تعیین اعماق دارای احتمال مچالگی جداری به کمک مدل ژئومکانیکی در میدان مارون

سیاوش عاشوری، استادیار دانشگاه صنعت نفت اهواز
محمد آبدیده، استادیار دانشگاه آزاد اسلامی واحد امیدیه
سجاد معتضدی فرد، کارشناسی ارشد مهندسی حفاری دانشگاه صنعت نفت اهواز

چکیده :

در بسیاری از نقاط دنیا، میادین نفتی با مشکل مچالگی جداری روبرو هستند. این مساله به دلیل بیشتر شدن تنش های افقی بیرونی از مقاومت جداری رخ می دهند. برای مقابله با این پدیده باید به مقاوم سازی جداری پرداخت که انجام این امر در سراسر چاه هزینه بالایی در پی دارد لذا می بایست در هر میدان سازندها و به صورت مشخص تر لایه هایی که دارای خطر بروز این مشکل هستند شناسایی شوند تا مقاوم سازی فقط برای این بازه انجام گیرد و برای جداری گذاری چاه های بعدی نیز برنامه ویژه ای در این نواحی اتخاذ شود. در این مقاله با استفاده از داده های حفاری و نمودارگیری به ساخت مدل ژئومکانیکی و پس از آن مقایسه تنش افقی بیشینه با مقاومت جداری در یکی از چاه های میدان مارون پرداخته شد. نتیجه این کار تعیین اعماق ۳۰۵۰ متری تا ۳۶۲۰ متری به عنوان اعماق پرخطر از حیث مچالگی جداری بود. به عبارت دیگر بخش های ۶ تا ۱ از سازند گچساران در میدان مارون مستعد مچالگی جداری شناخته شدند و می بایست جداری ها در این بازه مقاوم سازی شوند.

کلیدواژه‌ها: مچالگی جداری، تنش، مارون، مدل ژئومکانیکی

Determination the Interval susceptible to Casing Collapse by Using Geomechanical Model in Marun Oilfield

Siavash Ashoori, Assistant Professor of Petroleum Engineering
Mohammad Abdideh, Assistant Professor of Petroleum Engineering
Sajad Motazedifard, Master of Science in Petroleum Engineering

Abstract:

In many oilfields all over the world casing collapse has been a challenging problem. This happens when the external horizontal stress exceeds the casing strength. To prevent collapse, casings should be replaced with stronger ones, but it is very expensive to do it for all parts of the well, so it is needed to determine the interval which is susceptible to collapse and then apply the treatment for that interval only. In this article by using drilling and log data from a well in Marun oilfield a geomechanicl model was built and then the maximum horizontal stress was compared with casing collapse resistance. It revealed that there is a high risk of collapse from 3050 m to 3620 m. This interval includes first to sixth sections of Gachsaran formation.

Keywords : Casing Collapse, Marun, Stress, Geomechanical Model

◇◇◇◇◇◇◇

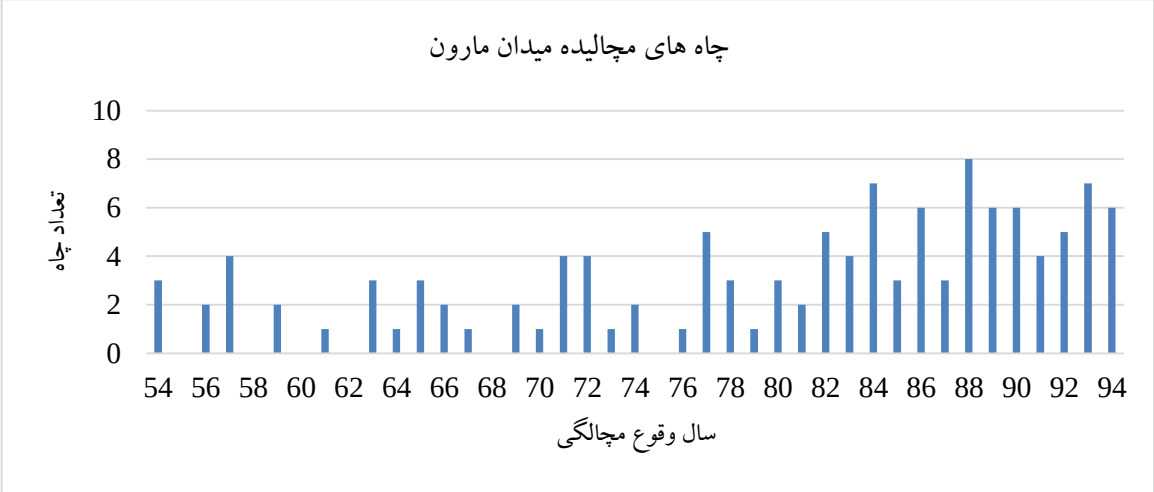
مقدمه :

جداری ها به منظور حفاظت از چاه در زمان حفاری و تولید نفت نصب می گردند. این جداری ها در طول عمر چاه با تنش های مختلفی مواجه می شوند که ممکن است آن ها را دچار آسیب کند. به طور مثال پدیده ترکیدگی معمولا در اعماق بالایی چاه به دلیل بیشتر شدن فشار درونی لوله از فشار بیرونی رخ می دهد و پدیده مچالگی معمولا در اعماق پایینی چاه به دلیل بالاتر بودن فشار بیرونی از داخلی اتفاق می افتد [۱]. مچالگی جداری یکی از حوادث بسیار رایج گزارش شده در چاه های نفت و گاز می باشد. این مشکل در نواحی بسیاری در سراسر دنیا از جمله چاه های دریای شمال، خلیج مکزیک، کالیفرنیا، آمریکای جنوبی و آسیا گزارش شده است [۲].

به منظور کاهش خطر مچالگی در نظر گرفتن جداری های مقاوم تر و ضخیم تر در طراحی جداری پیشنهاد می گردد اما این امر مستلزم صرف هزینه زیاد برای هر چاه می باشد. بنابراین برای بهینه سازی طراحی جداری نیاز است اعماقی که به احتمال بالاتری دچار مچالگی می شوند مشخص گردند تا از این طریق هزینه صرف شده برای مقاوم سازی چاه در برابر مچالگی کاهش یابد.

میدان نفتی مارون:

میدان نفتی مارون دومین میدان نفتی بزرگ کشور است که در سمت شرق میدان اهواز قرار گرفته است. این میدان در سال ۱۳۴۶ کشف گردید و از سال ۱۳۴۹ تا کنون در حال تولید است. همان طور که در شکل ۱ مشخص است، پدیده مچالگی جداری تقریبا از سال ۱۳۵۴ گریبان گیر این میدان نفتی بوده است. مطالعات انجام شده بر روی این میدان نشان داده است که یک مکانیزم واحد علت بروز این مشکل در این میدان نبوده است بلکه عوامل مختلفی از جمله حرکت لایه های نمکی و نحوه زمین ساخت این میدان می توانند در این مساله تاثیرگذار بوده باشند [۳].



شکل ۱. تعداد چاه های دچار مچالگی شده میدان مارون در سال های مختلف [۴]

◇◇◇◇◇◇◇

روش تحقیق:

برای تعیین نواحی پر خطر از نظر مچالگی نیاز به محاسبه و مقایسه تنش افقی بیشینه وارد شده از سوی لایه های زمین به جداری و مقاومت جداری در برابر مچالگی می باشد. لذا ایجاد یک مدل ژئومکانیکی برای زمین پیشنهاد می گردد.

مدل ژئومکانیکی زمین:

مدل ژئومکانیکی ارائه ای عددی از وضعیت تنش و خصوصیات مکانیکی بخشی از یک میدان یا حوزه است. بسیاری از پروژه های نفتی به دلیل بروز مشکلات ژئومکانیکی ناشی از فشار غیرنرمال در لایه های زمین، ناپایداری دیواره چاه، فعال شدن گسل ها، فشرده شدن مخزن و فرونشست زمین دچار چالش گردیده اند. کاهش خطرات ناشی از چنین مشکلاتی نیازمند شناخت دقیق میدان و ساختمان چاه است. ساخت مدل ژئومکانیکی می تواند در صرف وقت و هزینه برای توسعه میادین، ما را یاری کند [۵].

با پیروی از مراحل زیر به ساخت مدل ژئومکانیکی می پردازیم:

۱. گردآوری داده ها
۲. محاسبه خصوصیات مکانیکی الاستیک
۳. محاسبه تنش های عمودی و افقی
۴. تعیین مقاومت تک محوره جداری
۵. آنالیز مقاومت جداری

به منظور ساخت مدل و انجام محاسبات ژئومکانیکی از خصوصیات ژئومکانیکی استاتیک استفاده می شود چراکه آن ها رفتار سازند را در برابر استرس های عظیم که می تواند منجر به شکست سنگ شود، بهتر نشان می دهند. این خصوصیات معمولا به صورت مستقیم از آزمایش های مغزه به دست می آیند که انجام آن برای یک بازه بزرگ از چاه عملیاتی پرهزینه و وقت گیر می باشد. لذا برای محاسبه این خصوصیات از داده های نمودار صوتی و نمودار چگالی استفاده می گردد که هم پیوسته است و هم هزینه بسیار کمتری دارد. از آنجا که با انتشار امواج صوتی در اعماق زمین این خصوصیات تعیین می شوند، بنابراین، از این روش تنها می توان خصوصیات مکانیکی زمین را در حالت دینامیک محاسبه کرد و نیاز است که بعدا این خصوصیات به حالت استاتیک تبدیل گردند.

برای تعیین خصوصیات ژئومکانیکی دینامیک یکی از چاه های میدان مارون که با مشکل مچالگی جداری روبرو بوده است اطلاعات حفاری و داده های نمودار صوتی جمع آوری گردید. و به محاسبه پارامترهای الاستیک به کمک اطلاعات نمودار صوتی پرداخته شد.

اگر فرض شود لایه مورد مطالعه یک جامد تک جزئی است که به صورت خطی الاستیک، ایزوتروپیک و همگن می باشد، می توان از معادلات زیر استفاده کرد تا خصوصیات الاستیک لایه را در حالت دینامیک را محاسبه کرد [۶]:

$$E_d = \frac{\rho_b\left[3-4\left(\frac{\Delta T_C}{\Delta T_S}\right)^2\right]}{\Delta T_S^2-\Delta T_C^2} \quad (۱)$$

$$\upsilon_d = \frac{0.5\left(\frac{\Delta T_S}{\Delta T_C}\right)^2-2}{\left(\frac{\Delta T_S}{\Delta T_C}\right)^2-1} \quad (۲)$$

با توجه به شرایط مخزن، روش های ارائه شده برای محاسبه خصوصیات ژئومکانیکی استاتیک متفاوت هستند. با توجه به مطالعات انجام شده فرمول های زیر بهترین نتیجه را برای تعیین این خصوصیات در خاورمیانه و ایران خواهند داشت که در این مقاله نیز مورد استفاده قرار گرفته اند [۷].

$$E_s = 0.4145 \times E_d - 1.0593 \quad (۳)$$

$$\upsilon_s = 0.7\upsilon_d \quad (۴)$$

در این مقاله هدف از ساخت مدل ژئومکانیکی تعیین تنش افقی بیشینه و سپس مقایسه آن با مقاومت جداری می باشد. برای محاسبه تنش افقی بیشینه روش دقیقی وجود ندارد و باید از مدل سازی کمک گرفت. لذا از فرمول به دست آمده از مدل سازی تنش افقی توسط فجار که معتبرترین روش متناسب با میدان مارون است، استفاده می شود[۸]:

$$\sigma_H = \frac{\upsilon}{1-\upsilon}\sigma_V - \frac{\upsilon}{1-\upsilon}\alpha P_P + \alpha P_P + \frac{E}{1-\upsilon^2}\varepsilon_x + \frac{\upsilon E}{1-\upsilon^2}\varepsilon_y \quad (۵)$$

پس از تعیین مقادیر مدول یانگ و ضریب پواسون، حال با توجه به اینکه چگالی لایه های مختلف از نمودار چگالی تعیین شده اند و در داده های جمع آوری شده موجودند برای تعیین تنش عمودی از رابطه زیر استفاده می کنیم:

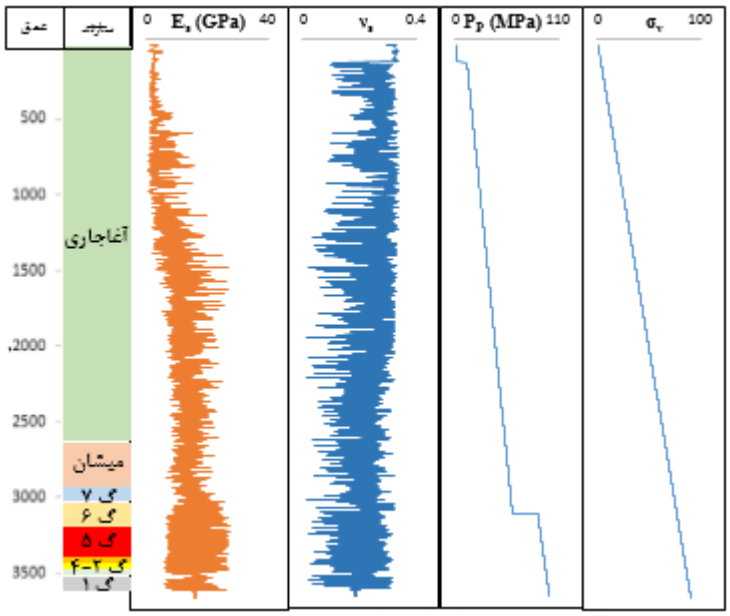
$$\sigma_V = \int_0^z \rho_{(z)}.g.d_z \cong \bar{\rho}.g.z \qquad (۶)$$

مقدار فشار حفره نیز با داشتن اطلاعات نمودار صوتی و چگالی از رابطه ایتون به دست می آید [۹]:

$$P_P = d(G_{ob} - (G_{ob} - G_N)\left[\frac{\Delta t_n}{\Delta t_o}\right]^a) \qquad (۷)$$

پارامترهای ε_x و ε_y میزان کشش در جهت تنش بیشنه و کمینه می باشند و برای تعیین این دو پارامتر ابتدا مقداری برای آن ها فرض می گردد ($\varepsilon_x = \varepsilon_y = ۱$) سپس مقدار تنش افقی کمینه تخمین زده می شود و با توجه به داده های آزمایش های **LOT** و **FIT** کالیبره می گردد. اگر بین نتایج همخوانی خوبی وجود نداشت، این دو پارامتر تغییر داده می شوند تا این همخوانی به وجود آید. در این مقاله با توجه داده های موجود و آزمایش های انجام شده، ε_x برابر ۰/۵ و ε_y برابر ۱/۵ در نظر گرفته شدند. پارامتر α نشان دهنده ضریب بایوت می باشد که برابر $1 - \frac{K_b}{K_S}$ می باشد. مقدار ضریب بایوت بین صفر تا ۱ متغیر است، که صفر نشان دهنده سیستمی است که کاملا از سیال تشکیل شده و ۱ بیانگر سیستمی می باشد که هیچ تخلخلی ندارد. با توجه به جنس سنگ در این مقاله مقدار این پارامتر ۰/۶ در نظر گرفته شد.

نمودار پارامترهای بدست آمده، لایه ها و عمق به صورت یک مدل ژئومکانیکی در شکل ۲ به نمایش در آمده است:



شکل ۲. مدل ژئومکانیکی یکی از چاه های میدان مارون

آنالیز پایداری جداری

برای آنالیز پایداری جداری، تنش افقی بیشینه که از رابطه (۵) بدست می آید با مقاومت جداری مقایسه می شود که در شکل ۳ نشان داده شده است. اطلاعات جداری های مورد استفاده در چاه نیز در جدول ۱ به شرح زیر آمده است:

جدول ۱. اطلاعات جداری های مورد استفاده در یکی از چاه های میدان مارون

قطر خارجی (in)	مقاومت مچالگی (Psi)	عمق کفشک جداری (m)
۱۸/۶۲۵	۶۳۰	۱۵۴
۱۳/۳۷۵	۲۶۷۰	۹۳۸
۱۳/۳۷۵	۲۸۲۰	۳۰۸۲
۹/۶۲۵	۳۸۱۰	۹۰۵
۹/۶۲۵	۴۷۶۰	۱۲۳۸
۹/۶۲۵	۶۶۲۰	۱۹۱۲
۹/۶۲۵	۷۹۵۰	۲۳۱۹
۹/۶۲۵	۸۹۶۰	۲۶۲۵
۹/۶۲۵	۱۱۵۶۰	۳۶۲۰

شکل۳. مقایسه تنش افقی بیشینه و مقاومت جداری در یکی از چاه های میدان مارون

◇◇◇◇◇◇◇

بحث:

در اعماق ۳۰ تا ۱۵۴ متری که از جداری ۱۸/۶۲۵ اینچی استفاده شده است هیچ خطری از نظر بروز مچالگی وجود ندارد که با این مساله که پدیده مچالگی معمولا در اعماق بالای چاه اتفاق نمی افتد نیز مطابق است.

در اعماق بین ۱۵۴ تا ۳۰۸۲ متری نیز که جداری ۱۳/۳۷۵ اینچی به کار رفته است نیز نمودار تنش افقی بیشینه هیچ برخوردی با نمودار مقاومت جداری ندارد و حاشیه امنیت خوبی برای رخ ندادن مشکل مچالگی در چاه وجود دارد.

در اعماق بین ۳۰۸۲ متری تا ۳۶۲۰ متری تنش افقی بیشینه با مقاومت جداری برخورد دارد و حتی در اعماق پایین تر مقدار تنش افقی بیشینه از مقدار مقاومت جداری بیشتر می شود که نشان دهنده خطر بروز مچالگی برای جداری در این ناحیه می باشد.

◇◇◇◇◇◇◇

نتیجه گیری :

با توجه به محاسبات و مدل سازی انجام شده می توان گفت اعماق ۳۰۸۲ تا ۳۶۲۰ متری یعنی بخش های ۶ تا ۱ از سازند گچساران در میدان مارون مستعد بروز مچالگی هستند که این امر می تواند به دلایل مختلفی از جمله عمق زیادتر این ناحیه و بالاتر بودن میزان تنش، ناپایدار بودن سازند گچساران، برداشت از مخزن آسماری در زیر سازند گچساران و فرونشست زمین و افزایش تنش ها در این ناحیه باشد. بنابراین باید در امر طراحی جداری برای چاه های میدان مارون در بخش های ۶ تا ۱ سازند گچساران تدبیر جدیدی به کار برده شود و از جداری مقاوم تری استفاده شود تا از مچالیده شدن چاه جلوگیری به عمل آید.

◇◇◇◇◇◇◇

تقدیر و تشکر

با تشکر از همه کسانی که ما را در انجام این مقاله یاری نمودند.

◇◇◇◇◇◇◇

References:

1. Huang, X., Mihsein, M., Kibble, K. and Hall, R., 2000. "Collapse strength analysis of casing design using finite element method". *International Journal of Pressure Vessels and Piping*, 77 (7), April, pp. 359-367.
2. Peng, S., Fu, J. and Zhang, J., 2007. "Borehole casing failure analysis in unconsolidated formations: A case study". *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 59 (3), September, pp. 226-238.
3. Motiei, H., 1993. "Stratigraphy of Zagros". *Treatise on the Geology of Iran*, 3 (1), March, pp. 60-74.
4. Bahroudi, A. and Koyi, H., 2004. "Tectono-sedimentary framework of the Gachsaran Formation in the Zagros foreland basin". *Marine and Petroleum Geology*, 21 (10), October, pp. 1295-1310.
5. Plumb, R., Edwards, S., Pidcock, G., Lee, D. and Stacey, B., 2000. "The mechanical earth model concept and its application to high-risk well construction projects". *IADC/SPE Drilling Conference*, 15 (13), July, pp. 113-124.
6. Bratton, T. R., Sinha, B. K., Plona, T. J., and Jeffryes, B. P., 2005. "U.S. Patent No. 6,904,365". Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.
7. Ide, J. M., 1936. "The elastic properties of rocks: A correlation of theory and experiment". Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America.
8. Fjær, E., 1999. "Static and dynamic moduli of weak sandstones". Rock mechanics for industry. Balkema, 675-681.
9. Eaton, B. A., 1969. "Fracture gradient prediction and its application in oilfield operations". Journal of petroleum technology, 21(10), pp. 1-353.