

۷) ارزیابی ریسک رخداد‌های غیرمنتظره حین حفاری: کمی نمودن مواردناشناخته یا غیرمنتظره امر مشکلی است. بهترین آنالیز بر روی داده‌های موجود برای یک تفسیر ساختمانی خوب و طراحی مسير حفاری، هنوز هم خطر وقوع اتفاقات غیرمنتظره را در خود نهفته دارد. بهترین راه برای رویارویی با این گونه خطرات، شناسایی منبع این اتفاقات و نیز توسعه راه کارهای احتیاطی

### قسمت پایانی

## بهینه‌سازی

## عملیات حفاری

## چاه‌های جهت‌دار

محمد بشیر ذرتی  
مهندسی حفاری و استخراج نفت

است. چهار منبع عمده ریسک این رخداد‌های نامعین در دستیابی به اهداف یک پروژه ژئوستیرینگ عبارتند از:

- ۱- بی‌ثباتی<sup>۱۲</sup> های ساختاری
- ۲- بی‌ثباتی های چینه‌ای
- ۳- بی‌ثباتی های تفسیر داده‌ها
- ۴- بی‌ثباتی های حفاری و سیستم هدایت‌شونده

توضیح:

(۱) بزرگ‌ترین منبع مشکلات ژئوستیرینگ

است. ۴۰٪ پروژه‌های ژئوستیرینگ در بردارنده تغییر اساسی در ساختار سازندی و بدان معنی است که حفاری چاه باید با حفار یک چاه جانبی<sup>۱۳</sup> از دیواره چاه موجود ادامه یابد. یک نوع آنالیز در حال توسعه از داده‌های گوناگون پتروفیزیکی، تخمین «عمق حفاری ایمن<sup>۱۴</sup>» را مقدور می‌سازد. این عمق، فاصله‌ای است که تیم احساس می‌کند با حداقل ریسک وجود اتفاقات غیرمنتظره می‌توان حفاری را

ادامه داد که حدود ۲۰۰ فوت می‌باشد. هنگام دریافت و مشاهده لاگ‌های غیرمنتظره، این فاصله به ۳۰ فوت کاهش می‌یابد. علاوه بر دوره‌های عملی شامل تست‌های آزمایشی د

مقابله با این‌گونه موارد، مسیره‌های احتیاطی حفاری باید توسط اعضای تیم شناسایی و بررسی شود، این امر تاثیر، هزینه و زمانی را که صرف رویارویی با یک رخداد می‌گردد، به حداقل خواهد رساند.

(۲) محیط رسوبی یک مخزن یا سازند هدف، ممکن است در حین حفاری به‌طور غیرمنتظره تغییر یابد. کنترل این رخداد مشابه رخداد‌های غیرمنتظره ساختاری

است. منبع رخداد متفاوت است و اهداف و برنامه عمل متناسب با نوع سازند خواهد بود و مشخصه‌های ساختارهای متفاوت می‌تواند در عملیات ژئوستیرینگ مورد استفاده قرار گیرد. به‌طور مثال اگر ماسه سنگ از حالت شیلی خارج شده و به شکل کانال درآید، تصمیم تیم باید ادامه حفاری به درون بخش پرانرژی رسوبی باشد و یا اگر ماسه سنگ مانع مسير چاه حفاری باشد، تغییر مسير حفاری محتمل خواهد بود.

(۳) ژئوستیرینگ در واقع در بردارنده حل دو مساله است: موقعیت چاه در فضای سه بعدی و شرایطی که محیط بر موقعیت چاه دارد.

بزرگترین منبع داده‌های نامعین که موثر بر موقعیت فیزیکی چاه می‌شود، کنترل و هدایت اعماق چاه<sup>۱۵</sup> می‌باشد. کنترل عمق در یک چاه ژئوستیرینگ معمولاً کاملاً دقیق است و در اینجا این چاه‌های افست هستند که بزرگترین مشکل را ایجاد می‌کنند. کیفیت محاسبات و اندازه‌گیری های عمق این چاه‌ها با عمر این محاسبات همراه گردیده و به سادگی منجر به خطایی بزرگ‌تر از ۱۵ فوت در راستای عمود می‌شود.

مشکلات ناشی از داده‌های پتروفیزیکی معمولاً شامل مقایسه اندازه‌گیری‌هایی است که با ابزارهای متفاوت و یا ترتیب‌های متفاوتی از سنسورها در تجهیزات درون چاه‌های به‌دست می‌آیند (شکل ۲). چندین ابزار مقاومت همراه با ابزارهای MWD و LWD وجود دارد که داده‌های آنها با یکدیگر و نیز با داده‌های حاصل از عملیات جداگانه نمودارگیری مقایسه می‌گردد.

حفاری است. این یک مشکل جدی در قسمت‌های جهت‌دار چاه و در مواقعی است که:

- ۱- قسمت افقی چاه بزرگتر از ۲۰۰۰ فوت باشد.
- ۲- جابجایی چاه در جهت افقی نسبت به نقطه شروع<sup>۱۹</sup>، بیشتر از ۹۰۰۰ فوت باشد.
- ۳- جابجایی چاه در جهت افقی نسبت به عمق عمودی واقعی (TVD)، بیشتر از ۳ باشد.

موارد فوق مربوط به یک حفاری موفق در محیط‌های ماسه‌سنگی نرم است و با تغییر شرایط حفاری و لیتولوژی می‌تواند تغییر یابد.

## محدودیت‌های کاربرد تکنولوژی ژئوستیرینگ

اصول ژئوستیرینگ باید به عنوان استراتژی‌های کاربردی در حفاری دقیق چاه‌های جهت‌دار بازایه بزرگ بررسی شود. اجرای این استراتژی‌ها، تاکتیک‌ها و یاروش کاری است که در ژئوستیرینگ مورد استفاده قرار می‌گیرد.

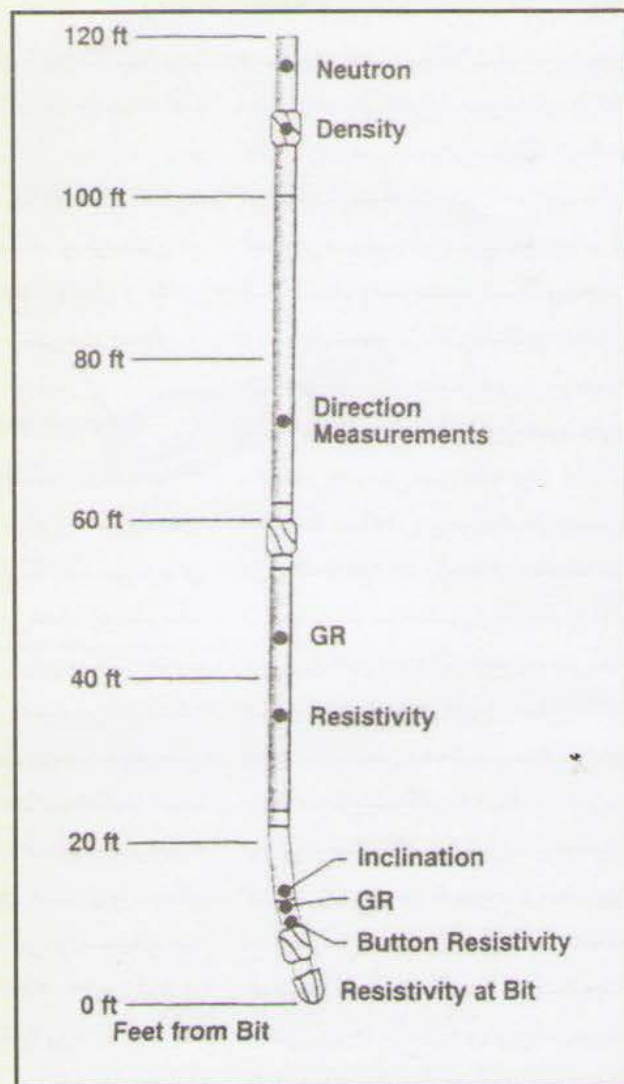
در اینجا محدودیت‌هایی در تکنولوژی وجود دارد که نیاز به تحلیل سه بعدی داده‌ها، از جمله این محدودیت‌ها است. محدودیت‌های تکنولوژی ژئوستیرینگ عبارتند از:

(۱) ارزیابی ساختارهای زمین‌شناسی در حین عملیات حفاری:

تیم ژئوستیرینگ باید یک درک عملی از تفسیر ساختاری مخزن نفتی پروژه داشته باشد. این فهم باید دربرگیرنده جزئیات فنی برای تخمین میزان کیفیت داده‌ها و آنالیز آن باشد ژئوفیزیک‌ها، زمین‌شناسان و پتروفیزیک‌ها درک

سرویس‌های حفاری جهت‌دار است که اطلاعات پایه‌ای سازنده‌ها را با استفاده از سیستم‌های هدایت‌شونده ویژه نمایش داده و تغییرات آن را ثبت نماید و با کمک الگوریتم‌های خاص، پیشامدهای غیرمنتظره را به حداقل برساند.

هنگامی که درجه انحراف از ۴ تا ۸ درجه در ۱۰۰ فوت متغیر است، تغییرات مسیر حفاری در مدل سیستم ژئوستیرینگ



(شکل ۲)

نمایان می‌گردد.

کنترل چرخشی<sup>۱۶</sup> از طریق تعویض stabilizer مورد استفاده موتور هدایت‌شونده و سیستم MWD، فراهم می‌شود. رخداد غیرمنتظره بسیار مهم بعدی در حفاری جهت‌دار چاه‌های ژئوستیرینگ، ریسک از دست دادن قابلیت لغزش است. «لغزش<sup>۱۷</sup>» شامل جایگیری لوله حفاری با موتور درون چاهی همراه آن بریک جهت خاص برای مته<sup>۱۸</sup> به منظور هدایت و کنترل مسیر

مدلسازی، این سردرگمی را کاهش می‌دهد هرچند که میزان ناهمگنی تا پس از حفاری سازند نامشخص بوده و این خود سبب بروز خطاهای بارزی در مدل خواهد شد.

(۴) سیستم‌های هدایت‌شونده توانایی ایجاد منحنی‌هایی با انحنای مختلف را دارند اما درجه انحنای این منحنی‌ها، هنگامی که در طول مسیر حفاری لیتولوژی تغییر یابد، می‌تواند به صورتی غیرمنتظره تغییر کند. این بخشی از

شماره ۲۱ - اردیبهشت ۱۳۸۴

دقیق‌تری نسبت به مهندسان حفار و تکمیل چاه خواهند داشت. درک نقشه‌ها و لیست‌های پراکنده که در توسعه پروژه به‌کار می‌روند باید به قالب شیوه‌های عملی که در کنترل همزمان با حفاری، مفید است برگردانده شود.

تفسیر ساختاری به صورت سه‌بعدی انجام می‌شود. مشکل همیشگی در حفاری جهت‌دار این است که چگونه می‌توان یک شکل سه‌بعدی را در حالت دوبعدی بیان نمود. این مشکل در ژئوستیرینگ بارزتر می‌گردد، بدین معنا که داده‌ها و مسایل سه‌بعدی باید به حالت دوبعدی برگردانده شود تا از جهت پایی‌های موجود و تکنیک‌های حفاری جهت‌دار بتوان استفاده کرد.

۲) برگرداندن داده‌های نمودارگیری به تفسیر ساختاری در چاه‌های جهت‌دار به‌ویژه چاه‌هایی که انحراف آنها در صفحه افقی بیش از ۹۰ درجه باشد، بیان داده‌های نمودارگیری در قالب روابط مشکل است. در چاه‌های

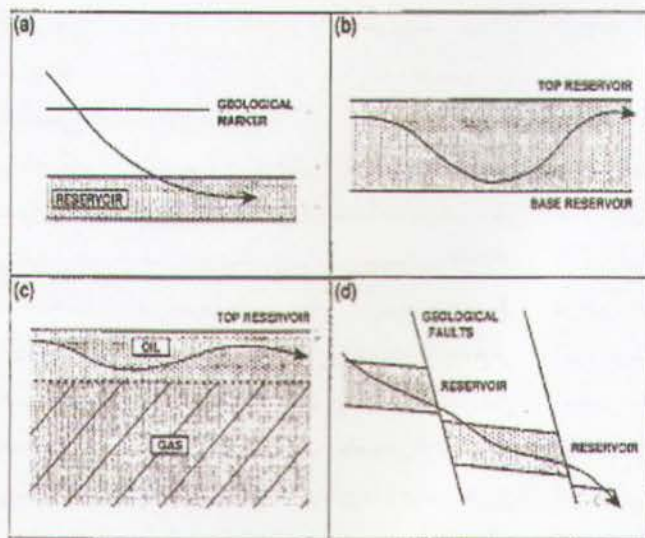
پرانرژی، چاه با استفاده از دو مقاومت القایی LWD و یک مقاومت الکتریکی تعبیه شده در سیستم هدایت شونده، ژئوستیر می‌شوند. این داده‌های نمودارگیری در ته چاه برهم افزوده می‌شوند که این امر یکی از راه‌های آوردن این اطلاعات به نمودارهای ساختمانی است. تست آزیموث، یک عمل اصلاحی

هنگامی انجام می‌گیرد که سنسورها در یک بعد مشخص جهت گرفته باشند و با اطلاعات به دست آمده در جهت مخالف مقایسه می‌شود.

تئوری ساده است اما در عمل، داده‌ها به راحتی بر اثر خطاهای گوناگون در محاسبه عمق، تنظیم جهت‌گیری مته در مسیر مورد نظر و سرعت جمع‌آوری داده‌ها، مخدوش می‌شوند.

### کاربرد ژئوستیرینگ

در حفاری‌های انحرافی معمول، مسیر چاه بر اساس نقشه هندسی از پیش تعیین شده هدایت می‌شود. ژئوستیرینگ راه و روش جدیدی از این حالت معمول است و زمانی مورد نیاز می‌گردد که وضعیت زمین‌شناسی به درستی تعریف نشده و یا مخزن باریک بوده و یا زمین‌شناسی لایه‌ها به قدری پیچیده باشد که حفاری انحرافی معمول راناممکن سازد. نمونه‌هایی از شرایطی که ژئوستیرینگ مورد استفاده قرار می‌گیرد در زیر بیان می‌شود (شکل ۳)



شکل ۳- نمونه‌هایی از چاه‌های ژئوستیر شده

۱- تعیین نقطه ورود افقی<sup>۲)</sup> به مخزن: از جمله مشکلات اساسی هنگام حفار چاه‌های افقی در سازندهای نازک، جایگیری افقی چاه در سازندها هدف، می‌باشد. موقعیت چاه تولیدی ممکن است در موقع جایگیری درون مخزن گم‌شود. ژئوستیرینگ وضعیت زمین‌شناسی رادر بالای مخزن مشخص می‌سازد تا آخرین مرحله ساختمان چاه، یعنی افقی نمودن آن، بادقت و به درستی صورت پذیرد.

۲- حفظ چاه درون مرزهای بسیار نزدیک به هم: امروزه مخازن با ضخامت ۱۵-۱۰ فوت نیز حفاری می‌گردند. هنگام حفاری افقی درون این مخازن باریک، مرزهای سازندی قبل از رسیدن به آنها باید تشخیص داده شوند. لاگ‌های مقاومت و پرتو گاما، از لایه‌های بالایی و پایینی مخزن تأثیر می‌پذیرند و موقعیت مرز را بدون خروج از مخزن مشخص می‌نمایند. حفاری سازندها در صورت تغییر شیب سازند، ضخامت مخزن و وجود گسل‌های کوچک پیچیده خواهد شد.

۳- جایگیری چاه در فاصله‌ای معین از مرز سیالات مخزن: هر چند که ممکن است با مخزنی ضخیم سروکار داشته باشیم ولی گاهی عملیات به‌گونه‌ای توصیف می‌گردد که برای به حداکثر رساندن تولید چاه در یک فاصله ثابت بالای سطح تماس آب و نفت (WOC) یا

گل پس از فرایند لغزش، نیاز نیست.  
 ۲- انتقال بهتر وزن به مته: چرخش- پیوسته، انتقال وزن به مته و در نتیجه قابلیت کنترل مسیر چاه را بهبود می بخشد.

۳- مسیر چاه صاف تر: تغییر از مد لغزش به مد چرخش و بالعکس در موتورهای درون چاهی، می توان سبب ایجاد یک مسیر پریچ و خم شود. RSS سبب تغییرات تدریجی در ایجاد یک چاه

صاف تر سبب افزایش کنترل پذیری می شود، همچنین موجب جلوگیری از به وجود آمدن زیرخام هایی<sup>۲۴</sup> که در راندن لوله جداره مشکل ایجاد خواهد نمود، می گردد. ■

چرخشی) فواید زیر را برای عملیات ژئوستیرینگ چاه های افقی، در مقایسه با چاه های حفر شده با موتورهای درون چاهی، دارند.

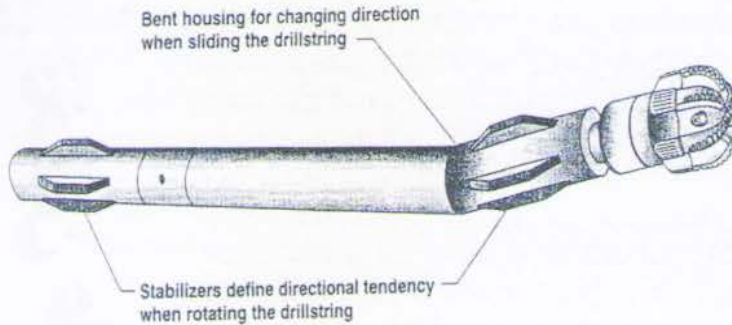


Figure 4. Typical steerable motor configuration

۱- تمیزی بیشتر چاه، خطر گیر کردن لوله را کاهش می دهد، هدایت چاه از طریق لغزش به وسیله موتور باعث به هم چسبیدن تراشه های حفاری و ریسک انباشته شدن آن یا گیرکردگی لوله در مواقعی است که به خاطر چگالی بالای گل

حفاری، وضعیت فراتعادل رخ دهد.

بعد از لغزش، باید زمانی به چاه جهت تمیزی و رفع بهم پیوستگی تراشه سنگ ها فرصت داد. فایده حفاری چرخشی پیوسته به وسیله یک RSS این است که ستون گل درون فضای جداره به طور ثابت همزده شده و از بهم پیوستن تراشه های حفاری جلوگیری می کند و به صرف وقت با ارزش دکل حفاری برای گردش

پایین سطح تماس نفت و گاز (GOC) درون مخزن قرار بگیرد. در این موارد، حفظ فاصله معین از WOC، لاگ مقاومت بیشترین فایده را دارد و در مورد GOC محاسبات چگالی کلیدی تر خواهد بود.

۴- اتصال بلوک های فرو افتاده مخزن با حفر یک چاه: در مخازن گسل خورده، چندین بلوک نفتی ممکن است با یک چاه به هم

متصل گردند. میزان موفقیت این عملیات به تشخیص درست فاصله افقی (departure) از یک بلوک تا بلوک بعدی و نیز عملیات هدایت صحیح برای ورود به بلوک بعدی بستگی دارد. ژئوستیرینگ تکنولوژی بنیادی و خاص برای این مساله و افزایش میزان تولید است.

## سیستم هدایت شونده چرخشی<sup>۲۱</sup>

این سیستم می چرخد و به وسیله ساق بندی های موجود در طول لوله حفاری، مسیر حفاری را به طور هدایت شده به جلومی برد. انرژی سیستم از جریان گل حفاری درون لوله ها تامین و نیز انرژی هیدرولیکی برای ساق بندها که از افت فشار از طریق مته حاصل می شود. موتورهای درون چاهی<sup>۲۲</sup> از بخش «بدنه خمش»<sup>۲۳</sup> برای تغییر جهت چاه که مستلزم لغزش لوله حفاری در حالت ساکن است استفاده می کنند (شکل ۴). ابزار RSS (سیستم هدایت شونده

1. Lesso Jr. W.G. and Kashikar, S.V.: "The Principles and Procedures of Geosteering", Paper IADC/SPE 35051, (1996)
2. Meyer, W.G. and Macune, D.T., Harvay, P.R.: "Brief Geosteering With Near-Bit Formation Evaluation Sensors", paper SPE 30142, (1995).
3. Barry, A., Burnett, Ph. and Meakin, Ch.: "Geosteering Horizontal Wells in a Thin Oil Column", paper SPE 50072, (1998)
4. Roberts, M.J., Kirkwood, A. and Bedford J.: "Real-Time Geosteering in the tern Field for Optimum Multilateral Well Placement", paper SPE 50663, (1998).
5. Roberts, M and Tolstyko, M.: "Multilateral Rewards in Tern Field", paper SPE 38496, (1997).
6. Priliman, J.D., Allen, D.F. and Lehtonen, L.R.: "Horizontal Well Placement and Petrophysical Evaluation Using LWD", paper SPE 30459, (1995).
7. Phillips, I.C., Pauld, M.D., and Constant, A.: "Real Real-Time Geosteering", paper SPE 65141, (oct 2000).
8. Pennwell Publication, Michael, J.E., Larry, T.W., and Shari, D.N.: "Petroleum Well Construction", (1998).
9. Countinho, M.R., Abreu, C.E., Braga, M.S. and Meciel, W.B.: "Horizontal Well Geosteering: The Experience in a Giant Campos Basin Deep-Water Field", paper SPE 81026, (April 2003).

شماره ۲۱ - از بهشت ۱۳۸۴