شیمی سبز و فناوری های پایدار

مرور سیستماتیک نقش رویکردهای نوین مدیریت پسماند حاصل از حفاری چاه‌های نفت و گاز در کاهش آلاینده‌های محیط‌زیست

عباس هاشمی زاده[1*]، یاسین خلیلی[2]، ، سحر اکبرزاده[1]

[1] دانشکده مهندسی نفت و پتروشیمی، دانشگاه حکیم سبزواری، سبزوار، ایران.

[2] دانشکده مهندسی نفت، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران، ایران.

[*] دکتری مهندسی نفت، a.hashemizadeh@hsu.ac.ir، تلفن: ۰۵۱-۴۴۰۱۲۸۵۱

چکیده

زمینه و هدف: امروزه توجه به مسائل زیست‌محیطی یکی از دغدغه‌های بشری است که بیش از پیش به آن پرداخته می‌شود. معمولاً در مخازن نفت و گاز به منظور حفظ سطح بهینه و صیانت از منابع هیدروکربوری، چاه‌های زیادی حفر می‌گردد که حفاری چاه‌های نفت و گاز از جهت پسماندهای تولید شده در اثر استفاده از مواد مختلف شیمیایی، با مشکلات زیست‌محیطی همراه است. امروزه فرآیندهای حفاری چاه‌های نفت و گاز، تولیدکننده گونه‌های مختلفی از انواع پسماندها می‌باشد. گل‌های حفاری به عنوان یکی از اصلی‌ترین عوامل آلوده‌کننده در طی عملیات حفاری، دارای ترکیبات ناخواسته‌ای همچون فلزات سنگین، هیدروکربن‌ها، نمک‌ها و افزودنی‌ها بوده که بر اساس نوع گل، غلظت این ترکیبات می‌تواند تغییر کند. اگر گل حفاری و پسماندهای ناشی از آن درست مدیریت نشوند علاوه بر هزینه‌های سنگین منجر به آلودگی محل حفاری و پیرامون آن می‌گردد.

روش بررسی: با بکارگیری روش‌های مدیریتی کارامد و مفید می‌توان از آلودگی‌های عملیات حفاری جلوگیری و اثرات مخرب ناشی از پسماندهای چاه‌های نفت و گاز را به حداقل ممکن رساند. این مدیریت بر چهار اصل کاهش در منبع، بازیافت، بازیابی و استفاده مجدد استوار است.

بحث و نتیجه‌گیری: بر این اساس، در این مقاله ضمن بررسی جامع پسماندهای تولیدی در عملیات حفاری چاه‌های نفت و گاز، برخی از مهم‌ترین روش‌هایی که می‌توان با اعمال آن‌ها نقش مدیریتی را در جهت کاهش تولید این پسماندها ایجاد نمود ارائه شده و به مطالعه موردی انجام شده در یکی از میادین بزرگ نفتی کشور پرداخته شده است.

واژگان کلیدی: حفاری چاه‌های نفت و گاز، پسماندهای حفاری، مدیریت پسماند، حفظ محیط زیست.

مقدمه

از کشف و استخراج نفت مدت زیادی نمی‌گذرد و در این مدت کوتاه، فرآورده‌های بی‌شماری از آن ساخته شده و شرایط زندگی بشر را بهبود بخشیده است اما رخنمون‌های دیگری از درون این ماده در سطح دریاها و خشکی‌ها پدیدار گشت که این مسئله سبب شد تا آلودگی‌های ناشی از فرآورده‌های نفتی، به یکی از موضوعات مهم در نهادها و سازمان‌های حفاظتی تبدیل گردد [۱]. در دنیای صنعتی امروز، نفت خام یکی از مهم‌ترین منابع انرژی است که اکتشاف و استخراج آن، نیازمند فرآیند حفاری بوده و با توجه به نیاز بشر به انرژی و سوخت‌های فسیلی، سالانه حفاری‌های بسیاری در نقاط مختلف جهان و بخصوص در ایران انجام می‌گیرد [۲]. گل و پسماندهای حفاری از جمله مهم‌ترین آلودگی‌های ناشی از فعالیت‌های نفتی به شمار می‌روند که اگر به درستی مدیریت نشوند، آسیب‌های جبران‌ناپذیری به محیط زیست وارد می‌کنند [۳].

مواردی که در این مقاله بررسی شده است به اختصار در شکل ۱ ارائه گردیده است.

شکل ۱) خلاصه‌ای از مهم ترین موارد ذکر شده در این مقاله.

آلودگی یا پسماند:

بر اساس دایره‌المعارف بریتانیکا، آلودگی اضافه شدن هر شکلی از جرم یا انرژی به محیط با سرعتی بیش از توان طبیعت برای انطباق با آن از راه تجزیه، شکستن، بازیافت یا ذخیره کردن به شکلی غیر زیان بار است [۴]. به‌طور عام، آلودگی به معنای ناخالصی، ناپاکی، کثیفی و ضرر است. این تعریف از لحاظ کاربرد زیست محیطی دقت لازم را ندارد، چرا که برای آلودگی زیست محیطی تعریف یکسانی وجود ندارد و دیدگاه‌ها متفاوت‌اند [۵]. برای دست‌یابی به یک تعریف واحد باید برای مواد آلوده‌کننده محیط، یک حد مجاز در نظر گرفت. به‌طور کلی آلاینده یا پسماند ماده‌ای است که در مکانی با غلظتی بیش از حد مجاز وجود داشته باشد و بر موجودات زنده اثر نامطلوب بگذارد [۶].

پسماند عملیات حفاری در چاه‌های اکتشافی نفت و گاز:

به هرگونه مواد جامد، مایع یا مخلوطی که در حین عملیات حفاری تولید گردیده و یا مازاد بر مصرف باشد، اطلاق می‌گردد [۷]. پسماند حفاری به کنده‌ها (خرده‌های حفاری حاصل از حفاری)، سیالات حفاری اضافی از عملیات و سایر مواد تولید شده به وسیله عملیات حفاری شامل آب آلوده،

مواد شیمیایی، سوخت، روان‌کننده‌ها[1] و سایر مواد مرتبط و ضایعات حاصل از دستگاه و تجهیزات حفاری اطلاق می‌شود [۸].

مدیریت پسماند عملیات حفاری:

مدیریت پسماند عملیات حفاری به مجموعه‌ای از قوانین برنامه‌ریزی شده و دارای انسجامی گفته می‌شود که جهت حفظ تولید، ذخیره، جمع‌آوری، حمل و نقل، دفع مواد زائد و پسماند گل حفاری پایه‌ریزی شده‌اند. این مدیریت باید منطبق بر مناسب‌ترین قوانین بهداشت، اقتصاد، حفاظت از منابع و سایر ملزومات زیست محیطی باشد. این مدیریت بر چهار اصل کاهش در منبع[2]، بازیافت[3]، بازیابی[4] و استفاده مجدد[5] استوار است [۹].

فواید و گستره‌ی مدیریت پسماند عملیات حفاری:

کاهش دورریزی و تخلیه مواد زائدِ جامد به محیط‌زیست، کنترل و یا کاهش هزینه گل حفاری، کاهش زمان برگشت گل به حالت و شرایط اولیه و کاهش تعداد روزهای مفید انجام کار، از مهم‌ترین فواید مدیریت پسماند می‌باشد [۱۰]. مدیریت پسماند برای اغلب عملیات بالادستی صنایع نفت و گاز، از فعالیت‌های لرزه‌نگاری، حفاری و گسترش فرآیندهای تولید تا تحویل فازهای عملیاتی به بخش بهره‌برداری، قابل اعمال می‌باشند [۱۱].

اصول مدیریت پسماند:

اصولی که برای مدیریت پسماند به کار می‌رود به‌طور خلاصه در چهار بخش زیر آورده شده است.

کاهش در مبدا:

اصول کاهش از مبدا از آن جهت یک روش موثر برای کاهش مقدار ماده زائد و هزینه‌های مرتبط با جابجایی و اثرات زیست محیطی می‌باشد، دارای اهمیت ویژه‌ای است. یکی از کارامدترین روش‌ها در خصوص کم‌کردن آلاینده‌ها، پیدا کردن روش‌هایی مناسب به جهت کاهش حجم آنها می‌باشد، که این روش‌ها بهبود فرآیند تولید، جدا نمودن جریان مواد زائد و استفاده مجدد از آن‌ها را شامل می‌شود. یک روش دیگری که می‌توان در جهت کاهش مواد زائد نام برد، جلوگیری از ادغام شدن این جریان‌های سمی می‌باشد. فرض کنید کمی از یک ماده سمی و خطرناک با مقدار زیادی ماده زائد غیر خطرناک در هم آمیخته شود، در نتیجه شرایط امر حکم فرما می‌کند، که ما باید فرآیند تصفیه و دفع را آغاز کنیم چراکه حجم زیادی ماده زائد خطرناک داریم. با وجود این کار علاوه بر اینکه مواد زائد خطرناک و سمی را کاهش داده‌ایم، فرآیند تصفیه را با سهولت بهتر و با هزینه کمتر انجام خواهیم داد [۱۲، ۱۳].

بازچرخش:

بازچرخش، بازیافت یا استفاده مجدد، دومین مورد است که در مدیریت پسماند موثر است. این روش در مراحل زیر خلاصه می‌شود:

۱-جداسازی و جمع‌آوری پسماند ۲-آماده‌سازی این مواد به جهت استفاده مجدد ۳- تجزیه، تحلیل، پردازش و ساخت مجدد این مواد. روش بازچرخش علاوه بر اینکه حجم مواد زائد را در محل دفن کاهش می‌دهد، نیاز به مواد و منابع را نیز کمتر می‌کند [۱۴].

تغییر و تبدیل پسماند:

تغییر و تبدیل سومین اصل را در مدیریت پسماند به خود اختصاص می‌دهد. این روش تغییرهای شیمیایی، فیزیکی و زیستی مرتبط با پسماند را شامل می‌شود. این روش اهدافی همچون: ۱-افزایش بازدهی فرآیند مدیریتی ۲-احیای موادی که قابلیت استفاده مجدد و بازیافت را دارند ۳-بازیابی مواد و محصولات تغییر شکل یافته را دنبال می‌کند [۱۵].

دفع پسماند:

دفع، چهارمین اصل درمدیریت پسماند را داشته و شامل دفع کنترل شده مواد در روی زمین و زیر زمین می‌باشد. فرآیند دفع از این جهت مورد بررسی قرار می‌گیرد که: ۱-یک سری

[1] Lubricants
[2] Reduction
[3] Recycle
[4] Recover
[5] Reuse

از پسماندها نمی‌توانند مورد بازیافت و یا استفاده مجدد قرار بگیرند ۲-پس از جداسازی پسماند در تجهیزات بازیافت حجمی از مواد باقی می‌مانند ۳-آن حجم از مواد باقی مانده پس از بازیابی مواد ممکن است تغییر یابند. بسته به مکان و نوع عملیات، پسماندهای حفاری متغیر است. اگر عملیات حفاری را شامل دو جزء عمده در نظر بگیریم، شامل سکوی حفاری و سیستم چرخش گل می‌باشند. پسماندهای تولید شده به وسیله سکوهای حفاری حاصل از عملیات به کارگیری و نگهداری تجهیزات سکو است که این پسماندها شامل آب‌های شستوشو، فیلترها و روغن‌های روان‌کننده استفاده شده، حلال‌ها، مته و لوله‌های حفاری استفاده شده، محافظ رزوه‌های دور انداخته شده و ظروف خالی گریس می‌باشد. در طی عملیات پسماند حفاری انواع مختلفی از ضایعات تولید می‌شود. در جدول ۱ تقسیم‌بندی ضایعات و پسماندهای حفاری در محل دستگاه حفاری به‌طور مختصر شرح داده شده است [۱۶، ۱۷].

جدول ۱) ضایعات و پسماندهای حفاری در محل دستگاه حفاری [۱۲].

سیالات حفاری	۱) گل‌های حفاری پایه آبی ۲) گل‌های حفاری پایه روغنی ۳) گل‌های آلوده شده با سیمان یا آب سازند ۴) آب نمک اشباع ۵) مواد شیمیایی اضافه شده به سیستم گل.
کنده‌های حفاری	۱) کنده‌های جدا شده از روی الک‌های لرزان ۲) کنده‌های خروجی از شن‌زدا و ماسه‌زدا ۳) ذرات جامد خارج شده از سیال به‌وسیله دستگاه گریز از مرکز ۴) ته مانده‌های جامد در مخازن گل در هنگام تمیزسازی.
آب‌های زائد	۱) آب شست‌وشوی دکل ۲) آب شستشوی دستگاه‌های تمیز کننده گل و مخازن ۳) آب‌های سطحی و آب باران مخلوط با گل حفاری ۴) آب‌های حاصل از سیستم‌های بهداشتی پرسنل ۵) آب‌های خروج از سازندهای آبده
ضایعات جامد	۱) کیسه‌ها و مواد گل و بشکه و مخازن مواد شیمیایی و روغنی ۲) ضایعات حاصل از تغییر دستگاه حفاری، بریده کابل‌ها و قطعات تعویضی ۳) ضایعات بهداشتی پسماندهای وسایل مورد استفاده ۴) تجهیزات معیوب جامانده از وسایل چاه

گل حفاری:

بدون وجود گل‌های حفاری و افزودنی‌های آن‌ها، حفاری چاه‌های نفت و گاز میسر نخواهد بود. سیال حفاری[۶] یا گل حفاری[۷] به سیالی اطلاق می‌شود که در طی عملیات حفاری و درون چاه به گردش درآمده و از طریق فضای حلقوی[۸]، پس از عبور از رشته حفاری و مته به سطح برگشت داده می‌شود - [۱۸].

وظایف گل‌های حفاری:

از جمله مهم‌ترین وظایف گل حفاری می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

۱) جلوگیری از ته نشین شدن خرده‌ها و مواد افزاینده وزن گل حفاری، زمانی که گل در حال سکون باشد ۲) خنک کردن و روان‌کاری وسایل حفاری مانند مته، لوله‌های وزنی و لوله‌های حفاری ۳) تقلیل وزن لوله‌های وزنی، لوله‌های حفاری و لوله جداری طبق قانون ارشمیدس ۴) نگهداری از دیواره چاه و به وجود آوردن یک لایه غیر قابل نفوذ برای دیواره ۵) تمیز کردن کف چاه و حمل خرده سنگ‌های حفاری شده به سطح زمین [۱۹].

انواع گل‌های حفاری:

گل‌های حفاری شامل گل‌های پایه آبی[۹]، پایه نفتی[۱۰] و پایه سنتتیکی[۱۱] یا سنتزی یا ترکیبی می‌باشند [۲۰].

گل‌های پایه آبی:

آب متداول‌ترین و عمده‌ترین سیالی است که به عنوان پایه برای گل‌های حفاری به کار می‌رود. از آنجا که آب فاقد خصوصیات شیمیایی و فیزیکی مورد نیاز برای همه نیازهای گل حفاری است، چندین مواد افزودنی دیگر برای تغییر خصوصیات آن به کار گرفته می‌شود. آب مورد استفاده نیز می‌تواند آب شیرین یا آب شور باشد. سیالات حفاری پایه آبی

[6] Drilling Fluid
[7] Drilling Mud
[8] Annulus
[9] Water Base Fluids (WBFs)
[10] Oil Base Fluids (OBFs)
[11] Synthetic Base Fluids (SBFs)

نسبتا ارزان و عموماً غیررسمی هستند. عموماً این سیالات شامل بیش از ۹۰ درصد آب هستند که مواد افزودنی از قبیل بنتونیت، باریت، رس‌ها، لیگنوسولفونات، لیگنیت، کاستیک سودا، مواد جامد سازند و مواد ویژه افزودنی به آن اضافه می‌شود. سیالات حفاری پایه آبی، بسته به عمق چاه بین ۱۰ هزار تا ۳۰ هزار بشکه باطله، برای هر چاه تولید می‌کنند [۲۰، ۲۱].

گل‌های پایه نفتی:

سیال پایه نفتی دارای گازوئیل، نفت معدنی یا روغن‌های دیگر به عنوان فاز پیوسته، به همراه آب به عنوان فاز پراکنده است. دیگر اجزای ترکیب کننده: باریت‌ها، رس‌ها، امولسیفایر، کلرید کلسیم، لیگنیت و دیگر مواد افزودنی هستند. استفاده از گل حفاری پایه نفتی سبب کاهش فعل و انفعالات بین سیال حفاری و مواد معدنی سازند می‌شود. بدین ترتیب قطعات جدا شده کمتر به قطعات ریزتر تبدیل می‌شوند و در نتیجه کارایی جداسازی مواد گل حفاری افزایش می‌یابد. در گل‌های حفاری با پایه نفتی، سیال متداول گازوئیل است که دارای ویسکوزیته قابل توجه بوده و دارای حلالیت کم در سیستم حفاری است، اما با این حال گازوئیل سمی است و اثرات مضر محیطی گل حفاری با پایه گازوئیل از گل حفاری با پایه آبی بیشتر است. حجم میانگین پسماند سیال پایه نفتی ۲ هزار تا ۸ هزار بشکه برای هر چاه تخمین زده می‌شود. در بسیاری از حالت‌های عملیات دریایی، این پسماند برای تخلیه در خشکی و یا چرخه مجدد به ساحل انتقال داده می‌شود [۲۲، ۲۳].

گل‌های پایه سنتتیکی:

سیالات پایه سنتتیکی یا همان ترکیبی که به تازگی گسترش یافته‌اند، با همان کارایی سیالات نفتی ولی با اصلاحات درترکیبات تجزیه ناپذیر و مواد سمی و آسیب رسان به محیط زیست توانسته‌اند کارنامه قابل قبولی در مقایسه با دیگر سیالات حفاری به دست آورند. ترکیب سیال سنتزی از هیدروکربن اشباع شده(غیر آروماتیک) با بیشتر ترکیب‌های مولکولی از قبیل استات‌ها، اترها و استرها، درجه‌بندی می‌شود. سیالات پایه سنتزی به عنوان یک امولسیون که در آن مایع سنتزی فاز پیوسته را شکل می‌دهد، در حالی که آب شور به عنوان فاز پراکنده مفید است، فرمول‌بندی می‌شود. سیستم‌های سیال پایه سنتزی احتیاج به حجم و رقت زیاد ندارد و در نتیجه حجم سیال مورد استفاده کاهش می‌یابد [۲۴، ۲۵].

اثرات نامطلوب زیست‌محیطی گل حفاری:

گل‌های حفاری یکی از متداول‌ترین آلودگی‌های موجود در صنعت حفاری به شمار می‌روند که با دارا بودن ترکیباتی مضر و شیمیایی همچون آهک، باریت و بنتونایت سلامت انسان‌ها و سایر موجودات را به خطر خواهند انداخت و اثرات منفی بر منابع با ارزشی همچون آب، خاک، هوا، گیاه و غیره خواهد گذاشت. عدم مدیریت درست و تخلیه نامناسب پسماندهای حفاری، خسارات جبران‌ناپذیری به مسائل اقتصادی، اجتماعی و فرهنگی وارد خواهد آورد. به عنوان مثال دور ریختن ضایعات به دریاها باعث آسیب رساندن و مرگ آبزیان شده که این امر هم برای محیط زیست هم برای اقشار مردمی که از راه ماهی‌گیری امرار معاش می‌کنند، آسیب زننده خواهد بود. وجود برخی ترکیبات ناخواسته همچون فلزات سنگین، نمک و به ویژه هیدروکربن‌ها در اکثر گل‌های حفاری، می‌تواند آسیبی برای محیط زیست محسوب شود [۲۶، ۲۷].

اثرات زیست‌محیطی فلزات سنگین موجود در گل حفاری:

به دو روش فلزات سنگین می توانند به درون سیالات حفاری نفوذ کنند: ۱) فلزاتی که به طور طبیعی در چینه‌ها قرار داشته و در حین حفاری وارد سیال مورد استفاده می‌شوند ۲) فلزاتی که به عنوان افزودنی جهت ایجاد خواصی مطلوب به گل حفاری اضافه می شوند [۲۸]. به عنوان مثال جیوه و باریم موجود در باریت نقش کنترل کننده دانسیته را بر عهده داشته که از جمله منابع تامین فلزات سنگین موجود در نفت خام هستند [۲۹]. به طور طبیعی غلظت های متفاوتی از فلزات در نفت خام وجود دارد که از جمله آن ها می توان به موارد زیر اشاره کرد:

آلومینیوم، کلسیم، کروم، کبالت، مس، طلا، آهن، سرب، منیزیوم، منگنز، نیکل، فسفر، پلاتین، سیلیکون، نقره، سدیم، استرانیوم، اورانیوم، قلع و بور که در این میان نیکل و وانادیوم بیشترین غلظت را به خود اختصاص می‌دهند [۳۰]. در جدول ۲ اثرات محیطی تعدادی از فلزات سنگین بر سلامتی انسان آمده است:

جدول ۲) اثرات محیطی تعدادی از فلزات سنگین [۲۱].

فلزات سنگین	اثرات محیطی بر سلامت انسان
آرسنیک	ضعف، بی‌اشتهایی، برونشیت بیماری‌های عصبی دوره‌ای، اختلالات پوستی و مشکلات گوارشی
باریم	گیاهان سمی حاوی یون باریم اغلب دیده شده که باعث سکته و فلج شدن در موجودات زنده می‌گردند.
کروم	در دستگاه سیستم تنفسی موجب سوزش‌های شدید شده و گاها به کلیه آسیب می‌رساند.
روی	غلظت بالا اثر زیان باری بر روی شش‌ها

آلودگی‌های گل حفاری:

به کلیه موادی که به‌طور ناخواسته وارد گل حفاری شده و باعث ایجاد تغییراتی در خواص آن می‌شود را مواد آلوده‌کننده گویند. منشاء مواد آلوده‌کننده بشرح زیر است:

۱) آلودگی ناشی از مواد جامد طبقات زمین مانند سنگ‌های رسی، رس و گچ ۲) آلودگی ناشی از مواد که در هنگام حفاری به گل اضافه می‌شود مانند کربنات‌ها و بیکربنات‌ها ۳) آلودگی ناشی از مواد مایع طبقات زمین مانند آب دریا ۴) آلودگی ناشی از سیمان‌کاری چاه ۵) آلودگی ناشی از آب دریا [۳۱].

آثار نامطلوب زیست‌محیطی کنده‌های حفاری:

کنده‌های حفاری که به خرده‌های حفاری نیز شناخته شده هستند، طی عملیات حفاری به وسیله جریان حرکتی سیال حفاری به سطح انتقال داده می‌شوند. به طور معمول کنده‌های حفاری از ذراتی با دانسیته کم تشکیل شده‌اند که هم باعث ایجاد مشکلات زیست محیطی شده و هم خواص گل حفاری را تحت شعاع قرار می‌دهند [۳۲]. گل و کنده‌های حفاری دو محصول جانبی سمی و غیر قابل اجتنابی هستند که در فرآیند حفاری وجود دارند. تقریبا ده درصد حجمی از پسماندهای حفاری را، کنده‌های حفاری تشکیل می‌دهند. در طی فرآیند حفاری، سیال همراه کنده‌های حفاری با آب، نفت و مواد شیمیایی دیگر ترکیب شده و مخلوطی سمی را به وجود می‌آورند که می‌تواند مواد شیمیایی سمی همچون نفت، روغن، جامدات سوسپانسیون فنل، آرسنیک، کروم، کادمیوم، سرب و جیوه و مواد رادیواکتیو طبیعی و باریم را با خود به همراه داشته باشد. ترکیبات ذکر شده تحت شرایطی همچون موقعیت و عمق چاه و یا نوع سیمان استفاده شده در فرآیند حفاری، دست خوش تغییر می‌شوند. مقدار کنده‌های حفاری بسته به شرایطی همچون کوچک‌تر شدن دهانه چاه و یا عمیق‌تر شدن آن کاهش می‌یابند [۳۳]. از جمله آسیب‌های پسماندهای ناشی از کنده‌های حفاری می‌توان به اثرات سمی روی گیاهان، اختلال فعالیت‌های بیولوژیک خاک، اثرات زیان‌بار روی انسان در اثر ورود مواد به زنجیره غذایی اشاره کرد [۳۴].

روش‌های مورد استفاده در زمینه مدیریت پسماند حفاری:

کاهش حجم پسماند تولیدی:

موثرترین راه در کاهش عوارض زیست محیطی مرتبط با فعالیت‌های تولید و حفاری نفت و گاز، به حداقل رساندن حجم و سمیت پسماند می‌باشد. فرآیندهایی برای جلوگیری یا به حداقل رساندن پسماندها و خطرات مرتبط با پسماندهای تولید شده مطابق با استراتژی‌های زیر طراحی و بهره‌برداری می‌شوند [۳۵].

۱) جایگزینی مواد خام یا ورودی با مواد کمتر خطرناک یا سمی یا فرآیندهای تولیدی با حجم پسماند کمتر

۲) به کار بردن فرآیندها برای تبدیل مواد به‌طور کارآمد، تولید محصول خروجی بیشتر، شامل تغییر طراحی فرآیند تولید، شرایط بهره‌برداری و فرآیندهای کنترل

۳) به حداقل رساندن پسماند تولیدی محصور شده به وسیله به کار بردن جداسازهای پسماند برای جلوگیری از توده‌ای شدن.

از روش‌های مهم دیگر در به حداقل رساندن پساب تولیدی بالقوه سمی، استفاده کمتر از مواد سمی برای فرآیندهای عملیاتی خاص می‌باشد. گل حفاری گزینه مناسبی برای کاهش تولید پسآب‌های سمی توسط روش جایگزین مواد می‌باشد. در جدول ۳ چند مورد از مواد جانشین مکمل‌های حفاری شرح داده شده است [۳۶].

بهبود کارایی تجهیزات کنترل مواد جامد:

به کارگیری سیستم‌های کنترل ذرات جامد، یکی از روش‌های موثر در جدا سازی گل از کنده‌های حفاری است که امروزه در صنعت حفاری مورد استفاده قرار می‌گیرد [۳۷]. کنترل مواد جامد مهم‌ترین فاکتور در مدیریت پسماند می‌باشد. مهم‌ترین مزایای کنترل مواد جامد شامل کاهش میزان دورریزی و رقیق کردن، کاهش میزان تصفیه شیمیایی، کاهش حجم پسماندی که باید تصفیه شود و کاهش هزینه مدیریت پسماند می‌باشد [۳۷]. روش‌هایی که برای کنترل مواد جامد استفاده می‌شود شامل [۳۸]:

۱) رسوب کردن ۲) الک‌های لرزان ۳) هیدروسیکلون‌ها ۴) سانتریفیوژها ۵) تصفیه کننده گل.

شکل۲) شکل ۱ الک‌های لرزان شکل ۲ هیدروسیکلون [۳۲].

تخلیه در گودال‌های پسماند[۱۲]:

در حین عملیات حفاری، خرده‌های جدا شده به وسیله الک‌های لرزان به یک گودال به نام گودال ذخیره پسماند فرستاده می‌شود که نزدیک سکوی حفاری قرار دارد. برای گودال‌های پسآب‌های حاوی مواد روغنی یک لایه آستری در کف و دیواره‌های گودال برای جلوگیری از ورود آب‌های سطحی یا زیرزمینی استفاده می‌شود. همچنین در پایان کار حفاری، تمام مواد هیدروکربن شناور در سطح گودال می‌بایست بازیابی شده و هرگونه آب آزاد یا سیالات دیگر جمع آوری و معمولاً در یک چاه تزریق و یا فضاهای بسته زیرزمینی دفع شوند [۳۹].

کنده‌های باقیمانده با استفاده از خاک‌های همان منطقه پوشش داده می‌شوند. سطح محیط پوشش داده شده به جهت جلوگیری از جمع شدن آب هموارسازی[۱۳]می‌شود و برای جلوگیری از فرسایش خاک و بازیافت کامل اکوسیستم منطقه، گیاهان سازگار با آب و هوای منطقه بر روی آن کشت می‌شود. مخازن ذخیره باید پس از طی مراحل کلی در منطقه در سریع‌ترین زمان ممکن بسته شوند. هزینه‌های مربوط به یک چنین روش دفعی به حجم خاک موردنیازی که می‌بایست به جهت پایین آوردن غلظت گریس و گازوئیل و رساندن آن به حد مجاز مورد استفاده قرار گیرد، گودبرداری، بارگیری و حمل خاک و کنده‌ها بستگی دارد [۴۰].

[12] Waste Pit

[13] **Landleveling**

تصفیه بیولوژیکی:

فرآیندهای تصفیه بیولوژیکی می‌توانند برای تصفیه پسآب‌های نفتی استفاده شوند. فرآیندهای بیولوژیکی نمی‌توانند جامدات محلول را حذف کنند ولی فرم شیمیایی آن را تغییر می‌دهند. تصفیه بیولوژیکی می‌تواند برای حذف مقادیر کم هیدروکربن‌های محلول از جریان‌های پساب استفاده شود. تصفیه بیولوژیکی از اختلاط اکسیژن و مواد مغذی با آب در یک مخزن تشکیل شده و سپس باکتری‌ها ترکیبات آلی را تجزیه می‌کنند [۴۱].

بایو رمدیشن[۱۴]:

این فرآیند یک سیستم تصفیه بیولوژیکی است که با استفاده از میکروارگانیسم‌ها مانند باکتری‌ها و کپک‌ها به صورت بیولوژیکی ضایعات آغشته به هیدروکربن را به پسماندهای غیرآلوده تبدیل می‌کند. هدف از بهسازی تسریع در روند پوسیدگی ضایعات با استفاده از عوامل طبیعی مانند حرارت و رطوبت می‌باشد. پایه و اساس آن بر توانایی میکروارگانیسم‌ها در تجزیه پسآب‌های هیدروکربنی، پلیمرهای نشاسته، CMC و غیره به محصولات غیر رسمی مثل بیوماس، CO_2 و H_2O می‌باشد به نحوی که هیچ خطری برای انسان و اکوسیستم ایجاد نشود. از مزایای این فرآیند اثرات زیست محیطی کمتر و تبدیل پسماند به محصولاتی با سمیت کمتر می‌باشد. ترکیبات زائد با این روش در مقایسه با روش‌های دیگر بسیار مؤثر و کم هزینه‌تر می‌باشد [۴۲].

بعضی اوقات، تصفیه زیستی به عنوان تصفیه موقتی یا مرحله دفن، استفاده می‌شود که کل سطح آلودگی هیدروکربن را پیش از تصفیه نهایی کاهش می‌دهد. تصفیه زیستی می‌تواند مواد خشک‌تر و پایدارتر برای دفن به وجود آورد. تصفیه زیستی ممکن است به‌طور مساعد یک فرآیند کند باشد و نیاز به ماه‌ها و یا سال‌ها جهت دستیابی به نتایج مطلوب داشته باشد. جدول ۴ برخی از پارامترهای کلی موردنیاز جهت یک فرآیند تجزیه بیولوژیک را نشان می‌دهد [۴۳].

جدول ۳) برخی از پارامترهای مورد نیاز جهت یک فرآیند تجزیه بیولوژیک [۳۶].

پارامترهای ورودی	منبع تامین	توضیحات
مواد غذایی (نیتروژن و فسفر)	کودها و محصولات حاصل از بیورمدیشن	حلالیت پایین به منظور جلوگیری از عمل نیتریفیکاسیون
اکسیدآن‌ها (هوا / اکسیژن)	هوای فشرده، اکسیژن، H_2O_2	
نیترات	کودهای تجاری	زیاد بودن بیش از اندازه ممکن است باعث نیتریفیکاسیون گردد

سیستم تخلیه صفر[۱۵]:

به لحاظ جلوگیری از صدمات وارد شده به محیط زیست، این سیستم تصفیه شناخته شد، در این سیستم تمامی خروجی‌های آن قابل بازگشت به سیستم حفاری و یا محیط زیست است. در این سیستم گل خروجی از چاه ابتدا وارد سیستمی مشابه سیستم کنترل مواد جامد شده و گل تصفیه شده وارد مخازن می‌شود [۴۴]. اجسام جامد باقیمانده نیز مجدداً وارد یک دستگاه سانتریفوژ شده و آخرین مقادیر گل حفاری نیز از آن جدا می‌شود. مواد جامد باقیمانده نیز در حوضچه‌ای تحت عنوان حوضچه کورال تخلیه می‌شوند. مرحله بعد فرآیند پایدارسازی و تثبیت پسماندها می‌باشد که شامل اختلاط پسماندهای حفاری با یک ماده سیمانی (مانند گرد کوره، سیمان پرتلند یا سیلیکا) و خشک شدن مخلوط است. فعل و انفعال شیمیایی منجر به تبدیل مصالح پسماند به یک پودر پایدار می‌شوند. جامدات بهبود یافته می‌تواند در یک لندفیل دفع شوند یا اینکه به عنوان جایگزینی برای مصالح ساختمانی مورد استفاده قرار گیرند [۴۵].

تصفیه پسماند با عملیات حرارتی[۱۶]:

در شرایطی که قصد دستیابی به بیشترین درصد بازیافت و تفکیک باشد از این روش استفاده می‌شود. در این روش تکنولوژی به کار گرفته بر پایه استفاده از حرارت بسیار بالا

[14] Bioremediation
[15] Zero Dischage
[16] Thermal Treatment

برای بازیافت و حذف مواد هیدروکربن و همچنین آب همراه پسماند است. برای از بین بردن مواد زائد ارگانیک و کاهش حجم و یا عوارض ناشی از مواد غیر ارگانیک در پسماند حفاری مانند فلزات و نمک‌ها و همچنین در زمان استفاده از گل‌های پایه روغنی این روش بازدهی بالایی دارد [۴۶].

استفاده از پساب حفاری برای تولید آجر:

امکان‌پذیری استفاده از پساب حفاری برای تولید آجر مانند آجر ساختمانی در تحقیقی در کشور تایوان مورد ارزیابی قرار گرفت. در این تحقیق برای ساخت آجر، ۱۷ تا ۱۰۰ درصد پساب حفاری را بسته به میزان مواد آلی موجود در آن می‌توان به کار برد. هرچه قدر میزان مواد آلی در پساب حفاری کمتر باشد، قابلیت استفاده مجدد افزایش می‌یابد [۴۷].

استفاده در جاده‌سازی:

یکی از موارد استفاده از کنده‌های حفاری، بکارگیری آن‌ها در تثبیت سطوحی مانند جاده‌ها یا بتن آرمه‌های مکان حفاری است که در معرض سائیدگی و فرسایش هستند. کنده‌های حاصل از گل‌های روغنی می‌توانند همچون قیرهای سطح جاده‌ها عمل کنند [۴۸].

استفاده از کنده‌های حفاری به عنوان سوخت:

در مطالعات متعددی از کنده‌های روغنی به عنوان سوخت نیروگاه استفاده شده است .کنده‌ها با یک میزان کمی زغال سنگ مخلوط زغال سنگ تنها حاصل می‌شد. خاکستر به وجود آمده به مقدار زیادی شبیه خاکستری بود که فقط از سوختن زغال سنگ حاصل می‌شود [۴۹].

استفاده از مواد مازاد حفاری در تولید سیمان:

طبق مطالعات انجام گرفته می‌توان از گل حفاری مازاد برای تولید سیمان استفاده کرد. فرآیند تبدیل گل حفاری به سیمان با محیط زیست سازگار بوده و سیمان حاصل از لحاظ کارایی قابل قبول گزارش شده است. در واقع گل حفاری جایگزین آهک و رس مورد نیاز برای تولید سیمان می‌شوند و می‌توان از آن‌ها استفاده کرد [۵۰].

نمونه‌هایی از تجهیزات صنعتی در زمینه مدیریت پسماند حفاری:

ابزار تصفیه لجن‌های نفتی[17]:

این ابزار برای تصفیه و شستشوی لجن‌های نفتی (ترکیب نفت و اسید) از مواد شیمیایی با حرارت تا دمای ۶۰-۷۰ درجه سانتی گراد استفاده می‌کند. پس از شستشو، لجن به سمت مخزن کنترل جامدات پمپ می‌شود تا به نفت، آب و جامدات جداسازی شود. آب بازیافتی را می‌توان در فرآیند شست‌وشو مجدداً استفاده کرد و نفت حاصله آنقدر تمیز است که می‌توان آن را به شرکت پالایشگاه مد نظر فروخت. مواد جامد حاصل نیز در ساختار خود بین ۲ تا ۵ درصد نفت داشته که می‌توان آن را برای دفع نهایی به واحد حرارتی ارسال کرد [۵۱].

شکل۳) ابزار تصفیه لجن‌های نفتی [۵۲].

ابزار خشک کننده عمودی کنده‌های حفاری[18]:

این ابزار از نیروی گریز از مرکز برای خشک کردن جامدات حفاری شده در نفت یا مایعات پایه مصنوعی استفاده می‌کند. در این ابزار کاسه‌ای فولادی و ضد زنگ جامدات مرطوب را به دام می‌اندازد و با نیروی ۴۲۰ گیپس و تا ۹۰۰ دور در دقیقه آن‌ها را به گردش در می‌آورد [۵۳].

[17] **Oil Sludge Treatment Equipment**

[18] VERTICAL CUTTINGS DRYER

شکل ۴) ابزار خشک‌کننده عمودی کنده‌های حفاری [۵۲].

واحد جداسازی آب از گل[19]:

واحد آبگیری گل و لای حفاری یک فرآیند پیکربندی شیمیایی، برای حذف جامدات ریز کمتر از ۵ میکرون از گل حفاری پایه آبی ارائه می‌دهد. همان‌طور که شناخته شده است تجهیزات کنترل جامدات سنتی مانند الک لزران، شن‌زداها و سانتریفیوژها، مواد جامد بالای ۵ میکرون را حذف می‌کند و علاوه بر آن برای حفظ خواص گل حفاری، اپراتورها باید مایعات حفاری را با آب رقیق کنند که این باعث مصرف آب و زباله‌های حفاری بیشتری می‌شود. پس بسیار سودمند است که از این ابزار استفاده شود [۵۴].

شکل ۵) واحد جداسازی آب از گل [۵۲].

مطالعه موردی از مدیریت پسماند حفاری در میدان آزادگان:

مقدمه:

در راستای تحقق اهداف شرکت ملی نفت ایران مبنی بر کاهش سطح آسیب‌ها و آلودگی‌های ناشی از عملیات حفاری چاه‌ها، دستگاه‌های حفاری به سیستم کنترل پسماند سیال حفاری مجهز گردیدند. در این بین کارفرمایان نیز با توجه به اهمیت موضوع محیط زیست جهت اجرای عملیات حفاری چاه، نیاز خود به سیستم کنترل پسماند را اعلام داشتند. در ادامه گزارش فنی، تحلیلی مدیریت پسماند حفاری شرکت ملی حفاری ایران در میدان آزادگان ارائه گردیده است [۵۵، ۵۶].

شرح فرآیند تثبیت[20]:

کنده‌های سازند جداسازی شده از سیال به‌وسیله الک‌های لرزان ممکن است هنوز با مقدار زیادی گل پوشیده شده باشند که برای استفاده‌ی بعدی یا دفع مناسب نباشند و یا اینکه حمل و نقل یا کار بر روی آن‌ها سخت باشد. اجزاء سازنده کنده‌ها یا سیال پوشاننده آن‌ها (گازوئیل، فلزات) ممکن است از درون آن خارج شود و آن را برای استفاده در زمین‌ها یا دفع، نامناسب سازد [۵۷]. مواد متعددی ممکن است برای تثبیت و جامدسازی کنده‌های گل به آن‌ها اضافه شود. اصولا جامدسازی شامل روش‌هایی است که طی آن پسماند به واحدهای جامد صلب با یکپارچگی بالا تبدیل می‌شود. این واحدها ممکن است به صورت ذرات پسماند ریز (کپسول ریز) یا یک قالب بزرگ یا ظروف حاوی پسماند (کپسول بزرگ) باشند. جامدسازی لزوماً شامل یک واکنش شیمیایی بین پسماند و مواد جامدساز نمی‌باشد بلکه ممکن است به‌طور مکانیکی پسماند را به صورت واحدهای یکپارچه درآورد. در نتیجهٔ این مرحله، تراوش آلودگی با کاهش سطح به حجم و یا با قرار دادن پسماندها در درون کپسول‌های نفوذ ناپذیر محدود می‌شود. تثبیت شامل روش‌هایی است که پتانسیل خطر پسماند را به‌وسیله تبدیل ناخالصی‌ها به شکلی

[19] **Mud Dewatering Unit**
[20] Fixation

با کمترین سمیت، قابلیت حرکت و قابلیت انحلال کاهش می‌دهد. طبیعت فیزیکی و خواص کارکردی پسماند لزوماً با جامدسازی تغییر نمی‌کند [۵۵، ۵۶].

گودال ته نشینی پسماند:

این حوضچه سیمانی که دارای یک سطح شیب‌دار[21]جهت ورود وخروج ماشین آلات می‌باشد، در این پروژه ظرفیتی معادل ۷۵۰ مترمکعب داشته است. در طول عملیات، کلیه آب‌های سطحی ناشی از فعالیت دستگاه‌ها از طریق جوی‌ها پس از عبور از تله نفتی[22] به سمت این حوضچه هدایت می‌شوند [۵۵، ۵۶].

شکل ۶) نمایی از گودال ته نشینی که جهت کنترل آب‌های مورد استفاده در دکل به کار برده می‌شود [۵۶].

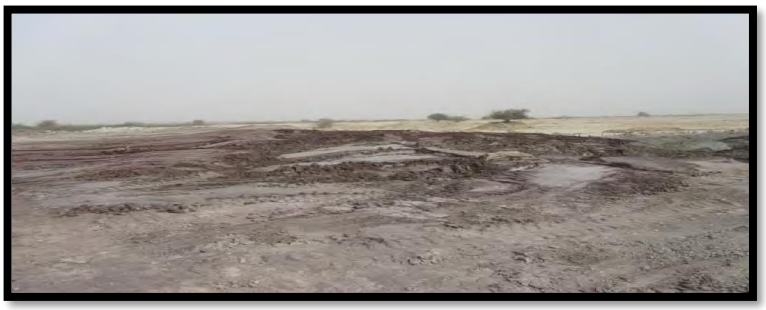
کورال[23]:

این محوطه محصور که در این پروژه از دال‌های بتنی پیش ساخته احداث گردید با حجم تئوریک ۳۵۰ مترمکعب تمامی کنده‌های حفاری و جامدات ناشی از فعالیت دستگاه‌های دیواترینگ را در خود جای داد. در طول مدت حفاری چاه این محوطه به‌طور مستمر تخلیه و فضا جهت کنده‌های بیشتر مهیا می‌شد [۵۷].

شکل ۷) نمایی از محوطه کورال که جهت محصور نمودن کنده‌های حفاری ناشی از تجهیزات کنترل جامدات طراحی شده است[۵۶].

محل دفع[24]:

جهت دفن کنده‌های تثبیت شده از گودال‌های مربوط به یکی از چاه‌های قبلی استفاده گردید. این محل دفن در فاصله ۴۰ کیلومتری از محل اجرای عملیات حفاری قرار داشت [۵۶].



شکل ۸) نمایی از محل دفع که محل نهایی دفع کنده‌های حفاری بعد از اتمام عملیات تثبیت است [۵۶].

محل فرآورش[25]:

عملیات تثبیت کنده‌ها توسط مواد شیمیایی و بارگیری آن‌ها توسط ماشین‌آلات مربوطه صورت گرفت. این محوطه بنا به شرایط موجود در دستگاه و حجم کار تغییر یافت و فضای مناسب تری ایجاد شد [۵۵].

[21] Ramp
[22] Oil Trap
[23] Corral
[24] Disposal Area
[25] Treatment Area

شکل ۹) نمایی از محل فرآورش که جهت استفاده در نگهداری موقتی کنده‌ها جهت انجام تست استفاده می‌شود [۵۶].

سیستم جداسازی آب[۲۶] و درمان وتصفیه آب:

سیستم جداسازی آب در این پروژه نیز مانند سایر دستگاه‌ها از روش ترکیب شیمیایی و کلوخه کردن جامدات بهره می‌گیرد. در این پروژه سعی شد که از حداقل مواد حداکثر بهره را برد که در این راه استفاده از دستگاه سانتریفیوژ قبل از دی واتر کردن مورد استفاده قرار گرفت (جهت کاهش وزن سیال به حداقل). آب خروجی از این دستگاه، کاملاً قابل استفاده در هر دو مورد ساخت سیال و همچنین شست‌وشوی دستگاه‌ها بود که استفاده گردید [۵۵].

شکل ۱۰) واحد تصفیه آب و سیالات سبک وزن جهت استفاده مجدد [۵۶].

آزمایشات و داده‌ها:

عموماً با توجه به سیال مورد استفاده در هر حفره عملیات تثبیت و پایدارسازی پسماندهای حفاری انجام می‌شود.

معمولاً با توجه به شرایط زمین شناسی مخازن هیدروکربوری ایران از دو نوع سیال حفاری ویژه که سیالات پایه آبی و سیالات پایه نفتی هستند، استفاده می‌شود. سیالات پایه آبی که پایه آن‌ها آب بوده و عموماً از مواد شیمیایی دیگر جهت ایجاد وزن و خواص رئولوژی مورد نظر در آن استفاده می‌شود. که بسا بسیاری از مواد موجود در این سیال بعد از استفاده و رهاسازی در محیط بسیار خطرناک بوده و آثار مخرب ناشی از آن بعضاً باعث از پای در آوردن احشام و موجودات زنده و حتی جلوگیری کردن از رشد گیاهان می‌شود. سیالات پایه نفتی که اساس آن‌ها نفت بوده و با مواد خاص دیگری برای جهت دادن خواص رئولوژی مناسب به آن افزوده می‌شود. این نوع سیال هم بعد از استفاده و رهاسازی در محیط بسیار خطرناک بوده به نحوی که آثار ناشی از وجود آن در محیط ممکن است سال‌ها باعث آسیب به محیط‌زیست و حتی رسوخ در لایه‌های زمین و ورود به سفره آب‌های کم عمق زمین گردد. در این راستا با استفاده از داده‌های فرآیند انجام عملیات تثبیت و پایدارسازی کنده‌های حفاری که در چاهی در منطقه تالاب بین‌المللی آزادگان عملی شد قادر شدیم تا حدود صددرصد از آثار مخرب سوء زیست‌محیطی این سیالات به محیط جلوگیری به عمل آوریم [۵۵-۵۷].

نتیجه‌گیری:

چاه‌های نفت و گاز زیادی در جهان در چند دهه اخیر مورد حفاری قرار گرفته‌اند. در طول فرآیند حفاری، سالانه میلیون‌ها بشکه از پسماندهای حفاری تولید می‌شود که این پسماندها عمدتاً شامل سیالات حفاری مورد استفاده قرار گرفته و نیز کنده‌های حفاری تولید شده به وسیله مته از چاه می‌باشد. عملیات حفاری یک چاه نفت از ابتدا تا انتها، اثرات متعددی را بر روی محیط اطراف که همانا محیط زیست می‌باشد، خواهد گذاشت. حفر گودال‌های زمینی در کنار دستگاه‌های حفاری، جهت دفع مواد زائد، پساب و کنده‌های حفاری، نفوذ سیال حفاری به درون سازند در حین عملیات حفاری، دفع پساب و کنده‌ها به درون آب دریا و چند نمونه دیگر از مواردی هستند که باعث آلودگی منابع آب و محیط

[26] De Water

زیست می‌شوند. یکی از مهم‌ترین راهکارها در جهت کاهش اثرات منفی وجود پسماندها، مدیریت پسماندهاست. این بدان معنی است که باید راه‌هایی را برگزید تا حداقل حجم پسماند را تولید نماید که این امر با مطالعه و بازبینی دقیق بر روی مواد به کار رفته، فرآیند تولید و تجهیزات مورد استفاده امکان‌پذیر می‌باشد.

از فاکتورهای موثر جهت کاهش آلودگی‌ها می‌توان به نحوه دفع و از بین‌بردن پسماندها اشاره کرد که اگر با روش‌های کارامد و درست همچون تصفیه بیولوژیکی و روش‌های حرارتی و غیره مدیریت شود می‌تواند اثر بخش‌تر باشد. در پایان می‌توان گفت که اعمال روش‌های مدیریتی مفید و کارا در جهت کاهش اثرات منفی و مخرب پسماندهای ناشی از چاه‌های نفت و گاز و لزوم توجه به مدیریت پسماند در قراردادهای حفاری می‌تواند از طرفی سبب صرفه‌جویی‌های اقتصادی شده و از سوی دیگر، باعث به وجود آمدن محیطی پاک و سالم برای انسان‌ها شود.

اصولی که جهت مدیریت صحیح و درست پسماند می‌توانند بسیار کارامد و مفید واقع شوند:

۱) در نظر گرفتن یک برنامه مدیریتی مناسب ۲) بررسی منطقه از جهات مختلف ۳) بررسی پسماند مورد نظر از جهات مختلف ۴) تجزیه و تحلیل شرایط به صورت پیوسته ۵) دسته-بندی مناسب پسماندها، ارزیابی نحوه مدیریت اتخاذ شده و روش‌هایی که جهت از بین بردن مواد باقیمانده در نظر گرفتیم ۶) تلاش جهت کاهش پسماند ۷) انتخاب بهترین و بهینه‌ترین روش مدیریت پسماند ۸) به کارگیری روش مدیریتی در یک منطقه خاص ۹) بازنگری مرتب برنامه و به روزرسانی.

منابع

[1]. Ismail, A.R., Alias, A. H., Sulaiman, W. R. W., Jaafar, M. Z., & Ismail, I., 2017. Drilling fluid waste management in drilling for oil and gas wells. Chemical Engineering Transactions, VOL. 56, pp. 1351-1356.

[2]. Agwa, Ahmad, Rehan Sadiq, and Heba Leheta. Offshore Drilling Waste Discharge: Egyptian Environmental Regulations. Abu Dhabi International Petroleum Conference and Exhibition. OnePetro, Abu Dhabi, UAE, November 2012.

[3]. Tadini, M., 2010. Waste management of drilling operations in oil and gas fields. Scientific Monthly of Oil and Gas Exploration and Production, No. 72, pp. 65-69 (In Persian).

[4]. Sil, A., Wakadikar, K., Kumar, S., Babu, S. S., Sivagami, S. P. M., Tandon, S., & Hettiaratchi, P., 2012. Toxicity characteristics of drilling mud and its effect on aquatic fish populations. Journal of Hazardous, Toxic, and Radioactive Waste, VOL. 16.1.pp. 51-57.

[5]. Hojjati Seyed M. H., Hajati Seyed I., 2016. Drilling waste management in the National Company of Oilfields of Southern Iran, the 3rd International Conference on New Research in Management, Economics and Humanities (In Persian).

[6]. Ebrahim Fathabadi, H., 2011. Ten Basic Steps in Waste Management in Oil and Gas Exploration and Production Processes. Scientific Journal of Oil and Gas Exploration and Production, No. 80, pp. 32-34 (In Persian).

[7]. Broni-Bediako, E., and R. Amorin., 2010. Effects of drilling fluid exposure to oil and gas workers presented with major areas of exposure and exposure indicators. Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology, VOL. 2.8 .pp. 710-719.

[8]. Onwukwe, S. I., and M. S. Nwakaudu., 2012. Drilling wastes generation and management approach. International Journal of Environmental Science and Development, VOL. 3.3.

[9]. Hossain, M. E., Al-Majed, A., Adebayo, A. R., Apaleke, A. S., & Rahman, S. M., 2017. A CRITICAL REVIEW OF DRILLING WASTE MANAGEMENT TOWARDS SUSTAINABLE SOLUTIONS. Environmental Engineering & Management Journal, (EEMJ). Vol. 16.7.

[10]. Melton, H. R., Smith, J. P., Mairs, H. L., Bernier, R. F., Garland, E., Glickman, A. H., ... & Campbell, J. A. Environmental aspects of the use and disposal of non aqueous drilling fluids associated with offshore oil & gas operations. SPE International Conference on Health, Safety, and Environment in Oil and Gas Exploration and Production. OnePetro, 2004.

[11]. Phillips, L., Morris, A., Innes, G., Clark, A., & Hinden, P. M. Drilling Waste Management–Solutions that Optimise Drilling, Reduce Well Cost and Improve Environmental Performance. Abu Dhabi International Petroleum Exhibition & Conference. OnePetro, UAE, November 2018.

[12]. Allesch, Astrid, and Paul H. Brunner., 2014. Assessment methods for solid waste management: A literature review. Waste Management & Research, Vol. 32 (6). pp. 461-473.

[13]. Ballard, G., & Tommelein, I., 2012. Lean management methods for complex projects. Engineering Project Organization Journal, VOL. 2.1-2 .pp. 85-96.

[14]. Jensen, B., Paulsen, J. E., Saasen, A., Prebensen, O. I., & Balzer, H., 2004. Application of water based drilling fluid-total fluid management. IADC/SPE Drilling Conference. OnePetro.

[15]. Ball, A. S., Stewart, R. J., & Schliephake, K., 2012. A review of the current options for the treatment and safe disposal of drill cuttings. Waste Management & Research, VOL. 30.5 .pp. 457-473.

[16]. Ferrari, G., F. Cecconi, and L. Xiao. Drilling Wastes Treatment and Management Practices for Reducing Impact on HSE: ENI/Agip Experiences. International Oil and Gas Conference and Exhibition in China. OnePetro, Beijing, China, November 2000.

[17]. Wojtanowicz, A. K., 2008. Oilfield waste disposal control. Environmental Technology in the Oil Industry. Springer, Dordrecht, pp. 123-154.

[18]. Coussot, Philippe, F. Bertrand, and B. Herzhaft., 2004. Rheological behavior of drilling muds, characterization using MRI visualization. Oil & gas science and technology, VOL. 59.1 .pp. 23-29.

[19]. Mohammadian, Rohollah., 2020. Check Drilling Mud Tasks. International Journal of Advanced Studies in Humanities and Social Science, VOL. 9.4 .pp. 291-302.

[20]. Apaleke, Adeleye Sanmi, Abdulaziz Al-Majed, and M. Enamul Hossain. Drilling fluid: state of the art and future trend. North Africa technical conference and exhibition. OnePetro, Cairo, Egypt, February 2012.

[21]. Chenevert, M. E., and J. T. Dewan., 2001. A model for filtration of water-base mud during drilling: determination of mudcake parameters. Petrophysics-The SPWLA Journal of Formation Evaluation and Reservoir Description, VOL. 42.03.

[22]. Dobrokhleb, P., Kozyrev, A., Mishin, A., Voitenko, D., Kireev, V., & Krepostnov, D. New Technologies for Effective Recycling of Oil Based Mud. Experience of Prirazlomnoye Field. SPE Russian Petroleum Technology Conference. OnePetro, Moscow, Russia, October 2017.

[23]. Hadibeik, H., Proett, M., Torres-Verdín, C., Sepehrnoori, K., & Angeles, R., 2014. Sampling with new focused, oval, and conventional probe-type formation-tester in the presence of water-and oil-base mud-filtrate invasion for vertical and high-angle wells. Journal of Petroleum Science and Engineering, Vol. 118 .pp. 114-125.

[24]. Pan, D., Vipulanandan, C., Amani, N., Reddy, S. A., & Chockalingam, C. G. Effects of nanoclay on the rheological properties and resistivity of synthetic based drilling fluids under high temperature. Offshore technology conference. OnePetro, Texas, USA, April 2018.

[25]. Herman, D., and D. J. Roberts., 2005. A marine anaerobic biodegradation test applied to the biodegradation of synthetic drilling mud base fluids. Soil & Sediment Contamination, VOL. 14.5 .pp. 433-447.

[26]. Dashtian, H., Bakhshian, S., Paiaman, A. M., & Al-Anazi, B. D. A review on impacts of drilling mud disposal on environment and underground water resources in south of Iran. Middle East Drilling Technology Conference & Exhibition. OnePetro, Manama, Bahrain, October 2009.

[27]. Ning, F., Zhang, K., Wu, N., Zhang, L., Li, G., Jiang, G., & Qin, Y., 2013. Invasion of drilling mud into gas-hydrate-bearing sediments. Part I: effect of drilling mud properties. Geophysical journal international, VOL. 193.3 .pp. 1370-1384.

[28]. Burke, C. J., and J. A. Veil., 1995. Potential environmental benefits from regulatory consideration of synthetic drilling muds. No. ANL--EAD/TM-43. Argonne National Lab.

[29]. Siddique, S., Kwoffie, L., Addae-Afoakwa, K., Yates, K., & Njuguna, J., 2017. Oil based drilling fluid waste: an overview on environmentally persistent pollutants. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. Vol. 195. No. 1. IOP Publishing.

[30]. Galitskova, Y. M., 2019. Use of Drilling Muds. ENVIRONMENT. TECHNOLOGIES. RESOURCES. Proceedings of the International Scientific and Practical Conference. Vol. 1.

[31]. Friese, A., Kallmeyer, J., Axel Kitte, J., Montaño Martínez, I., Bijaksana, S., Wagner, D., & ICDP Lake Chalco Drilling Science Team and the ICDP Towuti Drilling Science Team., 2017. A simple and inexpensive technique for assessing contamination during drilling operations. Limnology and Oceanography: Methods, VOL. 15.2 .pp. 200-211.

[32]. Guo, Q., & Abou-Sayed, A. S. Worldwide drill cuttings injection permitting requirements and guidelines. SPE/EPA/DOE Exploration and Production Environmental Conference. OnePetro, San Antonio, Texas, March 2003.

[33]. Guo, Q., Geehan, T., & Ovalle, A. P., 2007. Increased Assurance of Drill Cuttings Re-Injection-Challenges, Recent Advances and Case Studies. SPE Drilling & Completion, VOL. 22.02 .pp. 99-105.

[34]. Gbadebo, A., A. Taiwo, and U. Eghele., 2010. Environmental impacts of drilling mud and cutting wastes from the Igbokoda onshore oil wells, Southwestern Nigeria. Indian Journal of Science and Technology, VOL. 3.5 .pp. 504-510.

[35]. Petrusak, R. L., Freeman, B. D., & Smith, G. E. Baseline characterization of US exploration and production wastes and waste management. SPE Annual Technical Conference and Exhibition. OnePetro, Texas, October 2000.

[36]. Golestani Far H, Beheshti A., 1397. Waste management methods in drilling operations of oil and

gas wells, Scientific Monthly of Oil and Gas Exploration and Production, No. 161, pp. 81-87, (In Persian).
[37]. Seyedmohammadi, J., 2017. The effects of drilling fluids and environment protection from pollutants using some models. Modeling Earth Systems and Environment, VOL. 3.1 .pp. 23.
[38]. Neff, J. M., and Environmental Composition., 2005. Fates, and Biological Effects of Water Based Drilling Muds and Cuttings Discharged to the Marine Environment. Prepared for Petroleum Environmental Research Forum and American Petroleum Institute.
[39]. Razmgir, S. M., Afsari, M., & Amani, M., 2011. Drilling Waste Management: A Case Study of the Drilling Waste Management and Environmental Control in one of the Iranian Offshore Fields. SPE Middle East Unconventional Gas Conference and Exhibition. OnePetro.
[40]. Ma, J., Yang, Y., Dai, X., Chen, Y., Deng, H., Zhou, H., & Yan, G., 2016. Effects of adding bulking agent, inorganic nutrient and microbial inocula on biopile treatment for oil-field drilling waste. Chemosphere, VOL. 150 .pp. 17-23.
[41]. Zhang, A., Li, M., Lv, P., Zhu, X., Zhao, L., & Zhang, X., 2016. Disposal and reuse of drilling solid waste from a massive gas field. Procedia Environmental Sciences, VOL. 31 .pp. 577-581.
[42]. Lesto, A., and P. Kusumo. Online Bioremediation for Wastesolid and Wastewater at Drilling Waste Management. SPE/IATMI Asia Pacific Oil & Gas Conference and Exhibition. OnePetro, Nusa Dua, Bali, Indonesia, October 2015.
[43]. Leung, M., 2004. Bioremediation: techniques for cleaning up a mess. BioTeach Journal, VOL. 2 .pp. 18-22.
[44]. Loh, S. K., Lai, M. E., Ngatiman, M., Lim, W. S., Choo, Y. M., Zhang, Z., & Salimon, J., 2013. Zero discharge treatment technology of palm oil mill effluent. Journal of Oil Palm Research, VOL. 25.3 .pp. 273-281.
[45]. Pond, R, and Pierre-Marie Hinden. Processing and Recycling Drill Cuttings at Source-Technology and Services Adhering to Zero Discharge Legislation. Abu Dhabi International Petroleum Exhibition & Conference. OnePetro, Abu Dhabi, UAE, November 2017.
[46]. KHODJA, M., Canselier, J. P., Dali, C., Hafid, S., & Ouahab, R., 2007. A diagnostic of the treatment of oil well drilling waste in Algerian fields. Récens Progrèss en Génie des Procédés, VOL. 94 .pp. 1-11.
[47]. Datta, P., Mohi, G. K., & Chander, J., 2018. Qt4-25 Foam Concrete Hollow Brick Block Machine with Cheap Price. Journal of Laboratory Physicians, VOL. 10.1 .pp. 6.
[48]. Tuncan, A., Tuncan, M., & Koyuncu, H., 2000. Use of petroleum-contaminated drilling wastes as sub-base material for road construction. Waste management & research, VOL. 18.5 .pp. 489-505.
[49]. Johnson, D. R., Heltzel, R., Nix, A. C., Clark, N., & Darzi, M., 2017. Greenhouse gas emissions and fuel efficiency of in-use high horsepower diesel, dual fuel, and natural gas engines for unconventional well development. Applied energy, VOL. 206 .pp. 739-750.
[50]. Nidheesh, P. V., & Kumar, M. S., 2019. An overview of environmental sustainability in cement and steel production. Journal of cleaner production, VOL. 231 .pp. 856-871.
[51]. Egazar'yants, S. V., Vinokurov, V. A., Vutolkina, A. V., Talanova, M. Y., Frolov, V. I., & Karakhanov, E. A., 2015. Oil sludge treatment processes. Chemistry and Technology of Fuels and Oils, VOL. 51.5 .pp. 506-515.
[52]. http://www.gnsolidscontrol.com. America in Houston, Texas, USA.
[53]. Rajaram, M., Lang, C. M., Elliott, T., Lochhead, I., Patel, M., & Sawant, V. Improving the Utilization of Vertical Cuttings Dryer (VCD) Units to Process Hazardous Drilling Waste, in Rajasthan, India. SPE Oil & Gas India Conference and Exhibition. OnePetro, Mumbai, India, November 2015.
[54]. Arslan, S., Ucbeyiay, H., Celikel, B., Baygul, M., Avcu, S., & Demir, G. K. ETI Aluminium red mud characteristics and evaluation of dewatering performance. BR2015—Bauxite Residue Valorisation and Best Practices Conference, Leuven., Turkey, 2015.
[55]. Ghanbarizadeh M., 2016. The importance of using waste management system in drilling wells in Azadegan oil field, the second national conference on Iranian oil engineering, (In Persian).
[56]. Molaei E, Honarvar B., 2012. Analysis of drilling fluid waste control process for environmental protection Drilling operations of oil and gas wells in Azadegan field, 6th National Conference and Specialized Exhibition of Environmental Engineering, (In Persian).
[57]. Rostami, R., Ebrahimabadi, A., & Bakhshandeh, M., 2017. Using Graphite Nanoparticles for Optimum Design of Water-Based Drilling Fluid (Case Study: Azadegan Oil Field). EurAsian Journal of BioSciences. VOL. 11.1 .pp. 16-21.