

## آسیب های زیست محیطی ناشی از حفاری فراتعادلی در مقایسه با حفاری فروتعادلی در یکی از میادین نفتی ایران

یاسر رضایی<sup>1</sup>، دکتر عبدالنبی هاشمی<sup>2</sup>، دکتر عبدالمجید موحدی نیا<sup>3</sup>

1- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی نفت

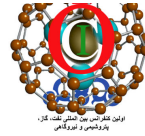
2- عضو هیئت علمی دانشگاه صنعت نفت اهواز

3- عضو هیئت علمی دانشگاه علوم و تحقیقات تهران

### چکیده

یکی از مهمترین مشکلاتی که صنایع نفت و گاز با آن مواجه هستند، آلودگیهای ناشی از تخلیه پسماندهای حفاری در محیط زیست می باشد. بخشی از این پسماندها شامل بریده های ناشی از حفاری و بخش دیگر، سیال حفاری می باشد که توسط بریده ها جذب شده و همراه با آنها تخلیه می شود. در این مقاله ابتدا به معرفی آلودگی های ناشی از حفاری اشاره شده و در ادامه به معرفی روش نوین حفاری فروتعادلی در کاهش آلودگی های ناشی از حفاری به محیط زیست به عنوان راه حلی برای به حداقل رساندن آسیب های ناشی از حفاری فراتعادلی و استفاده از حفاری فراتعادلی پایه روغنی پرداخته شده است و در ادامه مقایسه ای میان آلودگی های ناشی از حفاری فراتعادلی و حفاری فروتعادلی در یکی از چاههای میادین نفتی ایران ارائه شده است.

واژه های کلیدی: آلودگی محیط زیست- حفاری چاههای نفت و گاز- حفاری فروتعادلی- پسماند حفاری- سیالات حفاری



## 1- مقدمه

برای انجام عملیات حفاری جهت ایجاد چاههای عمیق اکتشاف و استخراج نفت، نیاز به استفاده از گل های حفاری با ترکیبات مختلف است [1]. گل های حفاری به طور معمول به سه دسته پایه آبی، پایه روغنی و پایه گازی تقسیم می شوند. گل های پایه آبی شامل رس، مواد وزن افزا، مواد شیمیایی مخصوص در یک فاز آبی هستند و بیشترین کاربرد را در میان دیگر سیالات حفاری دارند. گل های پایه روغنی شامل یک فاز هیدروکربنی با یک فاز شور آب به همراه رس، موادوزن افزا و سایر افزودنی ها می باشد. سیالات پایه گازی شامل استفاده از حفاری با هوا، گاز، غبار، کف پایدار، کف ناپایدار و گل هوازده می باشد. این در حالی است که در هنگام حفاری سازند های حساس به آب مانند سازندهای شیلی و سازندهای تولیدی به دلایل مختلف فنی و عملیاتی مجبور به استفاده از سیالات پایه روغنی و در بعضی شرایط سیالات پایه گازی هستیم. پایه ی ساخت گل های پایه های روغنی، گازوئیل بود که هم در حین عملیات حفر چاه در اعماق زمین و هم در پایان عملیات حفاری و در زمان دفع پسماند آنها خسارات جبران ناپذیری بر اکوسیستم طبیعی منطقه خواهد داشت [2].

وظایف گل حفاری در حین حفاری شامل تمیز کردن ته چاه و انتقال کنده های حفاری به سطح، خنک و روان کردن مته و لوله های حفاری، اندود کردن دیواره چاه و جلوگیری از ریزش آن، کنترل فشارهای زیرزمینی، معلق نگه داشتن کنده ها و مواد وزن افزای گل به هنگام خاموشی پمپها، ترخیص شن و کنده های حفاری روی الک لرزان، تحمل بخشی از وزن لوله های حفاری و لوله های جداری، به حداقل رساندن ضایعات وارد بر سازندهای مجاور چاه و انتقال توان هیدرولیک پمپها به مته حفاری می باشد که با افزودن مواد و ترکیبات مختلف به سیال پایه قابل دستیابی می باشند [1].

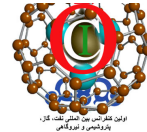
با توجه به توسعه روزافزون حفاری چاههای اکتشافی و تولیدی نفت و گاز در جهان، افزایش قوانین سخت زیست محیطی ناشی از آلودگی های کنده ها و سیالات حفاری ناشی از عملیتهای مختلف حفاری نیاز به استفاده از تکنولوژی های جدید برای به خدمت درآوردن آن در صنعت ضروری به نظر می رسد. با استفاده از تکنولوژی حفاری فروتعدالی قادر خواهیم بود که آلودگی های ناشی از سیالات حفاری را در حدود زیادی کاسته و همچنین هزینه های ناشی از افزایش های حفاری به سیالات حفاری را تا حدود زیادی کاهش دهیم [3].

## 2- انواع پسماندهای ناشی از عملیات حفاری

پسماندهای موجود در میدین نفتی دو نوع می باشند کنده های حفاری و سیالات. کنده های حفاری را می توان به انواع کنده های پایه آبی غیرنمکی، کنده های پایه آبی نمکی، و کنده های پایه روغنی تقسیم کرد. سیالات را نیز می توان به انواع گل های پایه آبی، گل های پایه روغنی و گل های پایه گازی تقسیم کرد. بنابراین آلودگی های ناشی از گل حفاری هم از طریق کنده های حفاری و هم از طریق خود گل حفاری می باشد. [4]

### 2-1- چگونگی آلوده سازی محیط زیست توسط گل حفاری

منابع آلوده کننده محیط زیست در عملیات حفاری در ارتباط مستقیم با سیالات و ترکیباتی است که به عنوان گل حفاری مورد استفاده قرار می گیرند. به طور کلی طبقات و لایه های زمین برای اجرای عملیات حفاری در مناطق نفتخیز جنوب به سه بخش اصلی تقسیم می شوند.



## 2-1-1- طبقات فوقانی ( Top hole )

طبقات فوقانی در این مناطق شامل لایه‌های آجاجری، میشان و بخش فوقانی گچساران هستند. ترکیبات گل حفاری در طبقات شامل موارد زیر است.

آب شیرین، آب شور غیر اشباع و آب شور اشباع با غلظت‌های مختلف یون‌های  $Ca^{2+}$ ،  $Cl^-$ ،  $Mg^{2+}$ ، بنتونیت، آهک هیدراته و روان کننده‌ها، کربنات سدیم و پودر کربنات سدیم می‌باشد. در این حفاری‌ها کل مواد و کنده‌های حفاری و مازاد سیالات حفاری به حوضچه‌های خاکی اطراف دکل هدایت می‌شود. حجم کل این گل‌ها که وارد محیط زیست می‌شوند بیش از 8000 بشکه برای هر چاه است [3].

## 2-1-2 طبقات میانی و پرفشار ( High Pressure )

طبقات میانی و پرفشار در این مناطق شامل طبقات و لایه‌های مختلف گچساران ( متشکل از 7 لایه ) می‌باشد. ترکیبات گل حفاری در این قسمت شامل موارد زیر است: آب شور اشباع از نمک طعام، آهک هیدراته، کربنات کلسیم، سولفات باریم (باریت) و فروبار. تجهیزاتی که در حال حاضر برای تصفیه گل و جدا کردن کنده‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد شامل: دستگاه الک لرزان، ساتریفیوژ و Clay Ejector است. حجم کل گلی که وارد محیط زیست می‌شود حدود 4000-5000 بشکه برای هر چاه می‌باشد [3].

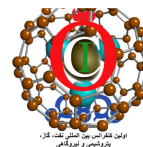
## 2-1-3 طبقات تحتانی و زیر سنگ پوش

گل حفاری که در این طبقات مورد استفاده قرار می‌گیرد از نظر پایه و اساس ساختاری دو نوع می‌باشند.

1- گل حفاری پایه آبی امولسیون و غیر امولسیونی

2- گل حفاری پایه روغنی

ترکیبات تشکیل دهنده این نوع سیال عبارتند از: آب نمک اشباع، نشاسته حفاری، پلیمر، پودر کربنات سدیم، گازوئیل، روان کننده‌های حفاری، صابون آبدوست از نوع آنیونیک و غیر آنیونیک، آهک هیدراته، ترکیبات کنترل کننده افت صافی با پایه آسفالت، ترکیبات رسی آمینی و پودر سنگ. در پایان اقدامات حفاری، مازاد گل‌های پایه روغنی به تصفیه گل روغنی منتقل می‌شود تا دوباره مورد استفاده قرار گیرد. سایر گل‌های پایه آبی امولسیونی و غیر امولسیونی و سیالات حاصل از گل‌های حفاری و شستشوی تجهیزات مخازن و غیره به حوضچه‌های خاکی اطراف دکل هدایت می‌شود. حجم کل گلی که در صورت عدم کنترل وارد محیط زیست می‌شود بیش از 400 بشکه است [3].



### 3- کلیاتی از حفاری فروتعدالی

اکثر چاههای نفت و گاز با روش حفاری دورانی که در آن مته سنگ را می شکافد حفاری می شوند. در این روش، سیال حفاری از طریق رشته حفاری به درون چاه پمپ شده و از طریق دالیز به همراه کنده های حفاری شده سنگ به سطح زمین می آیند [5]. در عملیات حفاری فرا تعادلی، سیال حفاری دارای عملکردهای دیگری شامل: پایداری دیواره چاه، خنک کردن مته و مهمتر از همه، کنترل سیالات سازند می باشد. اگر فشار سیال سازند و فشار هیدروستاتیک سیال حفاری در یک چاه با هم برابر باشند، چاه را در حالت تعادل می نامند. بدیهی است که در چنین حالتی هیچگونه جریانی از سازند به درون چاه یا بالعکس وجود ندارد. ترکیب و خواص سیال حفاری اغلب طوری انتخاب می شود که فشار هیدروستاتیک آن بیشتر از فشار سیال درون سازند باشد. در این حالت فشار فراتعدالی سیال حفاری از ورود سیالات سازند به درون چاه در حین عملیات حفاری جلوگیری می کند ولی جریانی از سمت چاه به طرف سازند وجود دارد. به منظور محدود کردن این جریان موادی به سیال حفاری افزوده می شود که با تشکیل کیک کم تراوا از شدت این جریان می کاهد [7].

حفاری فرو تعادلی (Under Balanced Drilling)، نوعی عملیات حفاری می باشد که در آن، فشار سیال حفاری درون چاه کمتر از فشار سیال سازند نگه داشته می شود که در چنین حالتی در هنگامی که یک لایه تراوا حفاری می شود، سیالات سازند به درون چاه جریان می یابند. بر همین اساس، حفاری زیر فشار تعادل مخزن گاهی اوقات «حفاری در حال جریان» نیز نامیده می شود [6].

### 4- سیالات مورد استفاده در حفاری فروتعدالی

روش های مختلفی برای رسیدن به شرایط زیر تعادلی وجود دارد، بیشتر آنها شامل استفاده از سیالات حفاری با چگالی کم می باشند این سیال می تواند فازگازی، مایع و یا مخلوطی از این دو فاز باشد.

#### 4-1- سیالات حفاری گازی

ساده ترین و قدیمی ترین روش حفاری زیر تعادلی استفاده از هوای خشک به عنوان سیال حفاری است. هوای فشرده شده از طریق هرزگرد که در بالای رشته حفاری قرار دارد، وارد لوله حفاری شده و پس از خارج شدن از مته، از فضای حلقوی بالا آمده و خارج می گردد [5].



### 2-4- سیالات حفاری دوفازی

مخلوط کردن گاز و مایع روش خوبی برای رسیدن به هر چگالی دلخواه بین چگالی مایع و فاز گاز است. این مخلوط گاز مایع گاهی با عنوان سیال حفاری سبک شده شناخته می شود. این سیالات سبک شده بر اساس ساختار و نسبت حجمی هر دو فاز به انواع غبار، کف و یا مایع هوازده تقسیم بندی می شوند. ساختار و خواص این سیالات به شدت به نسبت حجمی گاز و مایع در شرایط دما و فشار چاه بستگی دارند، چگالی انواع سیالات حفاری سبک شده در صفحه بعد آمده است [5].

#### 4-2-1- غبار (Mist)

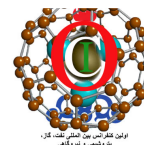
اگر درصد حجمی مایع در گاز کمتر از 2.5 درصد باشد، مایع به صورت قطرات ریز جدا از هم در فاز پیوسته گازی معلق خواهد ماند، حفاری با اینگونه سیال حفاری را حفاری با میست می گویند. یک پمپ سه زمانه کوچک برای تزریق مایع به درون گاز، پیش از وارد شدن به لوله حفاری استفاده می شود. سیال مایع تزریقی معمولاً آب، سورفکتانت و یا سیالات ضد خوردگی می باشند. گاهی اوقات برای جلوگیری از واکنش سیال با لایه های شیلی به آن نمک یا پلیمر هم اضافه می کنند. ذرات مایع چون به صورت قطرات جدا از هم در فاز گازی جریان دارند، اثر چندانی بر خواص چسبندگی سیال ندارند. اما سبب افزایش فشار درون چاه می شوند [5].

#### 4-2-2- کف (Foam)

اگر نسبت حجمی مایع بیشتر از 2.5 درصد باشد یک فوم پایدار تشکیل می شود. روش تزریق مانند قبل است اما در اینجا درصد حجمی مایع بین 2.5 تا 25 درصد می باشد. مایع یک ساختار سلولی یک پارچه تشکیل می دهد که گاز را درون خود حبس کرده و گاز و مایع با سرعت یکسان حرکت می کنند. فومها معمولاً بر اساس کیفیت و ساختارشان توصیف می شوند. کیفیت یک کف، درصد حجمی گاز در شرایط دما و فشار چاه است و ساختار فوم بیانگر حالت حبابها درون آن است. یک کف نرم حبابهای کوچکتر و یک کف زبر حبابهای درشت تر دارد [5].

کف ها ویسکوزیته بالایی دارند که موجب تقویت قدرت جابه جایی کنده ها در این سیالات می شوند. رئولوژی کف ها به شدت به درصد مایع در آنها بستگی دارد و از (115 تا 35) سانتی پوز متغیر می باشد. هنگامی که کف به سطح می آید برای جدا کردن کنده ها از آن می توان از سیستم های ضد کف برای از بین بردن حالت کفی سیال استفاده کرد [5].

#### 4-2-3- سیال هوازده (Aerated fluid)



هنگامی که درصد حجمی مایع از 25 درصد فراتر می‌رود، ساختار کف نابود می‌شود و گاز حباب‌هایی جدا از هم می‌سازد که مستقل از فاز مایع می‌باشند تا آنجا که دو فاز مایع و گاز می‌توانند با سرعت‌های متفاوتی حرکت کنند. به اینگونه سیال، سیال حفاری هوازده گفته می‌شود. آنها می‌توانند از مخلوط کردن فاز مایع و گاز مانند هوا و گل حفاری تشکیل شوند. استفاده از آب خالص یا آب نمک به همراه یا بدون مواد ویسکوز و یا حتی نفت خام هم نامعمول نیست. پمپ‌های گل دکل برای پمپ کردن فاز مایع به درون لوله ایستا و از آنجا به سمت لوله‌های حفاری به کار می‌روند، کمپرسورها هم معمولاً طوری نصب می‌شوند که گاز را در لوله ایستا به سیال حفاری تزریق کنند. سیال هوازده در مسیر برگشت از یک سیستم جداساز گاز و مایع عبور می‌کند [5].

### 5- میزان پسماند جدا شده در عملیات فراتعدالی در یکی از چاههای میادین نفتی ایران

جدول 1 حاوی اطلاعاتی مربوط به میزان استفاده از افزایشه های گل در حفر یک چاه نفت در جنوب ایران می باشد که طی 90 روز هزینه ای بالغ بر 5 میلیارد ریال صرف گل حفاری این دکل شده است و با نگاهی به این جدول می توان دریافت که حجم قابل توجهی از افزایشه ها در حفاری این چاه استفاده شده است. همچنین در جدول 2 میزان پسماندی را که هنگام حفاری این چاه توسط سه دستگاه Mud cleaner، Clay ejector و Desander & Desilter از گل حفاری جدا شده است را نشان می دهد.

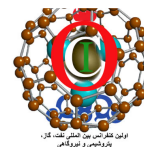
جدول 1: تعداد کیسه استفاده شده از برخی افزایشه های گل در مدت زمان حفاری یک چاه خاص در ایران

استارچ	باریت	بنتونایت	مواد پلیمری	آهک	نمک	کاستیک
2000 کیسه	2500 تن	40 تن	600 کیسه	1200 کیسه	800 تن	20 درام

در حفاری چاههای جنوب ایران ماکزیمم موادی که مورد استفاده قرار می گیرند در صورتی که چاه بصورت عمودی بوده و در حین حفاری با مشکلات هرزروی گل و جریان یافتن چاه مواجه نگردد و بطور کلی حفاری حفره های مختلف یک حلقه چاه بطور معمول ادامه یابد، مواد مصرفی و اطلاعات مربوط به دستگاههای تصفیه گل بصورت فوق ادامه پیدا می کند. چاههای میادین نفتی ایران در صورت برخورد با پدیده هرزروی و بسته به شدت آن موادی نظیر میکا و پوست ماهی نیز مورد استفاده قرار می گیرد که میزان آن بستگی به شدت هرزروی بین 10 تا 30 پوند در بشکه گل و هنگام جریان یافتن چاه مقدار مواد مصرفی چنانچه خیلی طولانی شود کمی بیشتر از آمار داده شده در جدول 1 خواهد بود.

جدول 2: میزان پسماند جدا شده توسط دستگاههای کنترل جامدات برحسب بشکه

دستگاههای جداکننده	clay ejector	Mud cleaner	Desander & Desilter
کل	1100	225	450



ماکزیمم در روز	60	17	50
----------------	----	----	----

## 6- میزان پسماند جدا شده در عملیات فروتعدالی در یکی از میادین نفتی ایران

در جدول 3 میزان پسماندی را که هنگام حفاری فروتعدالی این چاه توسط سه دستگاه Mud cleaner، clay ejector و Desander از گل حفاری جدا شده است را نشان می دهد.

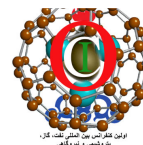
جدول 3: میزان پسماند جدا شده توسط دستگاههای کنترل جامدات در حفاری فروتعدالی برحسب بشکه

دستگاههای جداکننده	clay ejector	Mud cleaner	Desander & Desilter
کل	450	120	270
ماکزیمم در روز	40	13	35

با یک نگاه کلی به جدول 3 مشاهده می کنیم که میزان پسماندهای ناشی از عملیات فروتعدالی در مقایسه با عملیات فراتعدالی بسیار کمتر است و این موضوع نیز دلیلی بر استفاده از حفاری فروتعدالی در میادین نفتی، البته در جایی که بتوان از این نوع تکنولوژی اسفاده کرد آن را بکار برد.

## 7- نتیجه گیری و پیشنهادات

- 1- حفاری در محیط دریایی و خشکی دارای اثرات وسیع زیست محیطی از قبیل ایجاد آلودگی هوا، رسوبات، صدا، ایجاد ارتعاش و از بین بردن زیستگاههای حیات وحش و مناطق حساس زیست محیطی می شود.
- 2- آسیب به محیط زیست در صنعت نفت یک امر اجتناب ناپذیر است اما باید با استفاده از وسایل و امکانات مختلف و نیز بکارگیری تمهیدات مختلف این آسیب ها را به حداقل رساند.
- 3- استفاده از حفاری فروتعدالی در میادینی که بتوان از آن استفاده کرد نه تنها آسیبی به محیط زیست وارد نمی کند بلکه به دلیل استفاده نکردن از سیالات پایه روغنی و افزایش های شیمیایی، هزینه های ناشی از ساخت گل را کاهش می دهد.
- 4- مزایای زیست محیطی زیادی در حفاری فروتعدالی می تواند نهفته باشد. با حفاری توسط سیال خشک گازی، دیگر مایعات حفاری مخزن که بعد از حفاری باید دور ریخته شوند، وجود ندارد. مواد شیمیایی مورد استفاده در سیالات مورد استفاده در روش حفاری فروتعدالی از قبیل غبار و کف اغلب قابل تجزیه در طبیعت هستند و مشکلات چندانی برای محیط زیست ایجاد نمی کنند.



5- از سوی دیگر، سیالات سازند که در حین حفاری فروتعدالی تولید می‌شوند، در سیستم‌های سطحی باز باید به دقت جابه جا شوند تا موجب آلودگی محیط زیست نگردد. در سیستم‌های سطحی بسته، کنده‌های حفاری و سیالات تولیدی در مسیر معینی قرار دارند که احتمال آلودگی محیط را به حداقل می‌رساند.

## مراجع

- [1] مهدی ایرانژاد، محمدکرمی "بازیابی باریت از پسماند گل حفاری میدان نفتی چشمه خوش با میز لرزان و هیدروسیکلون"
- [2] محمدمامین غلامزاده ، رضا عاشوری زاده "مدیریت پسماند سیال حفاری به روش جایگزینی سیالات حفاری گلایکولی، پایه آبی همراه با افزایش کلرید پتاسیم با سیالات پایه روغنی" نخستین همایش ملی مدیریت پساب و پسماند در صنایع نفت و انرژی 1389.
- [3] سعید قدمی جگرلوئی، علیرضا مؤذنی، محمد نبئی، آرش نیازی "مدیریت پسابهای نفتی و جلوگیری از آلودگی محیط زیست" همایش ملی مهندسی شیمی
- [4] احمد نظرپور، سعید ترک قشقایی نژاد" استفاده از راهکارهای مدیریتی در جهت کاهش اثرات زیست محیطی حاصل از فعالیت های بالادستی صنعت حفاری"
- [5] مجله مهندسی نفت راجع به حفاری زیرتعدالی نوشته توماج فرود خبهرگزاری دانشجویان ایران – تهران
- [6] Balanced drilling GUO, B and Ghalambor, A., An Innovation in designer under Approach, Asia PACIFIC Drilling (Balanced flow rates: A Gas-Liquid Rate Window (GLRW 2002 Technology Conference, SPE Paper, 77237,
- [7] Published by: Shell Dorenbos, R. and Ramalho, J., "Under Balanced Drilling Primer,"
- [2002 . International Exploration and Production B. V., Jun