



معرفی مواد رادیواکتیو طبیعی در صنایع نفت و گاز

مواد رادیواکتیو طبیعی مانند اورانیوم و توریم در غلظت‌های مختلفی در پوسته زمین وجود دارند که با فعالیت‌های استخراج نفت و گاز این مواد به سطح راه می‌یابند و با گسترش فعالیت‌ها، پراکندگی آنها در سطح زمین افزایش می‌یابد. این مواد در رسوبات صنعتی، لایه‌های چسبیده به سطوح، گل حفاری و ... وجود دارند. راهنما و استاندارد مشخصی برای مواد رادیواکتیو طبیعی در صنایع نفت و گاز موجود نیست و به همین دلیل نیاز است تحقیقات در این زمینه گسترش یافته و استانداردهای لازم تهیه شوند. این مقاله ضمن معرفی مواد رادیواکتیو طبیعی در صنایع نفت و گاز تلاش دارد چارچوبی جهت مدیریت این مواد در صنایع نفت و گاز ارائه دهد.

واژگان کلیدی: مواد رادیواکتیو طبیعی، رسوبات، لایه‌های چسبیده به سطوح، اشعه آلفا، اشعه بتا، اشعه گاما

مقدمه

ذرات رادیواکتیو طبیعی در غلظت‌های مختلفی در پوسته زمین وجود دارند و می‌توانند با فرآیندهای بازآوری نفت و گاز تغلیظ یافته و گسترش یابند. این مواد اغلب مواد رادیواکتیو طبیعی گسترش یافته با فن آوری^۲ نامیده می‌شوند و با گسترش فعالیت‌های صنعتی، غلظت این مواد نیز افزایش می‌یابد. هم‌چنین این مواد در نتیجه فعالیت‌های انسانی یا برخی فرآیندهای صنعتی، بازپراکنی می‌شوند. رسوبات صنعتی، گل حفاری و لایه‌های چسبیده به سطح لوله‌ها، نمونه‌هایی از موادی هستند که دارای مقادیر

زیاد مواد رادیواکتیو طبیعی هستند که ممکن است از محلی به محل دیگر جابه‌جا شوند و مجدداً مورد استفاده قرار گیرند. فعالیت‌های کنترل نشده که شامل مقادیر زیاد مواد رادیواکتیو طبیعی هستند می‌توانند محیط‌زیست را آلوده کنند و سلامتی موجودات زنده را به خطر بیندازند. این خطرات را می‌توان با روش‌هایی کنترل کرد. به طور کلی اساس حفاظت در برابر اشعه، اندازه‌گیری‌های دقیق در محل کار است. بنابراین ممانعت از تأثیر گذاری و اندازه‌گیری دُز مواد رادیواکتیو، اجزای اصلی برنامه ایمنی و سلامت هستند. قوانین و روش‌های متعدد

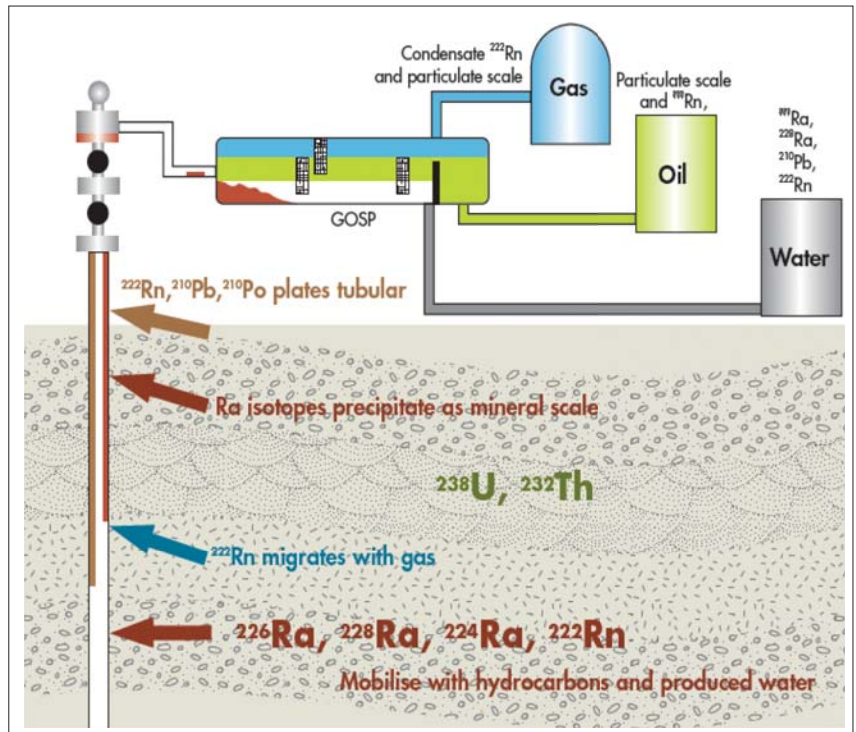
ملی و بین‌المللی در حالت کلی و یا برای صنایع خاص در مورد مواد رادیواکتیو طبیعی وجود دارند، اما در صنایع نفت و گاز چنین راهنماهایی وجود ندارد و شیوه‌های کنترل در نقاط مختلف، متفاوت است. این نوشتار تلاش می‌کند تا مواد رادیواکتیو طبیعی در صنایع نفت و گاز را معرفی و چارچوبی برای مدیریت این مواد ارائه دهد [۷ و ۱].

۱- محل اصلی مواد رادیواکتیو طبیعی

هنگامی پوسته زمین شکل می‌گیرد مواد رادیواکتیو طبیعی مانند اورانیوم و توریم در این پوسته وجود دارند. این مواد به طور طبیعی

* نویسنده عهده‌دار مکاتبات

در غلظت‌های جزئی در حدود قسمت در میلیون^۳ در صخره‌ها نیز وجود دارند. واپاشی این عناصر رادیواکتیو غیر پایدار، دیگر ذرات رادیواکتیو را در شرایط خاص (وابسته به فشار، دما، اسیدیته و غیره) در محیط زیرزمین تولید می‌کند که این ذرات متحرک بوده و می‌توانند از مخازن زیرزمینی نفت و گاز به



۱ | تجمع مواد رادیواکتیو طبیعی در تأسیسات سرچاهی [۱]

۲ | میزان غلظت فعالیت، ^{238}U ، ^{226}Ra ، ^{232}Th ، ^{228}Ra ، ^{224}Ra ، ^{210}Pb در آب تولیدی در میادین نفت و گاز [۱]

ذره رادیواکتیو	محدوده گزارش شده (Bq/l)
^{238}U	۰/۰۰۰۳-۰/۱
^{226}Ra	۰/۰۰۲-۱۲۰۰
^{210}Pb	۰/۰۵-۱۹۰
^{232}Th	۰/۰۰۰۳-۰/۰۰۱
^{228}Ra	۰/۳-۱۸۰
^{224}Ra	۰/۵-۴۰

۱ | میزان غلظت تورنیوم و اورانیوم در سنگ‌های رسوبی [۱]

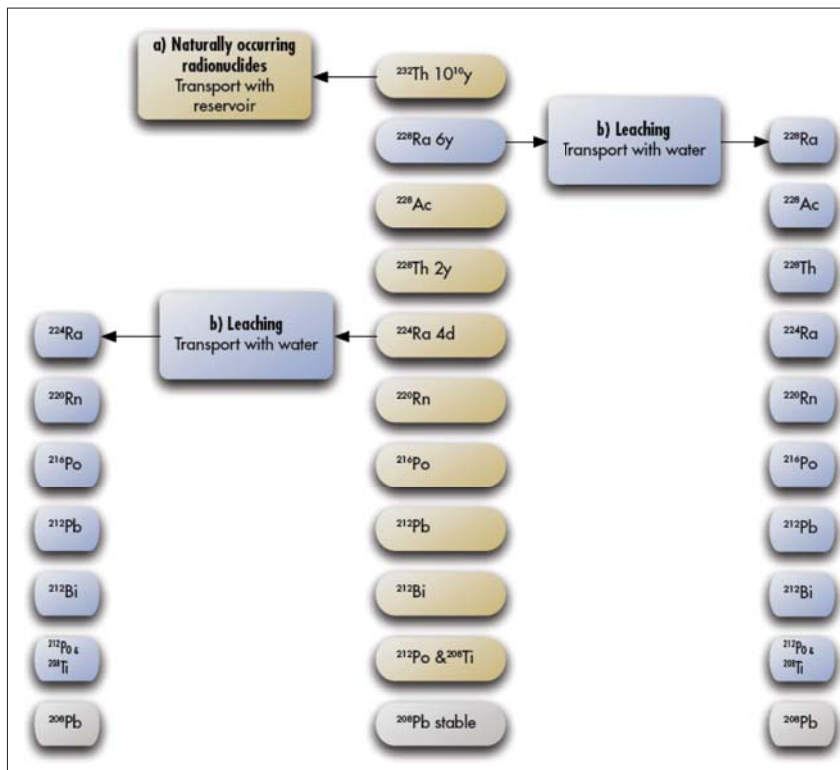
تورنیوم (Th)			اورانیوم (U)			کلاس سنگ رسوبی
Bq[^{232}Th]/g	ppm		Bq[^{238}U]/g	ppm		
میانگین	محدوده	میانگین	میانگین	محدوده	میانگین	
۰/۰۵	۰-۳۶۲	۱۲/۴	۰/۰۶	۰/۱-۸۰	۴/۸	Detrital
۰/۰۴	۰/۰۷-۲۲۷	۹/۷	۰/۰۵	۰/۱-۶۲	۴/۱	Sandstone & Conglomerate
۰/۰۰۶		۱/۵	۰/۰۰۵	۰/۵-۳	۰/۵	orthoquartzites
۰/۰۲		۰/۵	۰/۰۲		۱/۵	arkoses
۰/۰۷	۵/۳-۳۹	۱۶/۳	۰/۰۷	۰/۹-۸۰	۵/۹	Shale
۰/۰۵		۱۳	۰/۰۴	۳-۴	۳	grey/green
				۸-۲۰		black
۰/۰۳	۱/۹-۵۵	۸/۶	۰/۰۵	۱/۱-۱۶	۴	Clay
۰/۰۶	۰/۰۳-۱۳۲	۱۴/۹	۰/۰۴	۰/۰۳-۲۷	۳/۶	Chemical
۰/۰۰۷	۰-۱۱	۱/۸	۰/۰۲	۰/۰۳-۱۸	۲	Carbonates
۰/۰۱		۳	۰/۱۶		۱۳	Limestones
			$\leq ۰/۰۰۱$		$\leq ۰/۱$	Evaporites

ذرات آلفا استنشاق و یا بلعیده نشوند، برای واکنش بسیار آرام تر آنها با مواد می شود. این ذرات با لایه های نازک فلزات و پلاستیک ها سلامتی انسان مضر نیستند.

ب) بتا (β): این ذرات بسیار کوچک تر متوقف می شوند و مانند ذرات آلفا فقط در صورت استنشاق و یا بلعیده شدن منبع ذرات هستند و فقط یک بار منفی دارند که این باعث

طبیعی تولید می شود:

الف) آلفا (α): ذرات آلفا هسته سنگین عنصر هلیوم هستند که به وسیله بار دو برابر مثبت شارژ شده اند و این باعث می شود انرژی آنها سریع تر از دست برود. این ذرات با برخورد به یک ورقه کاغذ یا لایه سطح پوست متوقف می شوند. در صورتی که منبع



شکل ۴ | سری واپاشی توریوم-۲۳۲ [۳]



شکل ۵ | لایه های چسبیده به سطح داخلی لوله

۴ | میزان غلظت فعالیت ^{238}U ، ^{226}Ra در لایه های سخت چسبیده به سطوح [۱]

ذره رادیواکتیو	محدوده گزارش شده (Bq/g)
^{238}U	۰/۰۰۱-۰/۰۵
^{226}Ra	۰/۱-۱۵۰۰۰
^{210}Pb	۰/۰۲-۷۵
^{210}Po	۰/۰۲-۱/۵
^{232}Th	۰/۰۰۱-۰/۰۰۲
^{228}Ra	۰/۰۵-۲۸۰۰

۵ | میزان غلظت فعالیت ^{238}U ، ^{226}Ra در لایه های نرم/متوسط چسبیده به سطوح [۱]

ذره رادیواکتیو	محدوده گزارش شده (Bq/g)
^{238}U	۰/۰۰۱-۰/۰۵
^{226}Ra	۰/۸-۴۰۰
^{210}Pb	۰/۰۵-۲۰۰۰
^{232}Th	۰/۰۰۱-۰/۰۷
^{228}Ra	۰/۰۵-۳۰۰

۶ | میزان غلظت فعالیت ^{238}U ، ^{226}Ra در رسوبات [۱]

ذره رادیواکتیو	محدوده گزارش شده (Bq/g)
^{238}U	۰/۰۰۵-۰/۰۱
^{226}Ra	۰/۰۵-۸۰۰
^{210}Pb	۰/۱-۱۳۰۰
^{210}Po	۰/۰۰۴-۱۶۰
^{232}Th	۰/۰۰۲-۰/۰۱
^{228}Ra	۰/۵-۵۰

مضر خواهند بود.

ج) گاما (γ): فروپاشی ذرات آلفا و بتا و انرژی الکترومغناطیس گاما است که به راحتی با مواد واکنش می‌دهند. اشعه‌های گاما با لایه‌های ضخیم سرب یا دیگر موادی که چگالی زیادی دارند متوقف شده و این اشعه به عنوان یک ماده مضر خارجی برای بافت‌های موجودات زنده محسوب می‌شود. شکل ۲- جزئیات قدرت نفوذ تشعشع یونیزه کننده که از مواد رادیواکتیو طبیعی ساطع می‌شود را نشان می‌دهد [۲].

ذرات مواد رادیواکتیو طبیعی که در تولید نفت مورد توجه هستند، رادیوم-۲۲۶

۷ میزان غلظت فعالیت، ^{226}Ra ، ^{210}Pb و ^{210}Po در تجهیزات قراضه [۱]	
محدوده گزارش شده (Bq/g)	ذره رادیواکتیو
۰/۰۱-۷۵	^{226}Ra
۰/۰۵-۵۰	^{210}Pb
۰/۱-۴	^{210}Po
۰/۰۱-۱۰	^{228}Ra

۸ میزان غلظت فعالیت، ^{222}Rn ، ^{210}Po و ^{210}Pb در گاز طبیعی [۱]	
محدوده گزارش شده (Bq/m ³)	ذره رادیواکتیو
۵-۲۰۰۰۰۰	^{222}Rn
۰/۰۰۵-۰/۰۲	^{210}Pb
۰/۰۰۲-۰/۰۸	^{210}Po

۹ میزان غلظت فعالیت ^{222}Rn ، ^{210}Pb و ^{210}Po در مایعات گازی (NGL)/میعانات گازی [۱]	
محدوده گزارش شده (Bq/l)	ذره رادیواکتیو
۰/۰۱-۱۵۰۰	^{222}Rn (NGL)
۰/۰۱-۴۲۰۰	^{222}Rn (C ₃ - Liq)
۰/۳-۲۳۰	^{210}Pb
۰/۳-۱۰۰	^{210}Po

و رادیوم-۲۲۸ هستند. این مواد قبل از رسیدن به سرب پایدار، به مواد رادیواکتیو مختلفی واپاشی می‌شوند. رادیوم-۲۲۶ به سری واپاشی اورانیوم-۲۳۸ و رادیوم-۲۲۸ به سری واپاشی توریوم-۲۳۲ تعلق دارد. این دو سری اصلی واپاشی رادیواکتیو که همراه با مواد رادیواکتیو طبیعی در صنایع نفت و گاز هستند در شکل‌های ۳ و ۴ نشان داده شده‌اند [۳]. این شکل‌ها ذرات مورد نظر، نیمه عمرهای رادیواکتیو آنها، مکانیزم واپاشی و رفتار حرکت آنها را نشان می‌دهد.

۱-۲- مواد رادیواکتیو طبیعی موجود در لایه‌های چسبیده به دیواره‌ها

انواع مهم مواد رادیواکتیو طبیعی موجود در لایه‌های چسبیده به دیواره‌ها در تأسیسات نفت و گاز، لایه‌های سولفات مانند BaSO_4 ، SrSO_4 و لایه‌های کربنات مانند CaCO_3 می‌باشند. رادیوم از لحاظ شیمیایی مشابه باریم (Ba)، استرنسیوم (Sr) و کلسیم (Ca) است و بنابراین رادیوم با رسوبات استرنسیوم، باریم و کلسیم تشکیل سولفات رادیوم، کربنات رادیوم و در برخی حالات سیلیکات رادیوم می‌دهد.

مخلوط کردن آب دریا که غنی از سولفات است با آب سازندی که غنی از آب نمک است، تمایل به رسوب را افزایش می‌دهد. هم‌چنین تغییر ناگهانی در فشار و دما و یا حتی اسیدیته آب سازندی وقتی که به سطح زمین می‌رسد، میزان رسوب را افزایش می‌دهد. این تمایل به رسوب گذاری در سطوح داخلی خطوط لوله در شکل ۵- نشان داده شده است. این پدیده یک فرآیند قابل توجه در

تولید نفت است زیرا رسوبات ظرفیت لوله را کاهش داده و در نتیجه انتقال نفت کاهش خواهد یافت. جداول-۴ و ۵ به ترتیب غلظت مواد رادیواکتیو در لایه‌های سخت چسبیده به سطوح و لایه‌های نرم متوسط چسبیده به سطوح را نشان می‌دهند [۱ و ۲].

۱-۳- مواد رادیواکتیو طبیعی موجود در رسوبات و تجهیزات قراضه

مولکول‌های رادیواکتیوی که در لایه‌های چسبیده به سطوح قرار نگرفته‌اند، در رسوبات و ماسه‌ها و آب‌های تولیدی یافت می‌شوند. دیگر ذرات رادیواکتیو مانند سرب-۲۱۰ یا پلونیوم-۲۱۰ هم‌چنین می‌توانند در خطوط لوله مستهلک و قراضه یا به صورت رسوبات انباشته شده در کف مخازن ذخیره، جداکننده‌های نفت و گاز، مخازن نم‌زدایی، مخازن ذخیره گاز طبیعی مایع شده (LNG) و در گودال‌های پساب یافت می‌شوند. جداول-۶ و ۷ میزان غلظت مواد رادیواکتیو طبیعی در رسوبات و ادوات قراضه را نشان می‌دهند [۱ و ۲].

۱-۴- مواد رادیواکتیو طبیعی موجود در تأسیسات فرآیندی گاز طبیعی

رادون یک گاز رادیواکتیو است که در غلظت‌های مختلف در گاز طبیعی و در سازندهای نفتی و گازی یافت می‌شود. وقتی این گاز به همراه نفت یا گاز طبیعی تولید می‌شود، معمولاً در مسیر جریان گاز قرار می‌گیرد. اگر گاز طبیعی به عناصر خود شکسته شود، معمولاً بیشترین میزان رادون در جریان‌های پروپان و مقدار کمتری از آن در جریان‌های اتان قرار می‌گیرد.

از آب دریا برای بازآوری نفت از یک مخزن می‌تواند مواد رادیواکتیو طبیعی جدیدی به وجود آورد. بررسی‌ها نشان داده است که در یک محیط غیرهوازی (مانند سازندهای زیرزمینی)، باکتری کاهش‌دهنده سولفات که اورانیوم را جذب کرده، دوباره آن را در رسوبات ته‌نشین می‌کند. در بسیاری از سیستم‌های تزریق آب دریا، این موضوع ممکن است ضرر قابل توجهی نداشته باشد؛ هرچند در سیستم‌هایی که از مقادیر زیادی آب دریا استفاده می‌کنند امکان مواجهه با مقادیر زیاد اورانیوم هم برای کارکنان خطر مهمی محسوب می‌شود و هم برای سیستم پساب مشکل‌زا خواهد بود. در سیستم‌های تزریق آب دریا غلظت‌های اورانیوم بیشتر از ۲ درصد وزنی اندازه‌گیری شده‌اند [۲۰۱].

روز می‌باشند عمر کوتاهی دارند. بیشتر محصولات حاصل از فروپاشی رادون (۹۰ تا ۹۹ درصد) به ذرات معلق در هوا و سطوح می‌چسبند. این فروپاشی می‌تواند لایه‌های رادیواکتیو نازکی را در سطوح داخلی تجهیزات فرآیندی گاز مانند کمپرسورها، پمپ‌های ریفلاکس، شیرهای کنترل و خطوط تولید ایجاد کند. جداول ۹ و ۸ میزان غلظت مواد رادیواکتیو طبیعی در گاز طبیعی و در مایعات گازی (NGL) و در میعانات گازی را نشان می‌دهند [۲۰۱].

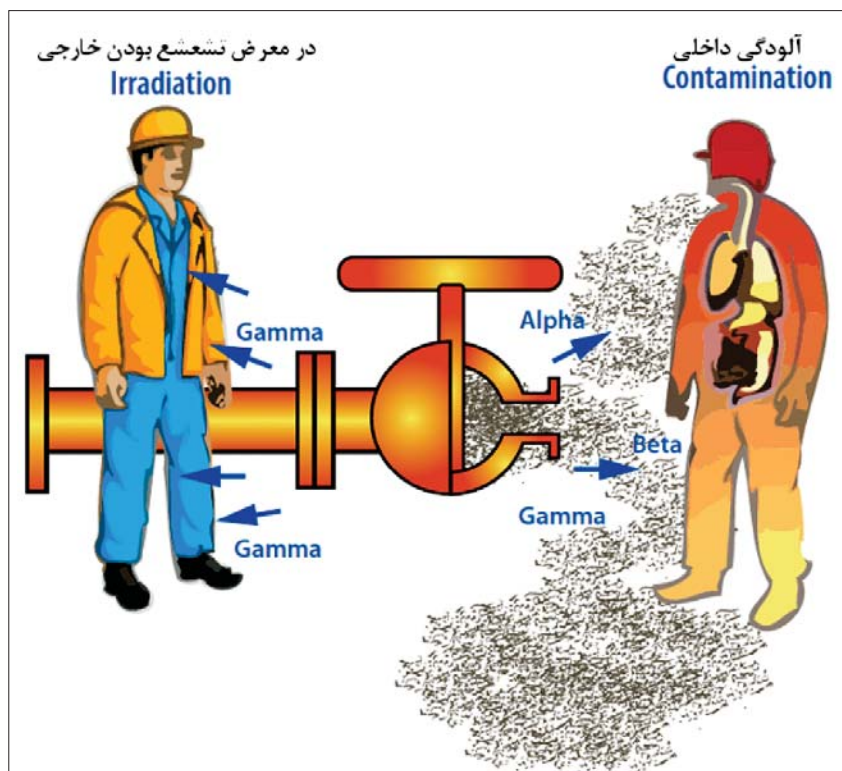
۱-۵- مواد رادیواکتیو طبیعی در سیستم‌های تزریق آب دریا

اورانیوم در آب دریا با غلظت‌های قسمت در میلیارد ($\mu\text{g/l}$) وجود دارد. استفاده

رادون-۲۲۲ طی واپاشی طبیعی خود، ذرات رادیواکتیو متعددی (که به عنوان زیر مجموعه رادون شناخته می‌شوند) تولید می‌کند. بیشتر زیر مجموعه حاصل از فروپاشی رادون، به غیر از سرب-۲۱۰ و پلونیوم-۲۱۰ که نسبتاً دارای نیمه‌عمرهای طولانی (به ترتیب ۶/۲۲ سال و ۱۳۸

۱۰ | میزان تشعشع خارجی در اطراف تاسیسات فرآیندی نفت و گاز [۱]

سطح تشعشع ($\mu\text{Sv/h}$)	دستگاه
فرآیند/پالایش نفت خام	
بیشتر از ۳۰۰	لوله مغزی، شیرهای ایمنی (داخلی)
۰/۱-۲/۵	تجهیزات سرچاهی، منی فولدهای تولید
۰/۳-۴	خطوط تولید
بیشتر از ۲۰۰	لایه چسبیده به سطح جداکننده (داخلی)
بیشتر از ۱۵	لایه چسبیده به سطح جداکننده (خارجی)
۰/۲-۰/۵	خروجی‌های آب
فرآیند/پالایش گازهای همراه و گاز طبیعی	
۰/۱-۲/۲	لوله مغزی
بیشتر از ۸۰	لوله‌های تاسیساتی، فیلترها، مخازن ذخیره، خطوط رفلاکس
بیشتر از ۵۰	گودال‌های پسماند، چاه‌های آب نمک/ تزریق، مخازن ذخیره آب نمک
فرآیند مایعات گازی (NGL)	
بیشتر از ۹۰	فیلترها
بیشتر از ۲۰۰	پمپ NGL
بیشتر از ۶۰	مخازن ذخیره C_3
۰/۱-۲/۸	پمپ‌های کشتی‌های NGL/ C_3 ، پمپ‌های رفلاکس C_3 ، زانویی‌ها، فلنج‌ها



شکل ۶ | انواع در معرض مواد رادیواکتیو طبیعی قرار گرفتن [۶]



۲- مضرات مواد رادیواکتیو طبیعی برای سلامت انسان‌ها

انسان به دو صورت در معرض مواد رادیواکتیو طبیعی قرار می‌گیرد: الف) قرار گرفتن در معرض تشعشع خارجی: منبع تشعشع خارج از بدن است. ب) آلودگی داخلی: منبع ماده رادیواکتیو از طریق تنفس، بلعیدن و یا جذب وارد بدن فرد شده است (شکل-۶)

جدول-۱۰ میزان تشعشع خارجی در اطراف تأسیسات فرآیندی نفت و گاز را نشان می‌دهد. تحقیقات علمی زیادی در خصوص با اثرات اشعه‌های یونیزه کننده بر سلامتی انسان وجود دارد. این آثار بستگی به مقدار کلی انرژی جذب شده، مدت زمان در معرض بودن، میزان دُز دریافتی و خصوصیات بافتی که در معرض تشعشع بوده

بستگی دارد. نکته کلیدی در خصوص مواد رادیواکتیو طبیعی کوتاه بودن زمان در معرض تشعشعات قرار گرفتن است. در بعضی موارد کوتاه بودن این زمان مشکلی ایجاد نمی‌کند. ولی آثار مواد رادیواکتیو طبیعی در مقایسه با اثرات شدید مقادیر زیاد تشعشع منابع رادیواکتیو ساخت انسان به مراتب کمتر است [۱-۷].

در معرض مواد رادیواکتیو طبیعی قرار گرفتن به مدت طولانی و به میزان بیشتر از محدوده‌ها و اختراهای ایمنی می‌تواند سبب آسیب‌های جبران‌ناپذیری مثل ابتلا به انواع سرطان‌ها گردد. انواع مختلفی از سرطان‌ها از جمله سرطان‌های خون، ریه، روده، مری، استخوان، تیروئید و سیستم مغز و اعصاب می‌توانند از طریق جذب تشعشع ایجاد شوند. لازم به ذکر است که پتانسیل

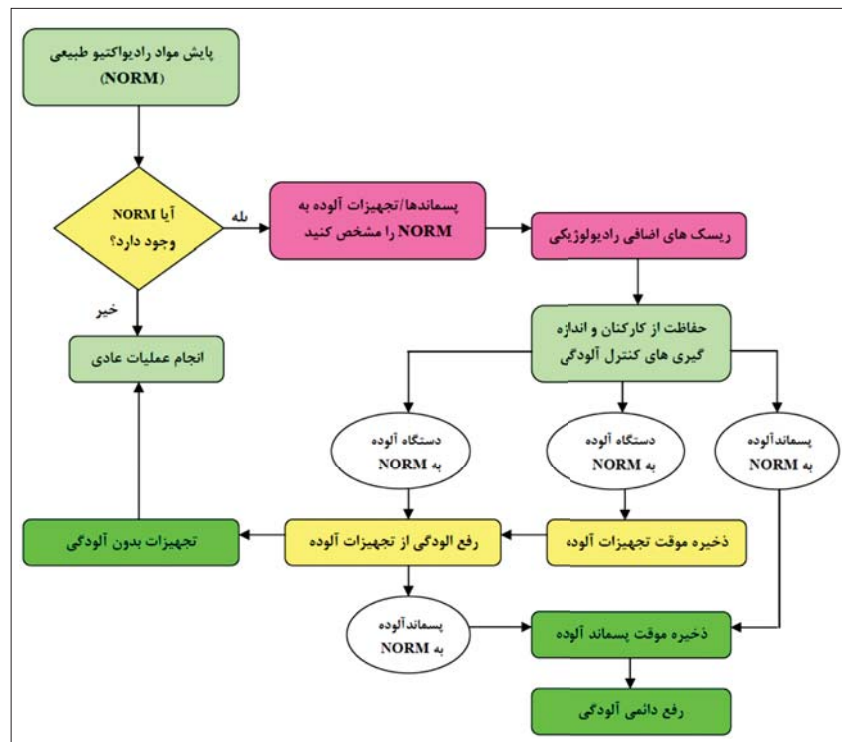
اثرات جذب تشعشع، به شدت به میزان دُز دریافت شده بستگی دارد. علاوه بر آن بر اساس مطالعات علمی منتشر شده نمی‌توان گفت جذب تشعشع رادیواکتیو باعث تمامی انواع سرطان‌ها می‌شود.

برای زمان‌های کوتاه در معرض تشعشعات قرار گرفتن درمان دارویی تجویز می‌شود. اگرچه به دلیل پیچیده بودن انجام آزمایش‌هایی که مشخص کننده اثرات این داروها بر بدن هستند، این روش درمانی یک روش ایده‌آل نیست. بیشتر این آزمایش‌ها حساسیت کافی نداشته و به عبارت بهتر قدرت تشخیص دقیق بیماری را ندارند. از آنجایی که درمان دارویی به عنوان یک استراتژی استاندارد در اغلب مورد استفاده قرار می‌گیرد، باید کنترل منبع تشعشع، پایش آن، آموزش پرسنل و انجام ایمن موارد عملیاتی به عنوان استراتژی‌های پیش‌گیرانه مدنظر قرار گیرند.

مواد رادیواکتیو طبیعی در هنگام اعمال نیروهای مکانیکی مانند برس‌زنی با سیم یا وارد کردن ضربه به خط لوله، ممکن است خطرات استنشاقی ایجاد کنند [۱-۷].

۳- چرخه فرآیند مدیریت مواد رادیواکتیو طبیعی

برای اطمینان از وضوح کافی تمامی جنبه‌های مدیریت مواد رادیواکتیو طبیعی، یک چرخه فرآیندی در شکل ۷- نشان داده شده است. این چرخه نشان می‌دهد که در چه مکان‌هایی کنترل‌ها جهت اطمینان از حفاظت کارکنان، محیط عمومی و محیط زیست، ممکن و اقتصادی است. فلوچارت شکل ۷- شامل انجام فعالیت‌های



زیاد و تهیه مدارک مختلفی است. موضوع حائز اهمیت برنامه‌ریزی و اجرای فرآیند مدیریت مواد رادیواکتیو طبیعی، از طریق با مشورت کسانی است که مستقیماً با آن سروکار دارند. در این خصوص اختیارات قانونی خاصی نیز مورد نیاز است. به دلیل طبیعت و ویژگی‌های خاص مواد رادیواکتیو، مدیریت این مواد فعالیتی نیست که هر شرکتی بتواند به طور مستقل انجام دهد. بنابراین فعالیت فوق باید به صورت جامع و یکپارچه انجام گیرد. برای مدیریت موفق مواد رادیواکتیو، یک استراتژی در چرخه‌ای فرآیندی مورد نیاز است. موارد کلیدی جهت مدیریت موفق این مواد به قرار زیر است:

- پایش مواد رادیواکتیو طبیعی
- کنترل پسماند آلوده به مواد رادیواکتیو طبیعی
- کنترل تجهیزات آلوده به مواد رادیواکتیو طبیعی
- آموزش و حفاظت از پرسنل
- گسترش راهنماهای مدیریت مواد رادیواکتیو طبیعی
- پایش نهایی

نتیجه‌گیری

ذرات رادیواکتیو طبیعی که در غلظت‌های مختلفی در پوسته زمین وجود دارند می‌توانند با فرآیندهای بازآوری نفت و گاز تغلیظ یافته و گسترش یابند. فعالیت‌های کنترل‌نشده که شامل مقادیر زیاد مواد رادیواکتیو طبیعی هستند می‌توانند محیط‌زیست را آلوده کرده و سلامتی طبیعی مؤثر باشند.

پانویس‌ها

¹hadifathabadi@yahoo.com

²Technologically Enhanced Naturally Occurring Radioactive Materials (TENORM)

³oart per million

⁴GOSP (Gas/Oil Separation Plants)

منابع

- [1] Jonkers G, Hartog FA, Knaepen WAI, Lancée PFJ, Characterization of NORM in Oil & Gas Production (E&P) Industry, International Symposium on Radiological Problems with Natural Radioactivity in the Non-Nuclear Industry, Amsterdam, The Netherlands, September 1997.
- [2] NRPB, NORM in the Oil and Gas Industries, Radiation at Work Series (2008).
- [3] IAEA, Radiation Protection and the Management of Radioactive Waste in the Oil and Gas Industry, Safety Series No 34 (2003) ISBN 92-0-114003-7.
- [4] IAEA, Extent of Environmental Contamination by Naturally Occurring Radioactive Material (NORM) and Technological Options for Mitigation, Technical Reports Series No 419 (2003) ISBN 92-0-112503-8.
- [5] Bird AF, Rosser HR, Worrall ME, Mously KA, Fageeha OI, Technologically Enhanced Naturally Occurring Radioactive Material Associated with Sulfate Reducing Bacteria Biofilms in Large Seawater Injection System, Society of Petroleum Engineers, Conference on Health, Safety & Environment in Oil and Gas Exploration and Production, Kuala Lumpur, Malaysia, March 2003, SPE 73959.
- [6] American Petroleum Institute, Bulletin on Management of Naturally Occurring Radioactive Materials (NORM) in Oil and Gas Production, API Bulletin E2, Second Edition, April 2006.
- [7] K. P. Smith, An Overview of Naturally Occurring Radioactive Materials (NORM) in the Petroleum Industry, United States Department of Energy, 1992