

ارائه مدل ژئومکانیکی و آنالیز فشار شکست در سنگ مخزن بنگستان (مطالعه موردی : یکی از مخازن جنوب غربی ایران)

آرش احمدی فر¹، دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی نفت، حفاری و بهره برداری از منابع نفت،

دانشگاه آزاد اسلامی، واحد امیدیه

محمد آبدیده²، دکتری زمین شناسی، استادیار دانشگاه آزاد اسلامی، واحد امیدیه

چکیده :

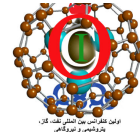
شکاف هیدرولیکی یک فرآیندی است که بر حفره چاه اعمال می شود و هدف آن بهبود توانایی جریان یافتن سیالاتی همچون نفت و گاز است که از چاه برداشت می شوند. مطالعات اخیر نشان داده است که شکاف ها می توانند نقش عمده ای در قابلیت تولید در سازندهای با تراوایی پایین داشته باشند. مخزن بنگستان واقع در جنوب غرب ایران به دلیل بالا بودن میزان نفت درجا و سنگ های مخزن با کیفیت در این تحقیق مورد استفاده قرار گرفته است. بر اساس این تحقیق موقعیت تنش های برجا در میدان مذکور به صورت رژیم تنش نرمال بوده است ($\sigma_h < \sigma_H < \sigma_v$). پروفایل های تنش حداقل و حداکثر و همچنین میزان تنش های القایی حداقل و حداکثر بعد از عملیات حفاری و پروفایل مربوط به آن ها تعیین شده است. نهایتاً میزان حداقل و حداکثر فشار لازم جهت ایجاد شکست به صورت کششی و برشی نیز محاسبه شده است. به این ترتیب می توان با آگاهی از میزان فشار شکست در عمق مورد نظر، شکاف هیدرولیکی مطلوب را ایجاد کرد.

واژه های کلیدی: شکاف هیدرولیکی - سنگ مخزن - ژئومکانیک - حداقل تنش افقی - فشار شکست.

1-مقدمه:

ژئومکانیک مخازن هیدروکربوری، نقش مهم و فزاینده ای در ارزیابی و توسعه میدان نفت و گاز ایفا می کند. ژئومکانیک به طور اساسی دانشی است که به بررسی و تحلیل رفتار زمین در برابر تنش ها می پردازد. این تنش ها ممکن است تنش های طبیعی درون زمین یا تنش های القاء شده توسط انسان در عملیات مختلف از جمله عملیات حفاری باشد. بنابراین همانگونه که از نام این علم پیداست، کلید حل مشکلات فیزیکی و مکانیکی حاصل از اندرکنش مصالح در اعماق مختلف زمین و تنش های موجود در حیطه این علم می گنجد.

1. آرش احمدی فر، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد امیدیه، گروه مهندسی نفت، امیدیه، ایران (Arash_ahmadifar@yahoo.com)



از سوئی شکاف هیدرولیکی یک درمان به روش تحریکی و عملیات تکنیکی است که جهت افزایش اتولید نفت و گاز چاه ها به کار می رود. این فرآیند شامل تزریق سیالات متفاوت با فشار به اندازه کافی زیاد به درون سازند می باشد که منجر به ایجاد یک شکستگی کششی و انتشار آن به درون سازند می باشد. مخازن نفتی و گازی که ظرفیت جریانی برای سیالات آنها پایین است معمولاً از طریق شکاف هیدرولیکی می توانند به سود اقتصادی بهتری دست پیدا کنند [5-1].

مخزن بنگستان یکی از مخازن کربناته در جنوب ایران است که در حدود 5٪ از تولید کلی میدان های نفتی جنوب را تامین می کند. به دلیل اینکه مقدار نفت درجای این مخزن قابل توجه است و همچنین تخلخل مناسبی دارد و از سوئی دارای نفوذپذیری کم و ظرفیت جریانی پایین است پس یک گزینه مناسب جهت عملیات شکاف هیدرولیکی می باشد. به همین منظور آگاهی از میزان پروفایل های شکست و تهیه یک مدل ژئومکانیکی معتبر برای مخزن مذکور لازم و ضروری به نظر میرسد.

2- تعیین مدل ژئومکانیکی :

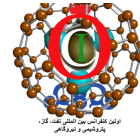
برای دستیابی به مدل ژئومکانیکی در مرحله اول بایستی میزان تنش های اصلی را محاسبه کرد. تنش های اصلی تنش های قائمی هستند که در صفحه آنها تنش های برشی صفر هستند و به صورت تنش های اصلی حداکثر (S1)، تنش اصلی متوسط (S2)، تنش اصلی حداقل (S3) تعیین می شوند. تنش عمودی (SV) یکی از تنش ها است پس دو تنش صلی دیگر عبارتند از تنش افقی حداقل (σ_h) و تنش افقی حداکثر (σ_H). تنش قائم یا همان تنش روباره با انتگرال گیری از دانسیته سنگ از سطح تا عمق مورد نظر به دست می آید:

$$\sigma_v = \int_0^z \rho(z)g dz \cong \bar{\rho}gz \quad (1)$$

که $\rho(z)$ دانسیته سنگ که تابعی از عمق می باشد، g شتاب گرانشی می باشد. دانسیته متوسط در حدود $2.56 \text{ (gr/cm}^3\text{)}$ در نظر گرفته شده است.

مقدار تنش افقی حداقل (σ_h) را می توان از روش های مختلفی مانند : روش شکست هیدرولیکی ، روش آزمایشات نشتی (Leak off test) ، روش آزمایش Macro-Fracture test ، روش آزمایش Mini fracture test تعیین کرد. هر چند که بیشتر برای تعیین آن از روش آزمایشات نشت استفاده می شود. Willis & Hubbert (1957) بحث کاملی را در مورد شکست هیدرولیکی که در آن شکستگی ایجاد شده عمود بر جهت تنش افقی حداقل گسترش می یابد ارائه دادند [6]. مهمترین دلیل آنها این بود که کار انجام شده برای باز کردن یک ترک به یک مقدار معلوم ، متناسب با تنش است که به طور عمود بر صفحه ترک در مقابل مقدار بازشدگی به وجود می آید. به دلیل عدم انجام این آزمایشات ، مقدار تنش های افقی از رابطه پروالاستیک ، به صورت زیر تخمین می گردد [7] :

$$\sigma_h = \frac{\nu}{1-\nu} \sigma_v - \frac{\nu}{1-\nu} \alpha Pp + Pp + \frac{E}{1-\nu^2} \epsilon_x + \frac{E\nu}{1-\nu^2} \epsilon_y \quad (2)$$



$$\sigma H = \frac{\nu}{1-\nu} \sigma \nu - \frac{\nu}{1-\nu} \alpha P p + P p + \frac{E \nu}{1-\nu^2} \epsilon x + \frac{E}{1-\nu^2} \epsilon y \quad (3)$$

که در معادله بالا σh فشار افقی حداقل بر حسب (Mpa)، σH فشار افقی حداکثر بر حسب (Mpa)، ν ضریب پواسون، $\sigma \nu$ تنش قائم بر حسب (Mpa)، α ضریب بایوت که برابر با یک در نظر گرفته می شود، ϵx و ϵy کرنش در جهت تنش افقی حداقل و حداکثر که به ترتیب برابر با 1.5 و 1 در نظر می گیریم. میزان گرادیان فشار منفذی برابر با (pa/m) 10849.35 در نظر گرفته شده است.

با محاسبه میزان تنش های افقی حداقل و حداکثر مشخص شد که رژیم تنش حاکم رژیم تنش نرمال می باشد ($\sigma H < \sigma \nu$) شکل 1 نمودار مربوط به تنش های افقی حداقل و حداکثر را نمایش می دهد. برای تعیین ضرایب الاستیک موجود در روابط (2) و (3) دو منبع وجود دارد یکی استفاده از نمودارگیری و دیگری استفاده از فرمول های تجربی. برای محاسبه نسبت پواسون و مدول یانگ در حالت دینامیکی داریم:

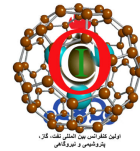
$$\nu = \frac{\frac{1}{2} \left(\frac{\Delta t_c}{\Delta t_s} \right)^2 - 1}{\left(\frac{\Delta t_c}{\Delta t_s} \right)^2 - 1} \quad (4)$$

$$E_{Dynamic} = \frac{\rho_b \left[3 - 4 \left(\frac{\Delta t_s}{\Delta t_c} \right)^2 \right]}{\Delta t_s^2 - \Delta t_c^2} \quad (5)$$

که در روابط بالا میزان زمان انتقال موج برشی و تراکمی بر حسب (Km/sec) می باشد و $E_{Dynamic}$ مدول یانگ بر حسب (Gpa) می باشد. از انجایی که نمی توان در مدل ژئومکانیکی از داده های دینامیکی استفاده کرد پس باید از رابطه تجربی زیر جهت تبدیل داده ها به حالت استاتیکی استفاده کرد (شکل 2 اختلاف بین مدول یانگ استاتیک و دینامیک را نشان می دهد):

$$E_{Static} = 0.4145 E_{Dynamic} - 1.0593 \quad (6)$$

حال در این مرحله با داشتن فشار منفذی و میزان تنش افقی حداقل می توان پنجره گل را طراحی و ترسیم نمود. این پنجره ما را در انتخاب وزن گل مناسب یاری می کند. پنجره گل مطمئن بگونه ای است که فشار گل کمتر از فشار سازند باشد در نتیجه سیال دچار فوران شده و از مخزن به سمت چاه جاری می شود. اگر فشار گل از تنش افقی حداقل تجاوز کند، شکستگی های کششی القایی ناشی از حفاری ایجاد شده و هرزروی گل بصورت جزئی روی می دهد. محدوده پنجره گل پایدار میان کمترین وزن گل حفاری و تنش افقی حداقل است. از نقطه نظر ژئومکانیکی، پنجره گل پایدار این اجازه را می دهد که چاه از شکستگی های کششی و یا گیر لوله ها که در اثر وزن گل ایجاد می شوند همچنین شکستگی های برشی که به دلیل وزن کم گل صورت می گیرد ایمن باشد [8]. شکل 3 پنجره گل مطمئن بدست آمده را نشان می دهد.



3- تعیین محدوده فشار شکست:

برای این منظور باید ابتدا تنش های القایی مماسی، محوری و شعاعی که بعد از عملیات حفاری به وجود می آیند را محاسبه کرد. پس بر پایه روابط زیر داریم:

$$\sigma_{\theta\theta}Max = 3\sigma_H - \sigma_h - P_w - P_p \quad (7)$$

$$\sigma_{\theta\theta}Min = 3\sigma_h - \sigma_H - P_w - P_p \quad (8)$$

$$\sigma_{zz}Max = \sigma_v + 2\nu(\sigma_H - \sigma_h) - P_p \quad (9)$$

$$\sigma_{zz}Min = \sigma_v - 2\nu(\sigma_H - \sigma_h) - P_p \quad (10)$$

$$\sigma_r = P_w - P_p \quad (11)$$

در روابط بالا فشار چاه را به راحتی با داشتن وزن گل و عمق می توان محاسبه کرد. شکل 4 نمودار مربوط به تنش های القایی را نشان می دهد. پس از محاسبه تنش های بالا مدل شکستگی برشی، مدل (Shear Failure Shallow Knockout SSKO) و مدل (Shear failure Narrow Breakdown SNBO) شناخته شد. که به واسطه آن حداقل فشار جهت شکستگی برشی در دامنه ای بین 15 تا 42 مگا پاسکال و حداکثر فشار جهت شکستگی برشی در محدوده ای بین 66 تا 108 مگا پاسکال قرار می گیرد. همچنین حداقل فشار لازم جهت ایجاد شکستگی قائم در محدوده ای بین 65 تا 85 مگا پاسکال قرار میگیرد. شکل 5 نمودار مربوط به فشارهای شکست را نشان میدهد.

4- نتیجه گیری:

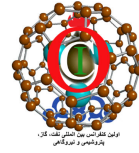
پس از انجام محاسبات و بررسی های لازم نتایج زیر برای سنگ مخزن بنگستان حاصل شد:

1- رژیم تنش برای سنگ مخزن مذکور، رژیم تنش نرمال ($\sigma_h < \sigma_H < \sigma_v$) شناخته شده است.

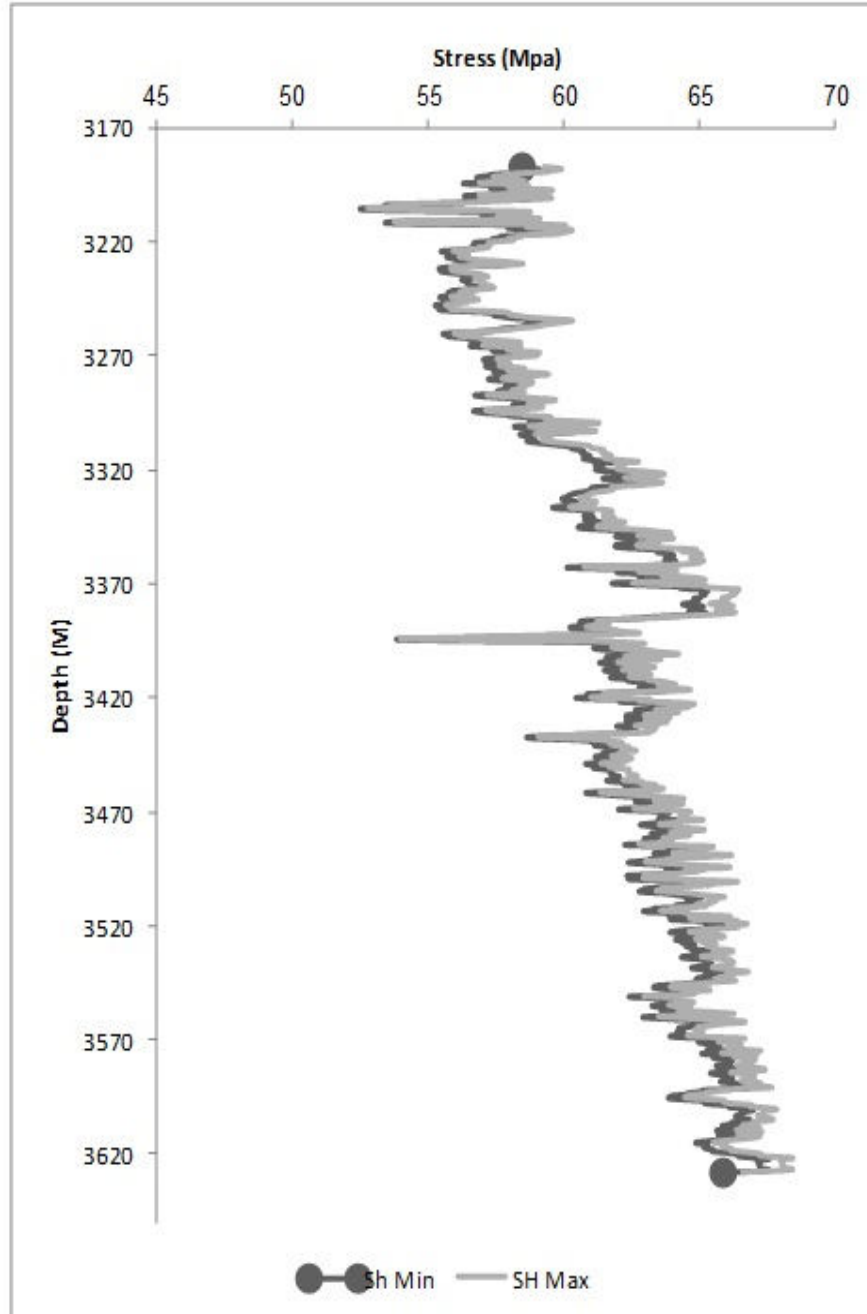
2- با تعیین پنجره گل ایمن مشخص شد که فشار مناسب که باید توسط وزن گل ایجاد شود در محدوده ای بین 39 تا 52 مگا پاسکال قرار بگیرد. به این ترتیب فشار ناشی از وزن گل به اندازه ای است که از فشار سازندی بیشتر، در نتیجه از فوران چاه و همچنین از حداقل فشار افقی کمتر، در نتیجه شکستگی های کششی القایی ناشی از حفاری که باعث هرزروی گل می شود جلوگیری می کند.

3- با تعیین میزان حد بالا و پایین فشار شکست در سازند مشخص شد که پایین ترین حد برای ایجاد شکست برشی در سنگ برابر با 15 مگا پاسکال می باشد. این در حالی است که بالاترین حد به منظور ایجاد این نوع شکست فشار 118 مگا پاسکال محاسبه و ثبت شده است. به منظور ایجاد شکستگی های قائم نیز حداقل فشار لازم 65 مگا پاسکال محاسبه شد.

اولین کنفرانس بین المللی نفت، گاز، پتروشیمی و نیروگاهی
مرکز همایش های بین المللی هتل المپیک تهران

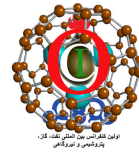


نمودار
تنش های
حداقل و



شکل 1:
مربوط به
اصلي
حداكثر

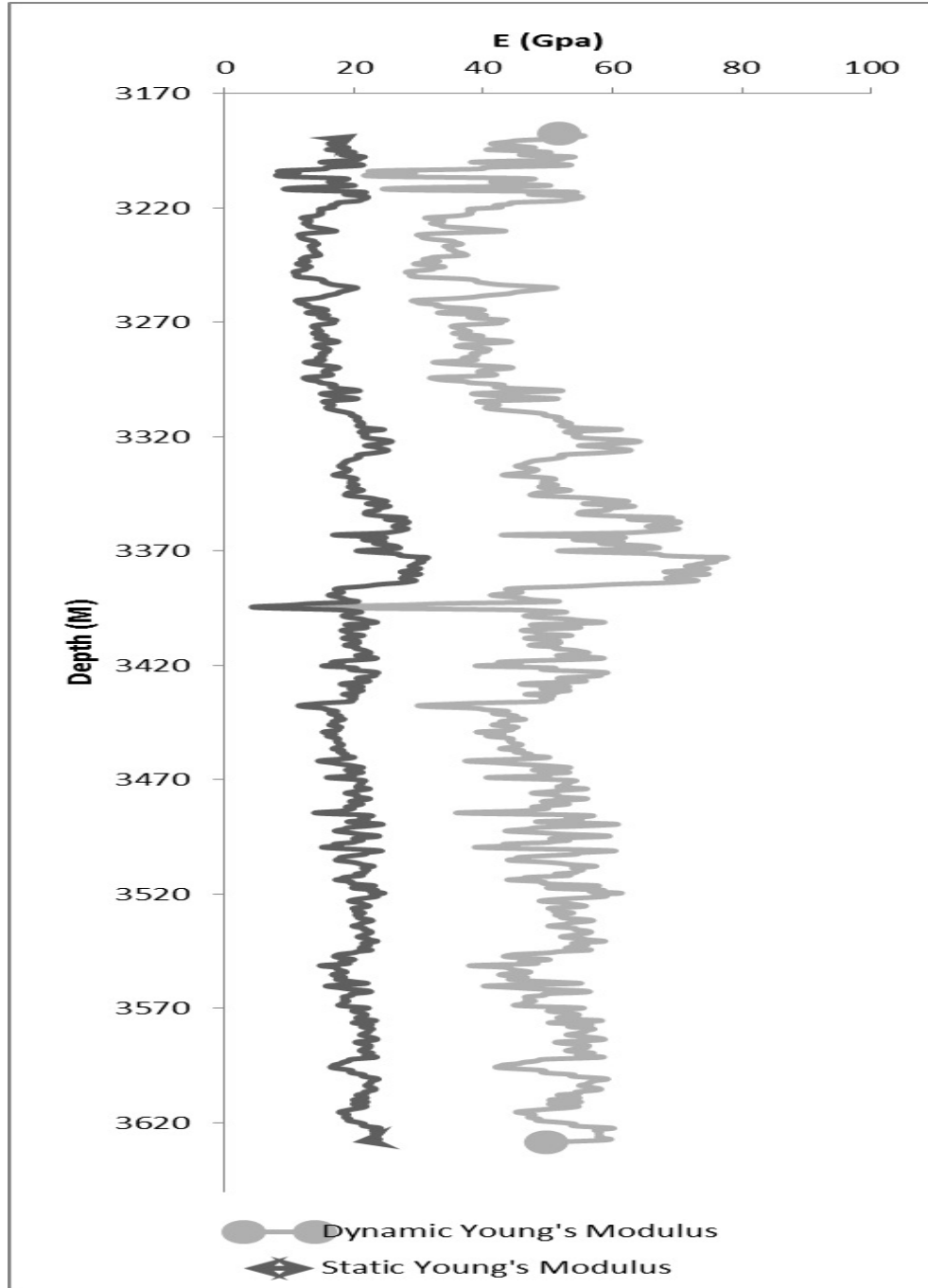
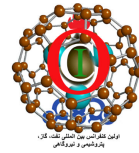
اولین کنفرانس بین المللی نفت، گاز، پتروشیمی و نیروگاهی
مرکز همایش های بین المللی هتل المپیک تهران

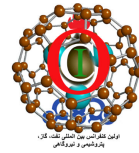


شکل 2: نمودار مربوط به مدول یانگ در حالت دینامیک و استاتیک

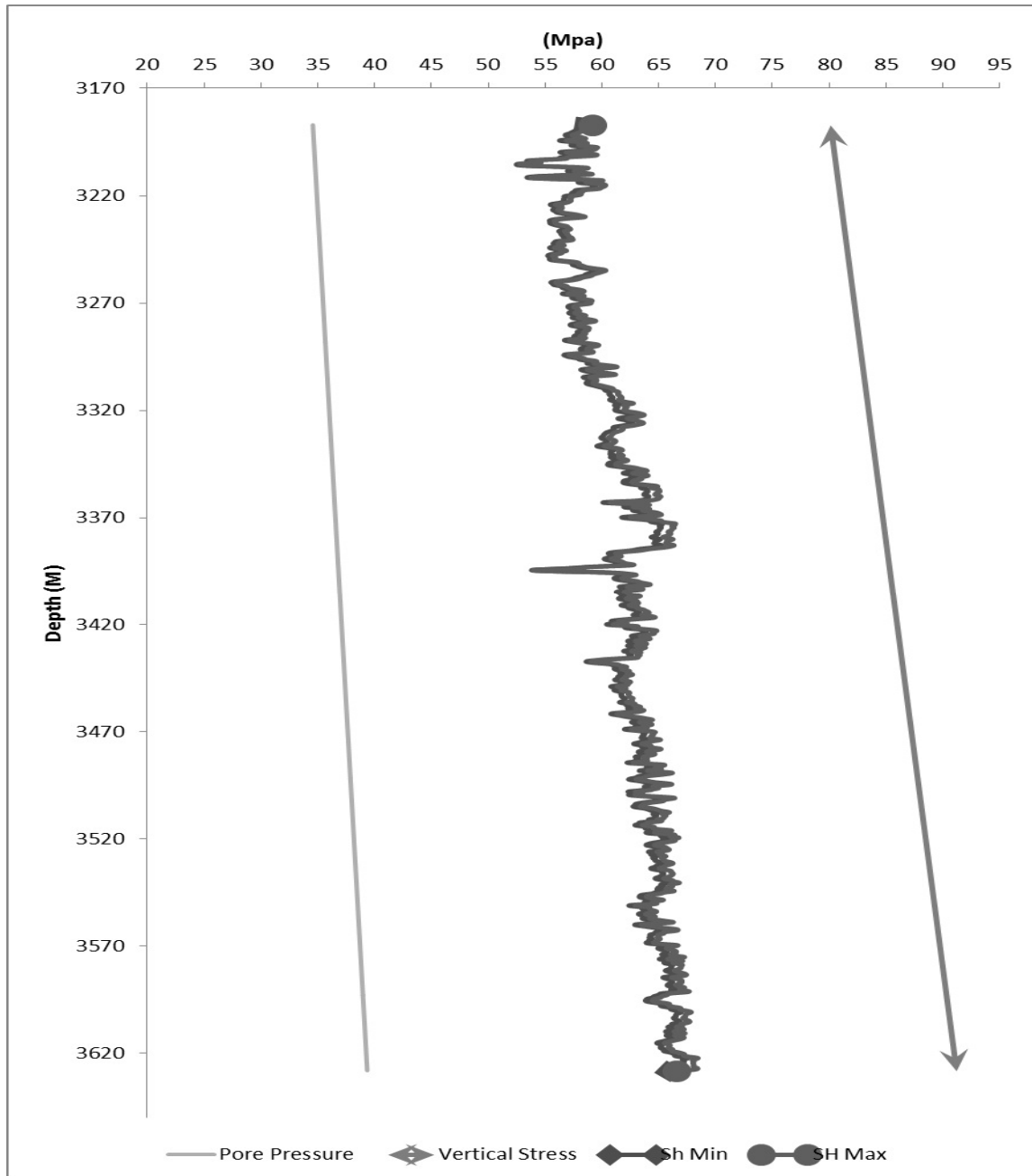
اولین کنفرانس بین المللی نفت، گاز، پتروشیمی و نیروگاهی

مرکز همایش های بین المللی هتل المپیک تهران

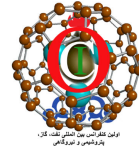




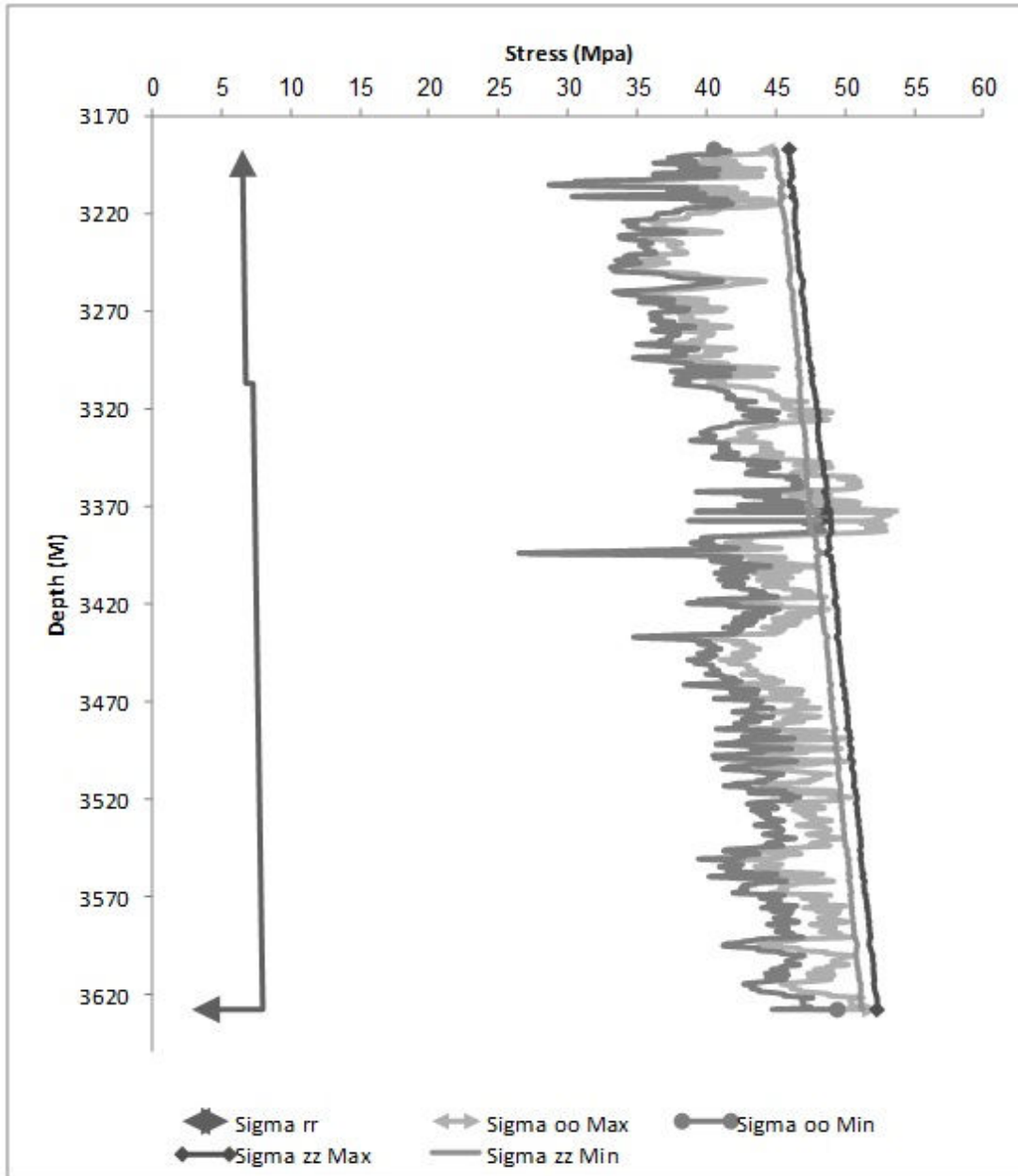
شکل 3: نمودار مربوط به پنجره گل ایمن و پنجره گل پایدار



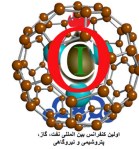
اولین کنفرانس بین المللی نفت، گاز، پتروشیمی و نیروگاهی
مرکز همایش های بین المللی هتل المپیک تهران



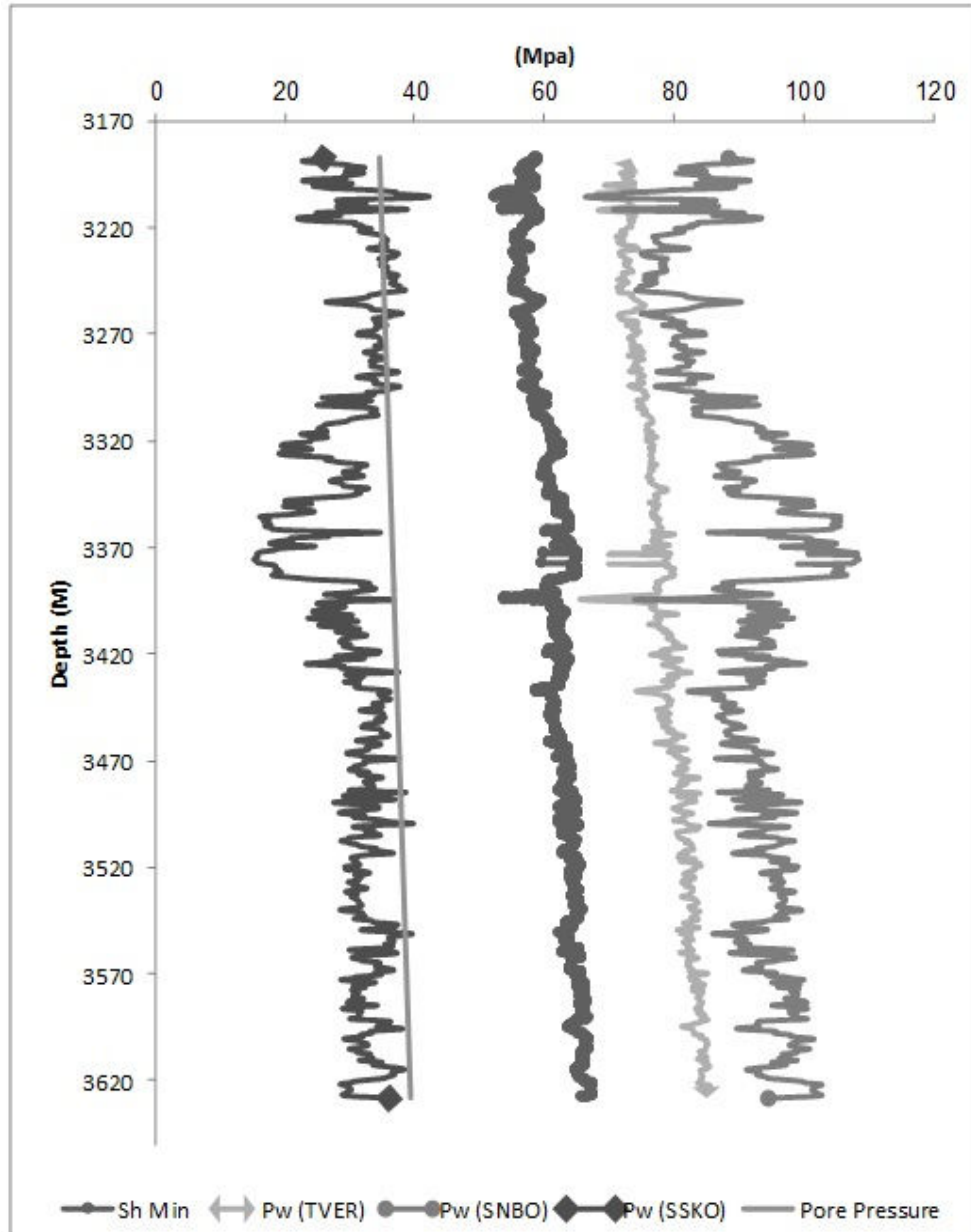
شکل 4: نمودار مربوط به تنش های القایی محوری شعاعی و برشی پس از حفاری



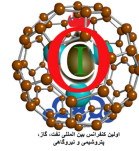
اولین کنفرانس بین المللی نفت، گاز، پتروشیمی و نیروگاهی
مرکز همایش های بین المللی هتل المپیک تهران



شکل 5: نمودار مربوط به فشار حداقل و حداکثر برای ایجاد شکستگی کششی و برشی



اولین کنفرانس بین المللی نفت، گاز، پتروشیمی و نیروگاهی
مرکز همایش های بین المللی هتل المپیک تهران



مراجع :

- [1] Economides, M.J. and Nolte K.G., *reservoir stimulation*, 3rd Ed., Schlumberger, Wiley, pp- 6-1 (2002)
- [2] Hibbeler, J- and Rae, P. "Simplifying hydraulic fracturing-theory and practice", *SPE 97311, SPE Annual Technical Conference and Exhibition*, Dallas, Texas, USA (Oct.9-12, 2005)
- [3] Legarth, B., Huenges, E. and Zimmermann, G. "Hydraulic fracturing in a sedimentary geothermal reservoir: Results and implications", *International Journal of Rock Mechanics Sciences*, 42, pp- 1028-1041 (2005)
- [4] Pak, A. and Chan, D.H. "Numerical modeling of hydraulic fracturing in oil sands", *Scientia Iranica*, 15(5), pp- 536-540 (Oct. 2008)
- [5] Queipo, N.V., Verde, A.J., Canelon, J. and Pintos, S. "Efficient global optimization for hydraulic fracturing treatment design", *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 35, pp. 151-166 (2002)
- [6] Hubbert, M.K., Willis, D.G. "Mechanics of hydraulic fracturing". *Pet. Trans. AIME*, vol.2, pp- 53-63 (1957)
- [7] Zoback, M.D., Barton, C.D., Wiprut, D.J.. Determination of stress orientation and magnitude in deep wells, *Int.J.Rock Mech. Mini. Sci* vol.40, pp- 1049-1076 (2003)
- [8] Al-Ajmi A.M, Zimmerman R.W.. Stability analysis of vertical boreholes using the mogi-Coulomb failure criterion. *Int.J.Rock Mech. Mini. Sci* vol.43. pp- 1200-1211 (2006)