

# آنالیز رفتار فشاری کشتن یک چاه در حال حفاری به روش روانکاری<sup>۱</sup> در یکی از مخازن نفتی جنوب ایران

سید محمد عزیزی<sup>۲</sup> کارشناسی ارشد مهندسی نفت، شرکت نفت مناطق مرکزی ایران

حسن یاشایی<sup>۳</sup> کارشناسی ارشد مهندسی شیمی، شرکت نفت مناطق مرکزی ایران

چکیده

یکی از مشکلاتی که ممکن است در طول حفاری چاه اتفاق بیفتد، ورود سیال سازند به داخل چاه و فوران آن است. در صورت مشاهده علائم فوران باید با استفاده از تجهیزات ایمنی در دسترس از جمله شیر فوران گیر<sup>۴</sup> چاه را کنترل و ایمن کرد و بلافاصله برنامه عملیاتی جهت کشتن چاه را طراحی و اجراء نمود. در این مقاله کنترل فوران یک چاه نفتی در جنوب ایران در وضعیتی که سیمان تزریق شده به پشت لوله آستری ۱۷ اینچ همراه با گاز سازند وارد فضای حلقوی<sup>۵</sup> و رشته حفاری داخل چاه گردیده مورد بررسی قرار گرفته است. در این مطالعه در اثر فوران چاه و نفوذ سیال سازند و سیمان تزریق شده به داخل رشته حفاری، شیر هیدرولیکی دستگاه تاپ درایو (گرداننده فوقانی) به صورت اتوماتیک بسته شده، لذا امکان تزریق سیال حفاری از داخل رشته حفاری و استفاده از سایر روش های کشتن چاه از جمله روش wait & weight و bull head ممکن نبوده است و فقط با استفاده از روش روانکاری موفق به کشتن چاه شدند. هدف از این مطالعه بیان نقش روش روانکاری به عنوان بهترین روش جهت کنترل فوران سیال وارد شده به داخل رشته حفاری است.

واژه‌های کلیدی | کنترل فوران، وزن گل حفاری، سیال نفوذی به داخل چاه، روش کشتن چاه، رشته حفاری

## مقدمه

فوران سیال سازند یکی از مشکلاتی است که ممکن است در هنگام حفاری چاه های نفت و گاز اتفاق بیفتد [۳]. بررسی های به عمل آمده نشان دهنده آن است که ۴۴٪ فوران ها در زمان ورود رشته حفاری به داخل چاه و یا خروج از آن و همچنین ۴۱٪ فوران ها در حین عملیات حفاری اتفاق افتاده است. عدم مهار به موقع فوران می تواند باعث بروز خسارت های جبران ناپذیر جانی و مالی شود. تنها راه حل این مشکل استفاده از تجهیزات کنترل فوران و داشتن اطلاعات درست و سرعت عمل کافی و همچنین استفاده از روش مناسب در شرایط به وجود آمده و در نهایت کشتن چاه است؛ به طوری که مشکلات جدید و دشوارتری مانند شکسته شدن سازند و هرزروی گل حفاری به وجود نیاید.

پمپ ها و افزایش دبی خروجی پمپ ها و تغییرات ناگهانی در نرخ نفوذ متسه<sup>۶</sup> (افزایش تدریجی در نرخ نفوذ مته دلیل توقف عملیات حفاری نیست؛ اما می تواند نشانه ای از وجود فشارهای غیر عادی باشد).

فوران عبارت است از هجوم غیر قابل کنترل سیال سازند به داخل چاه که اگر افزایش حجم چاه به درستی مدیریت نگردد در خاتمه به یک فوران منجر خواهد شد. مهم ترین دلایلی که می توانند منجر به فوران چاه در حال حفاری شوند عبارتند از کوتاهی در پر کردن چاه هنگام بیرون آوردن لوله های حفاری، فشار مکش و هرزروی کامل گل حفاری.

## ۱-۲- تجهیزات کنترل فوران چاه های حفاری

تجهیزات زیادی در کنترل فوران و جلوگیری از فوران چاه های در حال حفاری نقش دارند. از جمله آنها می توان به شیرهای کنترل کننده فوران چاه (BOP) اشاره نمود. شیرهای کنترل کننده فوران در حقیقت قلب سیستم کنترل فشار و مهار فوران چاه هستند که علاوه بر مهار چاه، امکان خروج گاز و یا سیالات وارد شده را از چاه می دهند و همچنین در عین حال پمپاژ گل حفاری و سیمان را نیز به درون چاه امکان پذیر می سازند. سایر تجهیزاتی که در مهار فوران چاه نقش اساسی دارند شامل لوله ای جداری، چوک منیفولد، شیر ایمنی فضای حلقوی<sup>۷</sup>، مسیر کشتن چاه<sup>۸</sup>، شیر نصب شده بر روی لوله چند پر<sup>۹</sup>، شیر ایمنی<sup>۱۰</sup>، شیر شناوری<sup>۱۱</sup> و مخزن سیستم کنترل فوران چاه<sup>۱۲</sup> [۱، ۲] هستند.

## ۱- افزایش حجم سیال حفاری، فوران چاه و تجهیزات کنترل فوران

۱-۱- دلایل افزایش حجم گل حفاری یک چاه در حال حفاری و فوران آن  
افزایش حجم سیال در چاه بیانگر حالتی است که در آن فشار سیال سازند از فشار هیدرولیکی اعمال شده به وسیله سیال حفاری بیشتر باشد که در این صورت به سیال سازند اجازه داده می شود تا به درون چاه وارد شود. مهم ترین علائم این پدیده عبارتند از افزایش دبی جریانی گل برگشتی با پمپاژ ثابت، وجود مقادیر قابل توجه از سیال سازند مانند گاز، آب و نفت در گل حفاری، تغییر وزن رشته حفاری، کاهش فشار



## ۲- تئوری کنترل و کشتن چاه

### ۲-۱- روش‌های کشتن چاه

یا

$$KMW = \frac{SIDPP}{0.052 \times TVD + OMD} \quad (۳)$$

$$BHP = HP + SICP \quad (۴)$$

$$HP = 0.052 \times TVD \times MW \quad (۵)$$

$$Annular Volume = \frac{OD^2 - ID^2}{10.29} \quad (۶)$$

$$Length of Influx = \frac{pit gain}{Annular Volume} \quad (۷)$$

$$Mud gradient = MW \times 0.052 \quad (۸)$$

OMD: چگالی گل حفاری درون چاه قبل از فوران

TVD: عمق نهایی حفاری شده

BHP<sup>۱۶</sup>: فشار در ته چاه

HP<sup>۱۷</sup>: فشار استاتیکی ستون سیال حفاری داخل چاه

MW<sup>۱۸</sup>: وزن گل حفاری

منظور از کشتن چاه افزایش فشار ته چاه به معادل یا بیشتر از فشار سازند است [۱]. برای کشتن چاه و مهار فوران روش‌های متعددی همچون روش wait&weight، روش Bull Head و روش روانکاری وجود دارند. اساس تمامی روش‌ها یکسان بوده و هدف از آنها برابری فشار سازند با فشار هیدرواستاتیک گل حفاری در داخل چاه می‌باشد. در مواقعی که نتوان از روش‌های معمول مانند روش حفار و یا روش wait&weight به دلیل نفوذ گاز به درون رشته حفاری و یا بسته شدن این رشته و عدم امکان تزریق گل حفاری استفاده نمود، از روش روانکاری استفاده می‌شود. در این روش ابتدا حجمی از گل حفاری به درون فضای حلقوی چاه پمپ می‌گردد و سپس پمپاژ گل قطع می‌شود. پس از گذشت زمان کافی و با توجه به اختلاف وزن گل درون چاه و گل سنگین پمپ شده، گل حفاری به سمت ته چاه حرکت نموده در نتیجه گاز و سیال وارد شده از سازند به سمت بالا حرکت می‌کنند. در این صورت فشار سر چاه نیز افزایش می‌یابد و بنابراین به طور متناوب گاز بالا آمده از طریق چوک منیفولد تخلیه می‌شود. عملیات فوق تا جایگزینی گل حجم چاه با گل جدید ادامه پیدا می‌کند.

### ۲-۲- تعیین نوع سیال نفوذی به داخل چاه و محاسبات مربوط به

#### کشتن چاه

در صورت افزایش حجم سیال چاه، نوع سیال وارد شده را می‌توان با استفاده از روابطی معین نمود. سیال وارد شده می‌تواند آب، گاز، نفت و یا ترکیبی از هر سه آنها باشد. لازم به ذکر است که تعیین نوع سیال وارد شده صرفاً یک محاسبه تقریبی است. اگر نوع سیال ترکیبی از آب، گاز و نفت باشد تعیین دقیق نسبت آنها تقریباً غیرممکن است. به عنوان یک قانون عمومی گرادیان ۳-۱ پی‌پی‌جی بیانگر سیالی از نوع گاز، گرادیان ۵-۳ پی‌پی‌جی بیانگر مخلوط آب و گاز و نفت و گرادیان ۷-۵ پی‌پی‌جی بیانگر نفت یا مخلوط آب و نفت است. روابط لازم جهت تعیین نوع سیال ورودی به صورت زیر می‌باشد.

$$Influx gradient = (mud gradient) - \frac{(SICP - SIDPP)}{length of influx} \quad (۱)$$

mud gradient: گرادیان گل حفاری داخل رشته حفاری

Influx gradient: گرادیان سیال نفوذی به داخل چاه

SIDPP<sup>۱۳</sup>: فشار بسته لوله‌های حفاری

SICP<sup>۱۴</sup>: فشار بسته لوله‌ی جداری

بعد از بستن چاه و تعیین SIDPP و SICP و همچنین تعیین مقدار افزایش حجم سیال حفاری، مرحله بعد محاسبه وزن گل مناسب برای کشتن چاه است.

وزن گل جدید برای کشتن چاه که KMW<sup>۱۵</sup> نامیده می‌شود از طریق معادله‌ی زیر محاسبه می‌شود [۴].

$$KMW = \frac{SIDPP \times 19.12}{(TVD + OMD)} \quad (۲)$$

### ۳- بررسی و شرح وقوع فوران یک چاه نفتی در

#### جنوب ایران

طبق برنامه، عملیات تکمیل یک چاه نفتی توسعه‌ای با راندن آستری ۷ اینچ از عمق ۱۷۸۳ تا ۲۳۰۰ متری (به طول ۵۱۶ متر) در ناحیه کلاهک گازی مخزن آسماری که جنس سازند آن از نوع آهکی و دولومیتی است انجام شد. در ادامه عملیات سیمانکاری پشت آستری شروع گردید. مشکل از آنجا آغاز شد که سیمان تزریق شده دچار هرزروی کامل شد که منجر به نفوذ گاز سازند به داخل سیمان تزریق شده و گل حفاری درون چاه و در نتیجه کاهش وزن گل حفاری تا ۱۰ pcf گردید. پس از مدت زمان مشخصی پس از تزریق گل حفاری و با ثابت شدن شرایط چاه و خارج نمودن رشته از داخل چاه، عملیات لوله پائین جهت حفاری و تمیز کردن سیمان لبه‌ی آستری و داخل آن تا عمق ۱۷۶۹ متری انجام شد. در ادامه عملیات افزایش حجم گل حفاری در داخل چاه رخ داد و گاز وارد فضای حلقوی چاه و رشته حفاری گردید. به خاطر جلوگیری از فوران چاه و ایمن نمودن چاه، حفار دستگاه شیرهای BOP سر چاه و IBOP دستگاه تاپ‌درايو را بسته و در این مدت فوران کنترل شده و فشار چوک منیفولد و داخل رشته حفاری در سطح به ۱۵۰۰ پام افزایش یافت. در مرحله اول کشتن چاه با فشار ۲۰۰۰ پام، چاه Bull head نگرديده و با توجه به باز نشدن شیر هیدرولیکی دستگاه تاپ‌درايو به دلیل بالا بودن فشار داخل رشته حفاری و فضای حلقوی چاه، تنها روشی که برای مهار و کشتن چاه نتیجه مثبت داد، روش روانکاری بود.

### ۳-۱- محاسبات مربوط به کشتن چاه

محاسبات انجام شده بیانگر آن است که نوع سیال نفوذی به داخل چاه، سیمان گاز زده پشت آستری بوده که به دلیل پر شدن رشته حفاری از گاز سازند مخلوط شده با سیمان، تنها از روش روانکاری با تزریق در مجموع ۵۰۰ بشکه گل حفاری و

گل پمپاژ شده و همچنین تغییرات فشار سرچاهی را نسبت به زمان در طول کل مدت زمان کشتن چاه به روش روانکاری نشان می دهند. نقاط اوج نمودارها مربوط به زمان تزریق گل حفاری به فضای حلقوی چاه و نقاط قعر نمودارها مربوط به زمان تخلیه گاز و سیال سبک شده در ستون بالایی چاه است.

در ۲۴ ساعت اول با حداکثر فشار تزریقی ۲۰۰۰ psi در چند مرحله ۱۹۰ بشکه گل ۷۸ pcf و ۱۳۰ بشکه گل ۸۱ pcf را به درون فضای حلقوی چاه پمپ کردند. بالارفتن سریع فشار سرچاهی را بعد از هر مرحله ی bull head کردن، بیانگر شرایط کاملاً ناپایدار چاه است (شکل های ۲ و ۱).

در ۲۴ ساعت دوم باز هم شرایط مثل روز قبل بود و در ۴ مرحله ۱۰۰ بشکه گل ۸۷ pcf را با حداکثر فشار ۲۰۰۰ psi در فضای حلقوی چاه پمپ کردند؛ ضمن اینکه فشار سرچاهی در هر مرحله قبل از تزریق به صفر رسانیده می شد (شکل های ۳ و ۴).

در ۲۴ ساعت سوم دامنه تغییرات فشار کمتر شد. در این مرحله ۵۰ بشکه گل ۸۱ pcf را با حداکثر فشار ۲۰۰۰ psi در دو مرحله در فضای حلقوی چاه پمپ کردند و در چندین مرحله نیز فشار سرچاه را حدود ۱۵۰ تا فشار ۵۰۰ psi تخلیه کردند که باز هم عملیات روانکاری ناموفق بود. (شکل های ۵ و ۶).

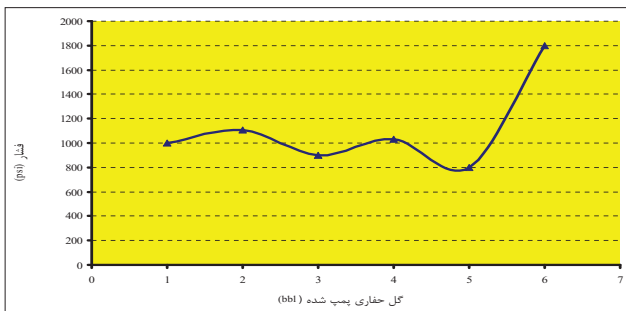
در ۲۴ ساعت چهارم ۳۰ بشکه گل ۸۱ pcf را با فشار ۲۰۰۰ psi در دو مرحله در فضای حلقوی چاه پمپ کردند و در چندین مرحله فشار سرچاهی را به صفر رساندند. در نهایت پس از ۶ ساعت فشار از ۶۰۰ psi به ۸۸۰ psi رسید که با تخلیه کامل این فشار، چاه روانکاری شده و IBOP دستگاه تاپ درایو که بر اثر ورود گاز به داخل رشته حفاری بسته شده بود با تخلیه شدن فشار داخل رشته حفاری باز شد و به حالت پایدار رسید (شکل های ۷ و ۸).

در طول مدت زمان کلی ۱۰۰ ساعت موفق به کنترل و کشتن چاه شدند. جدول ۱ محاسبات مربوط به کشتن چاه را نمایش می دهد.

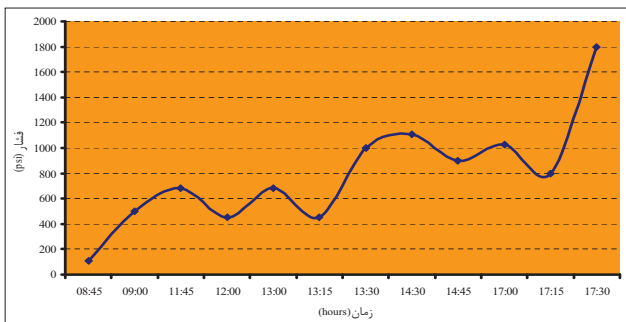
### ۲-۳- فرآیند عملیاتی کشتن چاه مورد مطالعه به روش روانکاری

پس از تشخیص نوع سیال نفوذی به داخل چاه و طراحی برنامه ی عملیاتی کشتن چاه، سرانجام طبق آنچه در نمودارهای زیر شرح داده می شود چاه به روش روانکاری کشته شده و به شرایط پایدار رسانیده شد. شکل های ۱ تا ۸ نمودارهایی هستند که فشار چوک منیفولد را بر حسب مقدار

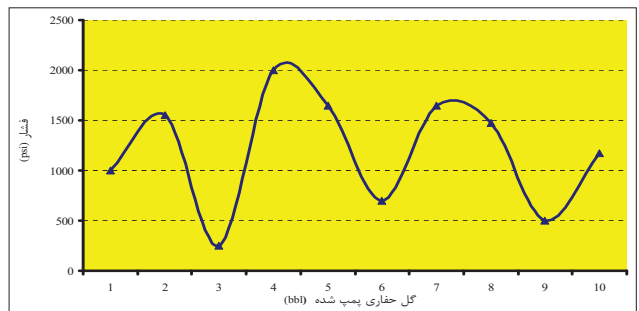
پارامتر	مقدار	پارامتر	مقدار
SIDPP (psi)	۱۰۰۵	TVD (ft)	۵۸۰۴
Pit gain (bbl)	۲	OMW (ppg)	۱۰/۴۲
L. of influx (ft)	۵۰	HP (psi)	۳۱۴۴
Mud gradient (psi/ft)	۰/۵۴	Hole OD (in)	۸/۱۲۵
MW new (ppg)	۱۳/۷۳	DP OD (in)	۵
Gradient in flux (psi/ft)	۰/۶۴	Annular vol. (bbl)	۲۳۱
Influx	گاز سازند مخلوط شده با سیمان	SICP (psi)	۱۰۰۰



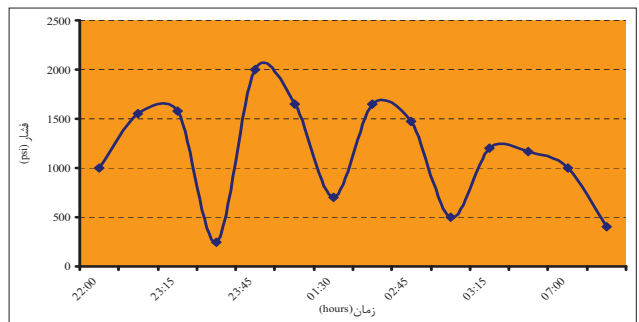
شکل ۳ | نمودار گل پمپ شده به فضای حلقوی چاه نسبت به فشار چوک منیفولد در ۲۴ ساعت دوم



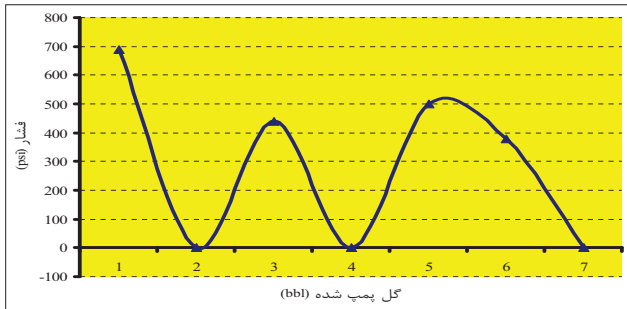
شکل ۴ | نمودار تغییرات فشار چوک منیفولد نسبت به زمان در ۲۴ ساعت دوم



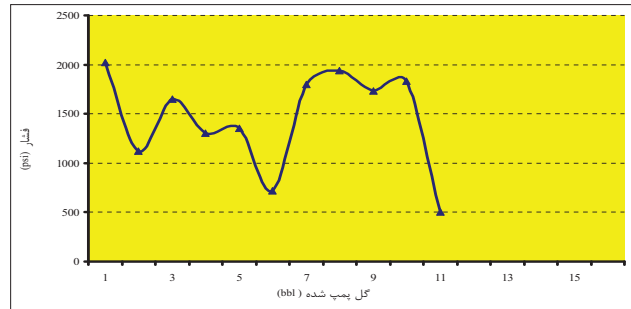
شکل ۱ | نمودار گل پمپ شده به فضای حلقوی چاه نسبت به فشار چوک منیفولد در ۲۴ ساعت اول



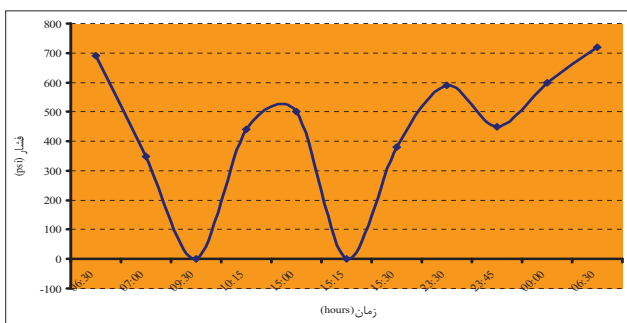
شکل ۲ | نمودار تغییرات فشار چوک منیفولد نسبت به زمان در ۲۴ ساعت اول



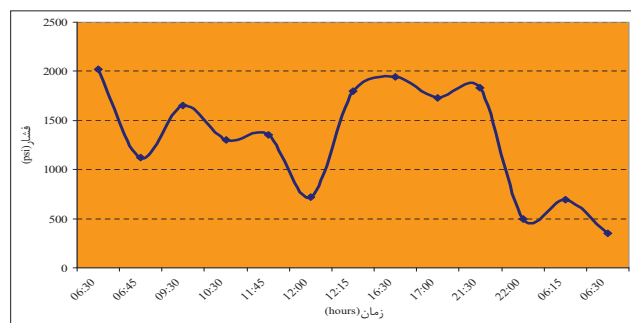
شکل ۷ | نمودار گل پمپ شده به فضای حلقوی چاه نسبت به فشار چوکمنی فولد در ۲۴ ساعت چهارم



شکل ۵ | نمودار گل پمپ شده به فضای حلقوی چاه نسبت به فشار چوکمنی فولد در ۲۴ ساعت سوم



شکل ۸ | نمودار تغییرات فشار چوکمنی فولد نسبت به زمان در ۲۴ ساعت چهارم



شکل ۶ | نمودار تغییرات فشار چوکمنی فولد نسبت به زمان در ۲۴ ساعت سوم

در صورت ورود گاز به داخل رشته حفاری و در صورتی که نتوان از داخل رشته حفاری سیال به داخل چاه پمپ نمود، تنها راه باقی مانده استفاده از روش روانکاری جهت کشتن چاه و ایمن سازی آن است. انجام محاسبات نادرست جهت کشتن چاه و همچنین عدم گذراندن زمان لازم برای انجام فرآیند کشتن چاه منجر به ایجاد خطرات جدید و غیر قابل پیش بینی می گردد. روند تغییر نمودارها به صورت سینوسی و با دامنه‌ی بیشتر بیانگر رسیدن چاه به شرایط پایدار و مطلوب است. به عبارت دیگر برنامه عملیاتی و روش کشتن چاه به طور درستی انتخاب شده است.

**نتیجه گیری**  
در صورت وقوع فوران باید با توجه به موقعیت و نوع سازند در حال حفاری و یا عملیات تکمیلی و همچنین نوع سیال ورودی از سازند به چاه، اقدام به کشتن چاه کرد. باید توجه نمود که نحوه و روش کشتن چاه، مشکلات دیگری مانند شکست سازند در اثر فشار هیدرواستاتیکی بیش از حد تعادل گل حفاری را ایجاد نکند. چنانچه در زمان اجرای عملیات کشتن چاه هر مشکل دیگری از قبیل پلاگ شدن مته، سوراخ شدن رشته حفاری و غیره در چاه اتفاق بیفتد، اولویت با کشتن کامل چاه و ایمن کردن آن است.

#### پانویس‌ها

- |                              |                      |                                 |
|------------------------------|----------------------|---------------------------------|
| 1. Lubricate                 | 7. Annular Preventer | 13. Shut in drill pipe pressure |
| 2. Mohamadazizi20@yahoo.com  | 8. Kill flowline     | 14. Shut in casing pressure     |
| 3. hhasanpasha@yahoo.com     | 9. Kelly cock        | 15. Kill mud weight             |
| 4. low out preventer (BOP)   | 10. Safety Valve     | 16. Bottom hole pressure        |
| 5. Annulus                   | 11. Float Valve      | 17. Hydrostatic pressure        |
| 6. Rate of Penetration (ROP) | 12. Accumulator      | 18. Mud weight                  |

#### منابع

- [1] Neal J. Adams Drilling Engineering (a complete & well planning design).  
 [2] Carl Gatlin Petroleum Engineering Drilling & Well completion, 1960.  
 [3] Drilling Fluid Engineering Manual, Magcobardivision Oil Field Products Group Dresser Industries, INC. Houston, Texas, Revised January, 1977  
 [4] Adolzadeh M.R., Drilling Engineering, 2006