



### بررسی پایداری دیواره چاه های نفت و گاز و مقایسه نتایج با مدل نرم افزاری آن

نام و نام خانوادگی مؤلفان : \* سعید مرادی؛ \*\* حسین مهری

#### چکیده

با توجه به مخاطرات موجود در حین عملیات حفاری پایدار سازی دیواره چاه ها از اهمیت خاصی برخوردار است چرا که پایدار سازی در زمان حفاری با پایدار ماندن چاه ها پس از مرحله حفاری ارتباط مستقیم و تنگاتنگی دارد. برای تامین پایداری چاه ها در حین عملیات حفاری بایستی قبل از شروع عملیات نحوه تامین پایداری سازه را با روش های مختلف بررسی و وقوع ناپایداری های محتمل را پیش بینی و برای مواجهه با آنها راهکار ارائه نمود. اینگونه تحلیل و بررسی و یافتن راهکارها موجب پایین آمدن درصد ریسک از جمله جلوگیری از تکرار مشکلات مشابه، صرفه جویی در زمان و هزینه های ناخواسته ناشی از ناپایداری چاه های نفت و گاز می شود. به طور کلی پایداری دیواره چاه های نفت و گاز با در نظر گرفتن جهت صحیح حفاری، نوع و فشار مناسب گل حفاری، بررسی تاثیرات گل بر سازند و کنترل فشار منفذی میسر می گردد. در این تحقیق پایداری دیواره چاه ها بصورت موردی و مقایسه ای در دو چاه نفت ایران مورد مطالعه و بررسی قرار گرفته و مدل سازی ای چاه ها توسط معیارهای شکست با یک مدل نرم افزاری مقایسه و فاکتور های لازم برای بررسی پایداری ای چاه ها قبل از انجام عملیات حفاری محاسبه و فرمول های مربوطه ارائه شده است.

کلمات کلیدی: فشار منفذی، معیار شکست، پایدار سازی، سازند

#### ۱ مقدمه

امروزه با پیشرفت علوم، فن آوری های جدیدی در صنایع گوناگون ایجاد و بکارگیری آنها از نظر اقتصادی امری ضروری می باشد. استفاده از تجربیات سایر کشورها نیز باعث ارتقای سطح فن آوری و افزایش بهره وری در بخش های مختلف صنعت نفت از جمله صنعت حفاری می شود. یکی از مسایل مهمی که سهم بسزایی در کاهش هزینه های عملیات استخراج نفت دارد کاهش ریسک های مرتبط با ناپایداری در چاه ها است که با صرف هزینه اندکی می توان هزینه های گزاف پایداری در چاه ها را به میزان قابل توجهی کاهش داد. در

\* کارشناس ارشد مهندسی استخراج معدن، فرارگاه سازندگی خانم الایتی (ص) - موسسه پارس پترو  
\*\* کارشناس ارشد مهندسی اکتشاف معدن، فرارگاه سازندگی خانم الایتی (ص) E-mail:mehri\_hi@yahoo.com



عملیات حفاری علت بسیاری از تخیرها وجود ناپایداری در دیواره چاه ها می باشد در نتیجه اهمیت بررسی پایدار سازی چاه ها قبل از شروع عملیات حفاری و مدل سازی آنها امری بسیار معقول و اقتصادی به نظر می رسد.

### 2- پارامترهای مورد نظر جهت بررسی پایداری و مدل سازی دیواره چاه

- وجود پارامترهای ذیل برای آنالیز پایداری و مدل سازی دیواره چاه نفت ضروری است:
- 1-2- فشار منفذی (Pp): از طریق عملیات لرزه نگاری و log های صوتی بدست می آید.
- 2-2- پارامترهای مقاومسی سنگ (μ, UCS): از log های تست مغزه و روابط تجربی موجود بدست می آید.
- 3-2- مشخصات الاستیک و پلاستیک: از طریق log آزمایشات مغزه ها و روابط تجربی بدست می آید.
- 4-2- تنش عمودی ( $\sigma_v$ ): از طریق log های چگالی بدست می آید.
- 5-2- تنش افقی ما کوییم ( $\sigma_{H1}$ ): از hydraulic fracturing, leak-off tests, آنالیز شکست ها و معیارهای شکست بدست می آید.
- 6-2- تنش افقی میزیم ( $\sigma_{H2}$ ): از hydraulic fracturing و leak-off tests بدست می آید.

### 3- تنش های اصلی در شکست و خرد شدن دیواره چاه

تنش های شعاعی و مماسی ( $\sigma_r$  و  $\sigma_\theta$ ) توابعی از فشار گل حفاری ( $P_w$ ) می باشند بنابراین هر تغییری در فشار گل بر روی این تنش ها نیز تاثیر می گذارد. عمدتاً دو عامل مهم ناپایداری ذیل در حین عملیات حفاری رخ می دهند:

- 1-3- شکست برشی که منجر به ریزش چاه می شود.
- 2-3- شکست کششی که منجر به ایجاد شکست هیدرولیکی می شود.

زمانیکه تغییرات  $\sigma_r$  و  $\sigma_\theta$  در ارتباط با فشار گل حفاری ( $P_w$ ) مورد بررسی قرار گیرد دو حالت ذیل بوجود می آید.

- 3-3-  $\sigma_\theta > \sigma_r$ : منجر به خرد شدن و ریزش چاه می شود (حد پایین فشار گل ( $P_{lim}$ )).
- 4-3-  $\sigma_r < \sigma_\theta$ : منجر به شکست شده و این حالت زمانی روی می دهد که  $P_w$  افزایش پیدا می کند. بنابراین حد بالای فشار گل ( $P_{lim}$ ) به شکست چاه منجر می شود و در مورد بزرگی نسبی تنش محوری در حالت های ذکر شده برای بدست آوردن حد بالای فشار مجاز گل حفاری حالت های ذیل ایجاد می شود:

$$\sigma_r \geq \sigma_\theta \geq \sigma_z \quad (1) \quad \sigma_r \geq \sigma_z \geq \sigma_\theta \quad (2) \quad \sigma_z \geq \sigma_r \geq \sigma_\theta \quad (3)$$

در این حالت تنش کششی نسبتاً از مقاومت کششی شده و تنش شعاعی در کمتری مقدار خود قرار می گیرد. در  $\theta = 0, \pi$  بدی معرفی است که شکست هیدرولیکی در طول جهت  $\sigma_{H1}$  گسترش می یابد و سه تنش اصلی در دیواره چاه معادل فرمول ذیل ایجاد می شود.

$$\sigma_r = P_w, \quad \sigma_\theta = D - P_w, \quad \sigma_z = E \quad (1)$$



که در آن D و E ثابت بوده و به صورت ذیل بیان می شوند.

$$\begin{aligned} D &= 3\sigma_h - \sigma_H, \\ E &= \sigma_v - 2\nu(\sigma_H - \sigma_h) \end{aligned} \quad (2)$$

از سویی دیگر زمانی که  $P_{II}$  کاهش می یابد نیروی فشاری از مقاومت فشاری بختی شده و حد پایین فشار گل  $P_{IIb}$  منجر به ریزش چاه می شود و همانطور که قبلا بیان گردید  $\sigma_\theta$  از  $\sigma_r$  بزرگتر می باشد. لذا در ارتباط با بزرگی تنش محوری با حالت گفته شده برای تصمیم گیری برای حد پایین گل حفاری سه حالت دیگر بشرح ذیل بوجود می آید.

$$\sigma_\theta \geq \sigma_r \geq \sigma_z, \quad (1) \quad \sigma_\theta \geq \sigma_z \geq \sigma_r, \quad (2) \quad \sigma_z \geq \sigma_\theta \geq \sigma_r, \quad (3)$$

در نتیجه تنش شعاعی در  $\theta = \pm\pi/2$  بیشترین مقدار خود را داشته و تنش های اصلی در دیواره چاه به شرح ذیل بدست می آیند که در آن B, A مقدار ثابت می باشند.

$$\begin{aligned} A &= 3\sigma_H - \sigma_h, \\ B &= \sigma_v + 2\nu(\sigma_H - \sigma_h). \end{aligned} \quad (3)$$

#### 4- معیار شکست موهر و کلمب در چاه های نفت

این معیار شکست به مشخص کردن شرایط تنش در محل هایی که ریزش چاه (شکست فشاری) و شکست چاه (شکست کششی) اتفاق می افتد اشاره دارد [6]. اگر عقیقه تنش موثر معمولی لحاظ شود معیار موهر کلمب به صورت ذیل در می آید.

$$(\sigma_1 - P_0) = C_0 + q(\sigma_3 - P_0) \quad (4)$$

#### 4-1- معیار موهر کلمب برای محاسبه فشار ریزش در چاه ها (محاسبه حداقل وزن گل

مورد نیاز)

در جدول شماره ۱ معیار موهر کلمب برای محاسبه فشار ریزش در چاه ها ارائه شده است. در توضیح حالت اول ریزش چاه که  $\sigma_z \geq \sigma_\theta \geq \sigma_r$  بوده و برای حالت عمومی  $\sigma_1 \geq \sigma_2 \geq \sigma_3$  می باشد در اینجا  $\sigma_1 = \sigma_z$  و  $\sigma_2 = \sigma_\theta$  با نیکل بردن معیار موهر کلمب طبق فرمول 6 و فرمول 3 شرایط ذیل بوجود می آید که  $P_{IIb}$  حد کمینه فشار گل است و خواهیم داشت:

$$B = C + qP_{IIb} \quad (5)$$

$$P_{IIb} = (B - C) / q. \quad (6)$$

اگر فشار چاه زی  $P_{IIb}$  (تقریبی  $P_{II} < P_{IIb}$ ) باشد و تنشهای اصلی مانند حالت یک باشد ریزش چاه اتفاق می افتد. طبق روند گفته شده حداقل مجاز برای دو حالت دیگر بدست می آید که در جدول ۱ نشان داده شده است.

جدول ۱. معیار موهر کلمب برای محاسبه فشار ریزش در چاهها



Case	$\sigma_1 \geq \sigma_2 \geq \sigma_3$	Borehole failure will occur if $P_w \leq P_{wb}$ from the following equations
1	$\sigma_z \geq \sigma_\theta \geq \sigma_r$	$P_{wb1} = (B - C) / q$
2	$\sigma_\theta \geq \sigma_z \geq \sigma_r$	$P_{wb2} = (A - C) / (1 + q)$
3	$\sigma_\theta \geq \sigma_r \geq \sigma_z$	$P_{wb3} = A - C - qB$

#### مورد نیا

در جدول ۲ معیار موهر و کلمب برای محاسبه فشار شکست در چاه ها ارائه شده است. در سه حالت نشان داده شده: حد بالایی از فشار گل برای هر حالت می بایستی محاسبه گردد. در ارتباط با حالت اول که  $\sigma_r \geq \sigma_\theta \geq \sigma_z$  و  $\sigma_r = \sigma_1$  و  $\sigma_z = \sigma_3$  با بکار بردن معیار موهر کلمب در فرمول (6) و به فرمول (1) حد بحرانی فشار گل طبق حالت یک می شود.

$$P_{wf1} = C + qE \quad (7)$$

اگر فشار چاه از  $P_{wf}$  فراتر رود (یعنی  $P_w > P_{wf}$ ) بنابراین شکست چاه اتفاق می افتد و بزرگی نسبی تنش ها مثل حالت یک می باشد. طبق روند گفته شده حداکثر فشار گل مجاز برای دو حالت دیگر بدست می آید.

جدول 2 معیار موهر و کلمب برای محاسبه فشار شکست در چاهها

Case	$\sigma_1 \geq \sigma_2 \geq \sigma_3$	Borehole failure will occur if $P_w \geq P_{wf}$ from the following equations
1	$\sigma_r \geq \sigma_\theta \geq \sigma_z$	$P_{wf1} = C + qE$
2	$\sigma_r \geq \sigma_z \geq \sigma_\theta$	$P_{wf2} = (C + qD) / (1 + q)$
3	$\sigma_z \geq \sigma_r \geq \sigma_\theta$	$P_{wf3} = \frac{1}{q}(C - E) + D$

$$\gamma = \arcsin\left(\frac{\sigma_2 - \sigma_3}{\sigma_1 - \sigma_3}\right)^{1/2} \quad (8)$$



### 6- مطالعه موردی و مقایسه ای پایداری دو چاه نفت در ایران

دو حلقه چاه تولیدی در آبهای خلیج فارس که حفاری آنها بصورت افقی انجام می شود و با ناپایداری شدید در دیواره مواجه هستند برای مطالعه انتخاب شده اند. در چاه اول هنگام حفاری در لایه شیلی در عمق 6800 فوتی ریزش دیواره چاه گزارش شده است. عملیات حفاری این چاه با زاویه 30 درجه از تنش اصلی افقی و با زاویه انحراف 62 درجه حفاری شده است. مشخصات سنگ، تنشهای بر جای میدان و فشار منفذی در این عمق به صورت ذیل می باشد.

$$C = 870 \text{ PSI}$$

$$\phi = 31.3 \text{ Deg.}$$

$$\nu = 0.33$$

$$\sigma_{1'} = 1.1 \text{ IPSI/Ft}$$

$$\sigma_b = 0.9 \text{ PSI/Ft}$$

$$\sigma_{11} = 1 \text{ PSI/Ft}$$

$$P_0 = 0.46 \text{ PSI/Ft}$$

چاه دوم بطور موفقیت آمیزی در لایه شیلی مشابه و درجهت حداقل تنش افقی ( $\alpha = 90^\circ$ ) حفاری شده است. میدان دریایی تحت رژیم تنش نرمال قرار داشته و تنشهای افقی آنیزوتروپیک می باشد. در رژیم تنش نرمال، حداقل دانسیته گل قابل قبول هماهنگ با چاهی است که درجهت موازی با تنش حداقل افقی ( $\alpha = 90^\circ$ ) حفاری شده باشد بر اساس نتایج بدست آمده مسیر بهینه حفاری  $\gamma = 45^\circ$  و در جهت موازی با تنش حداقل افقی  $\alpha = 90^\circ$  می باشد. حداقل فشار گل مورد قبول  $P_{wh2} = 4312.34$ ، حداقل وزن گل مورد قبول  $MW_{11b} = 12.20 \text{ lb/gal}$ ، حداکثر فشار گل مورد قبول  $P_{wf2} = 7901.08$ ، حداکثر وزن گل مورد قبول  $MW_{11f} = 22.36 \text{ lb/gal}$  می باشد.

### 7- نتیجه گیری

- 1-7 مطالعه پایداری دیواره چاهها امری ضروری و ناپایداری آنها دلیلی بر بسیاری از تاخیرها و افزایش هزینه های حفاری بر اثر این تاخیرها است که ممکن است منجر به رها کردن چاه گردد.
- 2-7 ناپایدار بودن دیواره چاه مشکلات دیگری از قبیل جمع شدگی یا گشاد شدگی دیواره چاه، گردش بیش از حد و زمان جدار تراشی، هرزروی گل حفاری، گیر کردن لوله حفاری، از بین رفتن تجهیزات، انحراف حفاری از مسیر اصلی، ایجاد مشکل در راندن لوله جداری، مشکلاتی در گرفتن مغزه از دیواره های چاه، مشکلاتی در نمودار گیری و شرح و تفسیر آنها را ایجاد می کند.
- 3-7 مطالعه پایداری دیواره چاهها به هنگام حفاری از صرف هزینه های نابجا و بسیار سنگین و در نتیجه بوجود آمدن خسارات غیر قابل جبران جلوگیری می کند.
- 4-7 نتایج بررسی ها مشخص می کند تنشهای مکانیکی، فعل و انفعال شیمیایی با سیال حفاری، تاثیرات دما، خزش، زاویه حفاری، زاویه بین چاه و لایه بندی سازند، زیاد بودن زاویه انحراف ج ا ه، وزن گل حفاری و رنولوژی آن موجب بروز مشکلات در حفاری می گردند.
- 5-7 برای جلوگیری از لغزش لایح های سازند در طی سطح لایح بندی بایستی زاویه شیب چاه نزدیک به زاویه



عمود باشد .  
6-7- بطور کلی دو داکل برای ناپایداری در سازندهای درزه دار و متورق وجود دارد : ۱- لغزش در طول سطوح ضعیف لایه بندی ۲- وجود سه‌بستم درزه های طبیعی انتقال فشار از چاه به سازندهای مجاور .  
7-7- اگر وزن گل حفاری از میزان بهینه کمتر باشد باعث می شود چاه حالت دایره ای خود را از دست داده و به صورت بیضوی در آید . ای موضوع به نوعی خود داکلی بر ایجاد شکست برشی بوده و چنانچه باز هم وزن گل حفاری کاهش یابد سبب تخریب بدنه چاه می شود .  
10-7- اگر وزن گل حفاری از میزان بهینه بیشتر باشد سبب می شود که چاه شروع به شکست کششی نماید و هرزروی گل حفاری و مشکلات ناشی از آن را در پی خواهد داشت .  
11-7- بالا بودن pH گل به طور غی عادی نظمی استفاده از آهک در گل و در بعضی از شرایط به جای آرکه مشکلات حفاری را کاهش دهد، سبب ایجاد مشکلات دیگری رهن می شود .

### 8- مراجع

- [1] برنامه Workover تعداد 5 حلقه چاه در میدان یادآوران، شرکت KEP، تهران، ایران، زمستان 86
  - [2] برنامه حفاری سی حلقه چاه در میدان رشادت، شرکت KEP، تهران، ایران، بهار 87
  - [3] برنامه پیش بینی زمین شناسی سی حلقه چاه در میدان رشادت، شرکت KEP، تهران، ایران، بهار 87
  - [4] گزارشات روزانه حفاری یک حلقه چاه در میدان گیش، شرکت KEP، تهران، ایران، پاییز 87
  - [5] هوک و براون ترجمه دکتر احمد فهیمی فر، سازه های زیرزمینی در سنگ، آزمایشگاه فنی و مکتبک خاک وزارت راه و ترابری، 1376
- [6] Al-Ajmi, Adel ; Ph.D. thesis "WELBORE STABILITY ANALYSIS BASED ON A NEW TRUE-TRIAxIAL FAILURE CRITERION " ; Rock Mechanics Group at Imperial College of UK ; May 2006