سومین کنفرانس ملی ژئومکانیک نفت
مدیریت اکتشاف شرکت ملی نفت ایران
تهران، ۲ الی ۳ بهمن ۱۳۹۷

تخمین پارامترهای ژئومکانیکی براساس داده‌های پتروفیزیک و آزمایشگاه در یکی از میادین هیدروکربنی

حسام منصوری سیاه گلی[۱]؛ محمدعلی ریاحی[۲]؛

چکیده

در این مطالعه از داده‌های پتروفیزیکی، آزمایشگاهی و مغزه به منظور تخمین پارامترهای ژئومکانیکی مخزن استفاده شده است. مراحل انجام تحقیق به این صورت است که ابتدا کیفیت داده‌های جمع‌آوری شده مورد پایش قرار گرفت، سپس واحدهای ژئومکانیکی و همچنین خواص مکانیکی سنگی شامل تنش‌های عمودی، افقی بیشینه، افقی کمینه، فشار منفذی و وزن گل بهینه براساس داده‌های به دست آمده از آزمایشگاه و نمودارهای چاه تعیین شده‌اند. بر اساس نتایج حاصل این مطالعه مسیر بهینه حفاری براساس تعیین وضعیت پایداری چاه با استفاده از معیارهای شکست پیشنهاد شده است.

کلیدواژه‌ها: داده‌های پتروفیزیکی، پارامترهای ژئومکانیکی، واحدهای ژئومکانیکی، فشار منفذی، مسیر بهینه حفاری

۱- مقدمه

امروزه موضوع پایداری دیواره چاه به تنهایی و به طور میانگین مبلغی بالغ بر ۸ میلیارد دلار برای شرکت‌های بزرگ نفتی دنیا هزینه به همراه دارد و همچنین ۴۱درصد از زمان حفاری غیرمفید (Non-Productive drilling Time (NPT) را به خود اختصاص می‌دهد. از این رو علم ژئومکانیک به جهت کاهش ریسک و هزینه‌های حفاری و همچنین کاهش زمان حفاری غیرمفید بسیار مورد توجه قرار گرفته است. (گزارش شرکت‌های جیمز دادسون و ودرفورد، ۲۰۰۴)

ژئومکانیک دانشی است که سعی بر شناخت وضعیت تنش‌های موجود درون زمین را دارد و به بررسی رفتار سنگ و خاک در برابر تغییرات تنش، فشار، دما و سایر عوامل محیطی می‌پردازد. در صنعت نفت، تمرکز دانش ژئومکانیک بر روی رفتار سنگها تحت تاثیر میدان تنش و تغییرات آن می‌باشد (کوک،۲۰۱۵) پایداری دیواره چاه، کنترل تولید ماسه، بررسی مخازن شکست خورده، بررسی شکست هیدرولیکی، انتخاب بهترین مسیر حفاری، تزریق، تراکم و فرونشست و یکپارچگی کیسینگ و پوش‌سنگ از جمله مهم‌ترین کاربردهای ژئومکانیک در صنعت

[۱] دانشجوی کارشناسی ارشد لرزه‌شناسی، گروه فیزیک زمین، موسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران، تهران، ایران، hessam.mansouri1515@gmail.com
[۲] استاد، گروه فیزیک زمین، موسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران، تهران، ایران، mariahi@ut.ac.ir

نفت می‌باشد. هدف از این مطالعه ارائه پارامترهایی می‌باشد که می‌توان با استفاده از آن دید بهتری در مورد خصوصیات مخزن و شرایط تنش به منظور افزایش بهره وری و کاهش ریسک به دست آورد.

در واقع به کمک مدل ژئومکانیکی و تحلیل ناپایداری چاه‌های مورد حفاری سازندهای مختلف می‌توان با ارائه و انتخاب مناسب و بهینه‌ی پارامترهای حفاری نظیر آزیموت، زاویه انحراف و وزن سیال حفاری علاوه بر کاهش هزینه‌های حفاری چاه‌های آتی، از مخاطرات احتمالی نظیر مچالگی و یا برش لوله جداری در طول عمر یک چاه تا حد زیادی جلوگیری کرد. از طرف دیگر در برخی میادین که در آنها حفاری‌ها برای دستیابی به نقاط مختلف مخازن از یک سکوی ثابت صورت می‌گیرد، حفاری جهت‌دار و افقی، ضرورت و جایگاه ویژه‌ای دارد. از این رو یکی از اهداف این مطالعه علاوه بر شناسایی عوامل ناپایداری چاه‌های موجود، ارزیابی و محاسبه‌ی میزان بهینه پارامترهای بحرانی برای حفاری‌های جهت‌دار و شناسایی مشکلات احتمالی آتی این چاه‌ها در میدان مورد مطالعه می‌باشد. بایستی خاطر نشان کرد مسیر بهینه چاه می‌تواند با توجه به اینکه ناحیه از نظر تکتونیکی آرام یا فعال است و همچنین متناسب با اینکه تنش برجای غالب نرمال، فشاری و یا از نوع گسل‌های امتداد لغز می‌باشد، عمودی، مایل و افقی تعیین شود.

۱-۱- محدوده مورد مطالعه و سازند های آن

ساختار فعلی میدان مورد مطالعه از برهم‌نهی چین‌خوردگی‌های با روند شمال‌غربی-جنوب شرقی مربوط به حرکت کوهزایی اواخر دوره ترشیاری بر روی چین‌خوردگیهای با روند شمالی-جنوبی اولیه به وجود آمده است. میدان به صورت یک تاقدیس با روند شمال‌غربی-جنوب شرقی است و دارای شیب ۱ تا ۱/۵ درجه می‌باشد.

گزارش‌های شرکت فوگرو جیسون[1] از این میدان مبنی بر آن است که مخزن غار-آسماری در میدان مورد مطالعه از سه واحد تشکیل شده است. آسماری فوقانی پتانسیل یک مخزن قابل قبول را دارد، در حالی که آسماری تحتانی از کربناتهای سخت و کاملا متراکم تشکیل شده است.

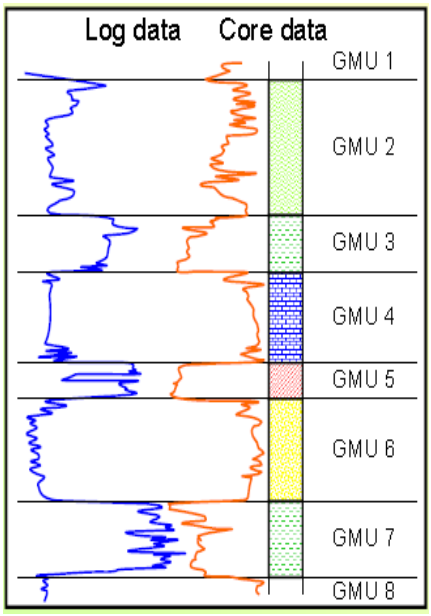
ماسه‌سنگ غار که کل نفت میدان مورد مطالعه را دارا می‌باشد تا ضخامت ۱۰۰ میرسد و از سنگهای غیر متراکم با شیلها و دولومیت‌ها، ماسه سنگ‌های با سیمان دولومیتی بین لایه‌ای و لایه‌های انیدریتی تشکیل شده است. ماسه های سازند غار که عمدتا از جورشدگی خوبی برخوردار بوده است، حاوی دانه های ریز تا خیلی ریز کوارتز و مقادیر کمی فلدسپات می‌باشد. دانه های کوارتر گرد شده، به طور ضعیفی توسط کانی های مرتبط با شرایط آب و هوایی خشک (همچون ژیپس، نمک و دولومیت) سیمانی شده‌اند. این ماسه ها در زمینه ای از کانی های رسی آواری و مقادیر کمی مواد آلی قرار دارند. آسماری فوقانی به ضخامت حدودی ۲۶ متر از لایه‌های کربنات، دولومیت، شیل و انیدریت، که به صورت لایه ای قرار گرفته اند، تشکیل شده است. لایه ای که آسماری فوقانی و غار را از یکدیگر جدا میسازد، ضخامتی حدود ۶ متر داشته و از لایه‌های انیدریت، شیل و دولومیت به صورت بین لایه ای تشکیل شده است.

۳- روش تحقیق

در این مطالعه پس از جمع‌آوری و بررسی اطلاعات موجود یک میدان هیدروکربنی و با بررسی این که کیفیت داده‌های جمع‌آوری شده باید حداقل استانداردها را داشته باشد(چراکه دقت و کارایی مدل ها در ارتباط تنگاتنگی با این اطلاعات قرار دارد) و همچنین اختصاص دادن داده های آزمایشگاهی و نمودارهای چاه

[1] Fugro Jason

به عمق اصـلی آن، واحدهای ژئومکانیکی[1] (GMU) تعیین شده است. این مرحله شامل بخش‌بندی سازندهای موجود می‌باشد. بخش‌بندی در طول چاه بر اساس روش‌ها و با اهداف مختلفی صورت می‌گیرد که از آن جمله می‌توان به بخش‌بندی زمین‌شـناسـی در طول چاه اشـاره کرد. در مدل‌سـازی یک بعدی، بخش‌بندی بر پایه خواص ژئومکانیکی و استاتیکی با استفاده از اطلاعاتی مانند لاگ‌های پتروفیزیکی که معرف خواص استاتیکی هسـتند انجام می‌گیرد. این لاگ‌ها می‌تواند شـامل DTS, DTC, RHOZ, NPHI, GR, CAL, PEF و غیره بـاشـد(شـکل ۱). هدف از انجام این مراحل انتخاب بهینه تعداد نمونه‌های آزمایشـگاهی و جبران کمبود نمونه،توزیع مناسـب آن‌ها به پوشـش کل چاه و تخمین مناسـب‌تر پارامترها در طول چاه در مراحل بعدی می‌باشد.



شکل ۱. تعیین GMUs در طول چاه (حقی و همکاران، ۲۰۱۳).

در مرحله بعد خواص مکانیک سنگی با انجام آزمایش‌های مکانیک سنگی لازم در آزمایشگاه تعیین شده است. سپس خواص برجا و مکانیک سنگی شامل تنش‌های عمودی، افقی بیشینه، افقی کمینه، فشار منفذی، وزن گل و خواص مکانیک سنگی به صورت پیوسته و با استفاده از چاه نمودارهای مرتبط محاسبه شده است. از روش‌های مبتنی بر شکست هیدرولیکی معمولا برای اندازه‌گیری تنش برجا در چاه قائم استفاده می‌شود.

به صورت خلاصه مراحل محاسبه تنش به این صورت است که با استفاده از نمودارهای چگالی و صوتی در مقابل عمق، و محاسبه استاتیکی پارامترهای الاستیک ژئومکانیکی(مدول یانگ، نسبت پواسون و ...)،از روابط پروالاستیسیته، کرنش های افقی در دو راستا را محاسبه کرده و سپس با استفاده از روابط ایتون تنش های افقی

[1]Geo Mechanical Unit

محاسبه شدهاندکه این روابط به صورت زیر می‌باشند:

$$\sigma_{h\min} = \frac{\nu}{1-\nu}(\sigma_V - \alpha P_P) + \alpha P_P + \frac{E_s}{1-\nu^2}(\varepsilon_x + \nu\varepsilon_y) \quad (۱)$$

$$\sigma_{H\max} = \frac{\nu}{1-\nu}(\sigma_V - \alpha P_P) + \alpha P_P + \frac{E_s}{1-\nu^2}(\varepsilon_y + \nu\varepsilon_x) \quad (۲)$$

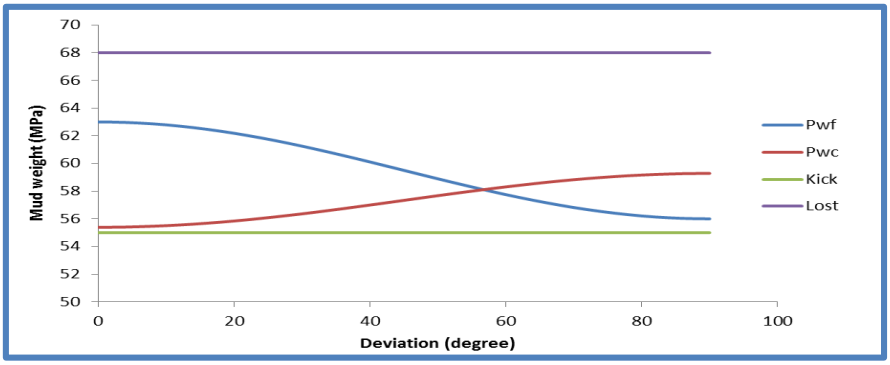
در روابط بالا (σ_V) تنش روباره، (P_P) فشار درون منفذی، (ν) نسبت پواسون، (E_s) مدول یانگ استاتیک، (α) ضریب بایوت، و (ε_x) و (ε_y) کرنش های افقی می‌باشند.

جدول۱: تنش‌های برجا در واحدهای ژئومکانیکی مختلف چاه A

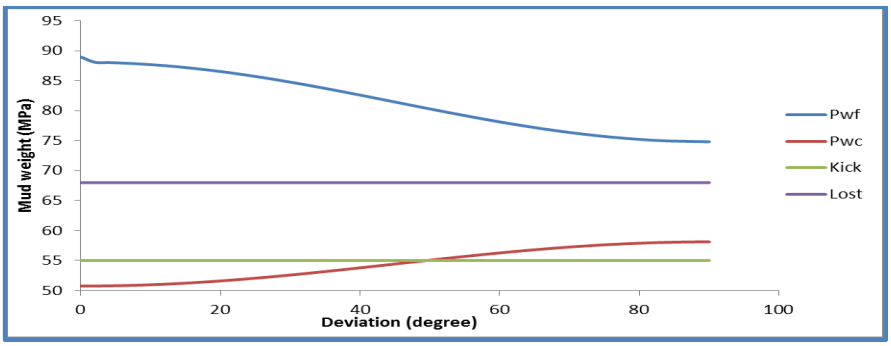
	Start depth(m)	End depth(m)	S_v (MPa)	SH (MPa)	Sh (MPa)	P_p (MPa)
Total depth intervol	3984.498	3610.356				
GMU-A	3626	3701	88	81	68	55
GMU-B	3701	3745	89	81.5	69	55
GMU-C	3745	3773	89.5	82	70	53
GMU-D	3773	3805	89.7	83	71	58
GMU-E	3805	3855	90	84	72	58
GMU-F	3855	3965	90.5	85	73	57

پس از محاسبه پروفایل پیوسته پارامترهای ژئومکانیکی، فشار منفذی، مولفه‌های تنش برجا و تبدیل آن‌ها به مولفه‌های تنش روی دیواره چاه و با بکارگیری معیار شکست مکانیک سنگی (در این مطالعه مور-کولمب مورد استفاده قرار گرفت)، حال با حل این معادلات درکنار هم و برای آزیموت‌ها و شیب‌های مختلف، مجهول موجود در معادلات یعنی میزان وزن گل لازم برای جلوگیری از شکست چاه یا ریزش آن بدست می‌آید. با به دست آمدن آن می‌توان مقدار پنجره وزن گل ایمن را برای هر جهت دلخواه پیشنهاد داد.

در نهایت با تعیین وضعیت پایداری چاه با استفاده از معیارهای شکست، مسیر بهینه حفاری پیشنهاد شده است و به عنوان نتیجه در انتهای این مطالعه آورده شده است.



شکل ۲. حدود فشار گل متناسب با ناپایدارهای محتمل در شیب‌های مختلف در جهت تنش افقی حداکثر در چاه A. پیکان های عمودی بازه مجاز فشار گل را برای حفاری پایدار نشان می دهد.



شکل ۳. حدود فشار گل متناسب با ناپایدارهای محتمل در شیب‌های مختلف در جهت تنش افقی حداقل در چاه A، پیکان های عمودی بازه مجاز فشار گل را برای حفاری پایدار نشان می دهد.

۴-نتیجه‌گیری

در حالت کلی با توجه به نزدیکی روند کلی مشاهده شده در GMU های مختلف برای چاه مورد مطالعه، می‌توان بیان کرد که حفاری در جهت تنش افقی حداکثر (N10E) دارای بازه وزن گل کمتری بوده و کنترل وزن گل برای حفاری در برخی آزیموت‌ها و شیب‌های خاص بسیار مشکل می‌باشد.

در چاه مورد مطالعه، حفاری در جهت تنش افقی حداقل (N80W) با زوایای مختلف و حتی چاه افقی کاملا ایمن و ممکن بوده، و حفاری آن بلامانع است.

در چاه مورد مطالعه، حفاری در جهت تنش افقی حداکثر (N10E)، با کنترل وزن گل، تنها با زوایه حداکثر ۴۰ الی ۵۰ درجه ممکن است. حفاری در این جهت با زوایای بالاتر حتی با کنترل وزن گل، به هیچ عنوان پایدار نخواهد بود.

۵-منابع

[۱] نصیری، م.، کمالی، م.، کدخدایی، ع.، رجلی نوده، م.، ۱۳۹۱، ارزیابی پتروفیزیکی و تعیین گونه‌های مخزنی عضو غار در میدان نفتی ابوذر خلیج فارس: مجله زمین‌شناسی نفت ایران، ۳، (۳)، ۴۳-۵۸.

[2] Aki, K., and Richards, P.G., 2002, "Quantitative Seismology", 2^{nd} Edition: W.H. Freeman and Company.
[3] Cook, J., "The Defining Series: Geomechanics", Oilfield Review, Schlumberger, 2015.
[4] Hampson, Daniel. (2005). Simultaneous inversion of pre-stack seismic data. Seg Technical Program Expanded Abstracts. 24. 10.1190/1.2148008.
[5] A. Haghi, R. Kharrat, M. Asef, and H. Rezazadegan, "Present-day stress of the central Persian Gulf: Implications for drilling and well performance," Tectonophysics, vol.608, pp. 1429-1441, 2013.
[6] J.K. Dodson Company 2004 GOM Report, data provided by Weatherford
[7] M. S. Ameen, K. MacPherson, M. I. Al-Marhoon, and Z. Rahim, "Diverse fracture properties and their impact on performance in conventional and tight-gas reservoirs, Saudi Arabia: The Unayzah, South Haradh case study," AAPG bulletin, vol. 96, pp. 459-492, 201

3rd National Conference on Petroleum Geomechanics
National Iranian Oil Company Exploration Directorate
Tehran, Jan,22-23,2019

Estimation of geomechanical parameters based on petrophysical and laboratory data in one of the hydrocarbon fields.

Hessam mansouri siah goli[1]; Mohammad Ali Riahi[2];

Extended ABSTRACT:

SummaryIn this study, petrophysical, laboratory and core data were used to estimate geomechanical parameters of the reservoir. The steps of this research included initially observance of collected data, then the geomechanical units and mechanical properties of the rock including vertical, maximum horizontal, minimum horizontal, pore pressure and optimal mud weight based on the laboratory data and well logs were determined.

As a result of this study, the optimal drilling path is proposed based on determination of the stability of wells using fracture criteria.

Keywords : petrophysical data, geomechanical parameters, geomechanical units, pore pressure, optimal drilling path

Introduction: Geomechanics is a science attempting to study the situation of the existing stresses. It also investigates rock and soil behavior against changes of stress, pressure, temperature and other environmental factors. Well wall stability , sand production control, reviewing the failed reservoirs, reviewing the hydraulic fractures, and choosing the best drilling path are through the most prominent applications of Geomechanics in oil industry.

Methodology and Approaches: After collecting and investigating the existing information about a hydrocarbon field in this study and also allocating the laboratory data and well logs to its main depth, the geomechanical units (GMUs) are determined.

In the next step, rock mechanical properties are determined by performing the necessary rock mechanical experiments in laboratory. Then the in-situ and rock mechanical properties include vertical stress, maximum horizontal stress , minimum horizontal stress, pore pressure, mud weight and rock mechanical properties are estimated continuously using the due well logs.

Results and Conclusions: In general terms, according to proximity of the observed trend in different GMUs of the study wells, it can be stated drilling through the maximum horizontal direction of N10E obtains a smaller interval of mud weight, and the well weight control for the drilling is difficult through some azimuths and special dips.

Within the study well, drilling in direction of N80W with minimum horizontal stress is perfectly safe and possible throughout different angles and even a horizontal well and its drilling is permitted.

[1]M. Sc.Student, Institute of Geophysics, University of Tehran, Tehran, Iran, Hessam.mansouri1515@gmail.com
[2]Professor, Institute of Geophysics, University of Tehran, Tehran, Iran, mariahi@ut.ac.ir