
Technology

Faculty of Pardis Kharazmi

PhD thesis in the field of physics of nuclear orientation

Feasibility of using gamma-ray backscattering in order to design an oil mine discovery system by Monte Carlo method

By: Saeid Rezaei Fard

Supervisor:
Dr. Hossein Tavakoli Anbaran

February 2021