



## اصول تزریق پسماندهای حفاری در چاههای نفت و گاز

مهدی شریفی<sup>۱</sup> - رضا آزاد بخت<sup>۲</sup> - بیژن هنرور<sup>۳</sup> - خلیل شهبازی<sup>۴</sup>

۱- دانشگاه آزاد امیدیه

۲- دانشگاه آزاد امیدیه

۳- دانشگاه علوم و تحقیقات فارس

۴- دانشکده مهندسی نفت اهواز

### چکیده

چندین روش مختلف برای دفع دائمی پسماند حفاری جهت تزریق در سازندها استفاده شده است. این مقاله در باره تکنولوژی تزریق دوغاب که شامل آسیاب نمودن و یا تبدیل ذرات جامد به ذرات بسیار ریز و مخلوط نمودن آنها با آب و یا سیالات دیگر برای ایجاد دوغاب و تزریق این دوغاب در یک سازند زیر زمینی در یک فشار کافی برای ایجاد شکاف در سنگ میباشد.<sup>[1]</sup>

کلمات کلیدی: مدیریت پسماند - تزریق مجدد کننده های حفاری - دوغاب پسماند - شکاف هیدرولیکی

<sup>1</sup> دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی شیمی - مهندسی مخازن هیدرورکربوری

<sup>2</sup> دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی شیمی - مهندسی مخازن هیدرورکربوری

<sup>3</sup> استادیار دانشگاه علوم و تحقیقات فارس

<sup>4</sup> استادیار گروه مهندسی نفت - دانشکده مهندسی نفت اهواز



## مقدمه

چاههای نفت و گاز زیادی در جهان در بیشتر از یک قرن حفاری شده اند. در طی فرایند حفاری این چاهها سالانه میلیونها بشکه از پسماندهای سیالات حفاری و کنده های ناشی از حفاری از این چاهها تولید میشود که اصولاً حجم انبوهی از نفت با این پسمانده و کنده های حفاری مخلوط میشود. در آن زمان توجهات کمی به مدیریت پسماند ناشی از آلودگی های این مواد خطرناک به محیط زیست بوده است. امروزه قوانین حفاظت از محیط زیست سخت شده به نحوی که در بسیاری از نقاط جهان با افزایش استفاده از تکنولوژی های پیشرفته سیالات حفاری حفاظت از محیط زیست نیز بیشتر شده است. [2]

## 1- روش مطالعه

این مطالعه بر مبنای مطالعات تحقیقاتی و آزمایشگاهی انجام گرفته است. خصوصیات یک دوغاب مناسب جهت انجام تزریق مناسب را شرح داده و نتایج بدست آمده را به صورت عملیاتی میتوان جهت انجام یک فرایند عملیات تزریق مجدد کنده های حفاری به کار برد. بعد از این مرحله به تشریح روند بررسی اعمال تنش جهت ایجاد شکاف در سازند مورد نظر پرداخته ایم. و بعد از ارزیابی کلی به این نتیجه رسیده ایم که برای سازند هایی با خواص الاستیسیته مناسب تزریق مجدد کنده های حفاری بهترین روش در مدیریت پسماندهای حفاری جهت کنترل آلودگی محیط زیست به شمار میرود.

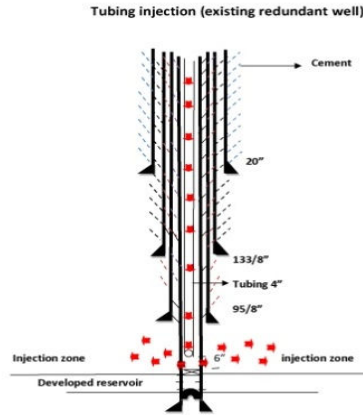
## 2- معرفی سیستم تزریق پسماند های حفاری

در حفاری چاههای نفت و گاز از سیال حفاری با ترکیبات متفاوت شیمیایی استفاده میشود که تمامی این سیالات بعد از پایان حفاری به عنوان پسماند بر جای میماند که اثرات نامطلوب زیست محیطی ناشی از این زائدات حفاری باعث شده شده است که مطالعات گسترده ایی در ارتباط با کنترل آلودگی محیط زیست از طریق بکارگیری تکنولوژی های مختلف در ارتباط با تصفیه این پسماندها انجام گیرد. در اینجا روشی معرفی شده است که هیچگونه تصفیه ایی روی سیال انجام نمیشود و تمام زائدات حفاری مستقیماً از طریق دالیز و یا لوله جداری تولید درون چاه تزریق میشود. در روش یاد شده دفع مواد اضافی به درون سازند صورت میگیرد بدین ترتیب که با توجه به عمق آبهای سطحی و خواص الاستیسیته سازند سیالات اضافی به سازند تزریق میشود. [3]

تزریق مجدد کنده های حفاری به درون یک سازند با خواص زمین شناسی مساعد از طریق فرایند شکاف هیدرولیکی توجهات قابل ملاحظه ایی را به عنوان یک روش کم هزینه و با بازدهی مطلوب مطابق قوانین محیط زیست جهانی در پی داشته است.

بعضی از مزایای فرایند تزریق مجدد کنده های حفاری در چاههای صرفاً تزریقی به شرح ذیل است:

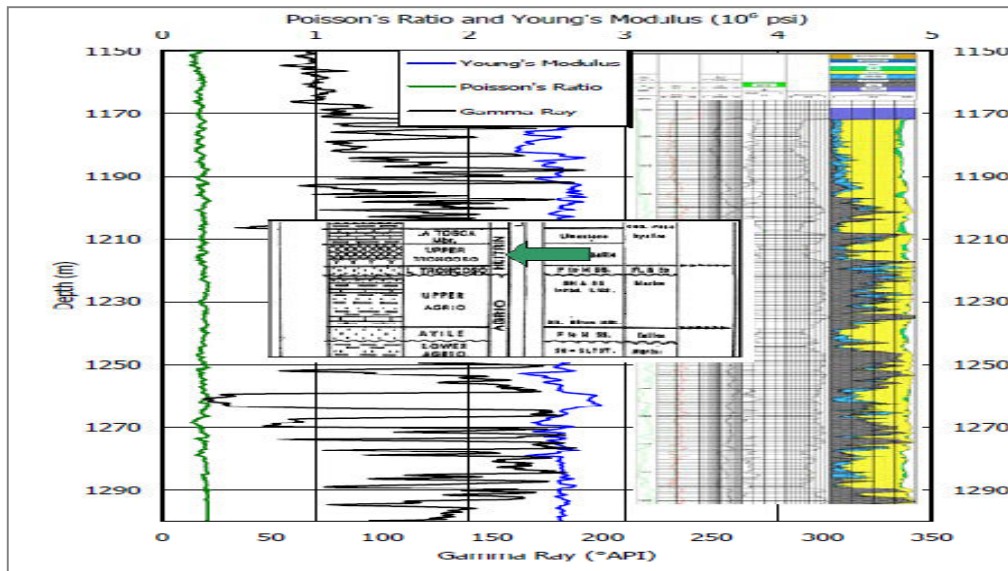
1. میتواند به عنوان سیستم تخلیه صفر جهت رهایی از تمامی پسماندهای سطحی استفاده گردد.
  2. هیچ نوع خطر ناشی از نقل و انتقال پسماندها در هر مرحله از فرایند مدیریت پسماندها توسط استفاده از این روش وجود ندارد.
  3. از لحاظ اقتصادی و صرف هزینه بسیار ارزشمندتر از روش های دیگر است.
  4. این روش محدود به مکان خاصی نیست و بر حسب شرایط خاص مطالعات زمین شناسی میتواند اجرا گردد.
  5. مسئولیت خاصی در پایان عملیات تزریق پسماندها در چاه متوجه شرکت کارفرما نیست.
- به لحاظ دارا بودن امتیازهای یاد شده برای فرایند تزریق مجدد کنده های حفاری بسیاری از پروژههای کنترل پسماند حفاری در دنیا به سمت فرایند تزریق مجدد پسماندهای حفاری پیش رفته است. با توجه به اینکه فرایند تزریق مجدد کنده های حفاری به سرعت در حال توسعه است با مسائل و چالشهای پیچیده تری روبرو میشویم. ایمنی فرایند تزریق مجدد کنده های حفاری همواره بخش مهم هر پروژه تزریق پسماند در چاههای دفعی با توجه به شکل (1) محسوب میشود و میتواند با پیروی نمودن از یک طراحی خوب و جامع به طور وسیعی افزایش یابد تا موانع و کنترلهای مناسب در برابر وجود خطرات بالقوه قرار دهد.



شکل شماره 1 - نمای چاه تزریقی

### 3- ارزیابی های زمین شناسی تزریق ایمن

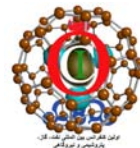
در هر فرایند دفع پسماندهای حفاری، باید از دفع ایمن پسماندهای مورد تزریق اطمینان حاصل کرد. توسعه شکافهای ایجاد شده در طی عملیات تزریق کننده ها باید با اطمینان کامل تخمین زده شوند. که اغلب انجام این فرایند با نرم افزار شبیه ساز شکاف هیدرولیکی امکانپذیر است. با داشتن حجم بسیار بالایی از تزریق دوغاب پسماند شکاف ایجاد شده طی این فرایند میتواند بسیار بزرگ باشد لذا تخمین میزان توسعه شکاف بسیار مهم است که بتوانیم دقیقاً پسماندها در سازند مورد هدف قرار بگیرند. مکانیسم های مربوط به محدوده تزریق پسماند بایستی در طی مطالعات امکان سنجی برای مشخص نمودن منطقه امکانپذیر دفع و نیز ناحیه های شکاف ارزیابی شوند. بوسیله ارزیابی زمین شناسی و اطلاعات چاه شامل نمودار گیری و آزمایش چاه و نمونه برداری و به همراه آزمایش مکانیک سنگ شناسی این فرایند به طور جامع امکان پذیر میشود. مدل های مکانیک سنگ جهت انجام فرایند شبیه سازی شکاف هیدرولیکی باید بر پایه نتایج ارزیابی های زمین شناسی باشد همانطور که در شکل (2) نشان داده شده است.



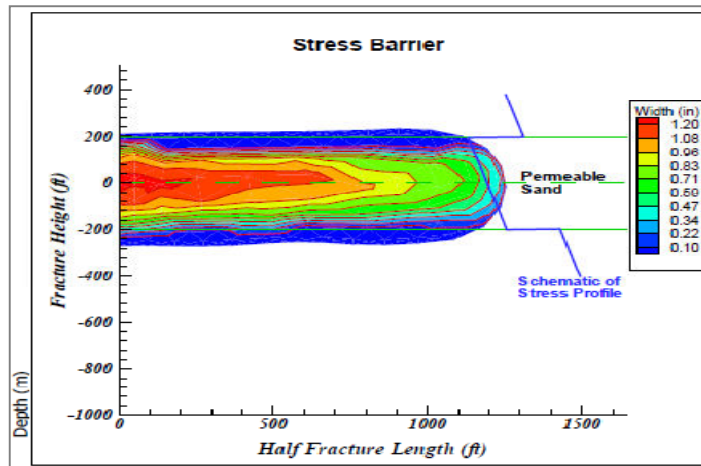
شکل شماره 2 - نمونه ای از ارزیابی های زمین شناسی برای ایجاد مدل شکاف هیدرولیکی

معمولاً از نرم افزارهای شبیه ساز جهت تعیین محدوده سازند های در بر گیرنده شکاف مورد تزریق استفاده میشوند. سه مکانیسم بسیار مهم که تعیین کننده محدوده شکاف است در انتخاب سازند مورد تزریق مورد توجه اند به شرح ذیل اند:

**3-1- موانع تنش :** سازند هایی با شیب شکست بیشتر از شیب شکست در سازند مورد تزریق معمولاً میتواند از گسترش شکاف به سازندهای با تنش بیشتر از تنش ناحیه مورد تزریق جلوگیری نماید. شکل شماره (3) یک نمونه از محدود شدن شکاف بوسیله یک

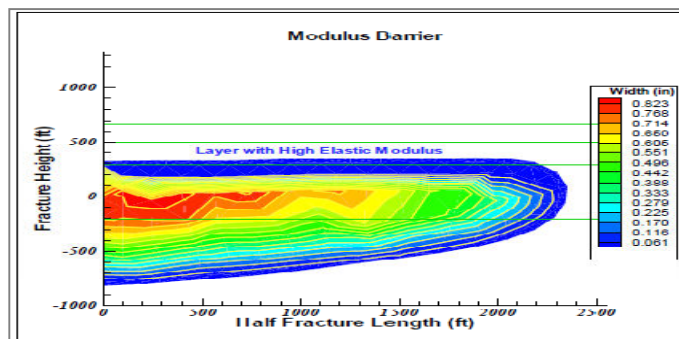


مانع تنش را نشان میدهد. سازندهای بالایی با شیب بیشتر مانند سازندهای نمکی میتوانند بهوان سازندهای ایده آلی جهت ایزوله نمودن شکاف ها باشد.



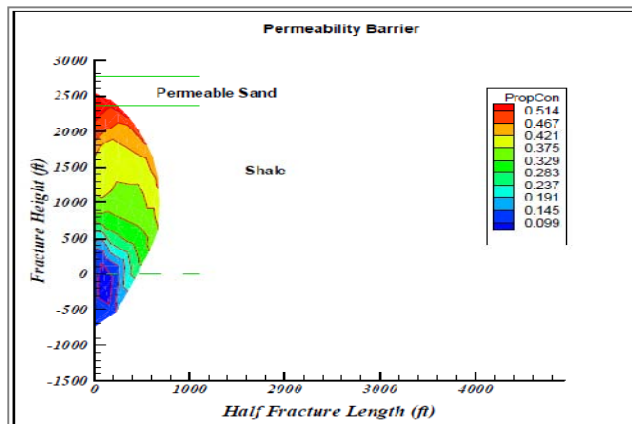
شکل شماره 3 - احاطه شدن شکاف با مانع تنش

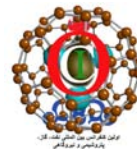
**3-2- موانع مدول :** شکل (4) یک نمونه از یک چاه شامل تزریق مجدد پسماند در NOVA SCOTIA در کانادا را نشان میدهد. در این مورد، شکاف بوسیله یک سازند آهکی که مدول الاستیکی بالاتری دارد محدود شده است. هنگامی که شکاف قصد داد به سازند سخت تر برسد، عرض شکاف در داخل یا نزدیکی سازند سخت تر کاهش پیدا میکند، در نتیجه با افزایش اصطکاک وارد بر لایه سخت تر مانع از گسترش دهانه شکاف در سازند میشود.



شکل شماره 4 - احاطه شدن شکاف با مانع مدول

**3-3- موانع تروایی :** شکل (5) نمونه ایی از فرایند تزریق مجدد در دریای شمال را نشان میدهد. که شکاف به وسیله یک سازند باتروایی بالاتر محدود شده است. واضح است که با نفوذ سیال به درون سازند با تراوایی بالا، ذرات جامد در شکاف باقی میمانند بنابراین از گسترش شکاف به سازند با تراوایی بالاتر جلوگیری میشود. به هر حال هر چقدر که با تزریق دوغاب تخریب شکاف شامل سازند افزایش بیابد این مانع طبیعی به عنوان یک سد دیگر عمل نمیکند.





شکل شماره 5- احاطه شدن شکاف با مانع (سازند) با تراوایی بالا

### 4- حرکت دوغاب و ته نشینی ذرات در فرایند

تزریق مجدد کننده ها:

گسترش توجهات در مورد فرایند تزریق مجدد کننده ها باعث جلب توجهات به مسائل فنی مربوط به خواص حرکتی و ایستایی ذرات معلق در دوغاب شده است. به منظور طراحی یک برنامه تزریق موفق، لازم است که یک راندمان مناسب انتقال کننده ها به سازند بدست آید و آزمایشگاه بسته شدن فضای حلقوی جلوگیری شود. برخی ابعاد تحقیق در باره تاثیر سایز ذرات، غلظت ذرات و ویسکاسیته سیال پایه و دبی جریان دوغاب در سرعت حرکت ذرات تست گردیده است. در یک مقیاس آزمایشگاهی برای ارزیابی راندمان حرکت ذرات در دوغاب در یک جریان عمودی فضای حلقوی به سمت پایین، از نسبت اندازه گیری سرعت نسبی ذره ( $V_p/V_M$ ) استفاده میکند. ایجاد شده است. نتایج نشان میدهد که تاثیر کلی روی سرعت ذره در هر دو حالت استاتیک و دینامیک مشابه هم است. افزایش ویسکاسیته سیال پایه و غلظت ذرات سرعت حرکت ذره را پایین میآورد در حالی که افزایش سایز ذره سرعت حرکت آن را افزایش میدهد. یک تخمین از شرایط مناسب دوغاب بر پایه آزمایشات استاتیک و دینامیک انجام شده است و نشان میدهد که دوغابی با ویسکاسیته سیال پایه 66.7 سانتی پواز مورد نیاز است تا شرایط مناسب برای حمل 30 درصد حجمی ذرات ماسه با اندازه 425 تا 500 میکرون را به درون شکافهای سازند بدست آید.

#### 4-1 - آزمایش سرعت ته نشینی ذرات

**4-1-1 - حالت ایستا:** جهت مطالعه پایداری حالت تعلیق در شرایط استاتیک، یک مدل از فضای حلقوی به وسیله دوغابی پر شد و زمان هایی که جهت انتقال ذرات جامد در طی یک فاصله معین عبور میکنند ثبت گردید. تمامی فرایندها در غلظت های مختلفی از اندازه ذرات و ویسکاسیته سیال پایه تست و ثبت گردیدند.

**4-1-2 - حالت دینامیک:** بعد از اطلاع یافتن از ارتباط میان سرعت پمپ و دبی جریان، حجمی از دوغاب در میان فضای حلقوی مدل مورد نظر پمپ شد و اجازه دادیم که به حالت پایدار برسد. حرکات ذرات مشخص شده در طی یک فاصله مشخص توسط یک دوربین با سرعت بالا ثبت شد. سپس تصاویر دوربین به یک نمایشگر که قابلیت کاهش سرعت حرکت ذرات را تا 8 برابر دارد متصل شد. به عنوان یک نتیجه، تعیین سرعت ذرات مشخص شده آسانتر و دقیق تر شد. تکنیک های مشابه توسط برخی محققان در جهت تعیین سرعت حرکت ذرات در یک جریان دوغاب استفاده شد. در این تحقیق سرعت نسبی ذره با استفاده از معادله زیر تعیین میشود:

$$\text{Relative particle velocity} = (V_p/V_M)$$

$$V_p = \text{سرعت دینامیکی ذره}$$

$$V_M = \text{سرعت مخلوط دوغاب}$$

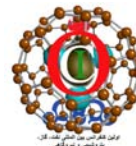
در شرایط استاتیک، مشخص شده است که سرعت ته نشینی ذرات به ویسکاسیته سیال پایه، غلظت ذرات و اندازه ذرات بستگی دارد. افزایش ویسکاسیته سیال پایه و غلظت ذرات باعث کاهش سرعت ته نشینی ذرات میشود. در حالی که افزایش اندازه ذرات سرعت ته نشینی را افزایش میدهد. در شرایط دینامیک، مشخص شده است که افزایش سرعت جنبشی ذرات متاثر از افزایش اندازه ذرات است. مقدار آن با افزایش ویسکاسیته سیال پایه و غلظت ذرات کاهش پیدا میکند. استفاده از سرعت نسبی ذرات ( $V_p/V_M$ ) به عنوان یک مقیاس برای بیان راندمان انتقال ذرات در ستون فضای حلقوی امکانپذیر است. نتایج زیر از تغییرات در سرعت نسبی ذرات به دست آمده است:

1.  $RPV > 1$ : ذرات جامد سریعتر از سیال پایه حرکت نموده که این ممکن است باعث بسته شدن فضای حلقوی گردد.

2.  $RPV = 1$ : ذرات جامد و سیال پایه با سرعت یکسان حرکت میکنند که این شرایط ایده آل خواهد بود.

3.  $RPV < 1$ : ذرات جامد کند تر از سیال پایه حرکت نموده و غلظت در جا را افزایش میدهند و مشکل ته نشینی ذرات را در حالت استاتیک بدتر میکند.

### نتیجه گیری و پیشنهاد



- 1- برحسب چاه مورد حفاری و سازند های موجود عموماً سیالات متفاوت با ترکیبات مختلف برای آن استفاده میشود. که این سیالات و کنده های حفاری خروجی از سازند در طول عملیات حفاری و بعد از پایان حفاری بدون مدیریت خاصی در محیط رها میشوند. با هدف تزریق و مدیریت جمع آوری و ایجاد خواص رئولوژی مناسب جهت تزریق میتوان پسماندها را آماده نمود.
- 2- قبل از انجام تزریق با مطالعه و شناسایی سازند مورد نظر از نقطه نظر شناخت وجود لایه های بالایی و پایینی سازند مورد نظر عملیات ایجاد یا توسعه شکاف و حجم و مقدار دبی تزریق را با نرم افزار باید شبیه سازی نمود. و نتایج را باید ارزیابی نموده و بهترین مدل تزریق و شکاف را جهت تزریق پسماندها انتخاب نمود.
- 3- انجام فرایند تزریق با استفاده از داده های نمودارهای گاما، سونیک و دانسیته پارامترهای خواص الاستیسته مانند ضریب پواسون، ضریب یانگ و ضریب نشت سیال را در هر لایه بعلاوه داده های زمین شناسی خاص را وارد نرم افزارهای خاص نمود و ارزیابی زمین شناسی لازم جهت انجام فرایند تزریق را شبیه سازی نمود.
- 4- همیشه بنا به دلایل مختلف خطرات و ریسکهایی در جریان فرایند تزریق وجود دارد که باید قبل از انجام عملیات تزریق تمامی موارد عدم امکان یا مسدود شدن دهانه چاه ارزیابی و راهکار لازم ارائه شود.
- 5- اگر انجام عملیات تزریق پسماندهای حفاری به درستی مهندسی شود این فرایند یک گزینه بسیار مناسب در جهت کنترل آلودگی های زیست محیطی و جلوگیری از هزینه های اضافه خواهد بود.

### منابع:

1. Drilling Waste Management information System, <http://web.ead.anl.gov/dwm/index.cfm>, 2008
2. Veil, J.A and Maurice B. Dusseault, M.B. "Evaluation of Slurry Injection Technology for Management of Drilling Waste". Argonne National Laboratory report for the US Department of Energy, W-31-199-Eng-38, 110 pages, 2003.
3. شرکاء، سعیدعلیرضا، علیمحمدی عبدالکریم، دشت بزرگی جاسم، اولین کنگره ملی صنعت حفاری ایران، تزریق پسماند حفاری از طریق دالیز، ماهنامه اکتشاف و تولید، 1389، دوره 79، صفحه شماره 36 تا 39.
4. Ahmed S. Abou-Sayed, "Design Considerations in Drill Cuttings Re-Injection through Downhole Fracturing". Paper SPE 72308 presented at the SPE/IADC Middle East Drilling Technology Conference, Bahrain, and 22-24 October 2001.
5. Drilling Waste Management Information System, <http://web.ead.anl.gov/dwm/index.cfm>, 2008
6. Marinell, S.A., F.L. Lyon, and W.T. Ballantini, "Disposal of E&P Waste by Injection: an Assessment of Technology and Regulatory Impact," SPE 66521, presented at the SPE/EPA/DOE Exploration & Production Environmental conference, San Antonio, TX, February 26-28, 2008
7. U.S. EPA Underground Injection Control Program (U.I.C), Office of Ground Water and Drinking Water, Public Information: <http://www.epa.gov/safewater/uic.html>, 2008
8. Quanxin Guo, Thomas Geehan, and Adriana Ovalle. "Increased Assurance of Drill Cuttings Reinjection: Challenges, Recent Advances, and Case Studies". Journal SPE Drilling & Completion, Volume 22, pages 99-105, June 2007.