

بررسی پایداری چاه و تعیین بازه‌ی وزن گل حفاری با استفاده از روش NYZA در یکی از میداین نفتی جنوب ایران

رامین عسگری*، محمد حیدری‌زاده، حسین معماریان، دانشگاه تهران |

اطلاعات مقاله

تاریخ ارسال نویسنده: ۹۶/۰۲/۱۲
تاریخ ارسال به داور: ۹۶/۰۲/۲۶
تاریخ پذیرش داور: ۹۶/۰۵/۱۴

واژگان کلیدی:

پایداری چاه قائم، میداین نفتی ایران، وزن بهینه‌ی گل، روش NYZA

چکیده

پایداری چاه و تعیین وزن بهینه‌ی گل حفاری یکی از دغدغه‌های اصلی در صنعت حفاری است. ناپایداری ناشی از حفاری منجر به از دست دادن بخشی از چاه یا کل آن می‌شود که این امر افزایش هزینه‌ی عملیات حفاری و تأخیر در زمان بهره‌برداری را به دنبال خواهد داشت. عوامل مؤثر بر پایداری چاه به دو دسته‌ی قابل کنترل و غیرقابل کنترل تقسیم می‌شوند. عوامل مهم قابل کنترل راستا، شیب چاه و فشار گل هستند. خصوصیات سنگ، فشار منفذی و تنش‌های برجای منطقه نیز عوامل غیرقابل کنترل هستند. تحلیل پایداری چاه یکی از روش‌های مرسوم جهت بررسی مشکلاتی نظیر ریزش و شکست چاه، هرزروی گل و گیر کردن لوله‌ها و مته‌های حفاری است. در این مقاله روش NYZA برای تعیین بازه‌ی وزن گل حفاری در یکی از میداین نفتی جنوب ایران بررسی شده است. نتایج مطالعات نشان داد که بدون اینکه مشکلی از لحاظ پایداری دیواره‌ی چاه یا ادامه‌ی حفاری به وجود آید می‌توان چاه را با فشار گل تا حدی کمتر از فشار ریزش حفر کرد. در روش NYZA چاه قائم و چاه‌های افقی در راستاهای تنش افقی کمینه و بیشینه را می‌توان با فشار گل معادل فشار منفذی در عمق مورد مطالعه حفاری کرد. همچنین نتایج نشان داد که حفر چاه افقی در راستای تنش افقی بیشینه نسبت به حفر چاه قائم و چاه افقی در راستای تنش افقی کمینه وضعیت پایدارتری دارد.

مقدمه

برای تعیین حد پایین فشار گل روش‌های مختلفی از جمله روش الاستیک، روش الاستوپلاستیک و ... وجود دارد. ساده‌ترین روش، روش الاستیک است؛ چراکه حل آن نیازمند متغیرهای کمتری است. اما فشار گل حاصل از این روش، محافظ کارانه است. از این رو با وجود پیچیده بودن معادلات روش الاستوپلاستیک، برای یافتن فشار گل نزدیک به واقعیت از این روش استفاده می‌شود. در این حالت مقاومت باقیمانده‌ی سنگ می‌تواند بارهای القایی اطراف دیواره‌ی چاه را تحمل کند.

یکی از روش‌های تعیین حد پایین فشار گل در شرایط الاستوپلاستیک، استفاده از متغیر سطح تسلیم نرمالیزه (NYZA)^۱ است؛ یعنی تقسیم مساحت ناحیه‌ی پلاستیک یا تسلیم اطراف چاه به مساحت اولیه‌ی چاه. تجربه نشان داده که شروع مشکلات ناپایداری چاه معمولاً با NYZA بزرگ‌تر از یک همراه است؛ گرچه مقادیر بحرانی این متغیر به شدت به تأسیسات سطحی حفاری و سایر عوامل نظیر شیب و ظرفیت تمیز کردن چاه بستگی دارد [۵].

جهت بررسی تحلیل پایداری چاه روش‌های مختلفی از جمله روش‌های آزمایشگاهی، تحلیلی و عددی وجود دارد. وجود درزه

اغلب توده‌سنگ‌های تشکیل شده رفتار ناهمسان‌گرد از خود نشان می‌دهند. بنابراین در بعضی موارد رفتار ژئومکانیکی آنها مشکلاتی را طی حفاری بوجود می‌آورد که منجر به از دست دادن زمان، هزینه و پایداری بخشی از چاه یا کل آن می‌شود. بنابراین بررسی پایداری چاه و ارائه‌ی طرح حفاری مناسب باعث شناسایی مناطق بحرانی و بهبود فرآیند حفاری می‌گردد. از لحاظ اقتصادی، هزینه‌ی سالیانه‌ی ناشی از ناپایداری چاه، ۲۰-۱۰ درصد کل هزینه‌ی حفاری یک چاه است [۱].

یکی از چالش‌های اصلی در صنعت حفاری، جلوگیری از ریزش^۱ و شکستگی‌های القایی^۲ چاه است. بنابراین طراحی گل حفاری، جداره‌گذاری و انتخاب روش عملیات حفر چاه با حساسیت زیادی انجام می‌شود [۲]. بروز شکست کششی سبب هرزروی گل و بروز شکست فشاری باعث آماس یا بسته شدن چاه می‌شود [۳]. ریزش کلی یا بخشی از چاه می‌تواند در یک لحظه یا در بازه‌ی زمانی مشخص اتفاق بیافتد که این امر باعث گیر کردن لوله‌ها، تمیزکاری^۳ ضعیف چاه، بسته شدن چاه^۴، شرایط چاه‌نگاری^۵ ضعیف و از دست رفتن^۶ حجم فراوان سیمان و گل حفاری می‌گردد [۴].

* نویسنده‌ی عهده‌دار مکاتبات (raminasgari@ut.ac.ir)

۱- ناپایداری چاه

طی حفاری چاه، حالت اولیه‌ی تنش دچار آشفتگی و تغییر شده و باعث ایجاد تنش‌های القایی در اطراف چاه می‌گردد. اگر تنش القایی ایجاد شده بیشتر از مقاومت سنگ باشد دیواره‌ی چاه دچار شکستگی خواهد شد که ممکن است ناپایداری چاه را در پی داشته باشد. ناپایداری چاه سبب افزایش زمان عملیات حفاری و در نهایت افزایش هزینه‌ی حفر چاه خواهد شد. در جداول ۱ و ۲ عوامل مؤثر بر ناپایداری چاه و اثرات آنها ذکر شده‌اند [۲].

یکی از عوامل قابل کنترل در پایداری چاه، تعیین فشار مناسب گل است. شکستگی‌های اطراف چاه معمولاً به دو صورت کششی و برشی رخ می‌دهد. وقوع شکست کششی زمانی است که تنش مماسی مؤثر بر دیواره‌ی چاه از مقاومت کششی سازند تجاوز کند. در این حالت یک شکستگی جدید در دیواره‌ی چاه به وجود آمده و باعث نفوذ گل به درون سازند می‌شود. این نوع شکستگی معمولاً در راستای عمود بر تنش بر جای کمینه گسترش می‌یابد. شکست برشی در دیواره‌ی چاه (که اغلب به دلیل کم بودن فشار گل اتفاق می‌افتد) معمولاً زمانی رخ می‌دهد که تنش برشی وارد بر دیواره‌ی چاه از مقاومت سنگ بیشتر باشد (شکل ۱- [۶]).

در بسیاری از موارد چاه پایدار می‌ماند؛ حتی اگر تمرکز تنش‌های اطراف چاه از مقاومت سازند تجاوز کند [۵]. زمانی چاه ناپایدار است که خرده‌سنگ‌های حاصل از شکست دیواره‌ی چاه به درون آن ریخته و حجم آن طوری افزایش یابد که گل حفاری نتواند چاه را تمیز کند. به این حالت چاه ناپایدار گویند [۶]. اگر فشار گل وارد بر دیواره‌ی چاه کمتر از فشار ریزش باشد در اطراف آن ناحیه‌ی پلاستیک^۱ به وجود می‌آید. در این حالت چاه حفاری شده زمانی ناپایدار است که نسبت مساحت ناحیه‌ی پلاستیک به وجود آمده در اطراف دیواره‌ی چاه به مساحت اولیه‌ی چاه بیشتر از یک باشد. تجربه نشان داده که در این حالت تأسیسات حفاری ظرفیت لازم برای تمیز کردن خرده‌سنگ‌های ریخته شده به درون چاه را نخواهند داشت [۵].

۲- بازه‌ی وزن گل

کنترل ناپایداری دیواره‌ی چاه نیازمند درک متقابل اندرکنش مقاومت سنگ و تنش‌های برجاست. با توجه به اینکه تنش‌های برجا و مقاومت سنگ جزء متغیرهای غیرقابل کنترل هستند تنها راه جلوگیری از شکستگی‌های دیواره‌ی چاه طی حفاری، تعیین مسیرهای بهینه‌ی حفاری و بازه‌ی بهینه‌ی وزن گل است که با

و شکاف سبب می‌شود روش‌های آزمایشگاهی و تحلیلی جهت بررسی پایداری چاه، پیچیده و گاهی غیرقابل استفاده باشند. اگرچه روش‌های تحلیلی برای تخمین تغییرات تنش در حالت کلی مفید هستند اما ممکن است یک بررسی ژئومکانیکی عددی برای بررسی جزئیات بیشتر تغییرات ناهمسان تنش القایی در داخل و اطراف محدوده‌ی حفاری مناسب باشد. از این رو در تحقیق حاضر جهت مدل‌سازی ژئومکانیکی چاه نفت از نرم‌افزار المان محدود ABAQUS استفاده می‌شود. در ادامه‌ی این تحقیق بازه‌ی وزن گل و پایداری چاه‌های قائم و افقی در راستاهای مختلف بررسی شده است.

۱ | عوامل مؤثر بر ناپایداری چاه و اثرات آنها

عوامل قابل کنترل		عوامل قابل کنترل	
فشار مغذی	تنش‌های برجا	ارتعاشات رشته‌ی لوله‌ی حفاری	فشار گل
خواص گل سازند	خصوصیات مکانیکی سنگ	زمان بدون نگهداری دیواره‌ی چاه	راستا و شیب چاه
شکستگی‌های موجود در سنگ	دمای سازند	نرخ گردش گل حفاری	دمای گل حفاری
		وزن معادل گردش گل حفاری	ابعاد چاه

۲ | اثرات مستقیم و غیرمستقیم ناپایداری چاه

اثرات مستقیم	اثرات غیرمستقیم
افزایش قطر چاه به علت شکست دیواره‌ی چاه	افزایش گشتاور (اصطکاک)
کاهش قطر چاه به علت آماس دیواره‌ی چاه	افزایش فشار چرخش گل
حجم بیش از حد ذرات برش	گیر کردن رشته‌ی لوله‌ی حفاری
حجم بیش از حد شکستگی‌ها	ارتعاشات بیش از حد رشته‌ی لوله‌ی حفاری
شکستگی سطح	شکست رشته‌ی لوله‌ی حفاری
پر شدن چاه	مشکلات کنترل انحراف چاه
حجم زیاد سیمان	کیفیت نمودارگیری ضعیف

گرفته می‌شود تا علاوه بر ریزش چاه از نفوذ گل مخزن به داخل چاه نیز جلوگیری به عمل آید.

انتخاب بازه‌ی مناسب برای وزن گل کمک شایانی به مهندسان حفاری است تا در مورد تعداد و مکان لوله‌های جداگانه‌ی گذاری تصمیم‌گیری کنند. بازه‌ی وزن گل در سنگ‌های مختلف متفاوت است؛ این بازه در بعضی سنگ‌ها محدود و در بعضی دیگر عریض‌تر است. هر قدر بازه‌ی وزن گل در نوع سنگی عریض‌تر باشد مهندسان حفاری آزادی عمل بیشتری در تعیین انتخاب بهینه‌ی فشار گل دارند.

۳- محاسبه‌ی تنش‌های برجا

جهت بررسی تحلیل پایداری چاه نیازمند تعیین مقدار تنش‌های برجای منطقه است. تنش‌های برجا به سه دسته‌ی قائم، افقی بیشینه و افقی کمینه تقسیم می‌شوند.

تنش قائم ناشی از وزن طبقات بالایی است که با انتگرال‌گیری چگالی سنگ از سطح زمین تا عمق مورد نظر و از رابطه‌ی ۱- به دست می‌آید:

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

که در آن σ_v تنش قائم، $\rho(z)$ چگالی سنگ، g شتاب گرانش زمین، z عمق زمین و $\bar{\rho}$ چگالی متوسط روباره است [۶]. برای تعیین تنش‌های افقی بیشینه و کمینه از روابط پوروالاستیک^۱ (روابط ۲ و ۳) استفاده می‌شود [۹]:

$$\sigma_H = \frac{\nu}{1-\nu} \sigma_v + \frac{1-2\nu}{1-\nu} \alpha P_p + \frac{\nu E}{1-\nu^2} \varepsilon_x + \frac{E}{1-\nu^2} \varepsilon_y \quad (2)$$

$$\sigma_h = \frac{\nu}{1-\nu} \sigma_v + \frac{1-2\nu}{1-\nu} \alpha P_p + \frac{E}{1-\nu^2} \varepsilon_x + \frac{\nu E}{1-\nu^2} \varepsilon_y \quad (3)$$

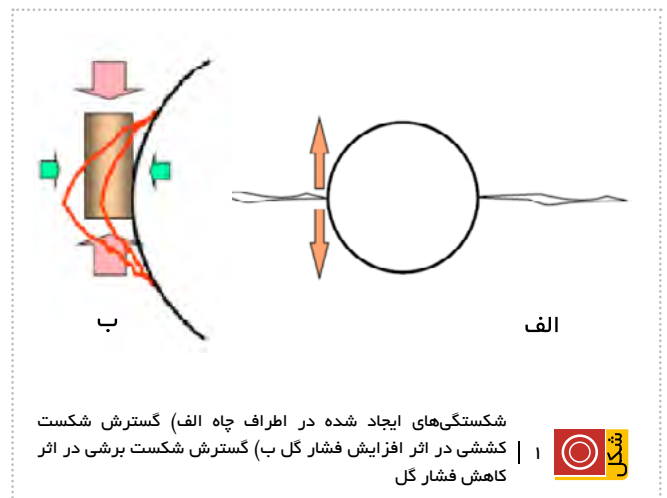
که در آنها σ_H و σ_h به ترتیب تنش افقی بیشینه و کمینه و ε_x و ε_y کرنش در راستای تنش افقی بیشینه و کمینه هستند. متغیرهای ν ، E ، α و P_p نیز به ترتیب نشانگر ضریب پواسون، ضریب بایوت، مدول الاستیسیته و فشار منفذی هستند.

۴- اطلاعات عمومی و ژئومکانیکی منطقه

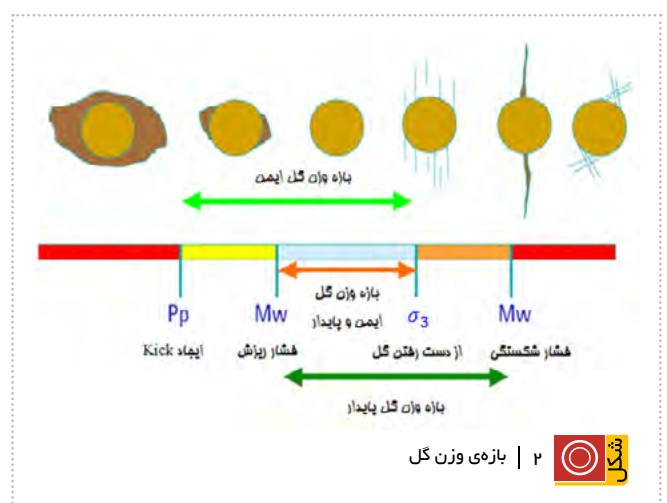
برای ارزیابی فشار گل جهت مطالعه‌ی پایداری چاه‌ها در راستاهای مختلف با استفاده از متغیر سطح تسلیم نرمالیزه (NYZA) در میدان نفتی اهواز از اطلاعات مخزن نفتی بنگستان

تغییرات این دو متغیر قابل کنترل می‌توان نتایج مطلوبی به دست آورد [۷].

جهت بررسی پایداری چاه، معمولاً فشار گل به گونه‌ای طراحی می‌شود که از ریزش چاه^۲ یا شکست هیدرولیکی چاه جلوگیری به عمل آید. بنابراین مشکلات اصلی حفر چاه یعنی گیر افتادن لوله‌ها و هرزروی گل تا حد قابل توجهی کاهش می‌یابند. همان‌طور که در شکل ۲- نشان داده شده معمولاً فشار لازم گل برای حفاری چاه در بازه‌ای بین فشار منفذی P_p و تنش برجای کمینه σ_3 قرار دارد؛ به طوری که برای فشار گل بیشتر از تنش برجای کمینه ممکن است هرزروی گل رخ دهد [۸]. همچنین اگر فشار گل کمتر از فشار منفذی باشد باعث نفوذ جریان گل مخزن به درون چاه می‌شود. برای جلوگیری از این مشکلات باید فشار گل ایمن و پایدار در بازه‌ی بین فشار ریزش و تنش برجای کمینه باشد تا مانع از ریزش چاه و هرزروی گل شود. ممکن است در بعضی موارد فشار ریزش کمتر از فشار منفذی باشد که در این صورت حد پایین فشار گل معادل فشار منفذی در نظر

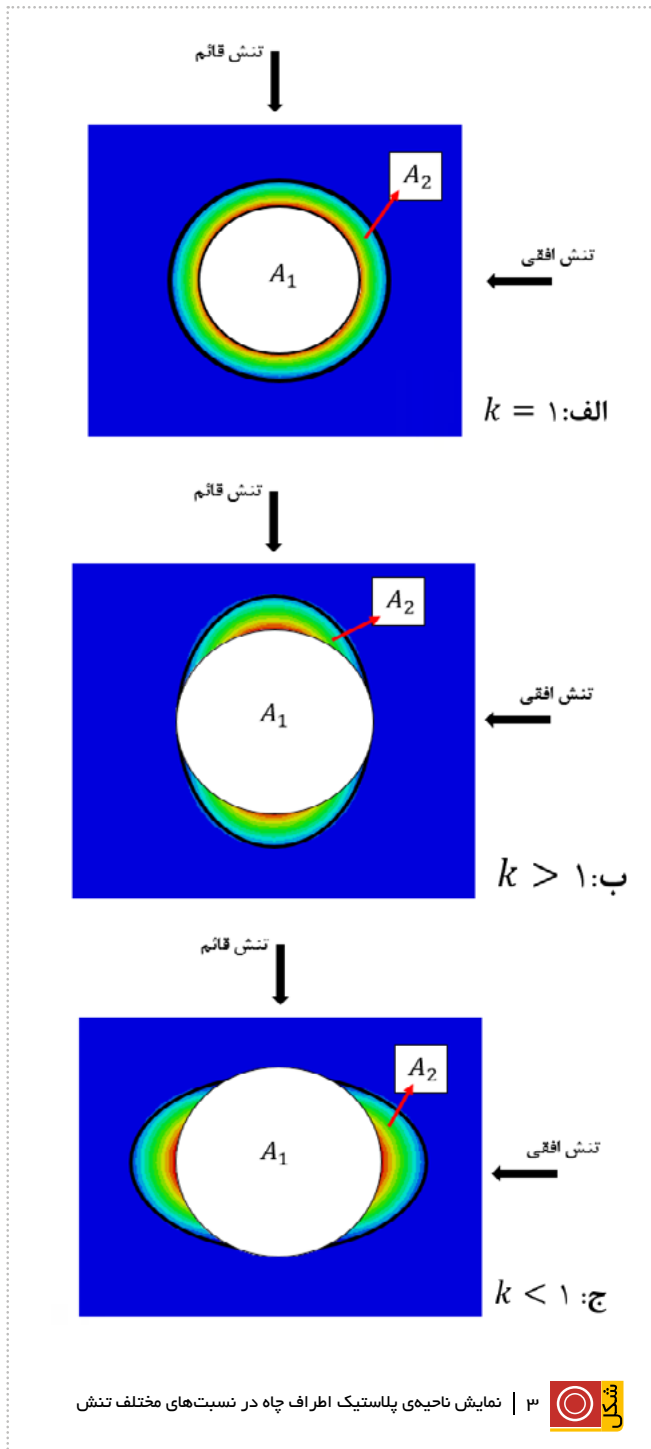


شکل ۱ | کششی در اثر افزایش فشار گل (ب) گسترش شکست برشی در اثر کاهش فشار گل



شکل ۲ | بازه‌ی وزن گل

یکی از محدودیت‌های مدل الاستیک خطی اینست که وقتی تنش‌های اطراف چاه به حد تسلیم سنگ برسند سنگ به کلی مقاومت خود را از دست می‌دهد. در حالی که در واقعیت، سنگ بعد از نقطه‌ی تسلیم ضعیف شده و مقاومت نهایی اولیه را نخواهد داشت. اما مقاومت باقیمانده‌ی موجود در سنگ مانع از ریزش کلی آن در ناحیه‌ی پلاستیک می‌شود. بنابراین اندازه‌ی این ناحیه نقش مهمی در پایداری چاه دارد.



استفاده شده است. محاسبه‌ی حد پایین فشار گل با روش ذکر شده روی این مخزن در عمق ۳۴۰۰ متری انجام شد. جداول-۳ و ۴-۳ خصوصیات مکانیک سنگی و ژئومکانیکی مخزن مورد مطالعه را نشان می‌دهند [۱۰].

۵- تحلیل پایداری چاه با استفاده از نرم‌افزار ABAQUS

یکی از روش‌های عددی جهت بررسی پایداری چاه روش المان محدود است. در این تحقیق ابعاد مدل پنج برابر قطر چاه انتخاب شده تا توزیع تنش‌های اطراف چاه روی مرزهای مدل تأثیری نداشته باشد. برای نزدیک‌تر شدن نتایج محاسبات به واقعیت، اندازه‌ی مش در نزدیکی‌های دیواره‌ی چاه از ۶ میلی‌متر تا ۴ سانتی‌متر در مرزهای مدل تغییر می‌کند. نوع المان به کار رفته در این مدل از نوع ۸ گره‌ای کرنش صفحه‌ای است.

تحلیل مسائل حفاری چاه با مدل رفتاری معیار مور-کلمب در دو مرحله انجام می‌شود. مرحله‌ی اول مرحله ژئواستاتیک است که در آن شرایط اولیه‌ی مدل قبل از حفاری مدل‌سازی می‌شود تا اینکه میدان تنش برجا با تغییر مکان تحت نیروی شتاب گرانش به حالت تعادل برسند. مرحله‌ی دوم، حفاری است که در آن پس از حفر سنگ، برای به تعادل رسیدن، فشار گل به دیواره‌ی چاه مدل اعمال می‌شود. در این مرحله می‌توان تغییرات تنش و جابجایی اطراف چاه را مشاهده کرد. در ادامه با استفاده از داده‌های جداول-۳ و ۴-۳ به عنوان مقادیر ورودی مدل‌سازی، فشار بهینه‌ی گل برای سه چاه قائم، افقی در راستای تنش افقی بیشینه و افقی در راستای تنش افقی کمینه تعیین می‌شود.

جدول ۳ | خصوصیات مکانیک سنگی آهک در عمق مورد نظر

عمق (m)	چسبندگی (MPa)	زاویه‌ی اصطکاک داخلی (درجه)	نسبت پواسون
۳۴۰۰	۵/۷	۴۳	۰/۲۹

جدول ۴ | خصوصیات ژئومکانیکی سنگ آهک در عمق مورد نظر

فشار روباره (MPa)	تنش افقی بیشینه (MPa)	تنش افقی کمینه (MPa)	فشار منفذی (MPa)
۸۰	۹۲	۸۵	۳۵

از این رو ارزیابی ریزش چاه با استفاده از روش الاستوپلاستیک نسبت به روش الاستیک خطی واقع بینانه تر است. وقتی فشار گل حفاری وارده بر دیواره چاه از فشار ریزش کمتر باشد نواحی پلاستیک در اطراف آن ایجاد می شود. توسعه ای این نواحی به خصوصیات مکانیکی سنگ و شرایط تنش های منطقه بستگی دارد. شکل ۳- شماتیک توسعه ناحیه پلاستیک (A_2) اطراف چاه با مقطع (A_1) را برای یک نوع سنگ در شرایط مختلف تنش های منطقه نشان می دهد. شکل ۳- الف ناحیه پلاستیک اطراف چاه را در حالت میدان تنش همسان گرد ($k=1$) نشان می دهد. با کاهش فشار گل، این ناحیه به صورت دایره ای شکل و یکنواخت توسعه می یابد. در حالی که در شکل های ۳- ب و ۳- ج این ناحیه در حالت میدان تنش ناهمسانگرد به صورت بیضی وار گسترش پیدا می کند.

یکی از روش های تعیین فشار گل در شرایط الاستوپلاستیک، استفاده از روش سطح تسلیم نرمالیزه (NYZA) است. این مقدار از تقسیم مساحت ناحیه پلاستیک (A_2) به مساحت سطح مقطع اولیه چاه (A_1) به دست می آید. تجارب میدانی نشان می دهد که مقدار NYZA بزرگ تر از یک ممکن است مشکلات ناپایداری چاه را افزایش دهد. بنابراین مقدار $NYZA=1$ به عنوان یک مقدار آستانه برای حفاری چاه در شرایط الاستوپلاستیک در نظر گرفته می شود [۶].

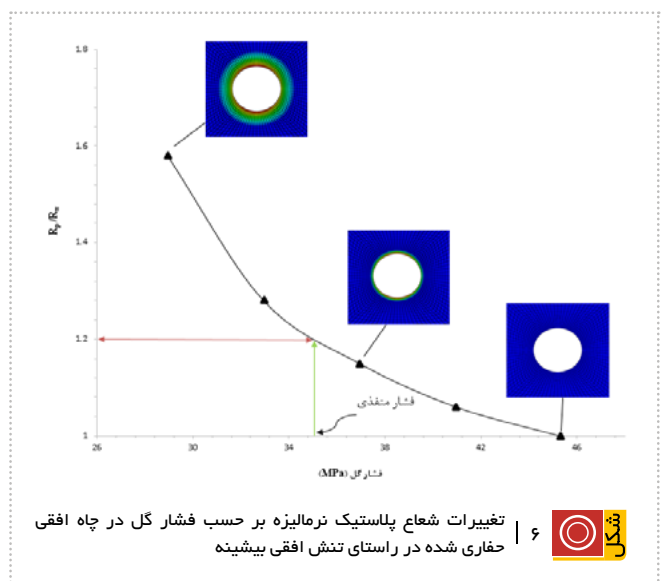
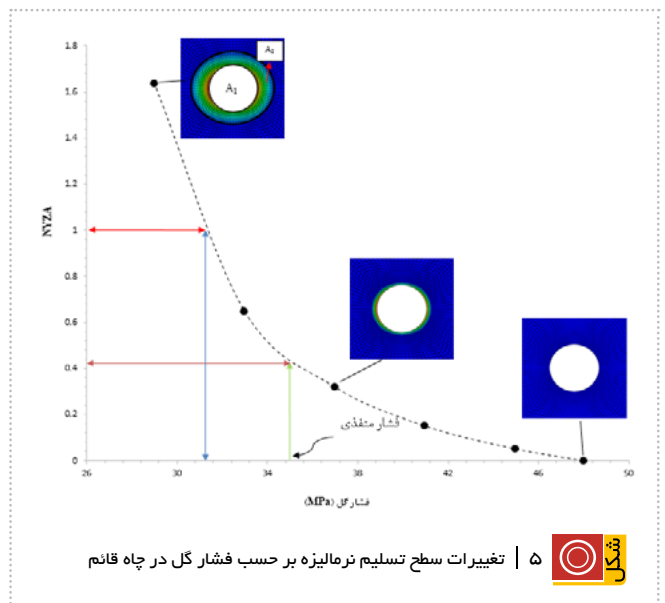
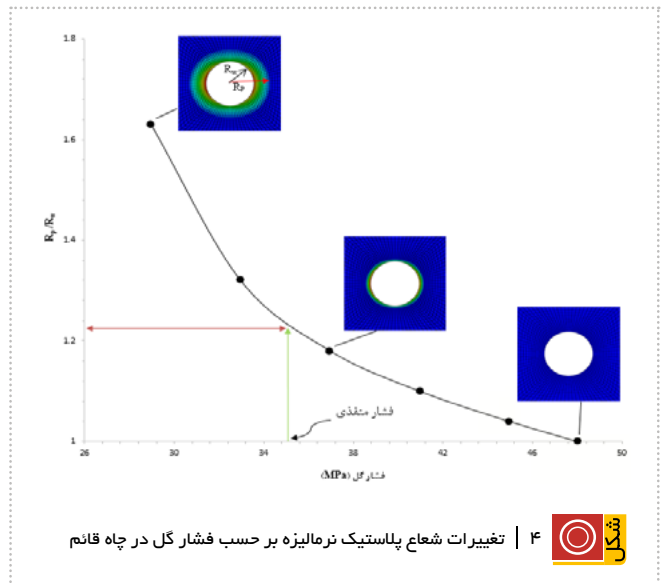
۶- نتایج مدل سازی عددی

برای تعیین فشار بهینه ی گل سازند آسماری در انواع چاه های مختلف، مدل سازی های عددی انجام شده است. در ادامه رفتار شعاع پلاستیک نرمالیزه (شعاع پلاستیک اطراف چاه R_p/R_w) نسبت به شعاع اولیه آن (R_w) یعنی، R_p/R_w و سطح تسلیم نرمالیزه ی اطراف چاه ها در فشارهای مختلف گل بررسی شده است.

۶-۱- چاه قائم

وقتی که چاهی به صورت قائم در محیط ذکر شده حفاری شود تنش های افقی کمینه و بیشینه به ترتیب در راستای افقی و قائم صفحه ی حفاری بر چاه وارد می شوند. طبق بررسی های به عمل آمده از مدل سازی عددی، فشار ریزش یا فشار شروع ناحیه پلاستیک این چاه ۴۸ مگاپاسکال است که با کاهش فشار گل شعاع پلاستیک نرمالیزه افزایش می یابد (شکل ۴-).

در فرآیند حفاری هر قدر فشار گل کمتری نسبت به فشار ریزش بر دیواره چاه اعمال شود ریسک ناپایداری چاه



افزایش می‌یابد. طبق شکل-۵ مقدار فشار گل معادل $NYZA=1$ برای این چاه ۳۱/۶ مگاپاسکال است. بر اساس روش مک‌لیلان و هاوکس (۲۰۰۱)، برای حفر چاه قائم در این سازند تحت شرایط فراتعادلی می‌توان حد پایین فشار گل را معادل فشار منفذی در نظر گرفت؛ بدون اینکه ریسک ناپایداری چاه زیاد باشد.

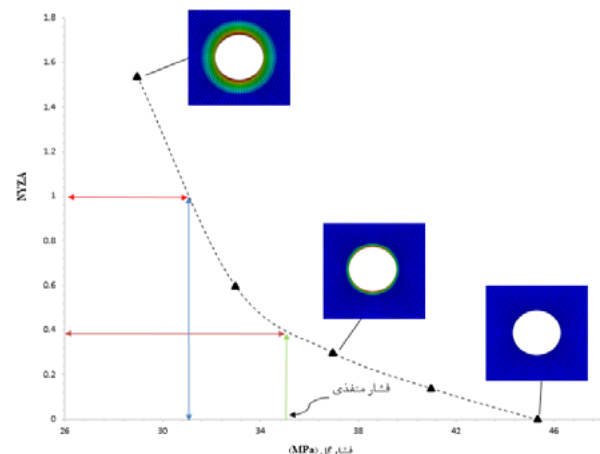
الف) چاه افقی در راستای تنش افقی بیشینه

وقتی چاهی در راستای تنش افقی بیشینه حفاری شود تنش‌های دوردست قائم و افقی کمینه بر چاه وارد می‌شوند. بنابراین طبق مدل‌سازی‌های انجام شده فشار گل لازم برای جلوگیری از ایجاد ناحیه‌ی پلاستیک اطراف چاه ۴۵/۳ مگاپاسکال است. شکل‌های ۷-۶ تغییرات شعاع پلاستیک نرمالیزه و سطح تسلیم نرمالیزه بر حسب فشار گل برای چاه افقی حفاری شده در راستای تنش افقی بیشینه را نشان می‌دهند. بررسی‌ها نشان می‌دهند که حفر چاه افقی در راستای تنش افقی بیشینه با فشار گل معادل فشار منفذی بر اساس روش $NYZA$ پایدار است. از این‌رو مقدار فشار گل معادل سطح تسلیم نرمالیزه برابر یک ($NYZA=1$) که بتوان چاه افقی در این راستا حفاری کرد برابر ۳۱/۲ مگاپاسکال است (شکل-۷).

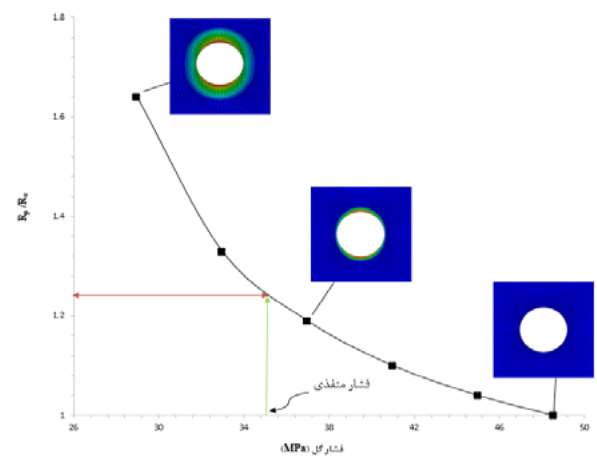
ب) چاه افقی در راستای تنش افقی کمینه

در این حالت تنش‌های دوردست قائم و افقی بیشینه بر چاه اعمال می‌شوند. اختلاف تنش‌های اصلی اطراف چاه افقی در راستای تنش افقی کمینه نسبت به حفر چاه افقی در راستای تنش اصلی بیشینه و چاه قائم بیشتر است. بنابراین فشار ریزش حاصل نیز بیشتر خواهد بود. از این‌رو بازه‌ی وزن گل در شرایط این چاه افقی باریک‌تر از چاه افقی حالت قبل است. مقدار فشار ریزش برای جلوگیری از ایجاد ناحیه‌ی پلاستیک در این حالت ۴۸/۵ مگاپاسکال است. شکل‌های ۸-۹ تغییرات شعاع پلاستیک نرمالیزه و سطح تسلیم نرمالیزه را نسبت به تغییرات فشار گل در چاه افقی حفاری شده در راستای تنش افقی کمینه نشان می‌دهد. فشار گل معادل سطح تسلیم نرمالیزه‌ی یک ($NYZA=1$) که بتوان چاه افقی در این راستا حفاری کرد ۳۱ مگاپاسکال است (شکل-۹). از این‌رو کمترین فشار گلی که بتوان چاه افقی در راستای ذکر شده در شرایط فراتعادلی حفاری کرد معادل فشار منفذی است.

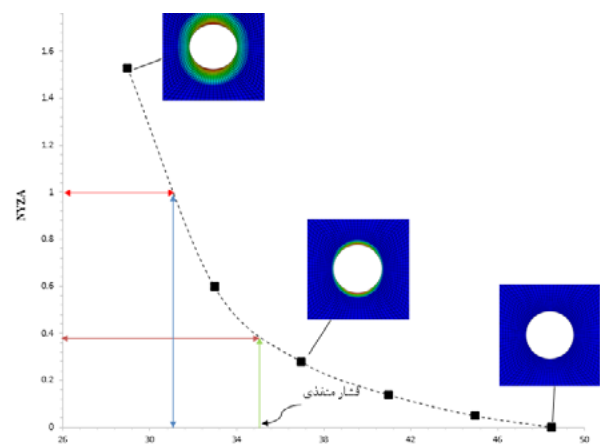
رژیم تنش منطقه‌ی مورد مطالعه از نوع تنش معکوس است. از این‌رو حفر چاه افقی در راستای تنش افقی بیشینه



شکل ۷ | تغییرات سطح تسلیم نرمالیزه بر حسب فشار گل در چاه افقی حفاری شده در راستای تنش افقی بیشینه



شکل ۸ | تغییرات شعاع پلاستیک نرمالیزه بر حسب فشار گل در چاه افقی حفاری شده در راستای تنش افقی کمینه



شکل ۹ | تغییرات سطح تسلیم نرمالیزه بر حسب فشار گل در چاه افقی حفاری شده در راستای تنش افقی کمینه

نتیجه گیری

عوامل مؤثر بر ناپایداری چاه، به دو دسته قابل کنترل و غیرقابل کنترل تقسیم می‌شوند. تعیین بهینه‌ی فشار گل به‌عنوان عامل قابل کنترل نقش به‌سزایی در پایداری چاه دارد. بازه‌ی بهینه وزن گل معمولاً بین تنش افقی کمینه (حد بالا) و فشار ریزش (حد پایین) قرار می‌گیرد. در این مقاله بررسی ناپایداری چاه با استفاده از نرم‌افزار ABAQUS انجام شد. در مدل‌سازی پایداری و حد پایین فشار گل در سه نوع چاه قائم، چاه افقی در راستای تنش افقی کمینه و چاه افقی در راستای تنش افقی بیشینه در شرایط حفاری فراتعادلی برای مدل رفتاری الاستیک و الاستوپلاستیک مطالعه شده است. نتایج مطالعات نشان می‌دهد که حفاری چاه افقی در راستای تنش افقی بیشینه در رژیم تنش معکوس نسبت به چاه قائم و همچنین چاه افقی در راستای تنش افقی کمینه وضعیت پایدارتری دارد. نتایج مطالعات در این مخزن نشان داد که چاه قائم و چاه‌های افقی در راستاهای مختلف را می‌توان با فشار گل معادل فشار منفذی در شرایط فراتعادلی حفاری کرد.

راحت‌تر از حفر چاه افقی در راستای تنش افقی کمینه و همچنین چاه قائم است؛ زیرا از دیدگاه پایداری، فشار گل لازم برای جلوگیری از ریزش دیواره در این چاه قائم کمتر از دو چاه دیگر است. در این تحقیق برای بررسی پایداری چاه از دو مدل رفتاری الاستیک و الاستوپلاستیک استفاده شده است. در مدل رفتاری الاستیک بازه‌ی وزن گل برای چاه‌های مختلف بین فشار ریزش (حد پایین فشار گل) و تنش افقی کمینه (حد بالای فشار گل) است. بنابراین حد پایین فشار گل برای چاه قائم، چاه افقی در راستای تنش افقی کمینه و همچنین چاه افقی در راستای تنش افقی بیشینه در شرایط الاستیک به ترتیب ۴۸، ۴۸/۵ و ۴۵/۳ مگاپاسکال است. نتایج مدل‌سازی‌ها نشان می‌دهد که حد پایین فشار گل برای چاه قائم و چاه‌های افقی در راستاهای مختلف بر اساس روش NYZA معادل فشار منفذی ۳۵ مگاپاسکال است که این مقدار در شرایط حفاری فراتعادلی برای مدل رفتاری الاستوپلاستیک حاصل شده است.

پانویس‌ها

- | | | |
|---------------------|---------------------------------|-------------------------|
| 1. Breakout | 5. Well logging | 9. Collapse |
| 2. Induced fracture | 6. Mud loss | 10. Poroelastic |
| 3. Well cleaning | 7. Normalized Yielded Zone Area | 11. McLellan and Hawkes |
| 4. Well stuck | 8. Plastic zone area | |

منابع

- [1] Santarelli F, Chenvert M. and Osisanya S., "On the Stability of Shales and its consequences in terms of swelling and wellbore stability", in SPE/IADC Drilling Conference, 1992.
- [2] Pašić B., Gaurina Međimurec N., and Matanović D., "Wellbore instability: causes and consequences", Rudarsko-geološko-naftni zbornik, 2007, vol. 19, pp. 87-98.
- [3] McLean M., and Addis M., "Wellbore stability: the effect of strength criteria on mud weight recommendations", in SPE Annual Technical Conference and Exhibition, 1990.
- [4] Labenski F, Reid P, and Santos H., "Drilling fluids approaches for control of wellbore instability in fractured formations", in SPE/IADC Middle East Drilling Technology Conference and Exhibition, 2003.
- [5] McLellan P, and Hawkes C., "Borehole stability analysis for underbalanced drilling", Journal of Canadian Petroleum Technology, 2001, vol. 40
- [6] M. D. Zoback M. D., "Reservoir geomechanics", Cambridge University Press, 2010.
- [7] Wiprut D., and M. Zoback M., "High Horizontal Stress in the Visund Field Norwegian North Sea: Consequences For Borehole Stability and Sand Production", SPE/ISRM Rock Mechanics in Petroleum Engineering, 1998.
- [8] Ewy R., "Wellbore stability predictions using a modified Lade criterion", SPE/ISRM Rock Mechanics in Petroleum Engineering, 1998.
- [9] Blanton T., and Olson J., "Stress magnitudes from logs: effects of tectonic strains and temperature", in SPE Annual Technical Conference and Exhibition, 1997.
- [10] Zare-Reisabadi M.R., Kaffash A., Shadzadeh S.R., "Determination of optimal well trajectory during drilling and production based on borehole stability", International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences, 2012, vol. 56, pp. 77-87.