

Research Article**Determining the mud window, geomechanical model (MEM), and well wall stability analysis, using analytical and numerical methods in one of the wells in Iran's southwest fields**Ali Almasi¹, Abouzar Mohsenipour^{1*}

1-Expert in Geomechanical Studies of National Iranian Drilling Company, Ahvaz, Iran

2-Expert in Petrophysical Studies of National Iranian Drilling Company, Ahvaz, Iran

Keywords: Well stability, Mud window, Numerical method, FLAC3D, Geomechanical model**1- Introduction**

The most critical issue in oil and gas well drilling topics is the appropriate drilling rate and reducing costs. Studies and geomechanical methods can play an essential role in this matter. One of the studies regarded reducing drilling costs that have received much attention today is the well's wall stability and determining the appropriate mud weight to avoid instability in the well's wall. In recent years, many research has been done in this field (Prats, 1981; Al-Ameri and Al-Kattan, 2012; Ouadfeul and Aliouane, 2015; Liu et al., 2016; Das and Chatterjee, 2017; Zhou et al., 2018; Gao and Gray, 2019; Meray, 2020). In the present study, the well-wall stability status of one of the excavated wells in Iran's southwest oil fields, in 88.3 inches, in the upper section of the Sarvak Formation was analyzed using analytical and numerical methods FLAC3D software.

2- Materials and methods

In the present study, the calculation of geomechanical parameters and fixed strains, and as a result, determining the appropriate mud window in one of the oil field wells in the southwest, was done by using a series of specific relations. In this study, to calculate the geomechanical parameters of the Sarvak Formation, the analytical method and poroelasticity relations were used to determine the fixed strains and, consequently, establish an analytical mud window.

3- Results and discussion

The exactly expected coordination of each of the four geomechanical instances in wells wall stability analysis was predicted using FLAC3D software. The wells spots where symmetrical downfalls appear in the well's wall are expected in the northwest-southeast extension, and the spots where higher weights of mud can cause or open tension joints are in the northeast-southwest extension. Also, the tension regime around the well was determined according to the direction of the minimum main tension in northwest-southeast, and the maximum tension in northeast-southwest of the well was determined.

4- Conclusions

This study investigated the well's wall stability in sections 1, 2, and 3 of the Sarvak Formation in one of the country's southern fields. The geomechanical model (MEM), mud window, and tension regime around the well were investigated using the analytical and numerical methods related to the stability of the well. Input parameters in this study were obtained from Dipole Shear Sonic Imager (DSI), Formation Micro-Imager (FMI), the specific

* Corresponding author: abouzarmohseni@yahoo.com

DOI: 10.22055/AAG.2020.34229.2135

Received 2020-07-03

Accepted 2020-11-15

gravity, calliper and gamma, Modular Formation Dynamics Tester (MDT) tools, and also daily excavation and geology reports. The three upper sections of the Sarvak Formation were investigated for mud weights resulting in confidence factors above 1. In the various models of this study, different wells spots were specified, in which one of the four geomechanical instances (eruption, well symmetric wall downfalls, dissipation, and causing tension joint) occurs for different weights of mud.

References

- Al-Ameri, N.J., Al-Kattan, W., 2012. Estimation of the rock mechanical properties using conventional log data in North Rumaila field. *Iraqi Journal of Chemical and Petroleum Engineering* 13(4), 27–33.
- Das, B., Chatterjee, R., 2017. Wellbore stability analysis and prediction of minimum mud weight for few wells in Krishna-Godavari Basin, India. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences* 93, 30–37.
- Gao, C., Gray, K.E., 2019. A workflow for infill well design: Wellbore stability analysis through a coupled geomechanics and reservoir simulator. *Journal of Petroleum Science and Engineering* 176, 279–290.
- Liu, X., Zeng, W., Liang, L., Lei, M., 2016. Wellbore stability analysis for horizontal wells in shale formations. *Journal of Natural Gas Science and Engineering* 31, 1–8.
- Merey, S., 2020. Geomechanical wellbore stability analysis for the wells drilled in the shallow sediments of the Mediterranean Sea. *Journal of Petroleum Science and Engineering* 186, 106714.
- Ouadfeul, S.A., Aliouane, L., 2015. Wellbore Stability in Shale Gas Reservoirs, A Case Study from The Barnett Shale. *SPE North Africa Technical Conference and Exhibition*.
- Prats, M., 1981. Effect of burial history on the subsurface horizontal stresses of formations having different material properties. *Society of Petroleum Engineers Journal* 21(06), 658–662.
- Zhou, J., He, S., Tang, M., Huang, Z., Chen, Y., Chi, J., Zhu, Y., Yuan, P., 2018. Analysis of wellbore stability considering the effects of bedding planes and anisotropic seepage during drilling horizontal wells in the laminated formation. *Journal of Petroleum Science and Engineering* 170, 507–524.

HOW TO CITE THIS ARTICLE:

Almasi, A., Mohsenipour, A., 2022. Determining the Mud Window, Geomechanical Model (MEM), and Well Wall Stability Analysis, Using Analytical and Numerical Methods in One of the Wells in Iran's Southwest Fields. *Adv. Appl. Geol.* 12(1), 1-11.

DOI: 10.22055/AAG.2020.34229.2135

url: https://aag.scu.ac.ir/article_16258.html?lang=en



تعیین پنجره‌ی گل، مدل ژئومکانیکی (MEM) و تحلیل پایداری دیواره چاه، با استفاده از روش‌های تحلیلی و عددی در یکی از چاه‌های میادین جنوب غربی ایران

علی الماسی

کارشناس مطالعات ژئومکانیک شرکت ملی حفاری ایران، اهواز، ایران

ابوذر محسنی پور*

کارشناس مطالعات پتروفیزیک شرکت ملی حفاری ایران، اهواز، ایران

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۸/۲۵

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۴/۱۳

*abouzarmohseni@yahoo.com

چکیده

امروزه متناسب با افزایش تقاضا برای سوخت، فرایند حفاری چاه‌های نفت جهت بهره برداری از مخازن افزایش یافته است. مهمترین موضوع در بحث حفاری چاه‌های نفت و گاز، سرعت مناسب حفاری و کاهش هزینه می‌باشد، مطالعات و استفاده از روش‌های ژئومکانیکی نقش به‌سزایی در این امر می‌تواند بازی کند. از جمله مطالعاتی که امروزه بسیار در بحث کاهش هزینه‌های حفاری مورد توجه قرار گرفته است بحث پایداری دیواره چاه و تعیین وزن گل مناسب به منظور اجتناب از ناپایداری در دیواره چاه است. در مطالعه حاضر، وضعیت پایداری دیواره چاه یکی از چاه‌های حفاری شده در میادین نفتی جنوب غربی ایران، در حفره ۳۸/۸ اینچ، در بخش بالایی سازند سروک، با بکارگیری روش‌های تحلیلی و عددی با استفاده از نرم افزار FLAC3D مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. پارامترهای ورودی در این تحقیق از تفسیر داده‌های نموداری‌های صوتی دو قطبی (DSI)، لاگ تصویری (FMI)، دانسیته، کالیپر و گاما، ابزار (MDT) و نیز گزارش‌های روزانه حفاری و زمین‌شناسی بدست آمده است. همچنین پنجره اوزان گل مورد نیاز جهت رسیدن به شرایط ایجاد هرزروی، باز شدن شکستگی‌ها، ریزش‌های متقارن دیواره چاه و فوران چاه تعیین شده است. از نتایج بدست آمده در این مطالعه می‌توان در جهت کاهش زمان صرف شده برای حفاری چاه‌های آینده در میدان مورد مطالعه که منجر به صرفه جویی در هزینه‌های حفاری می‌شود استفاده نمود.

واژه‌های کلیدی: پایداری چاه، پنجره گل، روش عددی، FLAC3D، مدل ژئومکانیکی

مقدمه

ناپایداری دیواره چاه از مشکلات اساسی در عملیات حفاری چاه‌های نفت و گاز است. انجام آنالیز پایداری دیواره چاه در زمان حفاری می‌تواند از بوجود آمدن بسیاری از مشکلات از جمله مچالگی لوله جداری، گیر کردن لوله‌ها و مته و ... جلوگیری کند. چرا که عدم توجه به موضوع پایداری دیواره چاه می‌تواند موجب مسائل و مشکلاتی از جمله تاخیر در عملیات حفاری، افزایش هزینه‌های حفاری و در نهایت ممکن است باعث از دست دادن چاه شود. در صورتی که بتوان از مشکلات ناشی از ناپایداری چاه در حین حفاری خودداری کرد، صرفه جویی قابل توجهی در بخش هزینه‌ها به عمل خواهد آمد (Peng and Zhang, 2007). در بسیاری از میدان‌های نفتی برای کاهش هزینه‌ها و افزایش تولید و بازدهی بیشتر مخازن نفت و همچنین کاهش مشکلات حفاری به مطالعات پایداری و تعیین مسیر بهینه حفاری نیاز می‌باشد (Zare et al., 2010). در سالهای اخیر

پژوهش‌های بسیاری در این زمینه انجام گرفته است (Prats, 1981; Al-Ameri and Al-Kattan, 2012; Ouadfeul and Aliouane, 2015; Liu et al., 2016; Das and Chatterjee, 2017; Zhou et al., 2018; Gao and Gray, 2019; Merey, 2020).

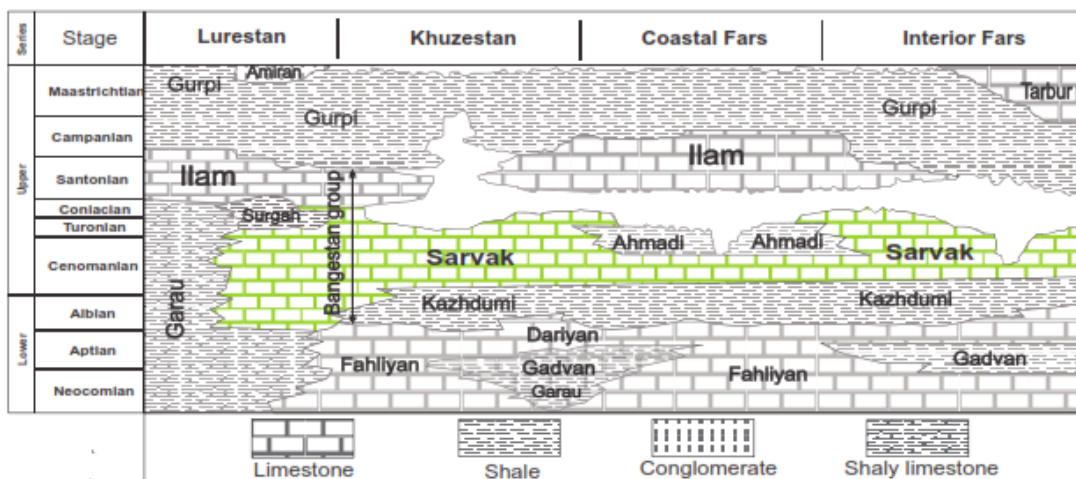
آگاهی داشتن از مقدار پارامترهای ژئومکانیکی و همچنین مقدار و جهت تنش‌های برجا در مطالعات زمین‌شناسی و مهندسی مربوط به پایداری دیواره چاه‌های نفت بسیار اهمیت دارد. تنش‌های برجا شامل سه مولفه قائم، افقی حداقل و افقی حداکثر می‌باشد. با شروع عملیات حفاری مقدار تنش‌های برجا در اطراف چاه دچار تغییراتی می‌شود که خود منجر به ایجاد مشکلاتی از قبیل ناپایداری دیواره چاه، ایجاد شکستگی القایی^۱ و ریزش‌های متقارن دیواره چاه^۲ می‌شود. با محاسبه پارامترهای ژئومکانیکی و تنش‌های برجا می‌توان از بوجود آمدن این مشکلات جلوگیری کرد.

در حفاری ایمن چاه‌های مجاور در حال حفاری استفاده کرد و مانع از آسیب سازند شد، علاوه بر این به منظور شکست هیدرولیکی و ازدیاد برداشت از مخزن می‌توان از این نتایج به عنوان اطلاعات اولیه استفاده کرد.

زمین شناسی منطقه

منطقه جنوب غربی ایران یکی از مهمترین ایالات هیدروکربوری دنیا به شمار می‌رود که در حاشیه شمال شرقی صفحه عربی واقع گردیده است (Nairn and Alsharhan, 1997). میدان مورد مطالعه در این تحقیق در جنوب غربی ایران و در بخش دشت آبادان قرار گرفته است. مخزن اصلی این میدان سازند سروک به سن سنومانین - تورونین از گروه بنگستان می‌باشد که هدف اصلی در این مطالعه بوده است. گروه بنگستان به سن آلبین - کامپانین غالباً در کربنات‌های نریتیک سازند سروک و واحدهای معادلش (به عنوان مثال سازند میشریف در عراق) شامل برخی از مخازن بسیار حاصلخیز محدوده‌های هیدروکربنی حوضه زاگرس و فلات قاره عربی است (Rahimpour-Bonab et al., 2012). مخزن بنگستان شامل آهک‌های کم عمق سازندهای ایلام و سروک در فروافتادگی دزفول و مناطق بلا فصل آن است (Matiei, 1993). بازه زمانی سنومانین - تورونین (۸۹ تا ۹۸/۹ میلیون سال پیش) در برگیرنده سازندهای میشریف، احمدی و رمیلا (در شبه جزیره عربستان)، ناتیح (در عمان)، دردر (در جنوب شرقی ترکیه)، میشریف (در عراق) و سروک (در ایران) می‌باشد که در پلاتفرم‌های کربناته کم عمق و حوضه‌های درون شلفی در حاشیه غیرفعال صفحه نهشته شده‌اند (Ghazban, 2007). کمتر از ۱/۳ ذخایر نفت در جای کشف شده در جنوب غرب ایران در مخازن بنگستان (شامل سازندهای سروک و ایلام) انباشته شده است که این ذخایر در بیش از ۲۹ میدان کوچک و بزرگ پراکنده‌اند (Sharland et al., 2001; Ghazban, 2007). این در حالی است که بخش مهمی از ذخایر نفتی کشورهای حوضه خلیج فارس توسط سازندهای معادل سروک میزبانی می‌شوند (Nairn and Alsharhan, 1997; Sharland et al., 2001). مورد مطالعه سازند سروک به ۱۲ قسمت تقسیم شده است که غالب ذخیره نفت در سه قسمت بالایی آن است و قسمت‌های پائین غالباً بسیار فشرده و فاقد منافذ برای ذخیره نفت بوده و از قسمت ۸ به پائین کاملاً حاوی آب است. به همین جهت مطالعه موجود در سه بخش ابتدایی سازند سروک بالایی انجام شده است.

انتخاب وزن گل مناسب در عملیات حفاری، نقش تعیین کننده - ای در حفر موفقیت آمیز یک چاه با کمترین هزینه ممکن را دارد (Awal et al., 2001). به عبارتی تعیین مناسب پنجره گل در کاهش ریسک هرزروی گل حفاری و همچنین کاهش ریسک فوران بسیار با اهمیت است. بطوریکه وزن گل پایین‌تر از حد لازم باعث ایجاد ریزش‌های متقارن دیواره چاه در اطراف چاه می‌شود و وزن گل بالا ایجاد شکستگی در اطراف دهانه چاه را به دنبال داشته و در نتیجه موجب ایجاد هرزروی در چاه می‌گردد. در حالت کلی طراحی پنجره گل به خواص مکانیک سنگی سازند حفاری شده و نیز حالت تنش - های برجا در اطراف چاه بستگی دارد. بدین صورت که عموماً حفاری در سازندهای نرم و توده سنگها نسبت به سازندهای سخت و بکر، بیشتر مستعد ناپایداری است (Archer and Rasouli, 2012). سالانه ۲ تا ۷ میلیارد دلار در صنعت حفاری دنیا برای مشکلات مربوط به پایداری چاه هزینه می‌شود. همچنین بیش از ۴۰ درصد هزینه مربوط به حفاری‌های نفتی به دلیل مشکلات مربوط به ناپایداری چاه است (Zhang and Radha, 2010). عدم انجام مطالعات ژئومکانیکی و پایداری چاه می‌تواند هزینه انجام عملیات حفاری را بسیار بالا ببرد و چاه را با مشکلات عدیده‌ای از جمله گیر کردن لوله‌ها، هرزروی گل^۴، شکست عملیات مشبک کاری^۵، ماسه‌دهی چاه و صدمه به لوله جداری مواجه کند (Moos, 2006; Cook et al., 2007; Grandi et al., 2002). حضور ریزش‌های متقارن دیواره چاه، ریزش چاه^۶ و حجم زیاد واریزه^۷ عوامل نشان دهنده وقوع ناپایداری در یک چاه می‌باشند (Yi et al., 2005; Mohiuddin et al., 2007; Warlick et al., 2009; Mondal et al., 2013). به منظور تعیین پارامترهای لازم جهت مطالعات ژئومکانیک دو روش کلی وجود دارد که عبارتند از: ۱- روش مستقیم و ۲- روش غیرمستقیم. در روش مستقیم، پارامترهای مورد نیاز جهت مطالعه و ساختن یک مدل ژئومکانیکی از روش‌هایی مانند مطالعه رخنمون سازند مورد نظر، انجام آزمایشات صحرایی یا آزمایشگاهی و آنالیز مغزه‌های حاصل از عملیات مغزه‌گیری تعیین می‌شوند. در روش غیرمستقیم که در این مطالعه نیز از آن استفاده شده است. پارامترهای مورد نیاز مطالعه با استفاده از تجزیه و تحلیل نمودارهای رانده شده از جمله نمودارهای صوتی دوقطبی، چگالی، تصویری، گاما، کالیپر و ... به دست می‌آیند. در این پژوهش پس از تعیین تنش‌ها با استفاده از روش تحلیلی با نرم افزار FLAC3D، اوزان مناسب جهت حفاری در سازند سروک میدان مورد مطالعه تعیین شد. از نتایج بدست آمده در این مطالعه و همچنین پنجره گل بدست آمده می‌توان



شکل ۱- چینہ شناسی توالی کرتاسه در بخشهای مختلف ایران، شامل تنوع ضخامت سازند سروک از گروه بنگستان (Rahimpour-Bonab et al., 2012)

Fig. 1. Detailed stratigraphy of the Cretaceous successions in different parts of Iran, including the Sarvak Formation of the Bangestan Group showing thickness variations.

در مرحله بعد به منظور تعیین پارامترهای ژئومکانیکی در بخش شیلی سازند سروک (بخش ۲) از روابط شماره ۴ تا ۶ استفاده گردید.

(رابطه ۴؛ Lacy, 1997)

$$Y_{Static} = 0.0428 \times Y_{Dynamic}^2 + 0.2334 \times Y_{Dynamic}$$

(رابطه ۵؛ Lal, 1999)

$$UCS = 10 \times \frac{304.8}{DT - 1}$$

که در آن DT بیانگر آهستگی موج صوتی فشاری است که با استفاده از نمودار صوتی دوقطبی به دست می‌آید.

(رابطه ۶؛ Lal, 1999)

$$\phi = \arcsin\left(\frac{VP - 1000}{VP + 1000}\right)$$

VP در این رابطه بیانگر سرعت موج فشاری است.

برای محاسبه ضرایب مربوط به پواسون استاتیکی و همچنین ضریب بایوت گاسمن در این مطالعه از روابط شماره ۷ و ۸ استفاده گردید.

(رابطه ۷)

$$POIS_{Static} = C1 \times POIS_{Dynamic} + C2$$

که در آن مقادیر C1 و C2 به عنوان پیش فرض برابر ۰.۸ و ۰ در نظر گرفته شده‌اند.

(رابطه ۸)

$$BIOTGASSMAN: 1 - \frac{(K \text{ MOD DRY})}{(K \text{ MOD MIN})}$$

روش کار

در مطالعه حاضر با استفاده از پاره‌ای روابط مشخص اقدام به محاسبه پارامترهای ژئومکانیکی و تنش‌های برجا و در نتیجه تعیین پنجره مناسب گل در یکی از چاه‌های میدین نفتی جنوب غرب شد. لازم به ذکر است که این روابط بصورت تجربی و به منظور محاسبه پارامترهای الاستیک در مخازن کربناته ارائه گردیده است و سعی شده است که از روابط با بیشترین همگرایی با لیتولوژی مخزن مورد مطالعه استفاده گردد. به منظور محاسبه پارامترهای ژئومکانیکی سازند سروک در این پژوهش از روش تحلیلی و روابط شماره ۱ تا ۸ و از روابط پوروالاستیک به منظور تعیین تنش‌های برجا و نتیجتاً ایجاد پنجره گل تحلیلی استفاده شده است. برای تخمین پارامترهای ژئومکانیکی در بخش‌های ۱ و ۳ سازند سروک به روابط ۱ تا ۳ بکار برده شد.

(رابطه ۱؛ Ameen et al., 2009)

$$Y_{Static} = 0.541 \times Y_{Dynamic} + 12.852$$

که در آن Y Static مقدار مدول یانگ استاتیکی و Y Dynamic مقدار مدول یانگ دینامیک می‌باشد.

(رابطه ۲؛ Asef and Farrokhrouz, 2010)

$$UCS = 2.65 \times \frac{Y_{MOD \text{ STATIC}}^{\frac{1+2 \times Biot}{2}}}{\alpha^{\frac{1+2 \times Biot}{2}}}$$

که در آن UCS بیانگر مقاومت تک محوری، Biot ضریب بایوت و α بیانگر مقدار تخلخل موجود در سازند می‌باشد.

(رابطه ۳؛ Ameen et al., 2009)

$$\phi = 49.03 - 1.26 \times (\alpha \times 100)$$

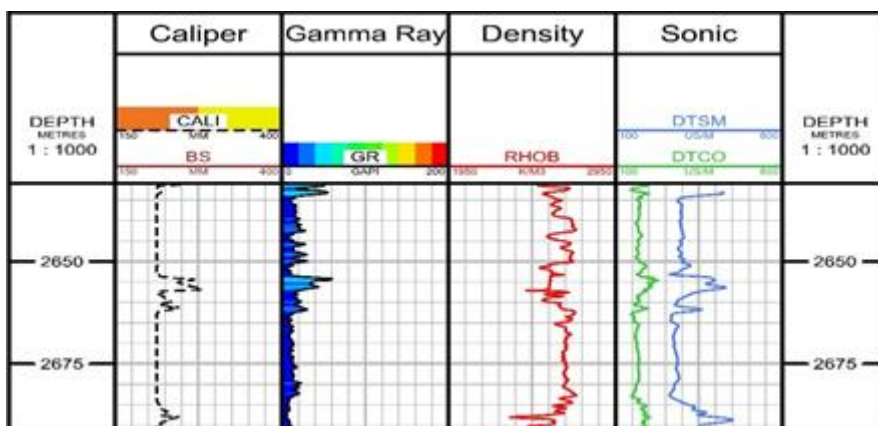
که در آن پارامتر ϕ مقدار زاویه اصطکاک داخلی سنگ است.

بحث

پنجره گل تحلیلی

در این مطالعه برای تعیین پنجره گل به روش تحلیلی از نمودارهای چاه پیمایی استفاده گردید. نمودارهای قطر سنج^۸، گاما، دانسیته^۹ و

سونیک دوقطبی^{۱۰} به منظور تعیین پنجره گل تحلیلی به کار می‌روند (Abija and Tse, 2016) (شکل ۲). لازم به ذکر می‌باشد که پس از انجام تحصیحات لازم بر روی نمودارها و انجام کنترل کیفی از آنها به عنوان ورودی در این مطالعه استفاده گردید.



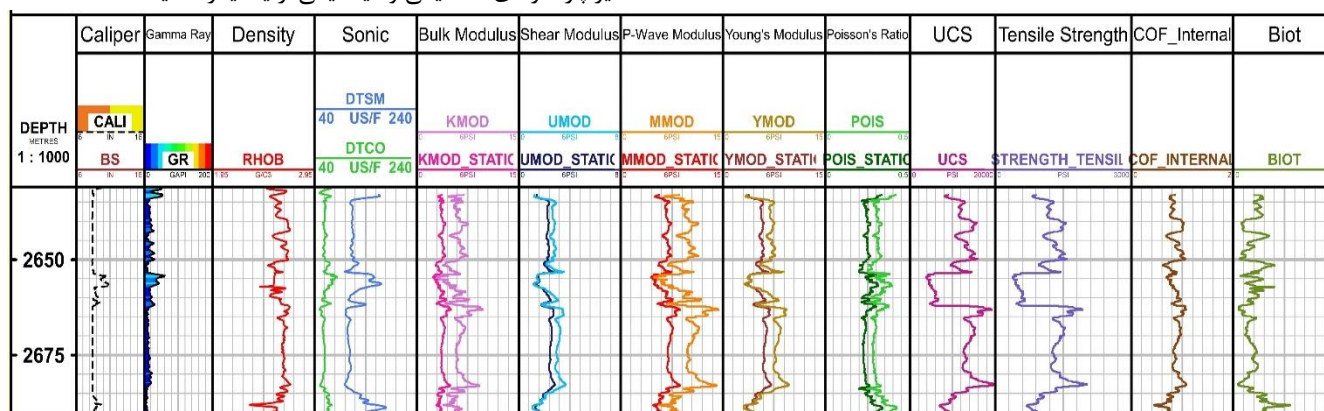
شکل ۲- پارامترهای ورودی (نمودارهای چاه پیمایی) در روش تحلیلی تعیین پنجره گل.

Fig. 2. Input parameters (well log) in the analytical method of determining the mud window.

همچنین باعث افزایش در زمان عبور امواج فشاری و برشی در نمودار سونیک دوقطبی شده است.

تاثیر این موارد در پارامترهای مقاومتی و ژئومکانیکی نشان داده شده در شکل ۳ مشهود است. شکل ۳ پارامترهای خروجی مدلسازی ژئومکانیکی در توالی عمقی مورد مطالعه را نشان می‌دهد. برای محاسبه این پارامترها، از روابط ۱ تا ۸ استفاده شده است. همچنین مقادیر پارامترهای استاتیکی و دینامیکی از یکدیگر تفکیک شده‌اند.

نتایج حاصل از شکل ۲ بیانگر این مطلب است که حضور شیل در بخش ۲ سازند سروک در میدان مورد مطالعه باعث تغییراتی در نمودارهای چاه پیمایی گردیده است از آن جمله باعث افزایش در مقدار نمودار پرتو گاما (GR) به علت وجود مواد پرتوزا مانند اورانیوم، توریم و پتاسیم، کاهش در مقدار نمودار چگالی (RHOB) به علت مقدار بالای تخلخل کل ناشی از وجود سطح ویژه کانی‌های رسی و



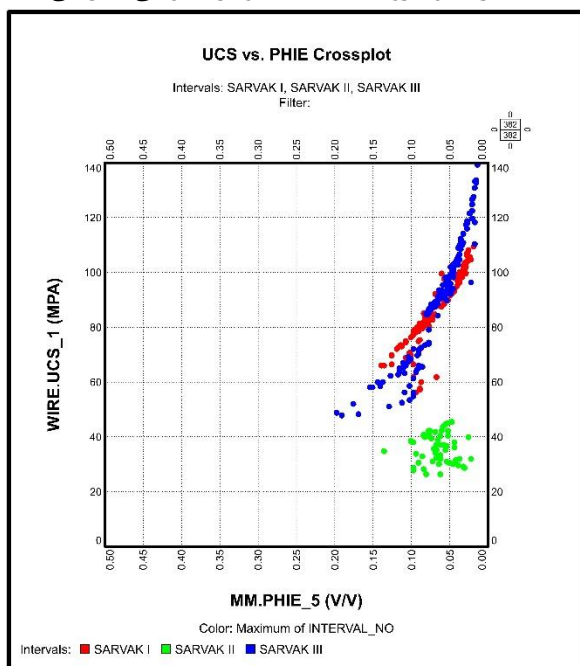
شکل ۳- نمودارهای پارامترهای استاتیک و دینامیک خروجی از روابط ۱ تا ۸.

Fig. 3. Diagrams of static and dynamic parameters of the output of relations 1 to 8.

10- Dipole Shear Sonic Imager(DSI)

8- Caliper
9- Density

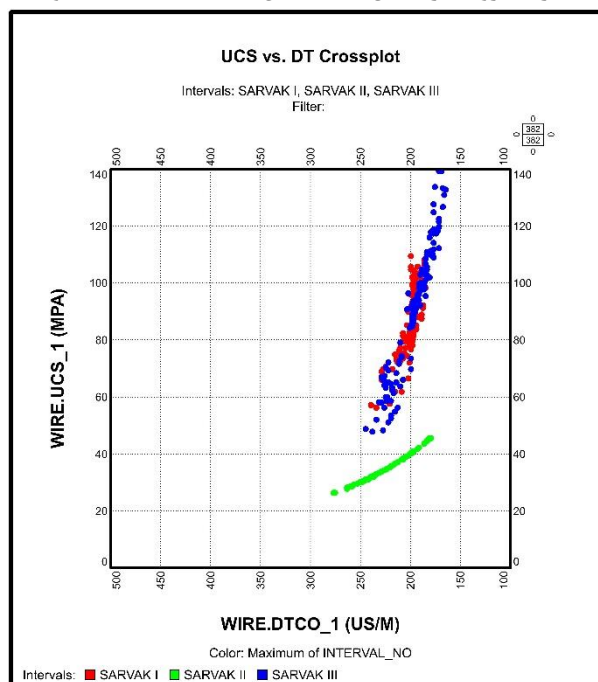
که در شکل‌های ۴ تا ۶ نشان داده شده است، جدایش پارامترهای الاستیک در عضو سروک ۲ به علت خواص مقاومتی شیل می‌باشد.



شکل ۵- کراس پلات مقادیر تخلخل و مقاومت تراکمی تک محوری در بخش‌های ۱، ۲ و ۳ سازند سروک.

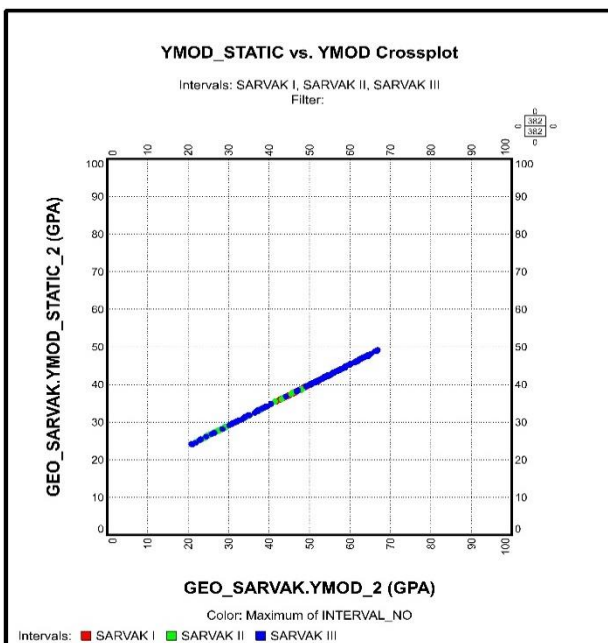
Fig. 5. Cross-plot values of porosity and single-axis compressive strength in sections 1, 2, and 3 of Sarvak Formation.

نمودارهای مربوط به مقایسه پارامترهای ژئومکانیکی در بخش‌های ۱ تا ۳ سازند سروک در اشکال ۴ تا ۷ نشان داده شده است. همانگونه



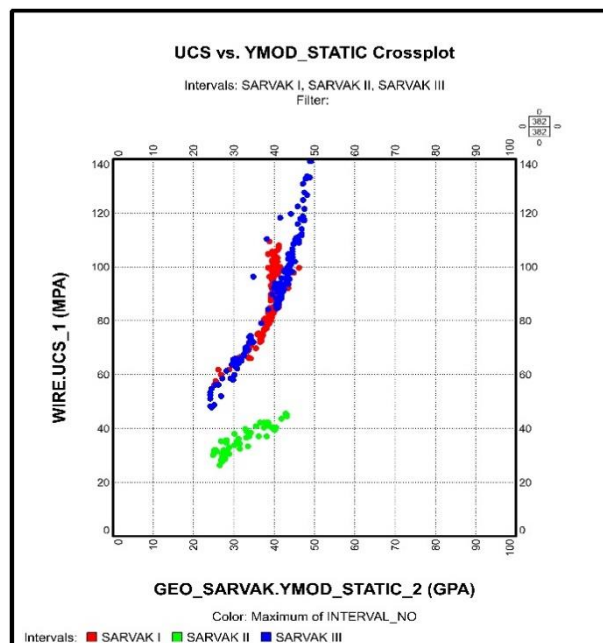
شکل ۴- کراس پلات مقاومت تراکمی تک محوری و DT در بخش‌های ۱، ۲ و ۳ سازند سروک.

Fig. 4. Cross-plot of single-axis compressive strength and DT in sections 1, 2, and 3 of Sarvak Formation.



شکل ۷- کراس پلات مدول یانگ استاتیک و مدول در یانگ در بخش‌های ۱، ۲ و ۳ سازند سروک.

Fig. 7. Cross-plate model of Young Static module and module in Young in sections 1, 2 and 3 of Sarvak Formation.



شکل ۶- کراس پلات مدول یانگ استاتیک و مقاومت تراکمی تک محوری در بخش‌های ۱، ۲ و ۳ سازند سروک.

Fig. 6. Young Static module cross-plot and single-axis compressive strength in sections 1, 2, and 3 of Sarvak Formation.

مقادیر فشار منفذی سیال در بازه مورد مطالعه در جدول شماره ۱ آورده شده است.

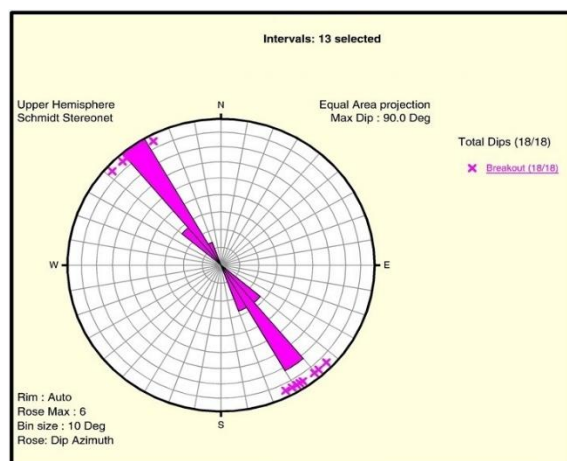
جدول ۱- مقادیر فشار سیال منفذی به دست آمده از ابزار MDT در بازه مورد مطالعه.

Table 1. Formation pressure obtained from MDT.

Pressure (mpa)	Depth (m)
30,182	2633
30,386	2641
30,464	2649
30,566	2659
30,648	2667
30,760	2678
30,861	2689

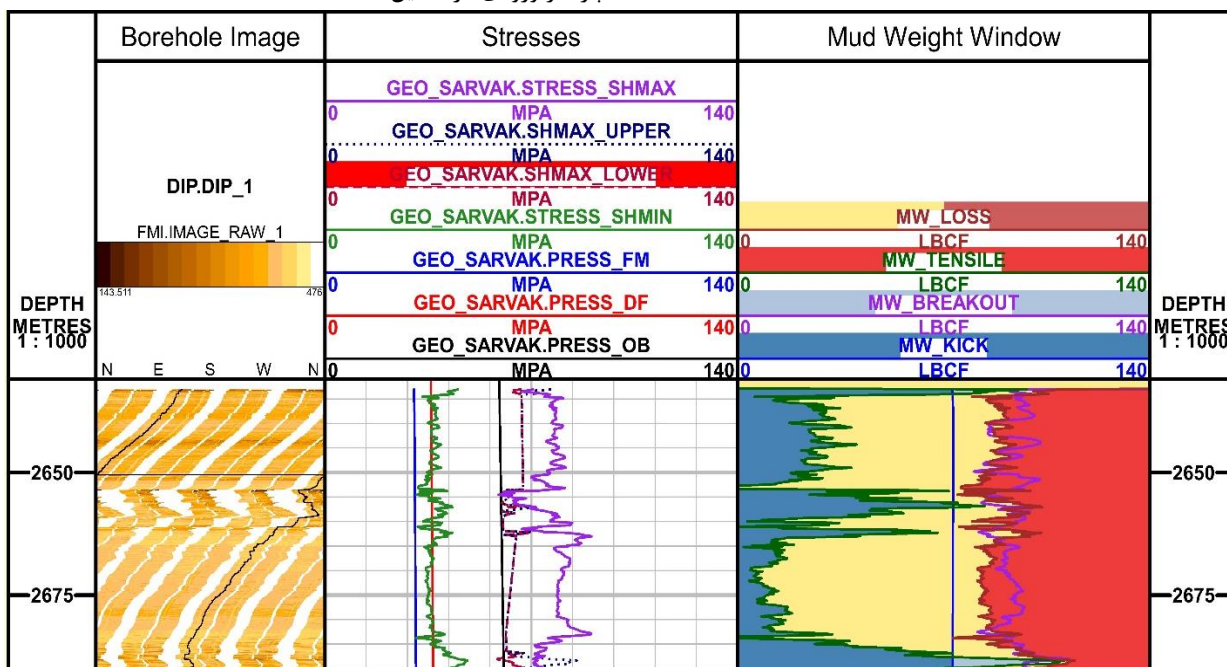
در شکل ۹ پنجره گل بدست آمده از روش تحلیلی نشان داده شده است. مقادیر تنش‌های برجای نشان داده شده در این شکل با استفاده از روابط پوروالاستیک به دست آمده است. در این مطالعه به منظور محاسبه فشار منفذی از داده‌های حاصل از آزمایش ارزیابی فشار سازند^{۱۲} (MDT) استفاده شده است. در این قسمت علاوه بر تنش‌های افقی اصلی ماکزیمم و مینیمم، فشار منفذی سازند و همچنین تنش عمودی حاصله از طبقات بالایی لحاظ گردیده است. همچنین از تنش ناشی از فشار سیال حفاری در داخل حفره به عنوان پارامتر ورودی در تحلیل استفاده شده است.

در شکل ۸ دیاگرام گل سرخی مربوط به ریزش‌های متقارن دیواره چاه‌های رویت شده در نمودار تصویری^{۱۱} و نیز ابزار قطرسنج نشان داده شده است. جهت این ریزش‌های متقارن دیواره چاه جهت تنش اصلی مینیمم در اطراف چاه را نشان می‌دهد (Abija and Tse, 2016). آزمون غالب ریزش‌های متقارن دیواره چاه در این دیاگرام که در جهت شمال غرب-جنوب شرقی دهانه چاه می‌باشد مشخص کننده مقدار تنش اصلی مینیمم در اطراف چاه است.



شکل ۸- دیاگرام گل سرخی مربوط به ریزش‌های متقارن دیواره چاه مشاهده شده در اطراف چاه مورد مطالعه.

Fig. 8. Stereonet diagram for Breakouts observed around the well under study.



شکل ۹- پنجره گل بدست آمده از روش تحلیلی در بخش‌های ۱ و ۲ و ۳ سازند سروک.

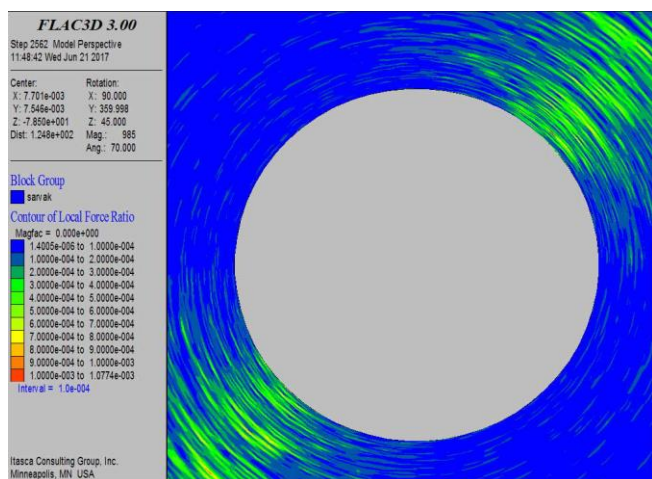
Fig. 9. Mud window obtained by analytical method in sections 1, 2, and 3 of Sarvak Formation.

فاکتور اطمینان بالای ۱ مبنای پایداری مدل می باشد (Bakhtiyari et al., 2017). در شکل ۱۰ جهت و مقدار تنش بر جای ماکزیمم بدست آمده در نرم افزار FLAC3D نشان داده شده است. همانگونه که در شکل ۱۰ مشخص است جهت تنش بر جای ماکزیمم در اطراف چاه بصورت شمال غرب - جنوب شرق است. شکل ۱۱ تمرکز تنش و نسبت نیرو را در اطراف دهانه چاه نشان می دهد. کانتورهای ماکزیمم کرنش برشی در شکل ۱۲ مشخص شده اند که نقاط دارای حداکثر تغییر شکل برشی را در اطراف چاه نشان می دهد. شکل ۱۳ نشان دهنده نقاطی است که شرایط گسیختگی را تامین کرده اند و نقاطی که مدل ایجاد ریزش های متقارن دیواره چاه را در آن ها پیش بینی می کند با رنگ قهوه ای نشان داده شده اند. نقاط زرد رنگ در این شکل نقاط دارای گسیختگی کششی (درزه کششی) را نشان می دهد.

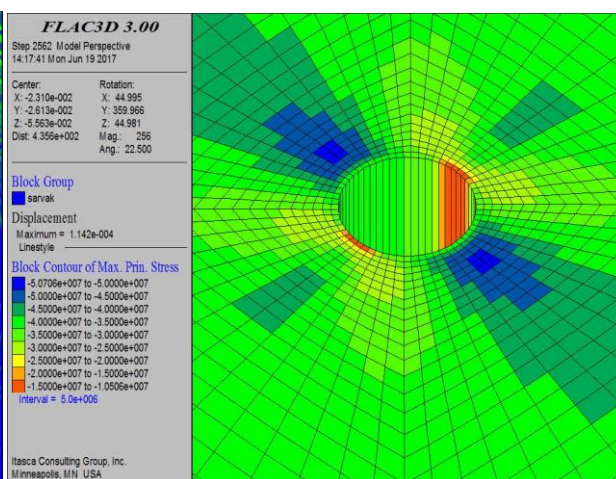
بسط عددی پنجره ی گل، ساخت مدل ژئومکانیکی Mechanical Earth Model (MEM) و آنالیز پایداری دیواره چاه با استفاده از نرم افزار FLAC3D

نام FLAC مخفف عبارت Fast Lagrangian Analysis of Continua می باشد که توسط شرکت امریکایی - کانادایی Itasca پشتیبانی می گردد. این نرم افزار تحت محیط برنامه نویسی FISH عمل کرده و مسائل را با روش آنالیز عددی تفاضل محدود (FDM) محاسبه می کند. تفاضل محدود از جمله روش های آنالیز عددی برای حل تقریبی معادلات دیفرانسیل است که در آن مشتق توابع با تفاضلات معادل آن تقریب زده می شود. اساس این روش برای حل معادلات، استفاده از تقریب تابع با روش تیلور است (Zienkiewicz et al., 2005).

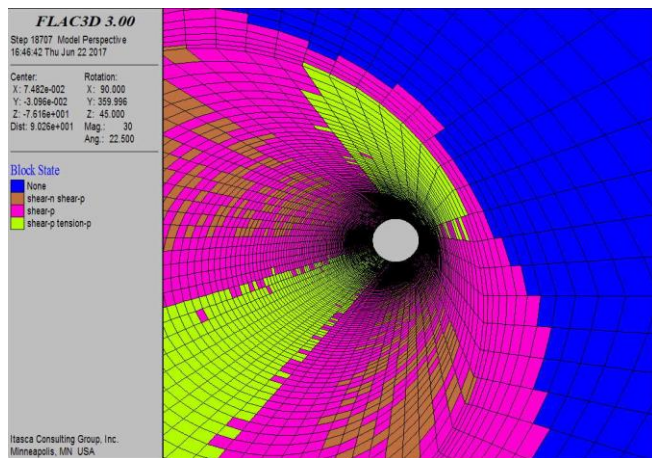
در این مطالعه بخش های ۱، ۲ و ۳ از سازند سروک به ازای مقادیر مختلفی از وزن گل مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت که در هر کدام



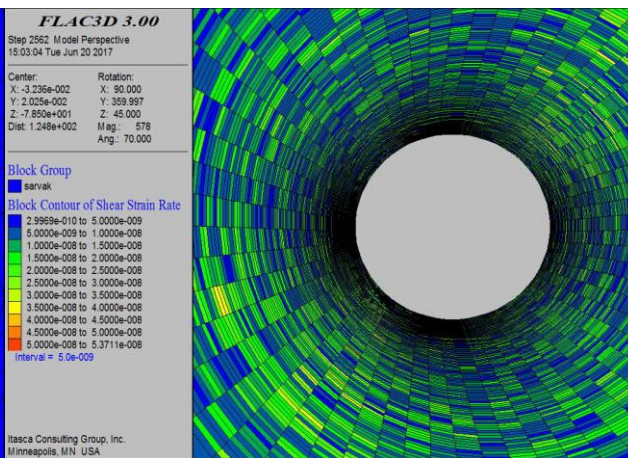
شکل ۱۱- کانتورهای نسبت نیرو.
Fig. 11. Force ratio contours.



شکل ۱۰- کانتورهای جهت و مقدار تنش بر جای ماکزیمم.
Fig. 10. The direction and value contours of the stress remain at maximum.



شکل ۱۳- کانتورهای نقاطی که شرایط گسیختگی را فراهم کرده اند.
Fig. 13. Contours of points that have provided rupture conditions.



شکل ۱۲- کانتورهای ماکزیمم کرنش برشی.
Fig. 12 Maximum strain cutter contours.

پنجره گل نهایی چاه

در جدول ۲، بازه اعداد اوزان گل لازم به منظور شرایط ایجاد فوران^{۱۳}، ریزش‌های متقارن دیواره چاه^{۱۴}، شروع هرزروی گل^{۱۵}، و شروع باز شدن درزه‌های کششی^{۱۶} بر حسب پوند بر اینچ مربع برای سه بخش سازند سروک با استفاده از نرم افزار FLAC3D نشان داده شده است. مقادیر مینیمم و ماکزیمم در جدول ۱ نشان دهنده بازه ظهور و اتمام شرایط مربوطه است. همانگونه که از اعداد بدست آمده مشخص است، حد پایین وزن گل در حالت پایدار چاه برای هر سه بخش سازند سروک در این چاه برابر ۷۳ پوند بر اینچ مربع می‌باشد. به عبارت دیگر اگر در حین حفاری یا پس از آن مقدار وزن گل در

حفره از این مقدار کمتر شود احتمال فوران چاه وجود دارد. همچنین وزن گلی که در آن ریزش‌های متقارن دیواره چاه در امتداد شمال غرب جنوب شرق دهانه چاه ظاهر می‌شوند در سه بخش سروک به ترتیب ۸۰، ۷۸ و ۸۱ پوند بر اینچ مربع است. مقدار کمتر MW Breakout در بخش ۲ سازند سروک نشان دهنده ایجاد ریزش‌های متقارن دیواره چاه در این بخش در وزن گل پایین‌تر نسبت به دو بخش دیگر است و این به علت ساختار ضعیف‌تر و شیلی این بخش از سازن سروک دور از انتظار نبوده است. صفر بودن مقادیر مینیمم در ستون مربوط به درزه‌های کششی نشان دهنده این نکته است که در سازند سروک در این چاه به دلیل خاصیت مخزنی آن همواره نقاطی وجود دارد که دارای درزه‌های باز می‌باشند.

جدول ۲- پنجره گل نهایی و مقادیر حداقل و حداکثر وزن گل مورد نیاز به منظور ایجاد شرایط فوران، ریزش‌های متقارن دیواره چاه، هرزروی و درزه کششی.

Table 2. Final mud window and the minimum and maximum values of mud weight required to satisfy the eruption conditions breakouts, loss and tensile joints.

FORMATION	MW KICK (PCF)		MW BREAK OUT (PCF)		MW LOSS (PCF)		MW TENSILE (PCF)	
	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX
SV-1	73	73	80	103	77	109	0	98
SV-2	73	73	78	103	74	103	0	84
SV-3	73	73	81	113	73	114	0	111

نتیجه‌گیری

در این مطالعه به بررسی پایداری دیواره چاه در بخش های ۱، ۲ و ۳ سازند سروک در یکی از میداین جنوبی کشور پرداخته شد. با استفاده از روش‌های تحلیلی و عددی مربوط به پایداری چاه، مدل ژئومکانیکی (MEM)، پنجره گل و رژیم تنش در اطراف چاه مورد بررسی قرار گرفت. پارامترهای ورودی در این مطالعه از نمودارهای صوتی دو قطبی (DSI)، نمودار تصویری (FMI)، چگالی، قطر سنج و گاما، ابزار (MDT) و نیز گزارش‌های روزانه حفاری و زمین‌شناسی بدست آمده است. همچنین سه بخش بالایی سازند سروک به ازای وزن گل‌هایی که فاکتور اطمینان بالای ۱ بدست می‌دهند مورد بررسی قرار گرفته‌اند.

استفاده از نرم افزار FLAC3D، تخصصات دقیق مورد انتظار جهت وقوع هریک از موارد چهارگانه ژئومکانیکی پیش بینی شده است. بدین ترتیب که نقاطی از چاه که در آن ظهور ریزش‌های متقارن دیواره چاه مورد انتظار است در امتداد شمال غرب - جنوب شرقی چاه و نقاطی که در اوزان بالای گل احتمال ایجاد و بازشدگی درزه‌های کششی وجود دارد در امتداد شمال شرق - جنوب غربی وجود دارند. همچنین رژیم تنش در اطراف چاه تعیین گردید که بنابر آن جهت تنش اصلی حداقل در جهت شمال غرب جنوب شرقی و تنش اصلی حداکثر در جهت شمال شرق جنوب غربی چاه می‌باشد. نتایج حاصله از این مطالعه می‌تواند در حفاری ایمن چاه‌های مجاور مورد استفاده قرار گیرد و همچنین به عنوان اطلاعات اولیه به منظور شکست هیدرولیکی و ازدیاد برداشت از مخزن مورد بررسی قرار گیرد.

در مدل‌های مختلف این مطالعه، نقاط مختلف چاه که در آنها به ازای مقادیر متفاوت وزن گل، یکی از موارد چهارگانه ژئومکانیکی (فوران، ریزش‌های متقارن دیواره چاه، هرزروی و ایجاد درزه کششی) رخ می‌دهند، مشخص گردیدند. همچنین در آنالیز پایداری دیواره چاه با

منابع

Abija, F.A., Tse, A.C., 2016. Geomechanical evaluation of an onshore oilfield in the Niger Delta, Nigeria.

- IOSR J. Applied Geology and Geophysics 4(1), 99–111.
- Ameen, M.S., Smart, B.G.D., Somerville, J.M., Hammilton, S., Naji, N. A., 2009. Predicting rock mechanical properties of carbonates from wireline logs (A case study: Arab-D reservoir, Ghawar field, Saudi Arabia). *Marine and Petroleum Geology* 26(4), 430–444.
- Archer, S., Rasouli, V., 2012. A log based analysis to estimate mechanical properties and in-situ stresses in a shale gas well in North Perth Basin. *Petroleum and Mineral Resources* 21, 122–135.
- Asef, M.R., Farrokhrouz, M., 2010. Governing parameters for approximation of carbonates UCS. *Electron Journal of Geotechnique Engineering* 15, 1581–1592.
- Awal, M.R., Khan, M.S., Mohiuddin, M.A., Abdulraheem, A., Azeemuddin, M., 2001. A new approach to borehole trajectory optimisation for increased hole stability. *SPE Middle East Oil Show*.
- Bakhtiyari, E., Almasi, A., Cheshomi, A., Hassanpour, J., 2017. Determination of Shear Strength Parameters of Rock Mass using Back Analysis Methods and Comparison of Results with Empirical Methods. *European Journal of Engineering Research and Science* 2(11), 35–42.
- Ghazban, F., 2007. *Petroleum geology of the Persian Gulf*. Joint publication. Tehran University Press and National Iranian Oil Company, Tehran.
- Lacy, L.L., 1997. Dynamic rock mechanics testing for optimized fracture designs. *SPE Annual Technical Conference and Exhibition*.
- Lal, M., 1999. Shale stability: drilling fluid interaction and shale strength. *SPE Asia Pacific Oil and Gas Conference and Exhibition*.
- Moos, D., 2006. *PEH: Geomechanics Applied to Drilling Engineering*. Ed. Robert F. Mitchell. *Drilling Engineering*. Ed. Larry W. Lake 2, 1–87.
- Matiei, H., 1993. *Geology of Iran, Zagros Stratigraphy*, National Geological Survey of Iran: First Edition, p.536.
- Nairn, A.E.M., Alsharhan, A.S., 1997. *Sedimentary basins and petroleum geology of the Middle East*. Elsevier.
- Peng, S., Zhang, J., 2007. Engineering geology for underground rocks. *Engineering Geology for Underground Rocks*, 1–319. <https://doi.org/10.1007/978-3-540-73295-2>.
- Prats, M., 1981. Effect of burial history on the subsurface horizontal stresses of formations having different material properties. *Society of Petroleum Engineers Journal* 21(06), 658–662.
- Rahimpour-Bonab, H., Mehrabi, H., Navidtalab, A., Izadi-Mazidi, E., 2012. Flow unit distribution and reservoir modelling in cretaceous carbonates of the Sarvak Formation, Abteymour Oilfield, Dezful Embayment, SW Iran. *Journal of Petroleum Geology* 35(3), 213–236.
- Sharland, P.R., Archer, R., Casey, D.M., Davies, R. B., Hall, S.H., Heward, A.P., Horbury, A.D., Simmons, M.D., 2001. Arabian Plate sequence stratigraphy. *GeoArabia Spec Publ 2*. Gulf PetroLink, Manama, Bahrain.
- Yi, X., Valkó, P.P., Russell, J.E., 2005. Effect of rock strength criterion on the predicted onset of sand production. *International Journal of Geomechanics* 5(1), 66–73.
- Zare, M.R., Shadizadeh, S.R., Habibnia, B., 2010. Mechanical stability analysis of directional wells: a case study in Ahwaz oilfield. *Nigeria Annual International Conference and Exhibition*.
- Zhang, L., Radha, K.C., 2010. Stability analysis of vertical boreholes using a three-dimensional hoek-brown strength criterion. In *GeoFlorida 2010: advances in analysis, modeling and design* (pp. 283–292).
- Zienkiewicz, O.C., Taylor, R.L., Zhu, J.Z., 2005. *The finite element method: its basis and fundamentals*. Elsevier, 1st edition, 714 pp.



©2022 The author(s). This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, as long as the original authors and source are cited. No permission is required from the authors or the publishers.