



آلودگی محیط زیست ناشی از مواد پرتوزای طبیعی (NORM) در فرایند استخراج نفت و گاز

عماد رهاپایی^۱ پژوهشکده ازدیاد برداشت از مخازن

لیلا مهاجری^۲ انجمن مهندسان نفت ایران
محمد علی زاهد^۳ دانشگاه تهران - پردیس البرز

چکیده

منشاء مواد پرتوزای طبیعی (NORM) در سازندهای زمین شناسی بوده و در فرایند استخراج با آب همراه به سطح زمین می رسد. از فراوان ترین ترکیبات پرتوزای طبیعی موجود در آب همراه می توان از رادیوم ۲۲۶ و ۲۲۸ که از تجزیه اورانیوم رادیواکتیو ناشی شده اند و توریم که در ارتباط با سنگ و خاک رس در مخزن هیدروکربنی است، نام برد. هنگامی که آب به سطح زمین می رسد، تغییرات دمایی، امکان رسوب عناصر رادیواکتیو را فراهم می کند. در نتیجه، این مواد در رسوب و لجن و سیستم های جداسازی آب تجمع می یابند. پسماند مواد پرتوزای طبیعی حاوی مقدار تا چند هزار پیکو کوری در هر گرم (pCi/g) می شود که می تواند برای زیست بوم دریایی و ساحلی زیان بار باشد.

واژگان کلیدی | آب همراه، مواد پرتوزای طبیعی، نفت و گاز، رسوب

مقدمه

رادیونوکلیدهای دو ایزوتوپ با نیمه عمر بالای اورانیوم ۲۳۸ و توریم ۲۳۲ به وجود می آیند [۲ و ۳]. این رادیونوکلیدهای طبیعی به طور کلی همراه با مایعات تولیدی (گاز، نفت، آب) و با جامدات، تولید شده و به سطح آورده می شوند. دو نوع معمول از مواد پرتوزای طبیعی در مراکز تولید نفت و گاز یافت می شود؛ مواد پرتوزای طبیعی بر پایه رادون که غالباً در تأسیسات گاز طبیعی یافت می شوند و توسط لایه های نازکی از رسوبات سرب ۲۱۰ پوشانیده شده اند و مواد پرتوزای طبیعی بر پایه رادیوم که در میادین تولید نفت یافت می شوند که عمدتاً از رادیوم

آب همراه، آبی است که اغلب همراه با نفت در مخازن یافت شده و به علت چگالی بالاتر نسبت به نفت، پایین تر از هیدروکربن ها در محیط متخلخل مخزن قرار می گیرد. این آب که به طور طبیعی در مخزن تولید می شود، معمولاً به عنوان آب سازند شناخته شده است. پس از این که نفت و گاز در یک دوره زمانی تولید شدند، آب سازند به چاه های مؤلّد رسیده و تولید آب آغاز خواهد شد. برای حفظ فشار هیدرولیکی در مخزن نفتی، با شروع تولید معمولاً آب دریا به لایه های زیرین مخزن تزریق می گردد. نگهداری فشار به علت تزریق آب باعث می شود هیدروکربن در مقادیر بیشتری بازیابی شود اما به طور هم زمان منجر به افزایش تولید آب نیز می گردد.

آب همراه تخلیه شده از فعالیت های نفت و گاز دریایی شامل عناصر شیمیایی تشکیل دهنده آب بوده و علاوه بر مواد هیدروکربنی و ذرات جامد معلق، دارای شوری، فلزات سنگین، مواد رادیواکتیو، مواد آلی محلول، آب هم زاد و هر ماده شیمیایی دیگری است که در طی فرایندهای جداسازی نفت/آب بدان افزوده می شود. ویژگی های فیزیکی آب همراه به طور قابل توجهی بسته به محل جغرافیایی میدان، زمین شناسی محل تشکیل در طول سالیان دراز و نوع محصول هیدروکربنی تولید شده، متفاوت می باشد. همچنین، ویژگی ها و حجم آن با بالا رفتن عمر مخزن تغییر می کند [۱]. محتویات آب همراه در جدول ۱- نشان داده شده است.

۱- مواد پرتوزا

مواد پرتوزای طبیعی (NORM)، در نتیجه فروپاشی ابتدایی زنجیره

محتوای آب همراه
آب
هیدروکربن ها
مواد پراکنده در آب
مواد حل شده مانند بنزن، تولنن، اتیل بنزن و زایلن
رسوب کننده ها مانند موم ها و آسفالتین ها
جامدات
مواد معلق مانند شن ها، جرم ها و محصولات خورنده
مواد محلول مانند نمک ها، کربن و آهن
گاز ها مانند اکسیژن، دی اکسید کربن، سولفیدهای هیدروژن
تولیدات شیمیایی
فلزات
نورم (مواد پرتوزایی که به طور طبیعی به وجود می آیند)

*نویسنده ی عهده دار مکاتبات (mohajerileila@yahoo.com)

هنگام تعیین حداکثر مقدار مجاز تقریباً تمام ترکیبات آب همراه تخلیه شده به دریاها، معیار رقت در نظر گرفته می شود. از آنجایی که ترکیبات شیمیایی آب همراه تخلیه شده به دریاها، باز، رقیق می شود، عوامل رقیق سازی که در پیش نویس، تعریف شده، تابعی از مقدار آب همراه رها شده از لوله تخلیه، اندازه لوله تخلیه و فاصله لوله تخلیه از بستر دریا می باشد. عامل رقیق سازی برای طیف وسیعی از لوله های تخلیه و فاصله آن ها از بستر دریا توسعه یافته است و از این عوامل رقیق سازی مثلاً برای تعیین حداکثر مجاز میانگین تخلیه آب همراه به طور روزانه و ماهانه برای هر چاه به تنهایی در دریاها، لویزیانا استفاده می شود [۸].

۲- آلودگی محیط زیست دریا

استفاده از معیارهای اختلاط به جای یک غلظت خاص در پساب یا حداکثر مقدار مجاز رها شده در سال، بسیار حائز اهمیت است. شرکت های نفت و گاز تحت مجوز پیشنهادی، به طور کلی مجاز به دفع هر مقدار رادیوم-۲۲۶ و رادیوم-۲۲۸ هستند، تا زمانی که غلظت ها توسط اختلاط کافی به هنگام تخلیه به آب دریا کاهش یافته باشد. از آنجایی که مجوز ارائه شده اجازه می دهد تا هر تعداد چاه جدید بدون بررسی اثرات زیست محیطی آن برپا شود، مقادیر زیادی از رادیوم-۲۲۶ و رادیوم-۲۲۸ می تواند به آب ها تخلیه گردد. بنابراین، به طور مثال در دریای لویزیانا که یک دریای نسبتاً کم عمق با دامنه جزر و مد کوچک است، انرژی اختلاط بزرگی در دسترس نیست. در نتیجه، بسیار بعید است که اختلاط کل و رقت کافی برای تخلیه رادیوم-۲۲۶ و رادیوم-۲۲۸ به دریا رخ دهد. این امر باعث می گردد که مقادیر رادیوم-۲۲۶ و رادیوم-۲۲۸ افزایش یافته و در موجودات دریایی مورد مصرف انسان تجمع یابد [۹].

همچنین Vegueria و همکارانش نمونه های آب همراه ناشی از استخراج و تولید نفت از سکوها دریایی متعلق به میدان نفتی Bacia de Campos - برزیل را برای عناصر باریم، رادیوم-۲۲۶ و رادیوم-۲۲۸ مورد تجزیه و تحلیل قرار دادند. غلظت های اندازه گیری شده در محدوده ۲۵/۷۰ - ۳۶/۰ میلی گرم بر لیتر برای باریم، ۰/۱۲ - ۶/۱۰ بکرل بر لیتر برای رادیوم-۲۲۶ و کمتر از ۰/۰۵ - ۱۲/۱۰ بکرل بر لیتر برای رادیوم-۲۲۸ بود. ارتباط قوی بین غلظت باریم و دو ایزوتوپ عنصر رادیوم مشاهده شد $R^2 = ۰/۹۲۶$ برای رادیوم-۲۲۶؛ $R^2 = ۰/۷۸۵$ برای رادیوم-۲۲۸. علاوه بر این، نمونه های آب دریا و رسوب در فواصل مختلف (از ۲۵۰ تا ۱۰۰۰ متر) از دو سکوی انتخابی، گرفته شدند. نمونه های آب برای ذرات و باریم محلول، رادیوم-۲۲۶ و رادیوم-۲۲۸ و نمونه های رسوب برای شیرابه و باریم کل، رادیوم-۲۲۶ و رادیوم-۲۲۸ مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند. نتایج نشان داد که حتی برای نمونه گیری در کوتاه ترین فاصله (۲۵۰ متر) از نقطه تخلیه، غلظت های باریم، رادیوم-۲۲۶ و رادیوم-۲۲۸ شبیه به پیش زمینه قبلی هستند که نشان دهنده پراکنده گی جریان های محلی است و به اندازه

۲۲۶ و رادیوم-۲۲۸ و از نسل آن ها تشکیل یافته اند. به طور معمول، مواد پرتوزای طبیعی بر پایه رادیوم به هنگام تشکیل رسوب کاتیون هایی که در طول اختلاط آب سازند (شامل باریوم، کلسیم، استرانسیم، رادیوم و یون های دیگر) با آب دریا (شامل یون های سولفات) در رسوب گذاری با Ra-۲۲۶/ Ra-۲۲۸ شرکت می کنند، تولید می شوند. این رسوب در سطوح داخلی لوله ها، شیر آلات، پمپ ها، تجهیزات انتقال، خطوط جریان و موارد گوناگون دیگر رسوب کرده و در لجن جدا کننده ها و مخازن تجمع می یابد [۲]. مطالعات در برخی از میدان های نفتی غلظت Ra-۲۲۸ را تا ۱ BQ/L (بکرل بر لیتر) در نمونه های آب همراه شناسایی کرده است. غلظت یون های باریم در آب همراه می تواند نشانه ای قوی از حضور ایزوتوپ های رادیوم در آب همراه باشد. Ra-۲۲۸ و Ra-۲۲۶ فراوان ترین عناصر پرتوزای موجود در آب همراه میدان نفتی در ارتباط با رسوب سولفات باریم و یا دیگر انواع رسوب می باشد [۴]. در جدول ۲ مقادیر پرتوزایی پایین، متوسط و بالای این زائادات نشان داده شده است.

در پژوهشی از ۱۴ نمونه میدان نفتی در خاورمیانه، آنالیز طیف گاما و خطوط فتو-گاما، حضور ۱۰ نکلئید پرتوزای توریم ۲۳۴، پلوتونیوم ۲۳۹، اکتینیوم ۲۲۸، رادیوم ۲۲۶، سرب ۲۱۲ و ۲۱۴، تالیوم ۲۳۸، بیسموت ۲۱۲ و ۲۱۴ و پتاسیم ۴۰ را نشان داده است. این نکلئیدها دختران مواد پرتوزای طبیعی اورانیوم ۲۳۸، توریم ۲۳۲ و پتاسیم ۴۰ بودند. متوسط غلظت فعالیت اورانیوم ۲۳۸، تیتانیوم ۲۳۲ و پتاسیم ۴۰ به ترتیب $۱۱/۶ \pm ۲/۵$ ، $۱۸/۳ \pm ۱/۸$ و $۴۴۸۷/۲ \pm ۲/۵$ درصد بکرل بر کیلوگرم بود [۶].

در دریای شمال که در آن، غلظت محیطی رادیوم ۲۲۶، ۰/۰۳ - ۰/۴ BQ/L است، غلظت های اندازه گیری شده در آب های همراه در محدوده ۰/۲۳ تا ۱۴/۷۰ BQ/L می باشد. ترکیبات پرتوزای طبیعی مورد توجه هستند زیرا اجزای شیمیایی این ترکیبات در بسیاری از آب های همراه می تواند با روش های تجزیه ای مرسوم تداخل یافته و در نتیجه، اجزای رادیوم می تواند از دست برود و منجر به یک نتیجه منفی کاذب برای نمونه هایی گردد که ممکن است حاوی مقادیر قابل توجهی از مواد پرتوزای طبیعی باشند [۷].

طبق قوانین و مقررات آژانس حفاظت از محیط زیست آمریکا (EPA)،

۲ مقادیر پرتوزایی پایین، متوسط و بالای آب همراه و زائادات موجود در لوله و تانکرها [۵]			
زائادات		مقدار پرتوزایی [pCi/g]	
پایین	متوسط	بالا	
آب همراه [pCi/l]			
۰/۱	غیر قابل دسترس	۹۰۰۰	
رسوب موجود در لوله ها و تانکرها [pCi/g]			
<۰,۲۵	<۲۰۰	۱۰۰۰۰۰	>

می‌باشند. می‌سی‌سی‌پی و لوئیزیانا لایحه‌ای برای کنترل مواد پرتوزای طبیعی تصویب کرده‌اند، تگزاس مقرراتی در ابتدای سال ۱۹۹۳ داشت و انتظار می‌رود ایالت‌های دیگر و کانادا به‌زودی مقرراتی مشابه داشته باشند. با توجه به این که ایران دومین کشور تولیدکننده نفت در اوپک است و گستردگی این تأسیسات نفت و گازی در جنوب غربی کشور [۷]، وجود قوانین و مقررات در ارتباط با مواد پرتوزای طبیعی و اجرای آن در کشور ضروری به نظر می‌رسد.

دو نوع کلی از آلودگی با مواد پرتوزای طبیعی که توسط قوانین خاص، کنترل می‌شود عبارتند از:

۱- آلودگی با رادیوم ناشی از تأسیسات استخراج نفت به خصوص ناشی از رسوب در لوله‌ها و لجن و رسوب در سطح وسایل. همچنین رادیواکتیویته آب‌همراه ممکن است ناشی از رادیوم حل شده در آب‌های زیرزمینی باشد.

۲- آلودگی رادون ناشی از تأسیسات تولید گاز طبیعی: این آلودگی محصول فروپاشی عناصر با نیمه‌عمر بالاست که غالباً شامل رادون می‌باشد. تأسیسات حذف اتان و پروپان ناشی از گاز طبیعی به‌طور ویژه‌ای مستعد به آلودگی با مواد پرتوزای طبیعی هستند [۱۷].

طبق بررسی‌های APA، تقریباً ۶۴ درصد از ادوات تولید گاز و ۵۷ درصد از وسایل تولید نفت، مقادیر نزدیک به مقدار پس‌زمینه را نشان می‌دهند. مقادیر پرتوزایی در وسایل استفاده شده در آب حتی تا ۵ برابر پس‌زمینه نیز می‌رسد. ادوات فرایند گاز با بالاترین مقادیر، پمپ‌های برگشتی، پمپ‌ها و تانکرهای پروپان، دیگر پمپ‌ها و خطوط لوله‌ها را شامل می‌شوند. به‌طور معمول سطح ادوات فراورش گاز با سرب ۲۱۰ آلوده شده که ممکن است از تخریب گاز رادون ۲۲۲ تجمع یافته در ادوات گازی باشد [۵].

افزایش غلظت مواد پرتوزای طبیعی از جمله ^{238}U ، ^{232}Th ، و فرزندانشان در رسوبات زیرزمینی زمین‌شناسی یافت می‌گردد که اغلب در بازیابی نفت خام با آن‌ها مواجه می‌شوند. رادیوم، رادیونوکلید اصلی با نفت خام و آب‌همراه به سطح آورده شده و با باریم در تشکیل ترکیبات پیچیده‌ای از سولفات، کربنات و سیلیکات موجود در لجن و رسوب مشارکت می‌کند. این رسوبات پرتوزای طبیعی تحت شرایط محیطی در سطح زمین به‌شدت پایدار و بسیار نامحلول هستند. با این حال، رسوب رادیوم در شرایط کاهشی از نظر ترمودینامیکی پایدار نیست و ممکن است بخشی از رادیوم را در نهایت به محیط زیست رها سازد. اگرچه سرنوشت رادیوم در کارخانه‌های اورانیم^۲ به‌طور گسترده‌ای مورد مطالعه قرار گرفته است، نشست رادیوم ناشی از رسوبات مواد پرتوزای طبیعی موجود در نفت خام در معرض باران اسیدی و دیگر فرآیندهای فرسایش طبیعی است که به‌طور کلی ناشناخته می‌باشند.

رادیوم نشست یافته از خاک آلوده به مواد پرتوزای طبیعی در یک میدان نفتی آلوده در شرق کنتاکی با استفاده از سیالات استخراجی و pH متفاوت

کافی برای به‌حداقل رساندن اثرات زیست‌محیطی می‌باشند [۱۰]. رادیوم می‌تواند در گیاهان و ماهیان تجمع زیستی یافته [۱۱] و نیز به‌طور مشخص ریسک سرطان‌زایی در انسان‌هایی که از ماهیان این آب‌های آلوده تغذیه می‌کنند را افزایش دهد [۱۲]. بررسی‌های اندکی در مورد منابع رادیوم آب‌همراه صورت پذیرفته است و اطلاعات و داده‌های کافی برای ریختن و رهاسازی مواد پرتوزای طبیعی آب‌همراه به سیستم آب‌های شیرین وجود ندارد. غلظت رادیوم در ۴۷۰ نمونه از انواع مختلف پسماند صنایع نفت و گاز مالزی با استفاده از طیف‌سنج گاما، مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت؛ نتایج نشان داد که غلظت رادیوم در طیف گسترده‌ای متفاوت است. بیشترین میانگین غلظت ^{226}Ra و ^{228}Ra به ترتیب ۳۰۰-۱۱۴ و ۱۲۰-۱۳۰ بکرل بر کیلوگرم، در رسوبات اندازه‌گیری شد. به‌طور کلی، ۷۵ درصد از پسماند (عمدتاً لجن و باقی‌مانده استخراج)، رادیوم با محدوده غلظت عادی در خاک داشتند. با این حال، در لجن برخی از سکوها غلظت رادیوم تا ۵۶۰ بکرل بر کیلوگرم نیز دیده شد [۱۳].

Grung و همکارانش (۲۰۰۹) دسترسی زیستی^۱ اندک رادیوم در رسوب را برای Ragworm hediste diversicolor با افزایش حضور عوامل کمپلکس‌ساز، جرم‌زادها و آب‌همراه نشان دادند، اگرچه نتایج زیست‌محیطی مشخصی نخواهد داشت [۱۴]. مطالعات گذشته وجود پلونیوم ۲۱۰ را با رهاسازی آب‌همراه بیان می‌کرد اما مطالعات اخیر، مشارکت آب‌همراه با افزایش غلظت پلونیوم ۲۱۰ در غذاهای دریایی که در ارتباط با مواجهه زنجیره غذایی انسان هستند را اثبات نمی‌کنند [۱۵].

۳- آلودگی حاصل از مواد پرتوزای طبیعی

همان‌گونه که گفته شد، رسوب مواد پرتوزا می‌تواند به‌دلیل ناسازگاری تشکیل و تریق آب، در داخل تجهیزات تولید صنعت نفت و گاز باشد. این رسوبات عمدتاً شامل ^{226}Ra و محصولات دختر آن هستند که می‌توانند خطر در معرض قرارگیری را موجب شوند. Hamlat و همکارانش نتایج به‌دست آمده از آزمایش‌های خود را با مطالعات محققان دیگر مورد بحث و مقایسه قرار داده‌اند. مقدار اشعه گاما مرتبط با مقادیر در معرض شغلی آن در صنعت نفت و گاز بوده و غلظت ^{226}Ra در نفت خام، آب تولیدی و نمونه‌های رسوب سخت و یا رسوب نرم تعیین شده است [۱۶].

آلودگی تأسیسات نفت و گاز با مواد پرتوزای طبیعی، معمول و گسترده است. بعضی از آلودگی‌ها ممکن است به اندازه‌ای شدید باشد که کارکنان را در معرض غلظت‌های خطرناک قرار دهد.

آلودگی با رادیوم در تأسیسات تولید نفت شایع است، در حالی که آلودگی با رادون و محصولات رادون بیشتر در تأسیسات قدیمی فراورش گاز طبیعی دیده می‌شود. تا همین اواخر، برخی از ایالات آمریکا، به‌ویژه لوئیزیانا و تگزاس، در حال تصویب قوانینی برای کنترل آلودگی معمول در صنعت نفت بودند، اگرچه این قوانین تا حد زیادی غیرقابل تنظیم

در محیط زیست تعیین شد. به‌طور متوسط غلظت Ra-۲۲۶ در نمونه‌های خاک در معرض آزمایش ۳۲/۵۶ بکرل در گرم و $\pm ۰/۳۴$ بکرل در گرم بود. میانگین پتانسیل نشست Ra-۲۲۶ در این نمونه‌های خاک آلوده به مواد پرتوزای طبیعی ۱/۳٪ و $\pm ۰/۴۶$ ٪ و مستقل از سیال استخراجی بود. محاسبات ارزیابی ریسک نشان می‌دهد که مقدار سالانه برای یک شخص در زندگی و کار بر روی این خاک آلوده به مواد پرتوزای طبیعی، عمدتاً بر اساس در معرض قرارگیری خارجی اشعه گاما و استنشاق رادون می‌باشد [۱۸].

۴-دفع پسماندهای غیرخطرناک میدان نفتی / مواد پرتوزای طبیعی

فرایند دفع پسماندهای غیرخطرناک میدان نفتی / مواد پرتوزایی که به‌طور طبیعی رخ می‌دهند، می‌تواند از طریق تزریق دوغاب پسماند^۳ انجام شود، این روش در سطوح مختلف در کانادا، آلاسکا، دریای شمال، کالیفرنیا و خلیج مکزیک تست و اجرا شده است. در سال ۱۹۸۰، چهار میلیون گالن زباله رادیواکتیو با مقادیر پایین، با موفقیت در آزمایشگاه ملی Oak Ridge در تنسی آمریکا با استفاده از ایجاد شکاف هیدرولیکی دفع شده است. در مقیاس‌های بزرگ نیز دفع پسماندهای غیرخطرناک میدان نفتی / مواد پرتوزای طبیعی می‌تواند از طریق تزریق دوغاب پسماند انجام شود. این فرایند شامل حفاری محل دفع و مخلوط کردن این مواد با دوغابی حاوی ۴۰ درصد مواد جامد است. در مرحله بعد، دوغاب را به یک مخزن مناسب مشخص، درون یا بالای شیب شکستگی پمپ می‌کنند. مجموعه‌ای از شکستگی‌ها، یک گره در اطراف مدخل حفر شده ایجاد می‌کند. اجزای این شکستگی‌ها در منطقه‌ی دفع در جهت‌های مختلف در اطراف دهانه چاه رشد می‌کند. با توجه به ماهیت پلاستیکی ماسه‌سنگ‌های لوئیزیانا در اعماق کم عمق (کمتر از ۵۰۰۰ فوت)، این شکستگی لزوماً شکستگی‌های عمودی در ارتباط با تولید نفت / گاز نیست، اما بیشتر شبیه مسیر لوله مویرگی در سازند می‌باشد. هدف، تمیز کردن سطح مکان آلوده (حدود ۴۰۰۰۰۰ بشکه معادل ۶۳۶۰۰۰۰ لیتر) است. نتایج نشان می‌دهد که این روش، اقتصادی و سازگار با محیط‌زیست است. با تکثیر و گسترش این تکنولوژی، دیگر سطوح بزرگ پسماند غیرخطرناک میدان نفتی نیز ممکن است پاکسازی شوند [۱۹].

در طول ۵۰ سال گذشته، گودال‌های حفر شده جهت ذخیره‌سازی پسماندهای نفتی و زمین‌های مجاور در اطراف تأسیسات خلیج Marchand در نزدیکی بندر Fourchon، لوئیزیانا، با مقادیر زیادی از پسماندهای حفاری غیرخطرناک و پسماندهای تولیدی شامل مواد پرتوزای طبیعی انباشته شده بود. این مواد عمدتاً شامل برش‌های حفاری، گل حفاری، شن و ماسه تولیدی، آب شور، رسوب در لوله، نفت خام و رسوبات می‌باشند. عناصر پرتوزای طبیعی مورد توجه مانند اورانیوم ۲۳۸ توریم ۲۳۴ و رادیوم ۲۲۸ نیز در این پسماندها موجود بوده‌اند. برای پاکسازی این مکان،

تزریق مجدد مواد به اعماق زیرسطحی از طریق تزریق دوغاب در محل شکستگی^۴ صورت گرفت. این فرایند، حفاظت بیشتر محیط زیست را نسبت به گزینه گودال سطحی یا دفع در محل دفن پسماند فراهم کرده و با هزینه بسیار پایین‌تر نسبت به حمل و نقل به خارج از مکان تولید پسماند و گزینه‌های دفع، اجرا شدنی است [۹].

در تحقیق آزمایشگاهی توسط Abdallah and Al-Masri از دوروش جداسازی مکانیکی و تصفیه شیمیایی برای کاهش غلظت فعالیت رادیوم ۲۲۶ در خاک استفاده شد. پس از نشت رادیوم ۲۲۶ از خاک به محلول آبی (آب تقطیر شده، اسیدهای معدنی، محیط‌های بازی و حلال‌های انتخابی) مشاهده شد که در بیشتر موارد غلظت‌های نسبتاً اندکی از رادیوم به محلول‌ها انتقال یافته است. بدین معنی که تنها بخش کوچکی از رادیوم در سطح ذرات خاک حضور دارد در حالی که بیشتر رادیوم در درون ذرات خاک قرار گرفته است؛ بیشترین اثر را اسید نیتریک غلیظ با ۵۰٪ حذف رادیوم ۲۲۶ از فاز آبی داشت. با این حال، روش مکانیکی، آسان‌تر و موثرتر و روش شیمیایی کم‌تر موثر بود [۲۰].

از آنجایی که هزینه دفع، بستگی زیادی به حجم زائدات دارد، صنعت، فناوری‌های مختلفی را جهت کاهش حجم بررسی کرده است. این فناوری‌ها شامل استخراج با حلال، جداسازی فیزیکی مایعات از جامدات، انحلال شیمیایی مواد پرتوزای طبیعی، بازدارنده‌های شیمیایی و گزینه‌های مقرون به صرفه‌ی دفع از مراحل مختلف این فرایند (سطحی و زیرسطحی) است [۲۱].

۵-مواد پرتوزای طبیعی در صنایع نفت و گاز ایران

خداشناس و همکاران (۲۰۱۲) غلظت مواد پرتوزای طبیعی را در یک واحد تولید نفت، یک حوضچه تبخیری و یک مکان حفاری در ناحیه خوزستان در جنوب غربی ایران مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها نوکلیدهای توریم ۲۳۲ و پتاسیم ۴۰ در نمونه‌های خاک و رادیوم ۲۲۶ را هم در نمونه‌های خاک و هم آب شناسایی و تجزیه و تحلیل کردند. غلظت توریم ۲۳۲ محدود بین ۸/۷ و ۴۰۳/۰ بکرل بر کیلوگرم بود، در حالی که کمترین غلظت پتاسیم ۴۰ بیش از ۸۲ بکرل بر کیلوگرم و بیشترین غلظت آن ۸۱۵ بکرل بر کیلوگرم اندازه‌گیری شد. نمونه‌های خاک، غلظت خیلی کم رادیوم ۲۲۶، به‌طور معمول بین ۱۰/۶ و ۴۲/۱ بکرل بر کیلوگرم با برخی استثناهای ۲۸۲، ۶۰۲ و حتی ۱۴۸۰ بکرل بر کیلوگرم را نشان دادند. همچنین، مقدار رادیوم ۲۲۶ در آب از کمتر از ۰/۱ تا بیشترین مقدار ۳۰/۳ بکرل بر لیتر بود. نتایج نشان دادند که میانگین غلظت‌های مواد پرتوزای طبیعی در این منطقه، در مقایسه با محدوده غلظت معمول آن‌ها در میادین نفت و گاز کمتر است، اما علی‌رغم این موضوع، اندازه‌گیری به جهت کم کردن اثرات زیست‌محیطی مواد پرتوزای طبیعی، ضروری بوده و باید اقدامات لازم صورت پذیرد [۷].



نتیجه‌گیری

اطلاعات بیشتر از نوع و مقدار مواد پرتوزای طبیعی در هر یک از میداین نفتی و گازی ضروری است. باید اجرای قوانین و مقررات موجود در ارتباط با مواد پرتوزای طبیعی و به‌روز رسانی آن در کشور، الزامی گردد. ■

با توجه به گستردگی تأسیسات نفت و گاز در جنوب و جنوب‌غربی ایران و تغییر غلظت مواد پرتوزای طبیعی به‌علت ویژگی‌های زمین‌شناسی متفاوت میدان‌های نفتی، جمع‌آوری

پانویس‌ها

¹bioavailability²tailings mill³Slurry Waste Injection⁴Slurry Fracture Injection

منابع

- [1] Onwuachi-Iheagwara, P.N., 2012. Environmental impact and treatment of produced water. *Water, Air and Soil Pollution*. Vol. 3 (1): 21 – 24.
- [2] Hardy, G.H., Khatib, Z.I. 1996. Treatment and Disposal Options for NORM Oil Field Waste. SPE Annual Technical Conference and Exhibition, 69- October 1996, Denver, Colorado. Publisher Society of Petroleum Engineers.
- [3] Reed, A.C., Mathews, J.L., Bruno, M.S., Olmstead, S.E. 2001. Safe Disposal of One Million Barrels of NORM in Louisiana Through Slurry Fracture Injection Authors. SPE Annual Technical Conference and Exhibition, 30 September-3 October 2001, New Orleans, Louisiana. Publisher Society of Petroleum Engineers.
- [4] Igunnu, E.T., Chen, G. Z. 2012. Produced water treatment technologies. *International Journal of Low-Carbon Technologies* Advance Access. <http://ijlct.oxfordjournals.org>
- [5] EPA (2010) <http://www.epa.gov/tpdweb00/tenorm/oilandgas.html>
- [6] Bassioni, G., Abdulla, F., Morsy, Z., & El-Faramawy, N. (2012). Evaluation of Naturally Occurring Radioactive Materials (NORMs) in Inorganic and Organic Oilfield Scales from the Middle East. *Archives of environmental contamination and toxicology*, 62(3), 361368-.
- [7] Khodashenas, A., Roayaei, E., Abtahi, S.M., Ardalani, E. 2012. Evaluation of naturally occurring radioactive materials (NORM) in the south western oil wells of Iran. *Journal of environmental radioactivity*. Vol. 109 (1): 7175-.
- [8] Veil J.A., Puder M.G., Elcock D., Redweik R.J., (2004) A White Paper Describing produced water from Production of Crude Oil, Natural Gas, and Coal Bed Methane. U.S. Department of Energy, National Energy Technology Laboratory. Under Contract W-31109-Eng-38.
- [9] Brown E., Travers J., Resnikoff M., (2009) White Paper Proposed NPDES Permit for Oil and Gas Exploration, Development, & Production Facilities Located Within Territorial Seas of Louisiana (LAG260000) Prepared for the Louisiana Environmental Action Network (LEAN) <http://toxics.usgs.gov/highlights/ph20.html>
- [10] Vegueria, S.F.J., Godoy, J.M., Miekeley, N. 2002. Environmental impact studies of barium and radium discharges by produced waters from the “Bacia de Campos” oil-field offshore platforms, Brazil. *Journal of Environmental radioactivity*. Vol. 62 (1): 29–38.
- [11] Vengosh, A., Hirschfeld, D., Vinson, D., Dwyer, G., Raanan, H., Rimawi, O., Al-Zoubi, A., Akkawi, E., Marie, A., Haquin, G., Zaurur, S., Ganor, J., (2009). High Naturally Occurring Radioactivity in Fossil Groundwater from the Middle East. *Environ. Sci. Technol.* 43, 17691775-.
- [12] Urbina, Ian (2011). "Drilling Down: Wastewater Recycling No Cure-All in Gas Process." *New York Times* 1 Mar 2011, New York ed. A1. Web. 23 Apr. 2012.
- [13] Omar, m., Ali, H.M., Abu, M.P., Kontol, K.M., Ahmad, Z., Ahmad, S.H.S.S., Sulaiman, I., Hamzah, R. 2004. Distribution of radium in oil and gas industry wastes from Malaysia. *Applied Radiation and isotopes*. Vol. 60(5): 779–782.
- [14] Grung, M., Ruus, A., Holth, T.F., Sidhu, R.S., Eriksen, D.O., Hylland, K., 2009. Bioaccumulation and lack of oxidative stress response in the ragworm *H. diversicolor* following exposure to ²²⁶Ra in sediment. *J. Environ. Radioact.* 100, 429–434.
- [15] Hylland K., and Eriksen, D.O. (2013). Naturally occurring radioactive material (NORM) in North Sea produced water: environmental consequence. Report for Norsk Olje og Gass.
- [16] Hamlat, M.S., Djeflal, S., Kadi, H. 2001. Assessment of radiation exposures from naturally occurring radioactive materials in the oil and gas industry. *Applied Radiation and Isotopes*. Vol. 55 (1): 141–146.
- [17] Gray, P.R. 1993. NORM Contamination in the Petroleum Industry. *Journal of Petroleum Technology* Vol. 45(1): 1216-.
- [18] Rajaretnam, Gerald; Spitz, Henry B. 2000. Effect of Leachability on Environmental Risk Assessment for Naturally Occurring Radioactive Materials in Petroleum Oil Fields. *The radiation safety journal, Health physics Society*.
- [19] Baker, B.D., Englehardt, J.M., Reid, J.D. 1999. Large Scale NOW/NORM disposal through slurry waste injection. *Latin American and Caribbean Petroleum Engineering Conference*, 2123- April 1999, Caracas, Venezuela. Publisher Society of Petroleum Engineers.
- [20] Abdellah, W. M., & Al-Masri, M. S. (2014). Treatment of NORM contaminated soil from the oilfields. *Journal of environmental radioactivity*, 129, 6367-.