



# معرفی سامانه Zero Discharge جهت کاهش اثرات زیست محیطی پسماندهای حفاری

بهدی ارجمند، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران جنوب

محمدامین دانشقور، احمد ابراهیمی، حمید ایمان زاده فرد، شرکت توسعه پترو ایران

## چکیده

حفاری چاه‌های نفت و گاز به جهت پسماندهای تولید شده در اثر استفاده از مواد مختلف شیمیایی، با مشکلات زیست محیطی همراه است. عمده‌ترین پسماند تولید شده در این عملیات، سیال حفاری در حال گردش درون چاه و کنده‌های حفاری شده است که از حفاری در لایه‌های مختلف زمین تولید می‌شود. به دلیل مشکلات زیست محیطی ایجاد شده از جمله تأثیر بر سلامت انسان، اکوسیستم، گیاهان، جانوران و ...، مدیریت پسماند در صنعت حفاری از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. در این مقاله، سامانه Zero Discharge به عنوان یکی از روش‌های تصفیه پسماندهای ناشی از عملیات حفاری که از بهترین سامانه‌های تصفیه به‌شمار می‌رود، معرفی شده است. مزایای اقتصادی سامانه در کنار جداسازی مناسب در مراحل کنترل جامدات، آب‌زدایی و تثبیت، باعث گردیده مشکلات زیست محیطی ناشی از پسماندهای حفاری تا حد امکان کاهش یابد.

واژگان کلیدی: پسماند، گل حفاری، محیط زیست، Zero Discharge

## مقدمه

امروزه در مناطق مختلفی از کشور به منظور استخراج نفت و گاز، عملیات حفاری صورت می‌گیرد. مواد مختلفی در صنعت نفت و در طی مراحل مختلف از اکتشاف تا تولید مورد استفاده قرار می‌گیرند که برخی از آن‌ها خطرناک و سمی بوده و می‌توانند اثرات زیانباری از جنبه‌های مختلف داشته باشند. در مرحله حفاری یک چاه، جهت استخراج نفت یا گاز، گل حفاری، کنده‌ها، آب‌های پسماند و ... از عمده آلودگی‌هایی هستند که در این مرحله تولید شده و یقیناً تأثیرات خود را بر محیط زیست خواهند گذاشت. در بسیاری از مناطق جهان، قوانین و مقرراتی برای جلوگیری از

آلودگی‌های محیط زیست وضع و حتی در برخی از مناطق، بسیاری از فعالیت‌هایی که منجر به تولید پسماند می‌شوند، ممنوع گردیده است. در صورتی که برنامه‌ریزی مناسب جهت تصفیه و یا حذف پسماندها و دور ریزهای حفاری که به محیط زیست تخلیه می‌شوند، صورت نپذیرد، این موضوع می‌تواند اثرات نامطلوبی به دنبال داشته باشد [۱]. امروزه توسعه روزافزون آگاهی عمومی درباره محیط زیست در حفاری چاه‌های نفت و گاز باعث توجه شرکت‌ها و خریداران مواد مختلف حفاری به این مهم شده است، به طوری که مسائل زیست محیطی نقش تعیین کننده‌ای را در انتخاب ترکیب و ساخت سیالات حفاری و همچنین استفاده از تکنولوژی‌های جدید

برای دفع این مواد و به حداقل رساندن آلودگی، ایفا می‌کند [۲]. رشد و توسعه صنعت نفت مسائل و مشکلاتی نیز برای محیط زیست ایجاد می‌کند که لزوم پیاده‌سازی سیستم‌های مختلف در زمینه کاهش اثرات محیط زیستی را دو چندان می‌کند. این مقاله در بخش‌های مختلف به بررسی پسماندهای ناشی از عملیات حفاری، لزوم مدیریت پسماند حفاری، اثرات زیست محیطی ناشی از تولید پسماندهای حفاری، معرفی Zero Discharge به عنوان یکی از سیستم‌های مورد استفاده جهت تصفیه این پسماندها و مزایای اقتصادی و زیست محیطی این سیستم پرداخته است.

### ۱- پسماندهای ناشی از عملیات حفاری

در میداین مختلف نفتی به دلیل شرایط خاص زمین شناسی، از گل های حفاری (Drilling Muds) مختلف با ترکیبات شیمیایی متفاوت با توجه به شرایط عملیاتی استفاده می شود که اکثر این مواد، آلوده کننده محیط زیست هستند و به ناچار حین عملیات و پس از اتمام عملیات حفاری ممکن است به محیط اطراف، تخلیه و باعث آلودگی محیط زیست شوند [۳]، [۴].

به طور کلی در عملیات حفاری در صنعت نفت پسماند عمده تولید شده که منبع اصلی آلودگی محیط زیست است شامل موارد زیر می باشد:

#### ۱-۱- سیال حفاری در حال گردش درون چاه

این سیالات عبارتند از:

##### ۱-۱-۱- سیالات حفاری پایه آبی (WBF)<sup>۱</sup>

آب متداول ترین و عمده ترین سیالی است که به عنوان پایه برای گل حفاری به کار می رود. چون آب فاقد خصوصیات شیمیایی

و فیزیکی مورد نیاز برای همه نیازهای گل حفاری است، مواد افزودنی دیگری برای تغییر خصوصیات آن به کار گرفته می شود. سیال حفاری پایه آبی، یک سیال حفاری قراردادی است که در آن، آب، فاز پیوسته است و مواد جامد داخل آن دارای معلق بودن متوسط است، چه روغن حضور داشته باشد و چه حضور نداشته باشد. آب مورد استفاده نیز می تواند آب شیرین یا آب شور باشد. عموماً این سیالات شامل بیش از ۹۰ درصد آب هستند که مواد افزودنی از قبیل بنتونیت، باریت، رس ها، لیگنوسولفونات، لیگنیت، کاستیک سودا، مواد جامد سازند و مواد ویژه افزودنی به آن اضافه می شود. سیالات حفاری پایه آبی، بسته به عمق چاه، بین ۱۰ هزار تا ۳۰ هزار بشکه باطله برای هر چاه تولید می کنند.

##### ۱-۱-۲- سیال حفاری پایه روغنی (OBF)<sup>۲</sup>

سیال پایه روغنی دارای گازوئیل، نفت معدنی یا روغن های دیگر به عنوان فاز

پیوسته، به همراه آب به عنوان فاز پراکنده است. دیگر اجزای ترکیبی شامل باریت ها، رس ها، امولسی فایر، کلرید کلسیم، لیگنیت و مواد افزودنی دیگری هستند. در گل های حفاری با پایه نفتی، سیال متداول، گازوئیل است که دارای ویسکوزیته قابل توجه بوده و دارای حلالیت کم در سیستم حفاری است، با این وجود گازوئیل سمی بوده و اثرات مضر محیطی گل حفاری با پایه گازوئیل از گل حفاری با پایه آبی بیشتر است. حجم میانگین پسماند سیال پایه روغنی ۲ هزار تا ۸ هزار بشکه برای هر چاه تخمین زده می شود. در بسیاری از حالت های عملیات دریایی، این پسماند برای تخلیه در خشکی و یا چرخه مجدد، به ساحل انتقال داده می شود.

##### ۱-۱-۳- سیال حفاری پایه سنتزی (SBF)<sup>۳</sup>

سیالات پایه ترکیبی که به تازگی گسترش یافته اند، با همان کارایی سیالات روغنی ولی با اصلاحات در ترکیبات تجزیه ناپذیر و مواد سمی و آسیب رسان به محیط زیست توانسته اند کارنامه قابل قبولی در مقایسه با دیگر سیالات حفاری به دست آورند. ترکیب سیال سنتزی از هیدروکربن اشباع شده (غیر آروماتیک) با بیشتر کمپلکس های مولکولی از قبیل استات ها، تراها و استرها، درجه بندی می شود. سیالات پایه سنتزی به عنوان یک امولسیون که در آن، مایع سنتزی فاز پیوسته را شکل می دهد، در حالی که آب شور به عنوان فاز پراکنده مفید است، فرمول بندی می شود. سیستم های سیال پایه سنتزی احتیاج به حجم زیاد ندارد و در نتیجه، حجم سیال مورد استفاده کاهش می یابد [۵].

##### ۱-۲- کندهای حفاری شده

کندهای حفاری<sup>۴</sup> موادی هستند که در هنگام حفر چاه به وسیله سیالات حفاری به سطح آورده می شوند. کندهای حفاری عموماً از ذرات با دانسیته کم می باشد و علاوه بر ایجاد مشکلات زیست محیطی، عموماً اثر



شکل ۱ | جداسازی ذرات درشت در دستگاه الک لوزان



شکل ۲ | جداسازی توسط هیدروسکلون های لجن زدا و شن زدا



نامطلوبی بر خواص سیال حفاری می‌گذارد. دو مورد ذکر شده، منبع اصلی آلودگی محیط زیست می‌باشند که با توجه به نوع گل مورد استفاده در عملیات حفاری در طبقات فوقانی، میانی و تحتانی زمین می‌توانند منجر به آلودگی شوند. از دیگر پسماندهای عملیات حفاری که میزان آن نسبت به سیالات حفاری و کنده‌های حفاری کمتر است، می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

- سیمان اضافی دور ریز شده از عملیات سیمان کاری چاه
- سیالات مورد استفاده جهت جداسازی در عملیات مختلف
- سیالات دور ریز مختلف دیگر از قبیل آب مورد استفاده جهت شست و شوی تجهیزات [۶]
- عوامل متعددی در افزایش میزان حجم پسماند در حفاری یک چاه نفت یا گاز تأثیر گذار می‌باشد که مهمترین این عوامل عبارتند از:
- اندازه حفره چاه
- بازده تجهیزات مربوط به کنترل جامدات

■ توانایی سیال حفاری در نگهداشت و انتقال حجم بیشتر کنده‌های حفاری

■ توانایی سیال حفاری در جلوگیری از ته‌نشینی و پراکندگی کنده‌های حفاری شده

■ حجم سیال باقیمانده طی عملیات حفاری و گردش گل درون چاه در ذرات کنده شده [۷]

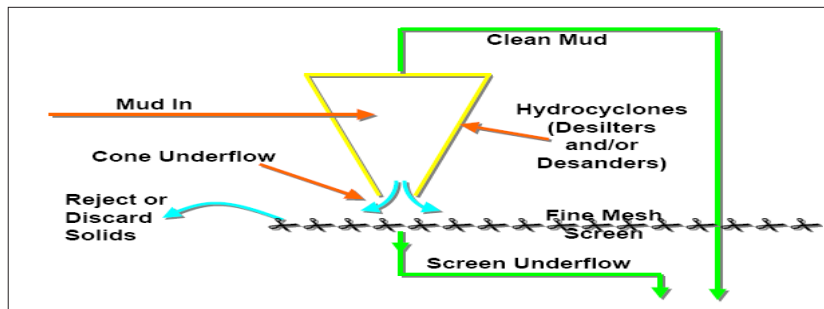
### ۲- لزوم مدیریت پسماند حفاری

کشور ما یکی از بزرگ‌ترین تولیدکنندگان نفت و گاز در جهان است و از این نظر، جایگاه ویژه‌ای را به خود اختصاص داده است. با وجود این که استخراج مواد نفتی نشانه‌ای از ثروت و قدرت اقتصادی کشورها محسوب می‌شود، در کنار این مزیت، می‌تواند آلودگی‌های زیست محیطی را نیز به همراه داشته باشد. توجه به پیامدهای زیست محیطی ناشی از عملیات حفاری، استخراج و بهره‌برداری از مخازن نفت و گاز و اندیشیدن تمهیدات لازم در زمینه آن‌ها، از اهمیتی خاص برخوردار است و اقداماتی ویژه را می‌طلبد. با توجه به اهمیت رعایت قوانین محلی و بین‌المللی

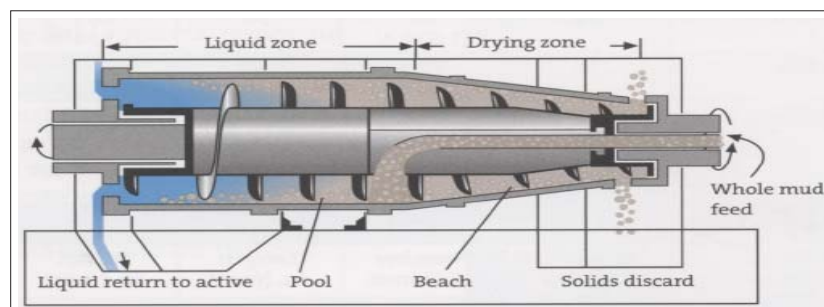
و استانداردهای زیست محیطی و همچنین، به منظور کاهش اثرات زیست محیطی ناشی از عملیات حفاری در خشکی و دریا، مدیریت پسماند حاصل از این فعالیت‌ها حائز اهمیت است. یکی از مهمترین عوامل در کاهش اثرات منفی زیست محیطی پسماندهای حفاری، مدیریت صحیح آنهاست، به گونه‌ای که برخی مواقع، هزینه‌های مورد نیاز در حذف آلودگی‌های یک پسماند و یا کنترل انتشار آلودگی آن، با اعمال مدیریتی صحیح و ابتکاری به میزان چشمگیری کاهش پیدا خواهد کرد [۱]. گل حفاری و پسماندهای ناشی از حفاری در صورتی که درست مدیریت نشوند، علاوه بر تحمیل هزینه‌های سنگین به صنعت نفت، می‌تواند به یکی از منابع آلودگی در محل حفاری تبدیل شوند. مدیریت پسماند حفاری عبارت است از یک مجموعه مقررات هماهنگ برای کنترل تولید، ذخیره، جمع‌آوری، حمل و نقل، فرآورش و دفع مواد زاید و پسمانده، منطبق بر بهترین اصول بهداشت عمومی، اقتصاد، حفاظت از منابع و سایر ملزومات زیست محیطی. در این مدیریت، چیزی ارزش دارد که منطبق بر چهار اصل تبدیل، بازیابی، کاهش و بازیافت<sup>۶</sup> بوده و در پایان عملیات حفاری، هیچ پسماندی از گل حفاری و کنده‌های حفاری در اطراف چاه باقی نماند [۸]. بررسی عملکرد صنعت نفت در سال‌های اخیر نشان از توجه بیش از پیش به قوانین و ملاحظات زیست محیطی با بهره‌گیری از تکنولوژی و تجهیزات جدید در به حداقل رساندن دور ریز مواد پسماند طی فرآیندهای مختلف را دارد که در این راستا، فناوری‌های مدیریت پسماند حفاری با در نظر داشتن ۳ فاکتور کلیدی در چارچوب اهداف زیست محیطی، اقتصادی و ملزومات عملیاتی در تمامی مراحل برنامه‌ریزی، اجرا و نتیجه‌گیری به کار گرفته می‌شود [۹].

### ۳- اثرات زیست محیطی پسماندهای حفاری

درصد قابل توجهی از اثرات زیست محیطی<sup>۷</sup>



شکل ۳ | پاک‌کننده گل



شکل ۴ | نحوه عملکرد دستگاه ساتریفوژ جهت جداسازی ذرات کلونیدی

پسماندهای حفاری ناشی از گل حفاری است. همه گل‌های حفاری به‌طور معمول دارای برخی ترکیبات ناخواسته هستند که این ترکیبات می‌توانند به محیط زیست آسیب رسانند. هیدروکربن‌ها، نمک و فلزات سنگین از جمله این ترکیبات هستند که غلظت آن‌ها در انواع گل به‌طور قابل توجهی متغیر است. از جمله تأثیرات هیدروکربن‌های موجود در پسماندهای حفاری، می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

### ۱-۳- تأثیر بر اکوسیستم

آلوده شدن گل و لای و رسوب‌ها با هیدروکربن‌های پلی‌آروماتیک موجود در آب‌های تولیدی و تخلیه شده در مرداب‌های کم عمق، حتی تا یک کیلومتر دورتر از آن محل نیز گزارش شده است. در شرایطی که غلظت هیدروکربن‌های پلی‌آروماتیک به حدود یک قدم یا PPM برسد، حیوانات کفزی از بین رفته و یا شدیداً تحت تأثیر قرار می‌گیرند. با افزایش مقدار هیدروکربن در رسوبات،

مقدار جانداران آن منطقه کاهش می‌یابد. علت این امر کم شدن مقدار اکسیژن، محتوای زیاد سولفید و مقادیر زیاد هیدروکربن‌های محلول (عمدتاً آروماتیک‌ها) در آب‌های اطراف است [۱]، [۱۰] تا [۱۶].

### ۲-۳- تأثیر بر گیاهان

هیدروکربن‌ها در صورت رها شدن در سطح زمین، بر رشد گیاهان نیز اثر می‌گذارند. مقادیر بالاتر از چند درصد وزنی نفت و روغن در خاک، باعث تغییر در رشد گیاهان می‌شود، اما سطوح کمتر از این چند درصد افزایش قابل توجهی را در رشد برخی از محصولات نشان داده است. بازیابی و پاکسازی مکانی که تنها یک بار به هیدروکربن آلوده شده باشد، معمولاً چند ماه طول می‌کشد. در جاهایی که هیدروکربن‌ها برای رشد گیاهان مضر هستند، مقدار یک درصد وزنی نفت و روغن در خاک به‌عنوان حد آستانه پیشنهاد می‌گردد.

### ۳-۳- تأثیر بر جانداران دریایی

تغییرات رفتاری مشاهده شده در ارگانیزم‌ها

در اثر تماس با هیدروکربن‌ها در ابتدا شامل اثر بر قدرت حرکت می‌باشد. البته در برخی ارگانیزم‌های پیچیده‌تر، این تغییرات، بر سیستم ایمنی، تغذیه و توانایی تولید مثل نیز اثر می‌گذارند. تغییرات رفتاری در تغذیه حتی در غلظت‌های کمتر از میکروگرم در لیتر، هیدروکربن نیز مشاهده شده است. همچنین، اثر هیدروکربن‌ها به این بستگی دارد که این مواد در آب محلول بوده و یا به‌صورت قطراتی معلق در آن پخش شده باشد.

معمول‌ترین اثر زیست‌محیطی هیدروکربن‌ها بر پرندگان از طریق تماس مستقیم است. نفت، پرهای این پرندگان را پوشانده و باعث می‌شود که پرها ویژگی‌های دفع آب و عایق بودن در برابر گرما را نداشته باشند. لذا این پرندگان یا در اثر غرق شدن یا هیپوترمی جان خود را از دست می‌دهند.

اثر هیدروکربن بر پستانداران دریایی بسیار متغیر است. در پستانداران خزدار اگر خز به هیدروکربن‌ها آلوده شده و ظرفیت عایق بودن خود را از دست بدهد، این جانوران دیگر قادر به تنظیم دمای بدن خود نخواهند

پارامتر	محدوده		واحد
	مینیمم	ماکزیمم	
PH	۶	۸	-
Turbidity	-	۱۰۰۰	ntu
Chloride	-	۶۰۰	mg/Liter
Suspend Solids	-	۱۵۰۰	mg/Liter
Nitrates	-	۵۰	mg/Liter
Sulphates	-	۳۲۰۰	mg/Liter

پارامتر	محدوده		واحد
	مینیمم	ماکزیمم	
Humidity	-	۶۵	% Vol
Oil Content	-	۱۵۰	gr/kg
Sodium Adsorption Ratio	-	۱۲	NA
Total Dissolved Solids	-	۴۰۰۰	mg/Liter
Electrical Conductivity	-	۱۰	mmhos/cm



شکل ۵ | مخلوط شدن گل حفاری با مواد پلیمری جهت انجام فرایندهای انعقاد و لخته‌سازی



شکل ۶ | دستگاه‌های سانتریفیوژ



بود. از دست رفتن عایق بودن حرارتی باعث ایجاد یک فعالیت متابولیسمی شدیدتر برای تنظیم دمای بدن می‌شود که خود منجر به مصرف سریع ذخایر انرژی ماهیچه‌ای و چربی‌ها می‌گردد. این فرایند می‌تواند باعث مرگ حیوان از طریق هیپوترمی و یا غرق شدن شود. تماس‌های مزمن پستانداران دریایی با پسماندهای نفتی می‌تواند منجر به آسیب و زخم در پوست و چشم‌ها گردد [۱]، [۱۰] تا [۱۶].

### ۳-۴- تأثیر بر انسان

اثر هیدروکربن‌ها بر سلامتی انسان‌ها تا حدودی به نوع تماس با آلودگی (بلعیدن، استنشاق و یا تماس پوستی) و نیز حاد یا مزمن بودن آن بستگی دارد. اثرات حاد بلعیدن می‌تواند به صورت تحریک و سوزش دهان، گلو و شکم و نیز سوء هاضمه ظاهر گردد. مقادیر اندک هیدروکربن‌ها می‌تواند از طریق بلعیدن و یا تهوع به درون شش‌ها رفته و اثرات

سوء تنفسی مانند مشکلات ریوی یا ذات‌الریه نایژه‌ای ایجاد کند. اثرات مزمن ناشی از بلعیدن، می‌تواند شامل صدماتی به کلیه‌ها، کبد، سیستم گوارشی و یا ضربان نامنظم قلب باشد.

تماس‌های طولانی‌مدت و یا به دفعات زیاد، با آروماتیک‌ها می‌تواند باعث ایجاد آسیب‌هایی به سیستم خون‌سازی بدن و یا اشکالاتی در ترکیبات خون مانند لوسمی گردد. متابولیسم هیدروکربن‌های آروماتیک پس از بلعیدن آن‌ها می‌تواند منجر به تولید مشتقات جهش‌زا یا سرطان‌زا شود (حتی اگر هیدروکربن‌های اولیه نیز تا حدی غیرسمی بوده باشند). ارتباط‌هایی بین تعدادی از هیدروکربن‌های پلی آروماتیک و سرطان‌های پوست، شش و سایر نقاط بدن کشف شده است. علائم حاد تماس با هیدروکربن‌ها از طریق تنفس می‌تواند شامل سوزش بینی، گلو، شش‌ها، سردرد، اثرات بیهوشی و بی‌حسی، سستی و کاهش کنترل سیستم اعصاب گردد. این علائم می‌تواند

در غلظت ۰/۵ میلی‌گرم بر لیتر هیدروکربن در هوا و با تماس در حدود ۳۰ دقیقه ظاهر شوند. ماه‌ها پس از یک تماس حاد و شدید با بخارات گازوئیل، حمله‌های صرعی و نیز آسیب‌های دائمی به مغز گزارش شده است. اثرات مزمن تماس تنفسی با هیدروکربن‌های حاوی غلظت‌های بالای ترکیبات آروماتیک شامل گازوئیل، می‌تواند به صورت‌های کاهش وزن (از طریق کاهش اشتها)، ضعف و گرفتگی ماهیچه‌ها و آسیب‌های احتمالی کبدی و کلیوی ظاهر گردد. غلظت‌های زیاد نمک در آب تولید شده نیز می‌تواند بر محیط زیست، اثر گذار باشد. اثرات نمک در پسماندهای حفاری بر روی محیط زیست را می‌توان به صورت زیر بیان کرد [۱].

### ۳-۵- اثرات نمک بر گیاهان

اثرات اولیه نمک بر گیاهان، از افزایش غلظت نمک در سیالات رسیده به آن‌ها و یا تغییر در ساختار شیمیایی خاکی که گیاه در آن رشد می‌کند ناشی می‌شود. نخستین اثر غلظت‌های غیر استاندارد نمک بر سیالات سلولی، به هم خوردن تعادل شیمیایی سیال درون سلول می‌باشد. این تخریب مانع از رشد سلولی، جذب آب و حفظ سلامتی کلی گیاه می‌گردد.

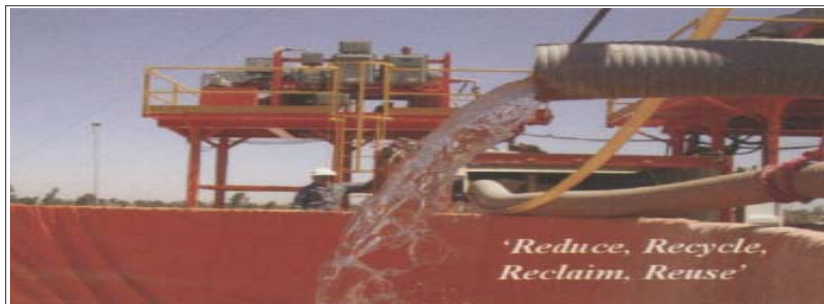
همچنین نمک می‌تواند با تغییر خواص فیزیکی خاک به صورت غیر مستقیم بر رشد گیاهان موثر باشد. وقتی که آب شور در سطح زمین رها می‌شود، ساختار متخلخل خاک را از طریق به هم چسباندن ذرات آن از بین برده و لذا دسترسی ریشه گیاهان به هوا و آب را محدود می‌نماید [۱].

### ۳-۶- اثرات نمک بر ارگانیزم‌های آبی

غالب، و نه همه آب‌های تولید شده، حاوی مقدار نمک هستند. رها ساختن آب‌های دارای مقادیر زیاد نمک در دریاها می‌تواند بر ارگانیزم‌های آبی موثر باشد. غلظت‌های بالای کلرید سدیم بر رشد و تکامل گیاهک‌ها



شکل ۷ | خروج کننده‌های آب‌زدایی شده به‌داخل مخازن



شکل ۸ | آب تصفیه شده خروجی به محیط

و جنین‌ها اثر گذاشته و باعث مرگ آن‌ها می‌گردد. همچنین نمک در غلظت‌های زیاد خود می‌تواند بر تکامل سیستم اسکلتی عضلانی موثر بوده و باعث سوزش چشم، پوست و قسمت بالای سیستم‌های تنفسی گردد [۱۷].

### ۳-۷- اثرات فلزات سنگین

فلزات سنگین موجود در فعالیت‌های حفاری و تولید بسته به نوع و غلظت آن ممکن است با مسائل زیست‌محیطی درگیر شوند. برخی از این فلزات در غلظت‌های بسیار کم برای فعالیت‌های سالم سلولی لازم و حیاتی هستند. این فلزات لازم شامل کروم، کبالت، مس، ید، آهن، منگنز، مولیبدیم، سلنیوم، سیلیکون، وانادیوم و روی می‌باشند (هر چند در غلظت‌های بالا این فلزات می‌توانند سمی باشند). از آنجایی که اکثر غلظت‌های مشاهده شده در فعالیت‌های حفاری و تولید نسبتاً کم هستند، لذا عموماً اثرات مخرب زیست‌محیطی تنها در اثر تماس‌های مزمین و طولانی‌مدت مشاهده می‌گردد.

فلزات سنگین بر فعالیت آنزیم‌ها نیز اثر می‌گذارد. غلظت‌های بیش از اندازه فلزات از فرآیندهای معمول بیوشیمیایی در سلول‌ها جلوگیری می‌نماید. این ممانعت می‌تواند باعث آسیب‌هایی بر کبد، کلیه، سیستم تناسلی، خون‌سازی و یا سیستم عصبی شود. این اثرات همچنین ممکن است شامل جهش یا ایجاد تومور هم باشد. بسیاری از فلزات می‌توانند باعث آسیب‌هایی بر حالت‌های جنینی ماهیان و بی‌مهرگان کفزی گردند [۱۸].

### ۴- سامانه Zero Discharge

به لحاظ جلوگیری از صدمات وارد شده به محیط‌زیست، این سامانه جزء بهترین سامانه‌های تصفیه به‌شمار می‌رود که طی سال‌های اخیر مطرح شده و هم‌اکنون در برخی از شرکت‌های حفاری نفت و گاز در کشور استفاده می‌شود [۵]. این سامانه جهت مدیریت پسماندهای حاصل از عملیات حفاری شامل سه

مرحله جداسازی ذرات درشت از گل حفاری (کنترل جامدات)، آب‌زدایی، تثبیت و پایدارسازی پسماندهای حفاری بوده که شرح این مراحل در ادامه بحث آمده است.

### ۴-۱- مرحله اول: کنترل جامدات<sup>۸</sup>

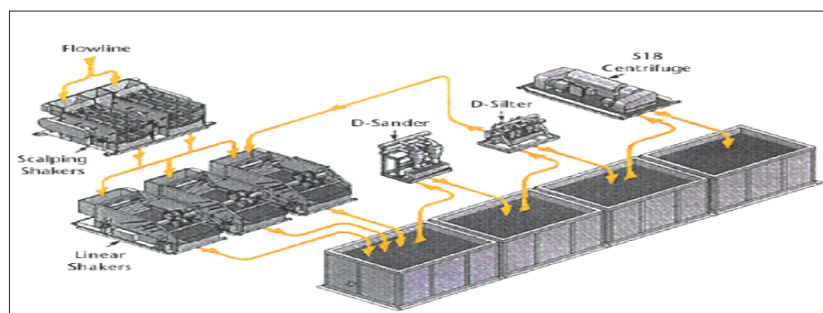
پس از استفاده از گل حفاری در عملیات حفاری چاه، گل برگشتی وارد دستگاهی به نام الک لرزان<sup>۹</sup> شده و جداسازی ذرات درشت موجود در گل برگشتی حاصل از عملیات حفاری در این مرحله صورت می‌پذیرد (شکل-۱). این الک‌ها موجب باقی ماندن ذرات باریت (ذرات با قطرهای بین ۴۴ الی ۷۴ میکرون و وزن مخصوص برابر با ۴/۲ در سیستم چرخش گل حفاری و فرایند کنترل جامدات خواهد شد.

جداسازی ذرات جامد گل، پس از عبور از هیدروسیکلون لجن‌زدا<sup>۱۰</sup> (جداکننده ذرات ریز و سبک با قطرهای بین ۴۰ الی ۴۵ میکرون) و هیدروسیکلون شن‌زدا<sup>۱۱</sup> (جداکننده ذرات سنگ موجود در گل حفاری با قطرهای بین ۲۰ الی ۲۵ میکرون) صورت خواهد پذیرفت (شکل-۲). استفاده از تجهیزات فوق جهت جداسازی ذرات جامد حاصل از حفاری به‌منظور باقی ماندن ذرات باریت و سایر مواد شیمیایی در گل حفاری به‌منظور بازیابی در مراحل بعدی فرایند کنترل جامدات و فرایند Zero Discharge می‌باشد [۷].

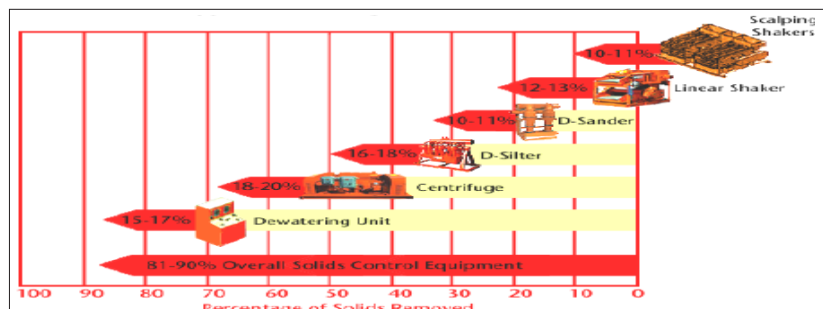
پاک‌کننده گل<sup>۱۳</sup> به‌منظور بازیابی باریت به کار برده می‌شود. مش‌بندی منافذ باعث شده تا ذرات با قطر بیشتر از ۷۵ میکرون بازیابی شود. این مرحله تنها در صورتی که مش‌بندی و راندمان دستگاه‌های الک لرزان توانایی جداسازی ذرات با قطر کمتر از ۷۵ میکرون را نداشته باشند، به کار برده می‌شود (شکل-۳).

### ۴-۲- مرحله دوم: آب‌زدایی<sup>۱۴</sup>

در سیستم آب‌زدایی با بهره‌گیری از



شکل ۹ | شمای کلی مراحل مختلف فرایند Zero Discharge



شکل ۱۰ | درصد جداسازی ذرات جامد در مراحل مختلف

مواد شیمیایی پلیمری در طی فرایندهای لخته‌سازی<sup>۱۵</sup> و انعقاد<sup>۱۶</sup> می‌توان ذراتی حتی با اندازه‌های کوچکتر از ذراتی که توسط دستگاه‌های کنترل جامدات جدا می‌شوند را تفکیک نمود [۸]. عملیات آب‌زدایی در این فرایند توسط دستگاه‌های سانتریفیوژ مخصوص انجام می‌گیرد (شکل-۴). در عملیات آب‌زدایی اهداف کلی زیر مورد نظر می‌باشد:

■ کاهش حجمی مقدار مایع تولید شده در عملیات حفاری

■ برگشت دوباره حجم زیادی از مایع تولید شده در عملیات حفاری به چاه

■ تبدیل کلیه ضایعات تولیدی به ضایعات جامد (با توجه به جداسازی و دفع آسان‌تر و اقتصادی‌تر ضایعات جامد نسبت به ضایعات مایع [۷] و [۸]).

در فرایند آب‌زدایی با تزریق مواد شیمیایی به گل حفاری فرایند انعقاد انجام شده و ذرات کلونیدی بزرگتر تشکیل می‌گردد (شکل-۵). سپس، ذرات کلونیدی با قطرهای کمتر از ۳ تا ۵ میکرون به صورت مکانیکی در داخل دستگاه سانتریفیوژ (شکل-۶) از گل حفاری برگشتی جدا شده و تفاله<sup>۱۷</sup> باقیمانده از دستگاه‌های سانتریفیوژ به داخل مخازن کنده‌ها<sup>۱۸</sup> تخلیه می‌شود (شکل-۷).

پس از جداسازی ذرات جامد کلونیدی از گل حفاری، مایع جداسازی شده از گل، دوباره به سیستم برگردانده و یا جهت استفاده مجدد، در مخازن مخصوص، ذخیره‌سازی می‌شود، بر این اساس مایع خروجی: ■ می‌تواند به سیستم چرخش گل حفاری برگردانده شود،

■ به داخل تانک ذخیره آب منتقل شده و جهت رقیق‌سازی<sup>۱۹</sup> از آن استفاده شده و یا دوباره به دستگاه‌های سانتریفیوژ منتقل شود. ■ در صورتی که آب تولید شده دارای استانداردها و مقادیر مجاز استاندارد جهت دفع در محیط باشد، خروجی این مرحله،

خروجی به محیط است (شکل-۸). طبق استانداردهای اعلام شده از طرف سازمان محیط‌زیست، برخی پارامترهای آب خروجی در فرایند تصفیه باید در محدوده مناسبی قرار داشته باشد و از حد مجازی تجاوز نماید تا از بروز مشکلات زیست‌محیطی تا حد ممکن جلوگیری شود. تعدادی از این پارامترها در جدول ۱ آمده است.

### ۳-۴- مرحله سوم: پایدارسازی و تثبیت پسماندها<sup>۲۰</sup>

در این مرحله، هدف اصلی، ایجاد ذرات جامد با پایداری بالا به منظور سهولت در حمل و نقل و جابجایی و دفع پسماندهای حاصله با اضافه کردن موادی از قبیل Cement, Lime Pozzolan و ... است. از دیگر اهداف مرحله پایدارسازی و تثبیت پسماندها، می‌توان به موارد زیر اشاره کرد: ■ بهبود خواص فیزیکی و راحتی حمل پسماند

■ کاهش سطوح آلوده‌کننده پسماند  
■ کاهش آلودگی محلول داخل پسماند [۷].

مشخصات جامد نهایی دفع شده بر طبق استانداردهای زیست‌محیطی جهت هرگونه عملیات روی آن باید طبق جدول ۲ باشد.

در ادامه، نحوه چیدمان تجهیزات مختلف سامانه Zero Water Discharge به همراه درصد جداسازی ذرات جامد در مراحل مختلف این فرایند جهت تصفیه پسماندهای ناشی از عملیات حفاری نشان داده است. (شکل-۹ و ۱۰)

### ۵- مزایای اقتصادی

در طراحی هر سامانه باید این نکته را در نظر داشت که سامانه از لحاظ اقتصادی مقرون به صرفه باشد. در این سامانه، مسائل اقتصادی به دو بخش اقتصاد در جریان‌های گل حفاری و مدیریت پسماند مربوط

می‌شود که مزایای اقتصادی در این دو بخش در زیر معرفی گردیده است:

### ۱-۵- مزایای اقتصادی در جریان‌های گل حفاری

■ کاهش خرابی‌ها و مشکلات فنی عملیات حفاری  
■ کاهش هزینه‌های تولید گل حفاری  
■ افزایش راندمان عملیات حفاری

### ۲-۵- مزایای اقتصادی در مدیریت پسماندها

■ کاهش هزینه‌های رقیق‌سازی جریان‌های حفاری  
■ کاهش حجم پسماند تولیدی که منجر به کاهش هزینه‌های حمل و نقل و جابه‌جایی پسماندهای تولیدی می‌گردد.

### ۶- مزایای زیست‌محیطی

استفاده از این سامانه‌ی تصفیه، علاوه بر مزایای اقتصادی که دارد، از جنبه‌های زیست‌محیطی نیز قابل توجه بوده و موارد زیر را سبب می‌شود:

■ عدم وجود ضایعات و پسماند مایع در پایان عملیات حفاری  
■ جلوگیری و عدم آلودگی زمین با روغن، نفت و نمک  
■ افزایش راندمان کنترل مواد جامد در عملیات حفاری که منجر به کاهش میزان آب مصرفی و همچنین کاهش مصرف افزایشنده‌های شیمیایی در گل حفاری می‌شود.  
■ جداسازی ضایعات حاصل از گل حفاری به صورت جامد به منظور کاهش هزینه‌های دفع

### نتیجه‌گیری

■ عمده پسماندهای خطرناک تولید شده در دکل‌های حفاری ناشی از مواد موجود در گل حفاری است.  
■ تأثیر بر سلامتی انسان، اکوسیستم، گیاهان و جانداران از مهمترین اثرات

فناوری‌های جدید مورد توجه قرار گیرد. با توجه به اینکه تجهیزات و سیستم‌های مورد استفاده در صنعت نفت در زمینه مدیریت پسماند جهت کاهش اثرات زیست‌محیطی روزبه‌روز در حال نوسازی است، لزوم به‌روز نمودن تجهیزات و روش‌های مورد استفاده جدید در صنعت حفاری کشور با الگوبرداری از شرکت‌های معتبر نفت و گاز در دنیا امری ضروری است. ■

اعلام شده موجب افزایش بازده عملیات حفاری نیز می‌شود. ضمن اینکه مزایای اقتصادی مترتب بر آن، سامانه را در ردیف بهترین سامانه‌های تصفیه کنونی در صنعت حفاری قرار داده است. ■ در کنار فعالیت جهت تولید بیشتر در صنعت نفت، به‌حداقل رساندن آسیب‌های زیست‌محیطی باید به‌عنوان یکی از فاکتورهای اصلی انتخاب و توسعه‌ی

زیست‌محیطی پسماندهای صنعت حفاری است. با توجه به اینکه صیانت از محیط زیست یکی از شاخص‌های اساسی توسعه‌ی پایدار می‌باشد، لزوم مدیریت این پسماندها یک امر اجتناب‌ناپذیر است. ■ در حال حاضر، استفاده از سامانه Zero Discharge در مدیریت پسماندهای حاصل از عملیات حفاری علاوه‌بر کاهش اثرات زیست‌محیطی، بر اساس استانداردهای

#### پانویس‌ها

- |   |   |  |
|---|---|--|
| 1 <sup>1</sup> Water Base Fluid                     | 8 <sup>8</sup> Solids Control           | 15 <sup>15</sup> Flocculation            |
| 2 <sup>2</sup> Oil Base Fluid                       | 9 <sup>9</sup> Shale Shaker             | 16 <sup>16</sup> Coagulation             |
| 3 <sup>3</sup> Synthetic Base Fluid                 | 10 <sup>10</sup> D-Slitter Hydrocyclone | 17 <sup>17</sup> Sludge                  |
| 4 <sup>4</sup> Drilling Cuttings                    | 11 <sup>11</sup> D-Sander Hdrocyclone   | 18 <sup>18</sup> Cutting Pit             |
| 5 <sup>5</sup> Waste Management                     | 12 <sup>12</sup> Drilling Solids        | 19 <sup>19</sup> Dilution                |
| 6 <sup>6</sup> Residue,Recover,Reduction, Recycling | 13 <sup>13</sup> Mud Cleaner            | 20 <sup>20</sup> Stabilization, Fixation |
| 7 <sup>7</sup> Environmental Impact                 | 14 <sup>14</sup> Dewatering             |  |

#### منابع

- oil-based drilling muds in the North Sea. Marine Pollution Bulletin 15, 363-370.
- [12] Gray J.S, Clarke K.R, Warwick R.M, Hobbs G, 1990, Detection of initial effects of pollution on marine benthos: an example from the Ekofisk and Eldfisk oil fields, North Sea, Marine Ecological Progress series 66, 285-299.
- [13]Kroncke I, Duineveld G.C.A, Raak S, Rachor E, Daan R, 1992. Effects of a former discharge of drill cuttings on the macrofauna community, Marine Ecology-Progress Series 91 (1-3), 277-287.
- [14]Plante-Cuny, M.R, Salenpicard C, Grenz C, Plante R, Alliot E, Barranguet C, 1993. Experimental field study of the effects of crude oil, drill cuttings and natural biodeposits on microphytozoobenthic and macrozoobenthic communities in a Mediterranean area. Marine Biology 117 (2), 355-366.
- [15] Daan R, Mulder M, 1996, On the short-term and long-term impact of drilling activities in the Dutch sector of the North, ICES Journal of Marine Science 53, 1036-1044.
- [16] Daan R, Mulder M, Lewis W.E, 1992, Long-term effect of discharges of washed and unwashed OBM drill cuttings on the Dutch Continental Shelf, Netherlands Institute of Oceanography (NIOZ) internal report, 1992-1999-.
- [17] ویدا ارشادی، نگین کنعانی زاده، لیدا ارشادی، تقی عبادی، ارزیابی اثرات زیست محیطی پسماندهای حفاری، دومین سمپوزیم بین‌المللی مهندسی محیط زیست، سال ۱۳۸۸
- [18] Orszulak S.t, Enviromental Technology in the Oil Industry, Chapman & Hall, 2001, 163170-
- [۱] مریم رسولی، اثرات زیست محیطی حفاری در دریا، نهمین همایش صنایع دریایی، سال ۱۳۸۶
- [۲] سیدعلیرضا شرکا، عبدالکریم علی محمدی، جاسم دشت بزرگی، تزریق پسماند حفاری از طریق دالیز، اولین کنفرانس ملی صنعت حفاری ایران، سال ۱۳۸۷
- [3] Adam T, Bourgoyne Jr, Martin E, Chenevert F.S, Young Jr, Applied Drilling Engineering, chapter (2), Drilling Fluid, page 41-84
- [4] Neal j, Drilling Engineering – A complete well planning approach, Chapter (8) : Drilling Fluid Selection .page 227-277
- [۵] پوریا کیانوش، مجموعه مقالات، شرکت بین‌المللی مهندسی مشاور مواد معدنی (IMECCO)
- [6] Waste Management in View of Environment (SPE 61473)
- [۷] محمد خدادادیان، بهنام گودرزی، آرش شادروان، معرفی طراحی جدید مدیریت و بازیافت پسماند در حفاری چاه‌های نفت و گاز، اولین همایش مدیریت پساب و پسماند در صنایع نفت و انرژی، سال ۱۳۸۹
- [۸] احسان اسماعیل نژاد، حسین جلالی فر، روش‌های نوین کاهش حجم گل و دفع پسماندها در عملیات حفاری، اولین همایش ملی نفت، گاز و پتروشیمی، سال ۱۳۹۰
- [9] NIDC Solid Control & Waste Management Daily Reports- Environmental Solutions Recaps
- [10] Hartley J.P, Ferbrache, J, 1983, Biological monitoring of the Forties Oilfield (North Sea). In: Proceedings, 1983 Oil Spill Conference (Prevention, Behaviour, Control, Cleanup), San Antonio, Texas.
- [11] Davies, J.M, Addy J.M, Blackman R.A, Blanchard, J.R, Ferbrache, J.E, Moore, D.C, Somerville, H.J, Whitehead, A, Wilkinson, T, 1984, Environmental effects of the use of