نشریه علمی-پژوهشی "مهندسی معدن "
Iranian Journal of Mining Engineering
(IRJME)

دوره دهم، شماره ۲۷، سال ۱۳۹۴، صفحه ۳۵ تا ۴۴
Vol. 10, No. 27, 2015, pp.35-44

تحلیل ژئومکانیکی وپایداری چاه در میدان نفتی دارخوین با هدف عملیات آبشکافت

مرتضی نوری طالقانی[۱]، بهرام حبیب نیا[*۲] ، محمدرضا معتضدی[۳] ، مینا کریمی خالدی[۴]

۱-کارشناسی ارشد مهندسی نفت، دانشگاه تهران، morteza.noori@ut.ac.ir
۲- دانشیار دانشگاه صنعت نفت، bhabibnia@gmail.com
۳- کارشناسی ارشد حفاری و بهره‌برداری، دانشگاه آزاد اسلامی امیدیه، farzin_motazedi@yahoo.com
۴-کارشناسی ارشد مهندسی نفت ، دانشگاه صنعت نفت، mina_karimi_khaledi@yahoo.com
(دریافت ۲۲ شهریور ۱۳۹۲، پذیرش ۱۴اردیبهشت ۱۳۹۴)

چکیده

تحلیل پایداری چاه روشی برای بهبود اقتصادی عملیات حفاری است، به‌منظور جلوگیری از ریزش دیواره چاه ناشی از گسیختگی برشی و شکاف هیدرولیکی ناشی از شکست کششی، طراحی فشار گل باید با دقت انجام شود. به‌دلیل کاهش فشار مخزن و کم شدن شاخص بهره‌دهی، عملیات شکست هیدرولیکی(Hydraulic Fracturing) برای بالا بردن تراوایی و تولید از چاه انجام می‌شود. طی این عملیات سیال به‌خصوص با فشار مورد نیاز به‌منظور ایجاد شکاف در دیواره بدرون چاه تزریق می‌شود. در این مطالعه فشار شکست برشی و کششی با استفاده از پارامترهای مکانیک سنگی و اطلاعات به‌دست آمده از نمودارهای چاه‌پیمایی و همچنین تنش برجای عمودی و افقی حداقل و حداکثر تعیین شده است. پنجره ایمن گل در محدوده ۰/۸۴ تا ۲/۴ گرم بر سانتی‌متر مکعب تعیین شد. حداقل فشار مجاز گل در جلوگیری از شکست برشی بین ۳۳/۵۱ تا ۵۲/۸۹ و حداکثر آن بین ۴۰/۴۷ تا ۵۵/۹۷ مگاپاسکال تعیین شد. همچنین حداقل فشار گل لازم به‌منظور ایجاد گسیختگی کششی و در نهایت شکست هیدرولیکی بین ۱۰۸/۸۷ تا ۱۵۱/۳۸ مگاپاسکال برآورد شد. همچنین تحلیل پایداری چاه نفت در سازند فهلیان در میدان نفتی دارخوین، با استفاده از نرم‌افزار عددی $FLAC^{3D}$ و اطلاعات به‌دست آمده از نمودارهای چاه‌پیمایی برآورد شده‌است، فشار و وزن گل حفاری در آغاز حرکت پلاستیک دیواره چاه و همچین آغاز گسیختگی برشی در دیواره چاه برای ۵ متر از سازند سنگ آهک مخزن به‌دست آمد. همچنین تحلیل پایداری چاه در امتداد قائم، تنش افقی حداقل و تنش افقی حداکثر انجام شده‌است. آغاز حرکت پلاستیک و گسیختگی برشی در دیواره چاه در فشار گل ۱۴۱/۷۱ مگاپاسکال (۱۹۸/۴۳ پوند بر فوت مکعب) و ۲۱/۸۱ مگاپاسکال (۳۰/۵۴ پوند بر فوت مکعب) اتفاق می‌افتد. نتایج نشان می‌دهد حداکثر جابه‌جایی افقی دیواره چاه در فشار گل ۱۴۲/۶ مگاپاسکال در شرایط حفاری عمودی در امتداد تنش افقی حداقل و حداکثر به‌ترتیب $۸/۹۹*۱۰^{-۵}$، $۱۰/۶*۱۰^{-۵}$ متر به‌دست آمد.

کلمات کلیدی

تحلیل پایداری،گسیختگی برشی، شکاف هیدرولیکی، شکست کششی، حرکت پلاستیک، فشار گل

*نویسنده مسئول مکاتبات

Archive of SID
www.SID.ir

۱- مقدمه

شکاف هیدرولیکی برای اولین بار در سال ۱۹۴۷ در ایالت کانزاس و به‌منظور مقایسه با بازدهی روش اسیدکاری انجام شد. همچنین شکست هیدرولیکی از رایج‌ترین روش‌های اندازه‌گیری تنش برجا در دهانه چاه است[1,2].

در صورتی‌که تراوایی سنگ مخزن مناسب نباشد با انجام عملیات شکاف هیدرولیکی می‌توان باعث ایجاد شکست کششی در دیواره چاه شد و سیال را از مخزن به سمت دهانه چاه هدایت کرد. مخزن فهلیان در میدان نفتی دارخوین واقع در جنوب غربی ایران دارای بیش از ۵۰۰ متر نهشته‌های سنگ آهک است که با توجه به دارا بودن بیش از ۱/۲۷ میلیارد بشکه نفت قابل استحصال، تخلخل مناسب بین ۶ تا ۱۶٪ و تراوایی نسبتا پایین، گزینه مناسبی برای انجام عملیات شکاف هیدرولیکی است[3].

با تعیین پارامترهای ژئومکانیکی مخزن توسط نمودارهای چاه-پیمایی می‌توان مقادیر تنش‌های برجای عمودی و افقی حداقل و حداکثر و همچنین بقیه پارامترهای مکانیک سنگی را در اعماق مختلف سازند محاسبه و بررسی کرد و با استفاده از آن‌ها حد بالای فشار مجاز گل در گسیختگی کششی و حد پایین آن‌را در گسیختگی برشی به‌دست آورد. همچنین می‌توان با توجه به فشار مجاز گل در شکست کششی، به فشار لازم برای ایجاد شکاف هیدرولیکی، که در جهت تنش افقی حداکثر رخ می‌دهد، دست یافت[۴-۶].

۲- تعیین پارامترهای مکانیک سنگ با استفاده از داده-های نمودارگیری

پارامترهای ژئومکانیکی مخزن حاصل از بررسی‌های دینامیکی با استفاده از لاگ صوتی (که شامل زمان گذر موج فشاری و برشی) و لاگ چگالی به‌دست می‌آیند. با اندازه‌گیری خواص یاد شده پارامترهای ژئومیکانیکی سازند به شرح زیر محاسبه می‌شوند:

(۱) مدول یانگ دینامیکی:

$$E_d = \frac{9K\rho V_P^2}{3K + \rho V_P^2} = \left[\frac{\rho}{\Delta t_P^2}\right]\left[\frac{3\Delta t_P^2 - 4\Delta t_S^2}{\Delta t_P^2 - \Delta t_S^2}\right] \times 1.34 \times 10^{10}$$

(۲) مدول بالک دینامیکی :

$$K_d = \rho\left[V_P^2 - \frac{4}{3}V_S^2\right] = \rho\left[\frac{3\Delta t_P^2 - 4\Delta t_S^2}{3\Delta t_P^2 - \Delta t_S^2}\right] \times 1.34 \times 10^{10} \ \text{(psi)}$$

(۳) مدول برشی دینامیکی :

$$G_d = \rho V_P^2 = \left[\frac{\rho}{\Delta t_P^2}\right] \times 1.34 \times 10^{10} \ \text{(psi)}$$

(۴) ضریب پوآسون:

$$V_d = \frac{\frac{1}{2}\left[\frac{V_S^2}{V_P^2}\right] - 2}{\left[\frac{V_S^2}{V_P^2}\right] - 1} = \frac{1}{2}\left[\frac{V_P^2 - 2V_S^2}{V_P^2 - V_S^2}\right]$$

در این روابط زمان گذر موج فشاری و برشی برحسب میکرو ثانیه بر فوت، چگالی بر حسب گرم بر سانتی‌متر مکعب است. پارامترهای ورودی به نرم‌افزار پارامترهای استاتیکی هستند و به همین دلیل از رابطه تجربی زیر برای تبدیل مدول یانگ دینامیکی به استاتیکی و بدین ترتیب بقیه پارامترها استفاده می‌کنیم.

(۵)

$$E_{static} = 0.4145E_{Dynamic} - 1.0593$$

مقادیر تنش افقی حداقل برجا را می‌توان با استفاده از روش-های مختلفی از جمله آزمایش نشت[1] تعیین کردد[7].

تنش‌های برجای عمودی و افقی حداقل و حداکثر با استفاده از ضریب پوآسون و کرنش‌های افقی و فشار سیال به‌صورت زیر محاسبه می‌شوند:

(۶) تنش عمودی برجا:

Archive of SID
www.SID.ir

(۷) تنش افقی حداقل برجا :

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

(۸) تنش افقی حداکثر برجا:

$$\sigma_h = \frac{v}{1-v}\sigma_v - \frac{v}{1-v}\alpha P_p + P_p + \frac{E}{1-V^2}\varepsilon x + \frac{Ev}{1-V^2}\varepsilon y$$

در روابط بالا $\boldsymbol{\rho_i}$ چگالی، $\boldsymbol{h_i}$ ضخامت لایه ام و $\boldsymbol{\alpha}$، ضریب بایوت[۲] است. پارامترهای $\boldsymbol{K_b}$ و $\boldsymbol{K_g}$ به‌ترتیب مدول‌های سنگ متخلخل و سنگ بکر هستند. ضریب بایوت برای سنگ‌های بکر صفر و برای سنگ‌هایی با تخلخل بالا یک در نظر گرفته می-شود[8].

اندرسون در سال ۱۹۵۱ توصیفی را برای رژیم تنش‌های برجا بر اساس مقادیر نسبی بین تنش‌های افقی و عمودی منطقه ارائه کرد. او پیشنهاد داد که رژیم تنش‌ها در گسل نرمال یا کششی به‌صورت $(\boldsymbol{\sigma_v \geq \sigma_H \geq \sigma_h})$ و در گسل معکوس به‌صورت $(\boldsymbol{\sigma_H \geq \sigma_h \geq \sigma_v})$ و در امتداد لغز به‌صورت $(\boldsymbol{\sigma_H \geq \sigma_v \geq \sigma_h})$ است[9,10].

میدان نفتی دارخوین در جنوب غربی ایران در مختصات جغرافیایی 48 درجه شرق درجه30 شمال، در ۳۰ کیلومتری شمال خرمشهر واقع است و سازند فهلیان یکی از سنگ‌های مخزن نفتی این میدان که دربر دارنده بیش از ۵۰۰ متر نهشته‌های کربناته در این میدان است. بر اساس داده‌های منطقه و لاگ قطر سنج، تحلیل ۳ بعدی پایداری دیواره چاه در ۵ متر از سازند سنگ آهک انجام شده است. با محاسبه مقادیر تنش عمودی برجا و تنش‌های افقی حداقل و حداکثر برجا و رسم آن‌ها برحسب عمق می‌توان به رژیم تنش حاکم پی برد. همان‌طور که در شکل ملاحظه می‌شود از عمق ۴۲۵۰ تا ۴۶۵۰ متری سازند فهلیان رژیم تنش حاکم به‌صورت گسل نرمال است.

به‌منظور تعیین محدوده فشار در شکست کششی و برشی باید تنش‌های القایی مماسی، محوری و شعاعی، که بعد از حفر چاه در اثر تمرکز تنش در توده سنگ به‌وجود می‌آیند، را طبق روابط زیر محاسبه کرد:

(۹) تنش القایی مماسی حداکثر

$$\boldsymbol{\sigma_{\theta\theta}Max = 3\sigma_H - \sigma_h - P_W - P_P}$$

(۱۰)تنش القایی مماسی حداقل

$$\boldsymbol{\sigma_{\theta\theta}Min = 3\sigma_h - \sigma_H - P_W - P_P}$$

(۱۱) تنش القایی محوری حداکثر

$$\boldsymbol{\sigma_{zz}Max = \sigma_v + 2v(\sigma_H + \sigma_h) - P_p}$$

(۱۲)تنش القایی محوری حداقل

$$\boldsymbol{\sigma_{zz}Min = \sigma_v + 2v(\sigma_H + \sigma_h) - P_p}$$

(۱۳)تنش القایی شعاعی

$$\boldsymbol{\sigma_{rr} = p_w - P_p}$$

در روابط بالا، فشار گل اعمالی به چاه تنها با داشتن وزن گل و عمق در اعماق مختلف قابل محاسبه است. بر اساس تنش‌های القایی محوری و مماسی حداکثر و حداقل و همچنین تنش القایی شعاعی، مدل شکستگی برشی در دیواره چاه، مدل SSKO[۳] و SWBO[۴] تشخیص داده شد. بنابراین در عمق مورد بررسی از سنگ مخزن، بر اساس مدل مشخص شده، حداقل فشار مجاز گل در جلوگیری از شکست برشی و در نهایت جلوگیری از ریزش دیواره چاه بین محدوده ۳۳/۵۱ تا ۵۲/۸۹ مگاپاسکال و حداکثر فشار مجاز گل در جلوگیری از ریزش دیواره چاه بین محدوده ۴۰/۴۷ تا ۵۵/۹۷ مگاپاسکال تعیین شد.

همچنین حداقل فشار گل لازم به‌منظور ایجاد گسیختگی کششی و در نهایت شکست هیدرولیکی، مابین ۱۰۸/۸۷ تا ۱۵۱/۳۸ مگاپاسکال تعیین شد (شکل شماره۲).

در ادامه تحلیل ژئومیکانیکی می‌توان بر اساس مقادیر تنش افق حداقل و فشار منفذی به‌دست آمده از روابط بالا در اعماق مختلف حفاری، پنجره ایمن گل[۵] را نیز به‌دست آورد. این محدوده از فشار گل به ما این امکان را می‌دهد که از ریزش دیواره چاه و همچنین شکست هیدرولیکی در کل عمق حفاری جلوگیری کرد به‌علاوه با این توجه به این محدوده از فشار گل از ورود سیال سازند به دیواره چاه و همچنین از هرزروی گل حفاری به سازند جلوگیری می‌کنیم و در نهایت می‌توان از

Archive of SID
www.SID.ir

مشکلات ناشی از ناپایداری دیواره چاه از قبیل گیر لوله‌ها [۶] عملیات مانده‌یابی[۷]، یکنواخت‌سازی دیواره چاه[۸]، سیمانکاری ضعیف[۹] ، کنارگذر[۱۰]، ممانعت کرد[11, 12].

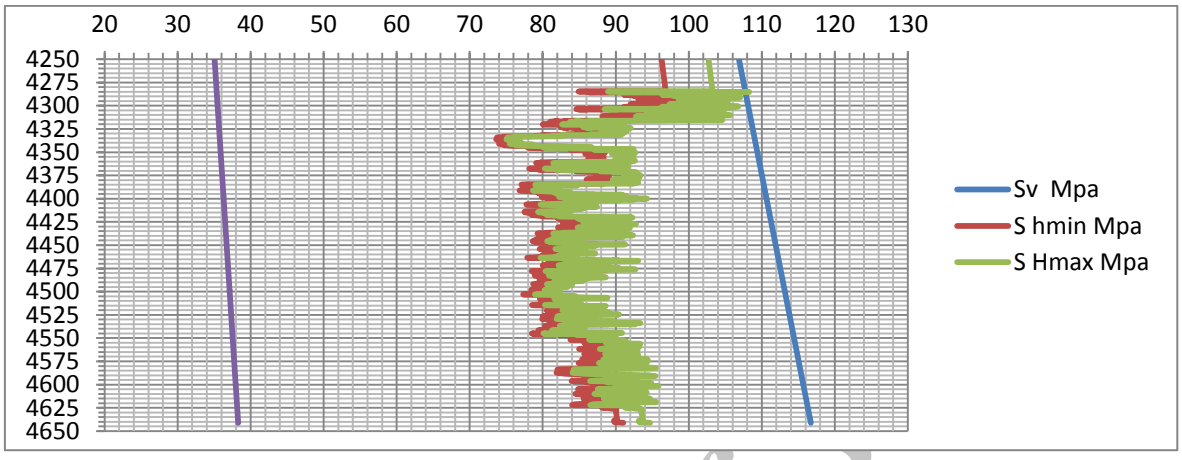
اولین مرحله برای مدل کردن تغییر شکل دیواره چاه به کمک روش‌های عددی تقسیم کردن محیط به اجزای کوچک است. برای این کار محیط مورد نظر به کمک المانه و گره‌ها به قسمتهای کوچکی تقسیم می‌شود که در اصطلاح به آن مش-بندی می‌گویند. ابعاد مدل سه بعدی به‌صورت، ۱/۵ متر در جهت X ، ۱/۵ متر در جهت Y و ۵ متر در جهت Z (در امتداد عمق چاه) ساخته شد. شعاع چاه با توجه به ریزش ۷/۷۶ سانتیمتر در نظر گرفته شد. برای به‌دست آوردن وزن گل بهینه از فشار گل بالاتر از فشار منفذی سازند تحلیل را شروع کرده و برای رسیدن به آغاز حرکت پلاستیک در دیواره چاه فشار گل-های مختلفی را آزمایش می‌کنیم. پس از تحلیل‌های صورت گرفته در فشار گل‌های مختلف، آغاز حرکت پلاستیک و ایجاد شکاف در دیواره چاه در جهت تنش افقی حداکثر و در فشار گل 141/712Mpa و در وزن گل $۲/۱۰\ gr/cm^3$ اتفاق می-افتد (شکل شماره۴).

در این فشار حداکثر جابجایی در امتداد محور Y، $۹/۸۳ \times ۱۰^{-۵}$ متر، و حداکثر جابجایی در امتداد محور X، $۱/۰٤ \times ۱۰^{-٤}$ متر است. جابجایی در جهت محور Z و در امتداد تنش القایی عمودی بسیار ناچیز است. همچنین مقادیر تنش القایی افقی حداقل، حداکثر و تنش القایی عمودی بر اثر تمرکز تنش ایجاد شده در این فشار در شکل‌های ۵ و ۶ آورده شده است.

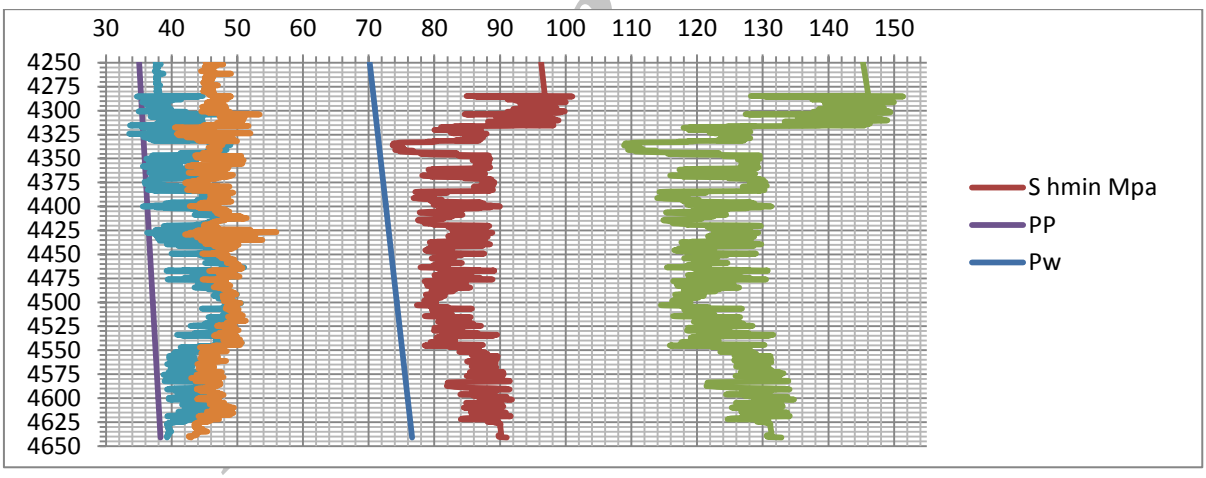
در ادامه، تحلیل مدل در امتدادهای مختلف در سازند سنگ آهک مخزن با فشار گل پایین Mpa ۲۱/۸۱ انجام شد. در شکل ۷ حداکثر جابجایی در جهت افقی نشان داده شده است. در این فشار حداکثر جابجایی در امتداد محور Y، $۱/۲۳ \times ۱۰^{-٤}$ متر، و حداکثر جابجایی در امتداد محور X، $۱/۱٦ \times ۱۰^{-٤}$ متر است. در این فشار آستانه ریزش دیواره چاه را داریم و فروریزی دیواره در جهت تنش افقی حداقل اتفاق می‌افتد. نحوه توزیع تنش‌های القایی افقی حداقل و حداکثر و همچنین تنش القایی عمودی در این فشار، بترتیب در شکل‌های ۸ و ۹ نشان داده شده است.

در جدول ۱ نتایج کلی تحلیل در حد بالای فشار مجاز گل و حد پایین آن آورده شده است.

Archive of SID
www.SID.ir

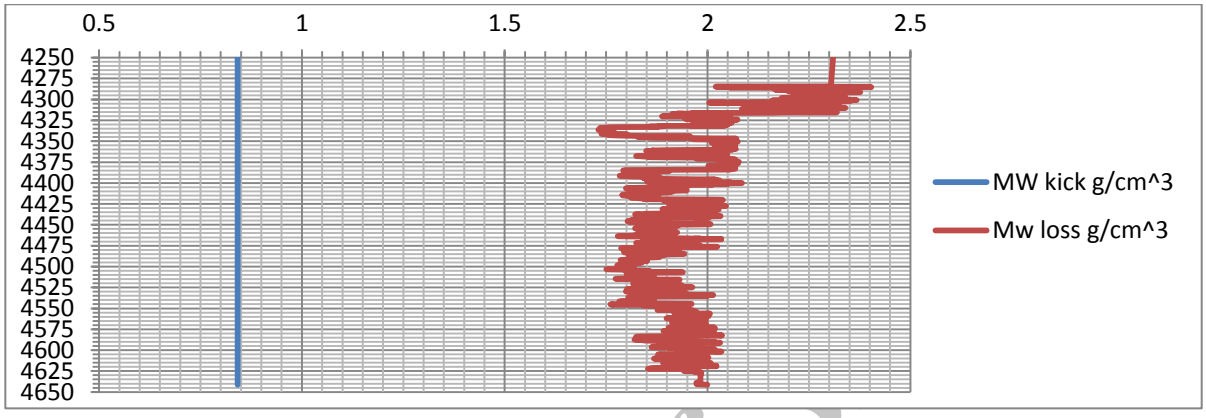


شکل ۱: نمودار مربوط به فشار منفذی، تنش عمودی و افقی حداقل و حداکثر برجا بر حسب عمق

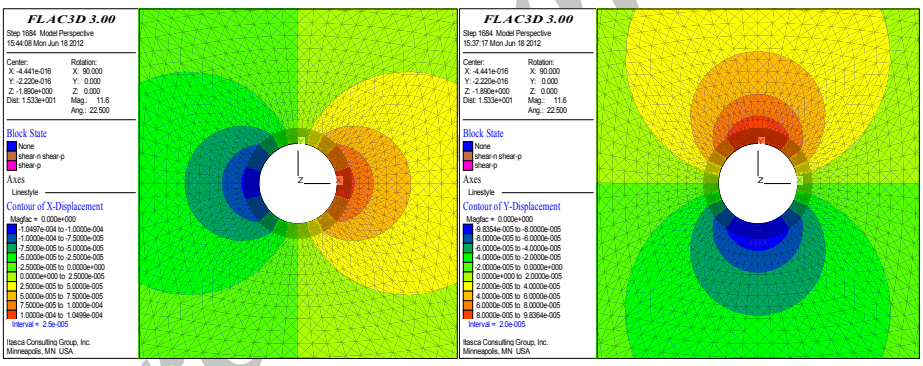


شکل ۲: نمودار مربوط به فشار حداقل و حداکثر بمنظور ایجاد شکست برشی و کششی بر حسب عمق

www.SID.ir



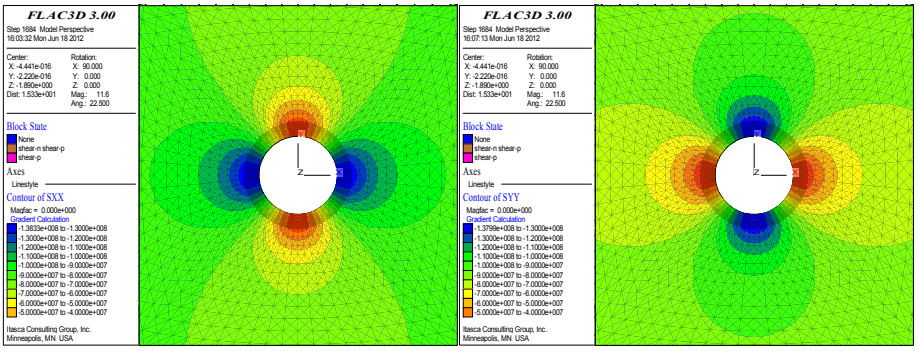
شکل ۳: پنجره ایمن گل، محدوده وزن گل برای جلوگیری از ورود سیال سازند به چاه و جلوگیری از هرزروی گل حفاری



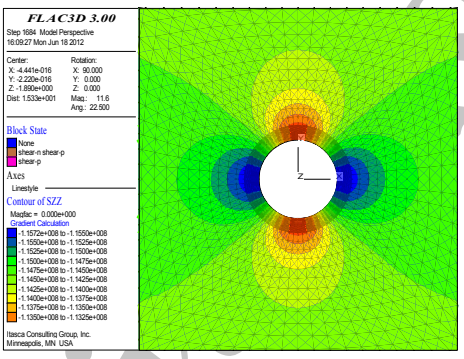
شکل ۴: جابجایی در جهت تنش افقی در امتداد x (شکل چپ) وy (شکل راست) و آغاز حرکت پلاستیک دیواره چاه در فشار گل

Archive of SID

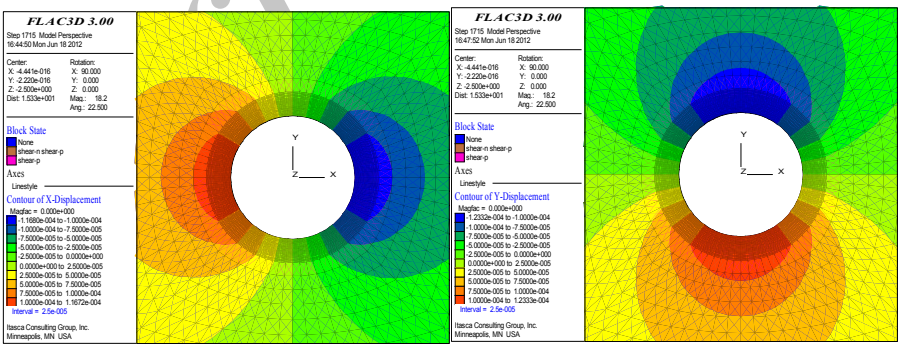
www.SID.ir



شکل ۵: توزیع تنش در جهت تنش القایی افقی حداقل (شکل چپ) و حداکثر (شکل راست) و آغاز گسیختگی کششی دیواره چاه در فشار گل ۱٤۱/۷۱۲ Mpa

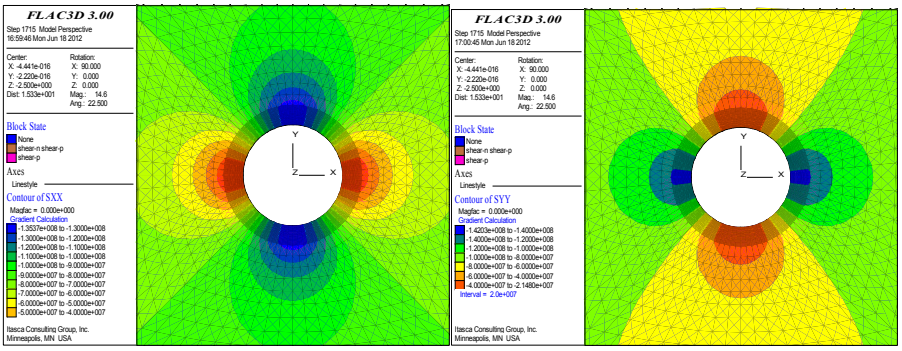


شکل ۶: توزیع تنش در جهت تنش القایی عمودی و آغاز گسیختگی کششی دیواره چاه در فشار گل ۱٤۱/۷۱۲ Mpa

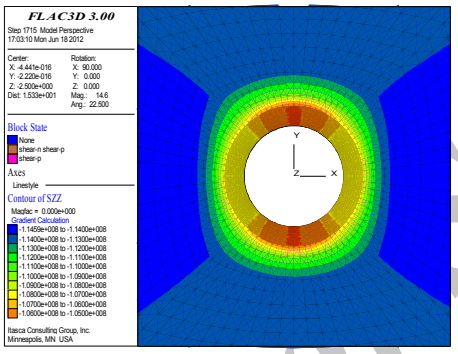


شکل ۷: جابجایی در جهت تنش افقی در امتداد x (شکل چپ) وy (شکل راست) و آغاز حرکت پلاستیک دیواره چاه در فشار گل Mpa ۲۱/۸۱

www.SID.ir



شکل ۸: توزیع تنش در جهت تنش افقی حداقل و حداکثر و آغاز گسیختگی برشی دیواره چاه در فشار گل Mpa ۲۱/۸۱



شکل ۹- توزیع تنش در جهت تنش القایی عمودی و آغاز گسیختگی برشی دیواره چاه در فشار گل Mpa ۲۱/۸۱

جدول ۱- مقادیر حداکثر جابجایی در جهت افقی و حداکثر تنشهای القایی

فشار گل (Mpa)	حداکثر جابجایی در جهت تنش افقی ماکزیمم (m)	حداکثر جابجایی در جهت تنش افقی مینیمم (m)	حداکثر تنش القایی افقی ماکزیمم (Mpa)	حداکثر تنش القایی افقی ماکزیمم (Mpa)	حداکثر تنش القایی عمودی (Mpa)
141/712	$۹/۸۳ \times ۱۰^{-۵}$	$۱۰/٤ \times ۱۰^{-۵}$	$۱/۳۸ \times ۱۰^{۲}$	$۱/۳۰ \times ۱۰^{۲}$	$۱/۱۵۷ \times ۱۰^{۲}$
21/81	$۱/۲۳ \times ۱۰^{-٤}$	$۱/۱٦ \times ۱۰^{-٤}$	$۱/٤۲ \times ۱۰^{۲}$	$۱/۳۵ \times ۱۰^{۲}$	$۱/۱٤٦ \times ۱۰^{۲}$

3- نتیجه‌گیری

Archive of SID
www.SID.ir

پس از تحلیل و انجام محاسبات نتایج زیر برای سنگ مخزن فهلیان به‌دست آمد:

- برای این سنگ مخزن رژیم تنش حاکم به‌صورت گسل نرمال $(\sigma_v \geq \sigma_H \geq \sigma_h)$ است.
- پنجره ایمن گل در محدوده بین ۰/۸۴ تا ۲/۴ گرم بر سانتی‌متر مکعب تعیین شد. بر این اساس فشار ناشی از گل حفاری باید در محدوده بالاتر از فشار منفذی سازند مخزن و پایینتر از تنش افقی حداقل قرار گیرد تا بدین ترتیب از ورود سیال سازند به داخل چاه و همچنین هرزروی گل به سازند، جلوگیری شود.
- حداقل فشار مجاز گل در جلوگیری از شکست برشی و در نهایت جلوگیری از ریزش دیواره چاه بین محدوده ۳۳/۵۱ تا ۵۲/۸۹ مگاپاسکال و حداکثر فشار مجاز گل در جلوگیری از ریزش دیواره چاه بین محدوده ۴۰/۴۷ تا ۵۵/۹۷ مگاپاسکال تعیین شد.
- حداقل فشار گل لازم به‌منظور ایجاد گسیختگی کششی و در نهایت شکست هیدرولیکی، مابین ۱۰۸/۸۷ تا ۱۵۱/۳۸ مگاپاسکال تعیین شد.
- با توجه به تحلیل پایداری چاه در فشارهای مختلف گل و استفاده از مدل موهر- کولمب به‌عنوان معیار شکست سنگ در آنالیز و با توجه به مقادیر به‌دست آمده از حداکثر جابجایی افقی در جدول۱، فشار ۱٤۱/۷۱۲ Mpa به‌عنوان حد بالای مجاز فشار گل برای پایداری چاه برآورد شده بنابراین در بالاتر از این فشار در مدل شاهد گسترش شکاف در جهت تنش افقی حداکثر می‌باشیم و سنگ از حالت الاستیک خود به حالت پلاستیک در خواهد آمد بنابراین طراحی گل حفاری در فشارهایی پایین‌تر از این مقدار می‌تواند در جلوگیری از شکست کششی که منجر به شکاف هیدرولیکی در دیواره چاه می‌شود، مؤثر واقع شود.
- در فشارهای پایین‌تر، جایی که در کمتر از آن فشار شاهد ریزش دیواره چاه هستیم، با توجه به مطالب گفته شده در قبل می‌توان فشار گل ۲۱/۸۱ Mpa را به‌عنوان حد پایین فشار مجاز گل ارزیابی کرد بنابراین در پایین‌تر از این فشار، شکست برشی که منجر به فروریزی دیواره چاه در جهت تنش افقی حداقل می‌شود، اتفاق می‌افتد.
- به‌طور کلی می‌توان بیان داشت که چاه‌های قائم به نسبت چاه‌های افقی پایداری بیشتری دارد.

مراجع

[1]Adachi,J.,Siebrits,E.,Peirce,A.,Desroches,J."*Compute r simulation of hydraulic fractures* " Inter national Journal of Rock Mechanice & Mining sciences,VOL.44,pp.739-757,2007.

[2] Amadei, B. and Stephansson, O. *Rock Stress and its Measurement*, Chapman & Hall ,London.,1997.

[3] Rahim, Z.,Bartko,K. and Al-Qahtani, M.Y."Hydraulic fracturing case histories in carbonate and sandstone reservoir of khuff and prekhuff formations,Ghawar field,Saudi Arabia",SPE 77677,SPe Annual Technical Conference, San Antonio, Texas, USA ,Sept. 27, 2005.

[4] Zoback, M. D., Healy, J. H., and Roller, J. C. *Preliminary stress measurements in central California using the hydraulic fracturing technique*. *Pure Appl Geophys,* 115,1977.

[5] Haimson, B. C. *The hydraulic fracturing method of stress measurement: theory and practic*e. Comprehensive Rock Engineering. Vol. 3, Pergamon, J. A. Hudson (Ed.), 395- 412,1993.

[6] H[11]ayashi, K., Sato, A., and Ito, T. *In situ stress measurements by hydraulic fracturing for a rock mass with many planes of weakness. Int J Rock Mech Min Sci*, 45-58,1997.

[7] Hubbert, M.K.,Willis,D.G."*Mechanics of hydraulic fracturing*".Pet. Trans. AIME, vol.2, pp- 53-63, 1957.

[8]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).

[9] Anderson, E. M. *The Dynamics of Faulting and Dyke Formation with Applications to Britain*, Oliver and Boyd, Edinburgh,1951.

Archive of SID
www.SID.ir

[10] Chatar, C. and M.D. Imler, Overcoming a Difficult Salt Drilling Environment in the Gulf of Mexico: A Case Study, in IADC/SPE Drilling Conference and Exhibition20\0, Society of Petroleum Engineers: New Orleans, Louisiana, USA.

[11] 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).

[12] A.M.Costa, et al., Geomechanics Applied to the Well Design Through Salt Layers In Brazil: A History of Success, in 44th U.S. Rock Mechanics Symposium and 5th U.S.-Canada Rock Mechanics Symposium 2010, American Rock Mechanics Association: Salt Lake City, Utah.

پی‌نوشت

[1] Leak off test
[2] Biot Factor
[3] Shear Failure Shallow Knockout
[4] Shear Failure wide Breakout
[5] Safe Mud Window
[6] stuck pipe
[7] fishing
[8] reaming operation
[9] poor cementation
[10] side tracking

Archive of SID

www.SID.ir