

## روشهای حفظ فشار به صورت یکنواخت در حفاری فروتعدالی

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

حفاری فروتعدالی به دلیل مزیت های آن نسبت به حفاری فراتعدالی، از جمله افزایش بهره وری از طریق کاهش آسیب به سازند، کاهش هرزروی گل، افزایش عمر مته، افزایش سرعت حفاری و کاهش هزینه های بهره برداری و ... اهمیت ویژه ای در صنعت حفاری پیدا کرده است. انجام یک حفاری فروتعدالی موفق زمانی محقق می شود که فشار ناشی از سیال حفاری همواره در زیر فشار سازند باشد در غیر اینصورت، حتی برای زمانی اندک افزایش فشار درون دالیز چاه و تبدیل شدن حفاری فروتعدالی به حفاری فراتعدالی باعث عدم کارایی حفاری فروتعدالی خواهد شد و ضررهای جبران ناپذیری به سازند وارد خواهد شد. در این تحقیق ابتدا عواملی که سبب تغییرات فشار در حفاری فروتعدالی و دالیز چاه می شوند را بررسی می کنیم و سپس روشهای مؤثر در حفظ فشار به صورت یکنواخت در حفاری فروتعدالی را بیان می کنیم.

واژه های کلیدی: حفاری فروتعدالی - تغییرات فشار - دالیز چاه



در حفاری فروتعدالی فشار سیال بکار گرفته شده در محل تماس با سازند کمتر از فشار مؤثر سیال سازند است. در این روش اجازه داده می شود در قسمتهایی که به عنوان پی زونه های تولیدی مخزن شناخته می شوند جریان نفت، آب یا گاز که ممکن است در توده سنگ با هم ترکیب شده باشند به درون چاه راه یابد. این سیالات به همراه گردش سیال حفاری به سطح منتقل می شوند [1]. این نوع حفاری به عنوان یک روش که صدمات جدی وارده به سازند را در چاههای افقی و عمودی به منظور بهبود مقدار تولید نفت و گاز کاهش می دهد، بکار گرفته می شود. این روش همچنین تزریق پذیری آب و گاز در سازند را به منظور افزایش برداشت افزایش می دهد [2].

حفاری فروتعدالی هنگامی قابل اجراست که فشار مخزن از فشار مؤثر سیال حفاری در ته چاه ( که مساوی است با فشار هیدرواستاتیک ستون سیال حفاری درون چاه به علوه فشار پمپ در سطح منهای فشار اصطکاک سیال با لوله) بیشتر باشد. این رابطه به شرح زیر تعریف می شود [3].

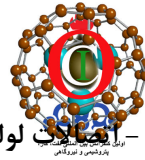
$$P_{res} > P_{hs} + P_{pump} - \Delta P_{fp} \quad (1)$$

در رابطه فوق  $P_{res}$  فشار مخزن،  $P_{hs}$  فشار هیدرواستاتیک سیال حفاری،  $P_{pump}$  فشار پمپ و  $\Delta P_{fp}$  ترکیب افت فشار به دلیل اصطکاک باشد [3]. حفاری فروتعدالی به طور معمول در مناطقی از دنیا که در آنها فشار مخازن بواسطه تولید تا حدی کاهش یافته است، استفاده می شود. معمولاً برای کاهش بیشتر فشار وزن سیال حفاری از یک گاز چگال ناپذیر (معمولاً نیتروژن) که وزن معادل سیال حفاری را کاهش می دهد، استفاده می شود. در این حالت جریان سیال از سازند به سمت چاه برقرار می شود. نگهداری و حفظ فشار به طور ثابت در حفاری فروتعدالی بسیار مشکل می باشد، زیرا در این روش ضرورت تزریق پیوسته گاز برای ایجاد یک حالت تعادلی نسبتاً پایدار که ممکن است در حین حفاری به هم بریزد، وجود دارد [2].

## 2- عوامل مؤثر بر تغییرات فشار ته چاه در حفاری فروتعدالی

### 2-1- کاربرد ابزار اندازه گیری MWD (Measurement While Drilling)

در عملیات حفاری افقی انتقال اطلاعات مربوط به سازند برای هدایت صحیح مته و مطمئن شدن از پیشرفت صحیح حفاری در پی زونها ضروری می باشد. اغلب در فن آوری های حفاری به لحاظ اقتصادی از سیالات حفاری تراکم ناپذیر و یک دستگاه ته چاهی به منظور انتقال اطلاعات مربوط به عمق و جهت چاه به سطح استفاده می شود. در حفاری فروتعدالی با توجه به تزریق همزمان گاز و سیال به درون چاه امکان استفاده از ابزار MWD به علت وجود فاز گازی با خاصیت تراکم پذیری بالا در سیال حفاری وجود ندارد. در بعضی مواقع ابزار MWD که در شرایط حفاری فراتعدالی مورد استفاده قرار می گیرند، در حفاری فروتعدالی بکار می روند. در این صورت باید یک سیال تراکم ناپذیر خالص در چاه به منظور انتقال اطلاعات مربوط به عمق و جهت چاه به سطح در دوره های زمانی کوتاه مدت گردش داده شود. البته استفاده از سیال حفاری با فشار هیدرواستاتیک بالا در این دوره های زمانی باعث ایجاد فشار بیشتر از فشار سازند در ته چاه شده در نتیجه بسیاری از نتایج حفاری فروتعدالی با هدف کاهش صدمات وارده به سازند را به مخاطره می اندازد [1].



اغلب عملیاتهای حفاری فروتعدالی با استفاده از اتصالات لوله ای متداول صورت می گیرد. هنگامی که حفاری فروتعدالی باید بوسیله تزریق یک گاز چگال ناپذیر انجام شود این گاز(نیتروژن) اغلب مستقیماً به لوله ایستا تزریق می شود. در این حالت تزریق نیتروژن باید در هر اتصال که در آن امکان نوسان فشار مؤثر ته چاه و تغییر در انتقال خرده های حفاری سیستم گردش گل وجود دارد، متوقف شود [1].

## 2-3- اثرات ناشی از تخلیه شدن یک زون به صورت محلی

فرآیند تخلیه شدن یک زون به صورت محلی به ویژه می تواند در حفاری چاههای افقی به علت طولانی شدن مدت زمانی که جهت حفاری تمام طول بخش های افقی چاه مورد نیاز است، دیده شود. بخش هایی از سازند که قبلاً توسط حفاری فروتعدالی حفاری شده اند به مرور زمان در معرض یک رژیم توسعه یافته جریان از سازند به طرف چاه قرار می گیرند. نتیجه این می شود که قسمتهایی از سازند که مستقیماً مجاور دیواره چاه قرار دارند به طور محلی در معرض اثرات Draw Down قرار گیرند و پس از گذشت مدت زمانی از جریان یافتن سیال به سمت دیواره چاه فشار در این نواحی ممکن است به فشار متوسط جریان سیال حفاری نزدیک گردد. در نواحی نزدیک مته هنوز یک فشار کمتر (در مقایسه با فشار سازند در بخش های حفاری شده قبلی از چاه) بواسطه اثرات تخلیه شدن محلی وجود دارد. لذا این مسأله در یک زون دارای فشار بسیار بالا که در مجاور قسمتهای تخلیه شده چاه قرار دارد، باعث می شود که سیال مخزن وارد چاه شود و یا اینکه هرزروی سیال حفاری در قسمتهای تخلیه شده رخ دهد. این مسأله خود دارای اثرات مخربی بر روی سازند می باشد [1].

## 2-4- زونهای دارای فشار متفاوت

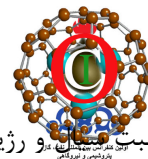
حفاری فروتعدالی در واقع هنگامیکه در یک چاه زونهای با فشار متفاوت وجود دارد، عملیاتی چالش برانگیز می باشد. این حالت می تواند در چاههای عمودی یا انحرافی و یا در عدسی های ماسه ای که در وضعیت های متفاوتی از نظر تخلیه قرار دارند، اتفاق بیفتد. برای بهینه نمودن حفظ بیشترین مقدار تولید مخزن، حفاری فروتعدالی باید برای زونهای دارای کمترین پتانسیل فشار به طور مناسب طراحی و اجراء شود. اگرچه پتانسیل جریان بین قسمتهای تولیدی پرفشار و قسمتهای کم فشار ممکن است در حفظ شرایط فشار فروتعدالی در تمام بخش های چاه در صورت امکان کمک کند [1].

## 2-5 - اثرات جریان اصطکاکی

فشار برگشتی اصطکاکی قابل ملاحظه ممکن است با نسبت بالای جابجایی فاز گاز و مایع در عملیات حفاری فروتعدالی اعمال شود. این مسأله ممکن است این مسأله ممکن است باعث ایجاد یک پروفایل فشار ته چاهی همانند آنچه در شکل 2-11 نشان داده شده گردد. همانطور که ملاحظه می شود توقف جریان باعث کاهش اثرات فشار برگشتی اصطکاکی می گردد در نتیجه این مسأله باعث افت فشار ته چاه و ایجاد بعضی نوسانات در فشار که با اتصالات لوله ای مرتبط است، می شود. برای یک چاه مفروض با توجه

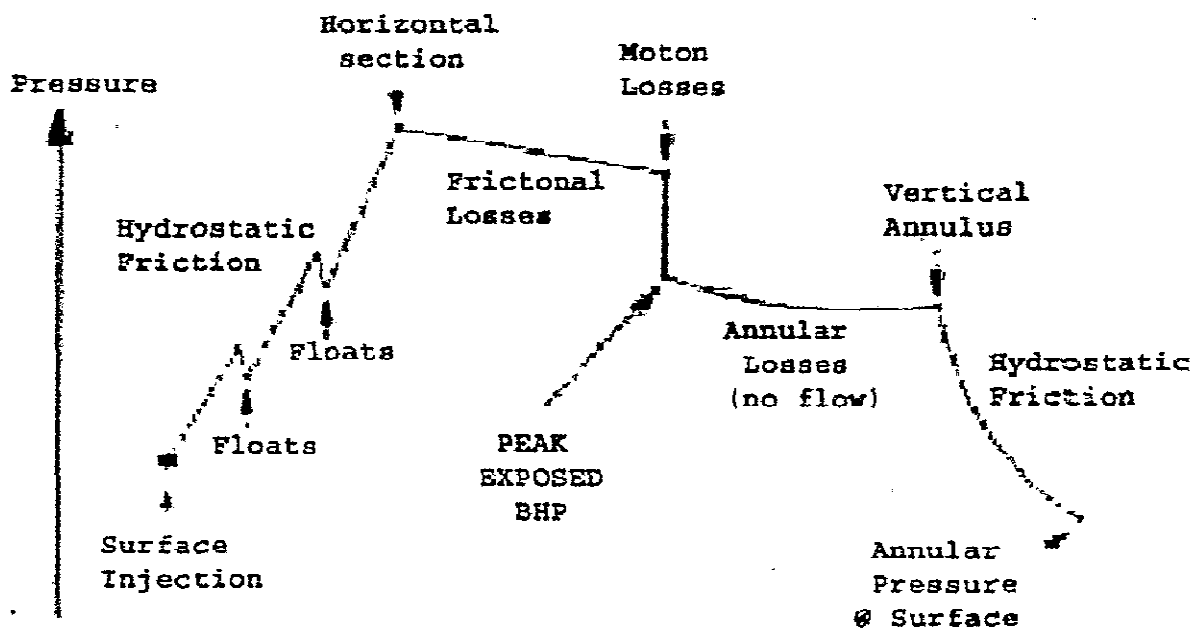
## ولین کنفرانس بین المللی نفت، گاز، پتروشیمی و نیروگاهی

مرکز همایش های بین المللی هتل المپیک تهران



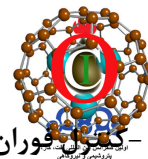
به نسبت سیال و رژیم خواص سیال، یک ماکزیمم عمق برای چاههای عمودی و ماکزیمم طول برای چاههای افقی وجود دارد که هنوز حفظ شرایط فشار فروتعدالی به طور مؤثر صرفنظر از گازی که ممکن است وارد جریان سیال حفاری گردد، امکان پذیر است. در شرایط خاص اثرات فشار برگشتی اصطکاکی ممکن است آنچنان مهم گردد که عملیات حفاری فروتعدالی تحت عنوان حفاری فروتعدالی با فشار اصطکاکی نامیده شود. افزایش نسبت تزریق گاز به منظور کاهش فشار ته چاه همچنانکه انتظار می رود، ممکن است واقعاً سبب گردد که فشار ته چاه به طور مؤثری در این شرایط افزایش یابد[1].

شکل 1 تغییرات فشار ته چاه بواسطه اثرات جریان اصطکاکی[1].



### 2-6- تمیز نشدن چاه به طور کامل

حفاری فروتعدالی جهت انتقال خرده های حفاری به سطح و تمیز کردن ته چاه به جریان با آشفستگی بالا وابسته است. این مسأله می تواند باعث ایجاد حلقه گل در چاه و سایر مشکلات در موارد معین شود. این حالت موجب اثرات فشار برگشتی بالا و ایجاد فشار فراتعدالی می گردد[1].



بواسطه مشکلات مکانیکی و یا لزوم تعویض مته در پاره ایز موارد چاههای حفاری شده توسط روش فروتعدالی به منظور تسهیل در رفع مشکلات و یا تعویض مته باید کنترل شوند(کشته شوند). لذا تغییر وضعیت فشار در این حالت دارای اثرات زیانباری همانند آنچه در قبل گفته شد، می باشد [1].

### 3- روشهای مؤثر در حفظ فشار به صورت یکنواخت در حفاری فروتعدالی

عوامل مؤثر در ایجاد فشار ثابت در این نوع حفاری عبارتند از:

#### 3-1- استفاده از لوله مغزی سیار (Coil Tubing)

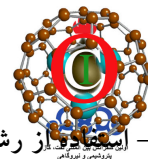
مزیت استفاده از لوله مغزی سیار با توجه به حفظ مداوم فشار فروتعدالی، واضح و آشکار است. زمانی که هیچ گونه اتصالات لوله ای مورد استفاده قرار نمی گیرد فشار فروتعدالی به طور یکنواخت ممکن است تولید و حفظ شود. استفاده از یک سیستم کابل داخلی به همراه لوله مغزی سیار بعضی از مشکلات نام برده شده در روشهای اندازه گیری با ابزار MWD را رفع می کند [1].

#### 3-2 - استفاده از روشهای اندازه گیری الکترومغناطیسی (Electro Magnetic Telemetry) EMT

بعضی از اصلی ترین محدودیتهای حفاری فروتعدالی در استفاده از ابزار MWD بواسطه استفاده از روشهای اندازه گیری مغناطیسی که در آن اطلاعات مربوطه با استفاده از پالس های الکترومغناطیسی به سطح منتقل می شود، مرتفع شده است. فن آوری EMT به طور موفقیت آمیز در بسیاری از عملیتهای حفاری فروتعدالی مورد استفاده قرار گرفته است. اما ممکن است استفاده از این ابزار در سازندهای با مقاومت بالا زمانی که سیالات پایه روغنی به عنوان سیال حفاری بکار می روند و یا در اعماق پائین تر از 2500 متر با مشکل مواجه شود [1].

#### 3-3 - بکارگیری روش اتصال سریع

اتصالات مربوط به حفاری فروتعدالی هنوز تقریباً 80٪ الی 85٪ از بازارهای این نوع حفاری را در اشغال خود دارد. امروزه بهبود در روشها از قبیل استفاده از کفشک شناور در رشته حفاری، اتصالاتی که در زمان سریع بسته می شوند و روشهای ویژه گردش سیال حفاری باعث بهبود در پایداری فشار فروتعدالی در هنگام اتصال لوله ها و عملیات حفاری فروتعدالی شده است. استفاده از اندازه گیری فشار ته چاه در زمان واقعی اجازه داده است که بهبود این روش ها با محاسبه زمان واقعی اثرات، با عملیتهای در سطح و توانایی حفظ فشار ته چاه به طور نسبتاً یکنواخت ممکن شود [1].



## 3-4- استفاده از رشته های حفاری هم مرکز (Parasitic Concentric)

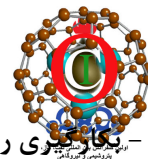
تغییر دیگر در روش حفاری با اتصالات لوله ای استفاده از رشته های حفاری هم مرکز برای تزریق پیوسته نیتروژن به فضای حلقوی بین رشته های حفاری و دیواره چاه می باشد. این شیوه اجازه می دهد که 100٪ جریان سیال تراکم پذیر در بخش های مرکزی رشته های حفاری تزریق شود. استفاده از این روش امکان بکارگیری ابزار اندازه گیری MWD را داده مشکلات ناشی از اتصالات لوله را به منظور حفظ وضعیت فشار ته چاه به طور نسبتاً یکنواخت در حفاری فروتعدالی کاهش می دهد [1].

## 3-5 - استفاده از کف

کف به نظر می رسد بواسطه داشتن وزن مخصوص پائین، خواص خوب و توانایی تمیز نمودن چاه در حفاری فروتعدالی مناسب باشد. ب علاوه اغلب در سیستم کف پایدار حتی مواقعی که گردش سیال حفاری متوقف می گردد گرانروی ظاهری و خواص کف حفظ می شود و نفوذ خرده های حفاری و تهاجم سیال متوقف می گردد گرانروی ظاهری و خواص کف حفظ می شود و نفوذ خرده های حفاری و تهاجم سیال به درون سازند حتی اگر وضعیت فشار فروتعدالی به مخاطره افتاده باشد، تمایل به کاسته شدن دراد. مقدار درصد آب و گاز تا رسیدن کف به فشار مورد نیاز در ته چاه می تواند به راحتی در سطح کنترل شود. سورفاکتانت های مختلفی جهت مقابله با مشکلاتی از قبیل ورود سیال سازند به درون چاه، شیل های مشکل ساز، خوردگی لوله ها و ناپایداری چاه می توانند به کف اضافه شوند. با توجه به وجود افزودنی هایی که به راحتی به همراه کف بکار می روند حفاری با کف برای هر عملیات حفاری بهینه می شود. در گذشته مشکلات اصلی ناشی از حفاری با کف شامل پایداری کف، توانایی آزادسازی گاز و خرده های حفاری در سطح و مشکلات موجود در هدایت کردن حفاری با کف بود، اما امروزه تولید کف های با قابلیت بازیافت PH که دارای مقاومت بالایی در ترکیب با نفت هستند موجب استفاده روزافزون این نوع کف ها در حفاری فروتعدالی گردیده است. گرانروی بالای کف ممکن است با توجه به اثرات فشار برگشتی اصطکاکی که در بعضی موارد رخ می دهد یک محدودیت باشد زیرا این مسأله، حفظ فشار مؤثر فروتعدالی در بعضی از سازندها (تخلیه شده) را مشکل می سازد [1].

## 3-6 - استفاده از Glass Spheres

نظریه استفاده از گاز مملو از Silica Spheroids با هدف کاهش وزن مخصوص سیالات یک نظریه جدید نیست و سالها جهت تولید سیمانهای با وزن کم مورد استفاده قرار گرفته است. البته استفاده از Glass Spheroids در عملیتهای حفاری فروتعدالی با درجات متفاوتی از موفقیت همراه بوده است. مادامیکه در چاه فاز سیال تراکم ناپذیر که برای بکارگیری از MWD مورد استفاده قرار می گیرد، وجود داشته باشد اندازه این ماده ممکن است برحسب شرایط تغییر کند. امروزه عمده ترین مشکلات ناشی از ماده فوق صدمات ناشی از تحرک پذیر بودن، خرد شدن این ذرات و به شدت خورنده بودن سیال حاوی این ذرات در طی عملیات حفاری می باشد [1].



در بعضی موارد سیال حفاری پایه روغنی با وزن مخصوص پائین به منظور ایجاد فشار فروتعدالی در سازندهای با فشار فروتعدالی در سازندهای با فشار نرمال یا فشار تخلیه شده کم، مورد استفاده قرار می گیرد. این ساده ترین نوع فن آوری حفاری فروتعدالی می باشد. در بسیاری از سازندهای با فشار نرمال، نفت خام تولیدی ممکن است به عنوان سیال حفاری بواسطه قابلیت استفاده و سهولت کاربرد آن به طور عمده مورد توجه قرار گیرد [1].

## 4- نتیجه گیری

عدم موفقیت در تأمین شرایط حفاری فروتعدالی به طور پیوسته می تواند باعث ایجاد تغییرات ناگهانی فشار و دوره های موقتی فراتعدالی یا Spike گردد که صدمات زیادی از نظر تهاجم به مخزن، وارد می آورد. این Spike ها می توانند ناشی از عوامل مختلفی همچون اتصالات لوله ای، رفت و برگشت های مته، علائم ارسالی MWD معمولی، اثرات تخلیه مخزن در یک نقطه، آثار جریانهای اصطکاکی، اثرات ستونهای هیدرواستاتیک، وجود چند ناحیه با فشارهای مختلف، فشار متغیر در یک ناحیه مشترک، اطلاعات کم از فشار اولیه مخزن و مسائل عملیاتی و یا تدارکاتی باشند. با حذف یا کاهش این شرایط می توان از نوسانات فشار که باعث شکست یک پروژه حفاری فروتعدالی می شود، جلوگیری نمود. عدم حفظ فشار به طور ثابت در حفاری فروتعدالی می تواند صدمات عمده ای به سازند وارد سازد.

## مراجع

[1] Bennion, D.B; Thomas, F.B; Jamaluddin, A.K.M and Ma, T. (1999), PP 1-10., "Using Underbalanced Drilling to Reduce Invasive Formation Damage and Improve Well Productivity-An Update". Hycal Energy Research Laboratories Ltd.

[2] Gue, Boyun and Ghalambor, Ali, "Gas volume Requirements for Underbalanced Drilling: Deviated Holes". 2002, Penn well Publishing.

[3] حسینی، محمد فاروق، 1379، "درآمدی بر مکانیک سنگ"، (ترجمه)، نشر دانشگاهی.