بررسی پایداری دیواره چاه در لایه‌های شیلی، مطالعه موردی: میدان نفتی اهواز

پژوهش نفت
سال بیستم
شماره ۶۳
صفحه ۱۸-۱۲، ۱۳۸۹

مرتضی احمدی، محمد سلیمانی و نفیسه صالحی سیاوشانی*
دانشگاه تربیت مدرس، دانشکده مهندسی معدن
N_ss81@yahoo.com

چکیده

لایه‌های شیلی که در ۷۵ درصد مقاطع حفاری شده یافت می‌شوند، سبب بروز ۹۰ درصد از مشکلات مربوط به ناپایداری چاه می‌باشند. درهنگام حفاری در سازندهای شیلی با استفاده از روش‌های عددی، تحلیلی و در نظر گرفتن پارامترهای صحیح و منطقی می‌توان به کاهش هزینه‌های ناشی از ناپایداری دیواره چاه پرداخت و با درک صحیح به وضعیت پایداری کمک کرد. این تحقیق نیز پیرامون تاثیر خصوصیات فیزیکی و مکانیکی شیل بر پایداری و نگهداری دیواره چاه‌های نفت در یکی از میادین نفتی ایران است. در این پژوهش با استفاده از دو روش عددی (نرم‌افزار FESTO3) و روش تحلیلی در یک مقطع از چاه که در آن ناپایداری شیل مشاهده شده، تحلیل پایداری انجام گرفت و با روش تحلیلی برای حالات مختلف تنش‌های برجا، پنجره وزن گل ارائه شد. همچنین توسط روش عددی، یکی از این وضعیت‌ها که مطابق با وضعیت چاه موردنظر است مورد بررسی قرار گرفت و وزن گل بهینه برای آن عمق پیشنهاد شد و سپس نتایج به‌دست آمده از دو روش تحلیلی و عددی مقایسه شد. نتایج نشان می‌دهد که آگاهی از وضعیت و مقدار تنش‌های برجا، تاثیر زیادی بر روی تحلیل‌ها دارد.

واژه‌های کلیدی: تحلیل پایداری، حفاری چاه نفت، خصوصیات مکانیکی شیل، نرم‌افزار FESTO3، میدان نفتی اهواز

مقدمه

وجود لایه‌های شیلی در اعماق زمین در زمان حفاری برای استخراج نفت و گاز یکی از مشکلات اساسی حفاری و تولید است. با وجود مطالعات فراوان برروی شیل‌ها و خصوصیات پیچیده آن‌ها، هنوز مشکلات حاصل از وجود لایه‌های شیلی باعث بالابردن هزینه در حفاری چاه‌های نفت می‌باشد.

در بیشتر تحقیقات انجام شده برروی شیل، به بررسی خصوصیات فیزیک وشیمیایی رفتار آن در هنگام حفاری و بعد از آن پرداخته‌اند و سعی کرده‌اند تا با معرفی روابطی برای تغییر در ترکیبات گل حفاری، شیل را پایدار سازند. بررسی شیل از دیدگاه مکانیک سنگ، جنبه جدیدی از مطالعات است که در سال‌های اخیر در حال توسعه می‌باشد. از جمله موارد دارای اهمیت در مطالعه پایداری چاه‌های افقی، تعیین تنش برجا است.

براساس تحقیقات انجام شده، مقاومت سنگ در مقایسه با دیگر پارامترها مانند خصوصیات الاستیک سنگ، شرایط زه‌کشی و سطوح لایه‌بندی در پایداری چاه از اهمیت بیشتری برخوردار است [۱و۲]. براساس اینکه ناحیه مورد مطالعه از نظر تکتونیکی آرام یا فعال است و همچنین چگونگی تنش‌های برجای غالب از نوع نرمال، فشاری و یا از نوع گسل‌های امتداد لغز باشد، مسیر بهینه چاه عمودی، مایل و افقی تعیین خواهد شد.

Archive of SID
www.SID.ir

هنگامی که یک چاه عمودی در داخل رژیم تنش گسلی نرمال ($\sigma_v > \sigma_H > \sigma_h$) حفر می‌شود، چاه پایدار می‌ماند. تحت شرایط تنش گسلی امتداد لغز ($\sigma_H > \sigma_v > \sigma_h$)، چاه‌های مایل و افقی پایدارتر از چاه‌های عمودی هستند [۳].

در این تحقیق، پس از جمع‌آوری اطلاعات مورد نیاز با استفاده از تئوری گسلش آندرسون، مقدار تنش‌های برجا در مقطع مورد نظر از چاه در لایه شیلی، محاسبه شد. سپس توسط ملاک شکست مور-کلمب[1] مربوط به چاه برای هرکدام از حالات تنش استنتاج شده از چند ضلعی تنش یک بازه وزن گل مجاز به‌دست آمد. در مرحله بعد با استفاده از نرم‌افزار FESTO3 که بر مبنای روش اجزا محدود عمل می‌کند، تحلیل پایداری چاه در عمق مورد نظر انجام و وزن گل پیشنهاد شده است. نتایج به‌دست آمده از دو روش مذکور تشابه قابل قبولی دارند با این تفاوت که در روش عددی عوامل بیشتری مدنظر قرار می‌گیرند.

زمین‌شناسی منطقه

میدان نفتی اهواز با روند شمال غرب-جنوب شرق، یک تاقدیس تحت‌الارضی است که در ناحیه فروافتادگی دزفول شمالی قرار دارد. ابعاد این میدان بر روی افق آسماری ۶۷ و ۵ کیلومتر است. پتانسیل اقتصادی این میدان از سازندهای آسماری و بنگستان در سال ۱۹۵۸ به اثبات رسید. حفر چاه‌های این منطقه با سازندهای مختلفی تقاطع داشته که از بین آن‌ها سازندهای گروه بنگستان (ایلام، سروک و کژدمی) دارای بیشترین میزان شیل بوده و مشکلات ناپایداری چاه نیز در همین سازندها ایجاد شده است. حدود ۶۰ درصد کانی رسی موجود در میدان نفتی اهواز از کانی ایلیت است و کانی مخرب مونت موریلونیت در این میدان اندک می‌باشد [٤].

بررسی پایداری چاه

برای بررسی پایداری چاه از روش تحلیلی و عددی (نرم‌افزار)، در عمق ۳٤۸٦ متری چاه مورد نظر در درون لایه شیلی سازند ایلام مقطع زده شد. قطر چاه در این مقطع $8\frac{3}{8}$ اینچ و ضخامت کیک گل حفاری $\frac{1}{35}$ اینچ می‌باشد. وزن مخصوص گل حفاری به کار رفته برای ایجاد پایداری ۸۲ تا ۸۳/۳ پوند بر فوت مکعب و فشار منفذی آن برابر ٤۲/٦ MPa اندازه‌گیری شده است. در این عمق ناپایداری ایجاد شده توسط شیل از نوع تنگ‌شدگی چاه[2] می‌باشد [٤].

روش تحلیلی

برای تعیین وزن گل مجاز، ملاک شکست مور-کلمب تعمیم داده شده در نظر گرفته شد. برای استفاده از این ملاک در ابتدا می‌باید جهت و مقدار تنش‌های برجا تعیین شوند. به علت عدم دسترسی به داده‌های اندازه‌گیری مربوط به تنش‌های برجا از تئوری گسلش اصطکاکی [۵] استفاده و توسط چند ضلعی تنش، مقدار تنش‌ها در هفت حالت ممکن محاسبه شد. با استفاده از روابط موجود در هریک از این هفت حالت می‌توان وزن گل مجاز را محاسبه کرد و در نهایت برای هر یک از این حالات، تنش ایجاد شده در چاه را محاسبه کرده و سپس حد بالا و پایین فشار گل را به دست آورد.

تنش قائم با توجه به جنس سنگ از مقادیر میانگین چگالی که در متون مختلف ارائه شده به‌دست می‌آید. با توجه به میانگین چگالی ستون سنگ شناسی چاه مورد نظر، مقدار تنش قائم (S_v) درعمق ۳٤۸٦ متری برابر ۹۳ MPa بود. برای به‌دست آوردن تنش افقی حداقل و حداکثر ($S_{h\,min}$ و $S_{H\,max}$) و پیش‌بینی محدوده تفاضل تنش از تئوری گسلش آندرسون برای تعیین رژیم تنش، استفاده شد. با استفاده از معادلات ذیل برای حالات مختلف گسلش می‌توان مقدار تنش‌های افقی حداقل و حداکثر را محاسبه کرد. به ترتیب با فرض حالات گسلش نرمال و معکوس معادلات به شکل زیر است:

$$\frac{\sigma_1}{\sigma_3} = \frac{S_v - P_0}{S_{h\min} - P_0} \le \left[(\mu^2+1)^{\frac{1}{2}} + \mu\right]^2 \qquad (۱)$$

$$\frac{\sigma_1}{\sigma_3} = \frac{S_{H\max} - P_0}{S_v - P_0} \le \left[(\mu^2+1)^{\frac{1}{2}} + \mu\right]^2 \qquad (۲)$$

در روابط (۱) و (۲)، P_0 فشار منفذی، σ_1 و σ_3 تنش‌های اصلی حداکثر و حداقل و μ یک مقدار ثابت است که در اینجا برابر ۰/٦ در نظر گرفته می‌شود. فرض بر این است که وضعیت تنش درون پوسته در تعادل اصطکاکی است.

1. Mohr-Coulomb
2. Tight Hole

Archive of SID
www.SID.ir

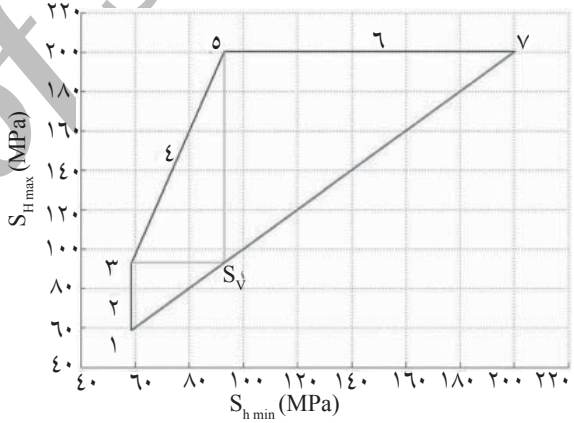
با جای‌گذاری مقادیر (۴۲ مگاپاسکال برای فشار منفذی) در روابط بالا میزان گسش نرمال ومعکوس محاسبه می‌شود:

گسلش نرمال ($S_1 = S_v$ ، $S_3 = S_{h\min}$) $S_{h\,min} = 58$

گسلش معکوس $S_1 = S_{H\max}$ ، $S_3 = S_v$ $S_{H\,max} = 200$

در این روابط S_1 تنش عمودی و S_3 تنش افقی است.

با فرض $S_{h\,min}$، به‌عنوان خط قائم و $S_{H\,max}$، به‌عنوان خط افقی، می‌توان چند ضلعی تنش را برای عمق مورد نظر رسم کرد. این چند ضلعی مقادیر ممکن تنش‌های اصلی حداقل و حداکثر را در هر عمقی بر اساس تئوری گسلش آندرسون و نیز تئوری گسلش مور–کلمب با یک ضریب اصطکاک و فشار منفذی تعریف می‌کند. در شکل ۱ این چند ضلعی تنش رسم و ارائه شده است.



شکل ۱– چند ضلعی تنش(Stress polygon) برای عمق ۳۴۸۶ متری و فشار منفذی ۴۲ مگاپاسکال

العجمی و زیمرمن با استفاده از ملاک شکست مور–کلمب مربوط به چاه و معادلات کرش[1]، روابطی را برای محاسبه حد بالا و پایین فشار گل محاسبه کردند. روابط مذکور در جداول ۱ و ۲ آورده شده است [۵].

با محاسبه مقادیر فشار فروریزش و فشار شکست با توجه به وضعیت تنش‌ها در یک چاه عمودی می‌توان وزن بهینه گل حفاری را تعیین کرد. اگر مقادیر محاسبه شده فشار فروریزش (P_{wb}) بیشتر از مقدار عملی فشار گل در چاه مورد نظر باشد، چاه ریزش می‌کند. به همین ترتیب اگر مقادیر محاسبه شده فشار شکست (P_{wf}) کمتر از مقدار عملی فشار گل باشد، چاه دچار شکست و در نتیجه گسیختگی خواهد شد.

جدول ۱– معیار مور–کلمب برای فشار فروریزش در چاه عمودی [۵]

وضعیت	$\sigma_1 \geq \sigma_2 \geq \sigma_3$	اگر $P_w \leq P_{wb}$ چاه دچار ریزش می‌شود
۱	$\sigma_z \geq \sigma_\theta \geq \sigma_r$	$P_{wb1} = (B - C) / q$
۲	$\sigma_\theta \geq \sigma_z \geq \sigma_r$	$P_{wb2} = (A - C) / (1 + q)$
۳	$\sigma_\theta \geq \sigma_r \geq \sigma_z$	$P_{wb3} = A - C - qB$

جدول ۲– معیار مور–کلمب برای فشار شکست در چاه عمودی [۵]

وضعیت	$\sigma_1 \geq \sigma_2 \geq \sigma_3$	اگر $P_w \leq P_{wb}$ چاه دچارشکست می‌شود
۱	$\sigma_r \geq \sigma_\theta \geq \sigma_z$	$P_{wf} = C + qE$
۲	$\sigma_r \geq \sigma_z \geq \sigma_\theta$	$P_{wf2} = (C + qD) / (1 + q)$
۳	$\sigma_z \geq \sigma_r \geq \sigma_\theta$	$P_{wf3} = (C - E) / q + D$

در جداول ۱ و ۲، σ_r، σ_θ و σ_z تنش‌های حاصل در دیواره چاه، P_w فشار داخلی چاه و پارامترهای B، C، A، E، D و q عبارتند از:

$$B = \sigma_b + 2\upsilon(\sigma_H - \sigma_h) \quad (۳)$$

$$C = C_0 - P_0 (q - 1) \quad (۴)$$

$$A = 3\sigma_H - \sigma_h$$
$$E = \sigma_r - 2\upsilon (\sigma_H - \sigma_h) \quad (۵)$$
$$D = 3\sigma_H - \sigma_h$$

$$q = \tan^2(\frac{\pi}{4} + \frac{\phi}{2}) \quad (۶)$$

در روابط بالا، σ_H و σ_h به ترتیب تنش‌های برجای افقی حداکثر و حداقل، υ نسبت پواسون و ϕ زاویه اصطکاک داخلی سنگ می‌باشد و C_0 برابر است با:

$$C_0 = \frac{2cCos\phi}{1 - \sin\phi} \quad (۷)$$

با توجه به نمودار چند ضلعی تنش، می‌توان هفت نقطه با وضعیت‌های تنش برجای خاص را در مقطع مورد نظر فرض کرد. برای هر یک از این حالات می‌توان با توجه به روابط ملاک شکست مور–کلمب حد بالا و پایین فشار گل را محاسبه کرد. در هر یک از حالات تنش برجا می‌توان دو مقدار را تعیین کرد؛ مقدار اول حد بالای گل یعنی P_{wf} و دومی حد پایین گل یا P_{wb} می‌باشد. برای پایداری چاه، فشار گل باید بین این دو حد قرار گیرد. به عبارت دیگر:

$$P_{wb} \leq P_w \leq P_{wf}$$

1. Kirsch

Archive of SID
www.SID.ir

نموداری که با استفاده از روابط مذکور به‌دست آمده درشکل ۲ ارائه شده است.

شکل۲- حد پایین و بالای فشار گل در هر یک از حالات تنش

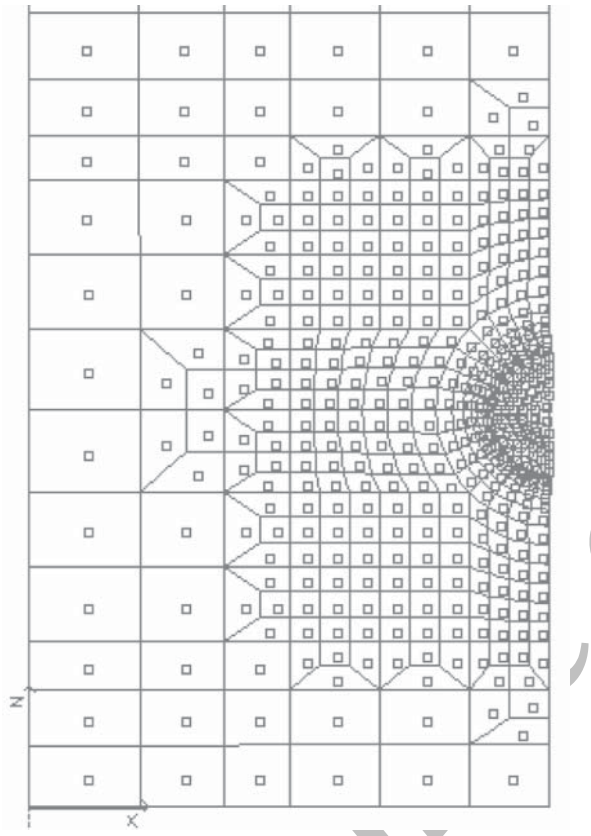
با مقایسه نمودار شکل ۲، حد پایین وزن گل و وزن گل به کار رفته در نقطه ۱، با وضعیت تنش برجای موجود، در چاه هیچ گونه ریزشی رخ نخواهد داد ولی در بقیه نقاط، ممکن است چاه دچار ریزش شود. به‌همین ترتیب با مقایسه نمودار مربوط به حد بالای وزن گل و وزن گل به کار رفته در نقاط ۱، ۲، ٦ و ۷، چاه دچار شکست نشده ولی در نقاط ۳، ٤ و ۵، وزن گل تقریبا برابر با حد بالای گل است که می‌تواند در چاه شکست ایجاد کند [٦].

روش عددی

درشکل۳، مدل دوبعدی ساخته شده توسط نرم‌افزار FESTO3 برای تحلیل جابجایی‌ها و بررسی پایداری چاه مورد مطالعه ارائه شده است. این نرم‌افزار شبه سه بعدی برای توصیف رفتار تنش–کرنش توده سنگ درزه دار ارائه شده است. سیستم این برنامه با استفاده از زبان برنامه‌نویسی فورترن[1] نوشته شده که تحت دو سیستم عامل لینوکس[2] و ویندوز اجرا می‌شود [۷].

بعد از تکمیل ورودی مختصات و تعداد نقاط گرهی و تخصیص این نقاط به المان‌ها، خصوصیات مکانیکی توده سنگ و هرگونه نگهداری لازم به‌عنوان اطلاعات ورودی به نرم‌افزار داده می‌شود.

در طراحی مدل برای عدم تأثیر مرزها بر روی نتایج، ابعاد خارجی به‌اندازه کافی بزرگ درنظر گرفته شدند. بنابراین هندسه مدل عبارت از مربعی است که دایره مشخص کننده چاه در عمق مورد نظر و در مرکز آن قرار دارد و از هر طرف به اندازه ۵ برابر قطر چاه امتداد دارد. با توجه به وجود محور تقارن قائم، مدل برای نیمی از چاه در نظر گرفته شد [٦].



شکل۳- مدل عددی ساخته شده برای تحلیل عددی

برای تحلیل عددی اطلاعات به مقادیر ژئومکانیکی لایه شیل نیاز می‌باشد. مشخصات ژئومکانیکی شیل در دو حالت همسان‌گرد و ناهمسان‌گرد در جدول ۳ ارائه شده است. لازم به ذکر است که در اینجا شیل آهکی به عنوان شیل ناهمسان‌گرد درنظر گرفته شده و مقادیر مربوط به شیل در حالت کلی که از میانگین مقادیر شیل‌های مختلف به‌دست آمده به عنوان شیل همسان‌گرد محسوب شده است.

در تحلیلی که توسط نرم‌افزار صورت می‌گیرد دو مرحله محاسبات در نظر گرفته شده است. مرحله اول قبل از حفر چاه تنش‌های برجا بر مدل اعمال می‌شود. از بین سه تنش برجای موجود دو تنش افقی حداقل و حداکثر بر روی مرزهای کناری مدل اثر می‌کنند.

1 .Fortran
2. SUSE Linux

Archive of SID
www.SID.ir

جدول۳- خصوصیات مکانیکی و فیزیکی لایه شیلی مورد مطالعه [۸]

نوع سنگ	E_1 (GPa)	$E_2 = E_3$ (GPa)	υ_1	$\upsilon_2 = \upsilon_3$	σ_c (MPa)	وزن مخصوص (Kg/m^3)	C(MPa)	$\phi^{(\circ)}$
شیل	۷/۵	----------	۰/۳	------	۲۰	۲۶۰۰	۱۲	٤۰
شیل آهکی	۱٤	۸	۰/٤۳	۰/۱٦۷۵	۸۰	۲۵۰۰	۱۳	۵۰

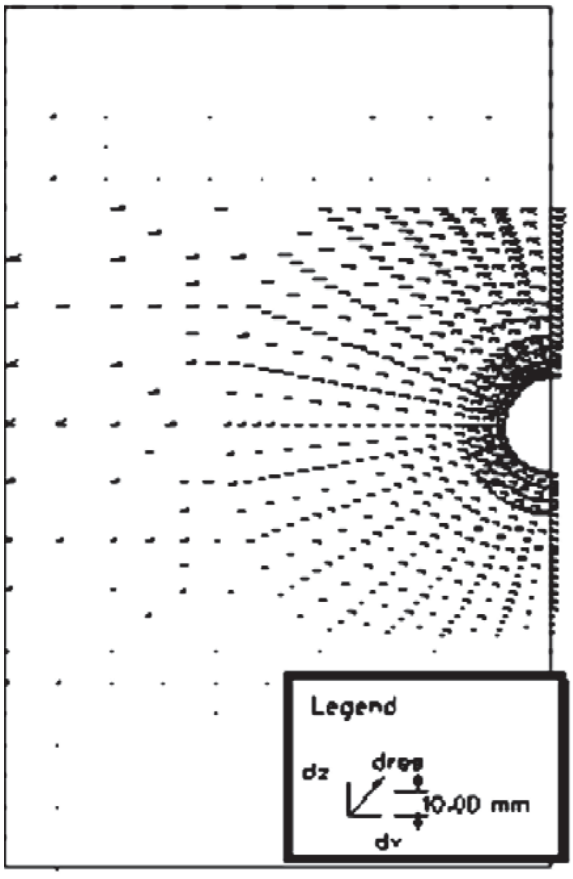
برای بررسی وضعیت تنش‌های برجا در منطقه، وضعیت تنش شماره ۱ به‌دست آمده از چند ضلعی تنش در نظر گرفته شد که در آن دو تنش افقی برابر فرض شده و تنش عمودی برابر با وزن روباره می‌باشد.

در مرحله دوم محاسبات فرض شد که چاه حفر شده و فشار گل نیز بر دیواره وارد می‌شود. فشار گلی که بر دیواره چاه در مدل وارد می‌شود، همان مقدار فشار گل به کار رفته در عمل می‌باشد. با اجرای برنامه برای مقاطع محاسباتی طراحی شده در دو حالت شیل همسان‌گرد و ناهمسان‌گرد، وضعیت تنش‌های حداقل و حداکثر و میزان جابجایی‌های اطراف چاه محاسبه شد. نتایج به‌دست آمده از این تحلیل مقادیر جابجایی ناچیز در اطراف دیواره را نشان دادند که قابل صرف‌نظر هستند. از طرف دیگر، مقدار جابجایی‌های ایجاد شده هر دو در حالت شیل همسان‌گرد و ناهمسان‌گرد بسیار کوچک بوده و تفاوتی بین این دو حالت مشاهده نشد.

با توجه به نقشه‌های تکتونیکی موجود در منطقه، چاه مورد نظر در نقطه‌ای واقع شده که لایه‌بندی در آن نقطه افقی است. از آن جایی که مدل ساخته شده در نرم‌افزار دو بعدی بوده و ناهمسان‌گردی در دو جهت که موازی لایه‌بندی هستند یکسان درنظر گرفته شده است، برابر بودن مقادیر جابجایی بدون توجه به مساله ناهمسان‌گردی توجیه می‌شود. از طرف دیگر مقطعی که در آن تحلیل پایداری چاه صورت گرفته در عمق زیاد واقع شده است که به علت بالا بودن فشار محصور کننده، ناهمسان‌گردی اثری بر محاسبات ندارد. بنابراین آگاهی صحیح از وضعیت قرارگیری صفحات لایه‌بندی و جهت ناهمسان‌گردی شیل می‌تواند در تحلیل وضعیت تنش‌ها و پایداری چاه تاثیر داشته باشد.

نتایج تحلیل‌های انجام گرفته توسط دو روش تحلیلی و عددی (استفاده از ملاک شکست مور-کلمب مربوط به چاه و نرم‌افزارFESTO3) در حالات تنش برجای نقطه ۱، حاکی از پایداری است، ولی در عمل در مقطع انتخاب شده ناپایداری چاه در داخل لایه شیلی مشاهده شده است. لذا می‌توان نتیجه گرفت که وضعیت فرض شده برای تنش‌های برجا با وضعیت واقعی در این نقطه متفاوت بوده و حالت تنش مطابق نقطه ۱ وجود ندارد.

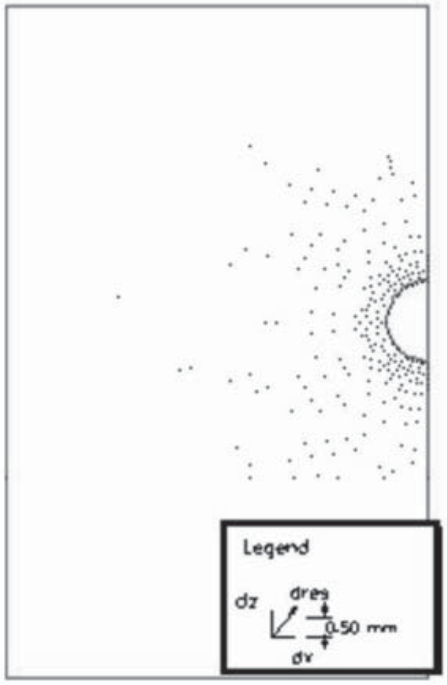
با تغییر شرایط تنش‌های برجا، مطابق حالت تنش در نقطه ۵ چندضلعی تنش، مقدار جابجایی حدود یک سانتی‌متر به طرف درون چاه به‌دست آمد. خطوط موجود در شکل ٤، مقدار و جهت جابجایی محاسبه شده در این حالت را با توجه مقیاس شکل نشان می‌دهد [٦].



شکل ٤- میزان جابجایی‌ها در اطراف چاه بعد از حفر چاه و اعمال فشار گل (وضعیت تنش مطابق حالت پنج و شیل همسان‌گرد می‌باشد)

www.SID.ir

شکل۵- وضعیت تنش‌های اصلی اطراف چاه بعد از حفاری و اعمال فشار گل ۷۰ MPa



شکل٦- میزان جابجایی‌ها در اطراف چاه بعد از حفر چاه و اعمال فشار گل ۷۰ MPa

با تغییر در مقدار فشار گل و انجام محاسبات متعدد، میزان فشار گلی که در آن دیواره چاه پایدار می‌ماند، ۷۰ MPa به‌دست آمد. در شکل‌های ۵ و ٦ وضعیت تنش‌های برجا و مقدار جابجایی‌ها در این حالت ارائه شده است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود با اعمال این فشار گل، میزان جابجایی‌ها بسیار کوچک و قابل صرف‌نظر کردن می‌باشند.

نتیجه‌گیری

برای پایداری دیواره چاه، مقدار فشار گل باید بین مقادیر فشار فروریزش و فشار شکست سازند انتخاب شود. به علت موجود نبودن اطلاعات میدانی، مقدار و وضعیت تنش‌های برجا در عمق مورد نظر با استفاده از تئوری گسلش آندرسون و رسم چند ضلعی تنش محاسبه شد. در این تحقیق با استفاده از ملاک شکست مور-کلمب تعمیم داده شده برای چاه، بازه مجاز وزن گل (پنجره گل) و حد بالا و پایین فشار گل برای حالات مختلف تنش استنتاج شده از تئوری گسلش اصطکاکی و چند ضلعی تنش، به‌دست آمد. از آنجایی که شیل یک سنگ ناهمسان‌گرد می‌باشد، برای تحلیل‌ها دو دسته از پارامترهای ورودی همسان‌گرد و ناهمسان‌گرد در نظر گرفته شدند. شایان ذکر است که این عامل‌ها فقط در روش عددی تاثیر دارند و در روش تحلیلی به‌کار رفته در این تحقیق مورد بررسی قرار نگرفته‌اند. با این وجود به علت افقی بودن لایه مورد نظر و قرار گرفتن در عمق زیاد و در نتیجه بالا بودن فشار محصور کننده و ایجاد شرایط تنش ایزوتروپ و همگن، می‌توان نتیجه گرفت که ناهمسان‌گردی نمی‌تواند در این شرایط منجر به بروز اختلاف در نتایج شود که تحلیل‌های عددی نیز خود موید این مساله هستند.

از آن جایی که وضعیت تنش برجای فرض شده در تحلیل‌ها هیچ گونه ناپایداری را در عمق مورد نظر نشان نداد، لذا می‌توان نتیجه گرفت که آن وضعیت، شرایط واقعی تنش‌های چاه نمی‌باشد. با تغییر شرایط تنش برجا و تحلیل دوباره، ناپایداری در تحلیل ها مشاهده شد. با انجام مجدد تحلیل، آن مقدار از فشار گل که باعث پایدار ماندن دیواره می‌شود به‌دست آمد. نتایج به‌دست آمده از نرم افزار FESTO3 نسبتا با واقعیت و جواب‌های به‌دست آمده از روش تحلیلی همخوانی دارد.

Archive of SID

www.SID.ir

منابع

[1] Chen X., Tan C.P. & Detournay, C. *"The impact of mud infiltration on wellbore stability in fractures rock masses"*. SPE/ISRM 78241 presented at the SPE/ISRM rock mechanics conference held in Irving, Texas, 20-23 ,pp 1-10, 2002,.

[2] Ottesen S. & Kwakwa K.A. *"A multidisplinary approach to in-situ stress determination and its application to wellbore stability analysis"*. SPE 21915., pp 2-5, 1991.

[3] Awal M.R., Khan M.S., Mohiuddin, M.A., Abdulraheem A. & Azeemuddin, M. *"A new approach to borehole trajectory optimization for increased hole stability"*, SPE 68092, pp 1-10, 2001.

[4] N.I.S.O.C reports. Ahwaz field, 1998.

[5] Al-Ajmi A.M., & Zimmerman R. W., "*Stability analysis of vertical boreholes using the Mogi-Coulomb failure criterion"*, Int. J. Rock Mech. & Min. Sci. & Geomech. pp 1-15, 10.1016,2006.

[٦] صالحی سیاوشانی ن.، "تاثیر خصوصیات فیزیکی و مکانیکی شیل در تحلیل پایداری و نگهداری چاه‌های نفت در یکی از میادین نفتی کشور"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد مکانیک سنگ، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه تربیت مدرس، ۱۳۸٦.

[7] Manual of FESTO3, version: 1.03, WBI company, 2000.

[٨] گزارش مطالعات ژئوتکنیک مسیر تونل انتقال آب نوسود کرمانشاه (قطعه ۲)، شرکت مهندسین مشاور ساحل، ۱٦۹ صفحه، مهر ۸٦.

Archive of SID

www.SID.ir