

بررسی انواع ریزش‌ها در پایداری دیواره چاه‌های نفتی و روش‌های پایدارسازی آن‌ها

هادی پارسامهر*^۱، پرویز معارف وند^۲، مجید عطائی پور^۳

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، مکانیک سنگ، دانشگاه صنعتی امیرکبیر

۲- استادیار، دانشکده معدن و متالورژی، دانشگاه صنعتی امیرکبیر

۳- دانشیار، دانشکده معدن و متالورژی، دانشگاه صنعتی امیرکبیر

(*عهده دار مکاتبات - Hadi_parsamehr@aut.ac.ir)

چکیده

حفاری چاه، اصلی‌ترین فعالیت به منظور دسترسی به مخزن نفتی و تولید نفت می‌باشد. مسیر چاه‌ها اکثراً قائم است ولی در برخی موارد تکنیک حفاری به تفاوت خواص ژئومکانیکی لایه‌ها بستگی زیادی داشته و همیشه تغییرات خواص ژئومکانیکی لایه‌ها باید با تغییراتی در ابزارآلات در روش حفاری همراه باشد. حفاری، با شیب و آزمایش‌های متفاوت بوده و از میان لایه‌های با خواص ژئومکانیکی متفاوت می‌گذرد. عدم تناسب تکنیک حفاری با لایه در حال حفر باعث ایجاد ناپایداری در دیواره چاه‌ها و منجر به هزینه‌های هنگفت و توقف در عملیات تولید می‌گردد. لذا تحلیل و پیش‌بینی پایداری چاه از اهمیت ویژه برخوردار است. پارامترهای مؤثر در ناپایداری چاه می‌توان به مسیر حفر چاه، جهت و بزرگی تنش‌های برجا، خصوصیات ژئومکانیکی لایه‌های در حال حفر و فشار منفذی لایه‌ها اشاره کرد که باعث رخداد گسیختگی‌های برشی و کششی در دیواره چاه‌ها می‌شود و هزینه‌های وارده از این ناپایداری نسبتاً زیاد بوده و فقط زیان مادی حاصل از ناپایداری چاه در سازندهای شیلی سالانه ۱/۳ میلیارد دلار برآورد شده است. با توجه به هزینه‌های گزارش شده در فوق می‌توان پایدار نگه داشتن دیواره چاه را یکی از مسائل با اهمیت در بخش حفاری صنعت نفت و گاز دانست و امروزه بسیاری از شرکت‌های نفتی در مرحله طراحی چاه مطالعات مربوط به ناپایداری دیواره چاه را مد نظر قرار داده‌اند. در این مقاله انواع ریزش‌ها که در سازندهای مختلف در چاه‌ها اعم از قائم و جهت‌دار اتفاق می‌افتد بررسی شده و در نهایت پیشنهادها برای مواجهه شدن با این ریزش‌ها ارائه شده است.

واژگان کلیدی: پایداری چاه، ریزش، مخازن نفتی، سازند، آزمایش حفاری، چاه جهت‌دار.

۱- مقدمه

ابتدایی‌ترین شرایط برای پایدار ماندن یک چاه در حین حفاری، وجود تعادل و توازن بین تمرکز تنش در نزدیک دیواره چاه و استحکام سنگ می‌باشد. ناپایداری چاه به دلیل شکست سنگ اطراف دیواره چاه در حالتی که مقدار تنش مؤثر در دیواره چاه از استحکام سنگ تجاوز کند، ایجاد می‌شود (Birchwood, 2002). و به طور کلی باید گفت که ناپایداری دیواره چاه بستگی به آن دارد که سنگ دیواره چاه چگونه به تمرکز تنش القایی ناشی از عملیات حفاری جواب خواهد داد. اگر استحکام سنگ بیشتر از مقدار تنش القایی باشد، چاه پایدار خواهد ماند و در شرایط عکس سنگ تسلیم خواهد شد و احتمال ناپایداری در چاه وجود دارد. آیا این ناپایداری باعث به وجود آمدن مشکلات جدی خواهد شد یا نه؟ پاسخ این سؤال بستگی به عواملی دارد که مهمترین آن‌ها به این شرح است:

- رفتار سنگ بعد از شکست
- حجم سنگ‌های جدا شده و فرو ریخته

- حساسیت عملیات حفاری به گشادشدگی چاه
 - ظرفیت تمیزکاری چاه (خواص سیال، سرعت گردش سیال) (Hawkes and et al., 2002).
- بنابراین اولین مرحله آنالیز پایداری چاه شامل تعریف و تفسیر مشکلات مشاهده شده در میدان است. شکل ۱ انواع ناپایداری‌های معمول مشاهده شده در چاه نفت را نشان می‌دهد.



شکل ۱: ناپایداری معمول مشاهده شده در چاه نفت (Tara and Mody, 2002)

به طور کلی ناپایداری مشاهده شده در چاه حین عملیات حفاری به چهار دسته اصلی تقسیم می‌شود:

- گشادشدگی با ریزش چاه
- خزش یا همگرایی چاه
- ایجاد زون خمیری، دگرگون شده یا آسیب دیده
- شکست سازند و هرزروی سیال حفاری

سه نوع اول ناپایداری به منطقه نزدیک دیواره چاه مربوط می‌شود (Tara and Mody, 2002).

۲-علائم ناپایداری دیواره چاه

علائمی که نشانگر ناپایداری چاه هستند به طور کلی به دو دسته تقسیم می‌شوند. دسته اول علائمی هستند که به طور مستقیم ناپایداری چاه را نشان می‌دهند و می‌توان با مشاهده آن‌ها مطمئن بود که دیواره چاه ریزش کرده است، در مقابل علائمی وجود دارد که امکان دارد ناشی از ناپایداری و ریزش دیواره چاه نباشد و می‌بایست مسائل دیگری به غیر از ناپایداری دیواره چاه نیز بررسی شود تا بتوان نظر درستی در مورد علت رخداد آن‌ها داد. از علائم مستقیم و غیر مستقیم ناپایداری دیواره چاه در حین حفاری می‌توان به این موارد اشاره کرد: پوسته پوسته شدن دیواره چاه، کاهش سرعت حفاری، چسبیدن لوله به دیواره چاه، شستشوی دیواره چاه، نیاز به تمیز کاری مفراط و غیر طبیعی برای رسیدن به ته چاه، ریزش کامل دیواره چاه، ایجاد شکاف، هرزروی سیال حفاری و حتی فوران داخلی چاه (Tara and Mody, 2002).

شکست مکانیکی دیواره چاه نتیجه فعل و انفعال بین تنش‌های درجا، استحکام سنگ و تجربه مهندسی می‌باشد. بنابراین ابزار اساسی تحلیل پایداری دیواره چاه، آنالیز تنش‌ها و انتخاب معیار مناسب بسط داده شده برای ژئومتری، قوانین اصلی و شرایط مرزی می‌باشد (Nawrocki and et al., 1998).

۳- عوامل مؤثر در مکانیسم‌های ناپایداری چاه

مکانیسم‌های مؤثر در ناپایداری وابسته به فاکتورهای زیادی مانند نوع شیل و خصوصیات آن، پروفیل چاه، محیط تنش درجا، گرادیان دمایی و ویژگی‌های کل سیستم حفاری است. بنابراین در مدیریت مؤثر ناپایداری شیل‌ها، فاکتورهای زیادی را باید در نظر گرفته شده و ساده‌ترین و در عین حال مؤثرترین شیوه به کار گرفته شود. ناپایداری در حفاری چاه‌های نفت و گاز ممکن است توسط تنش‌های درجایی که در مقایسه با مقاومت سازند بسیار بالا هستند و یا بر هم کنش‌های فیزیکی - شیمیایی میان گل حفاری و شیل و یا ترکیبی از هر دو باشد. در نتیجه بسته به مشکلات ناشی از ناپایداری چاه، ناپایداری به دو دسته کلی ناپایداری مکانیکی و ناپایداری شیمیایی تقسیم می‌گردد.

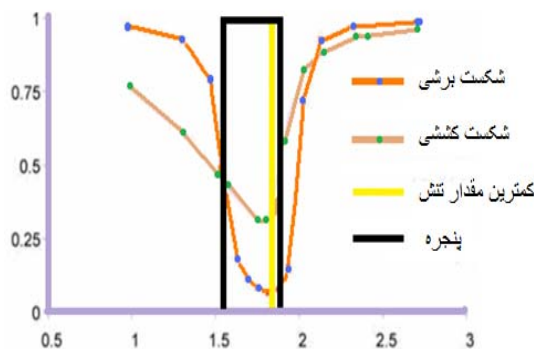
۳-۱- عوامل شیمیایی

ناپایداری شیمیایی غالباً در سازندهای شیلی دیده می‌شود و شدیداً تحت تأثیر ترکیب سیال حفاری می‌باشد. شیل پیچیده‌ترین سنگ بوده و تا به امروز به درستی شناخته نشده است، شیل دارای تخلخل بالایی است ولی به علت مقدار زیاد کانی‌های رسی و غیرقابل نفوذ، دارای نفوذپذیری پائینی می‌باشد. واکنش رس موجود در شیل با سیالات نامناسب حفاری، باعث انبساط و ایجاد تنش‌های هیدرولیکی و تغییر خواص آن در طول زمان خواهد شد (Rahman and et al., 2000). از این رو واکنش شیمیایی شیل با سیالات حفاری پایه آبی ممکن است باعث به وجود آمدن مشکلات جدی در امر پایداری دیواره چاه شود.

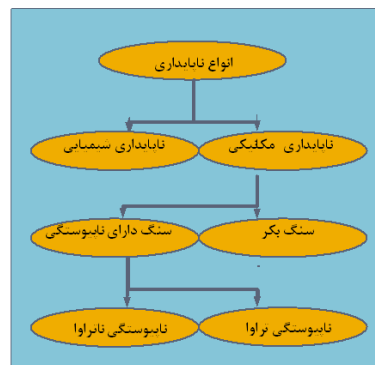
تغییر در فشار منفذی اثر شدیدی بر روی پایداری چاه در حین حفاری شیل دارد، زیرا همان‌طور که اشاره شد، شیل نفوذ پذیری پائینی دارد و جریان یون‌ها و آب در آن بسیار کند می‌باشد. از این امر استدلال می‌شود که در هنگام حفاری تغییر فشار منفذی عمده‌ای در نزدیک دیواره چاه ایجاد می‌شود و گرادیان فشار منفذی القائی بزرگی در آن منطقه کوچک به وجود خواهد آمد (Mengiiao and et al., 2003). به هر حال این رفتار شیمیایی شیل، منجر به جمع شدگی دیواره چاه در طول زمان می‌شود که بر اثر تبادل یونی از طریق غشای نیمه تراوای بین شیل و سیال حفاری و دیگر افزودنی‌های شیمیایی حادث می‌شود. اما با طراحی درست گل حفاری می‌توان از این امر جلوگیری کرد (Rahman and et al., 2000).

۳-۲- عوامل مکانیکی

عملیات حفاری سنگ سبب تداخل در ساختارهای طبیعی سنگ و تمرکز توزیع دوباره تنش‌ها در اطراف دیواره چاه باعث می‌گردد. مکانیسم ناپایداری مکانیکی چاه به دواصلی گروه تقسیم می‌شود که در شکل زیر دیده می‌شود:



شکل ۳: نمایش رابطه بین افزایش وزن گل و احتمال شکست



شکل ۴: نمایش شماتیک نوع ناپایداری

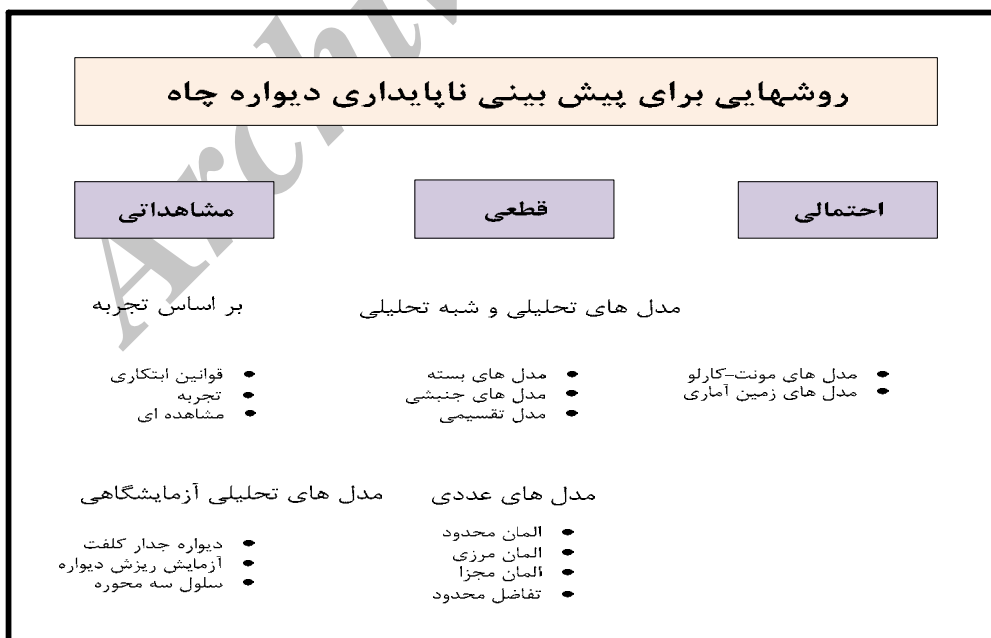
اصلی‌ترین عواملی که منجر به ناپایداری چاه، خصوصاً در سازندهای غیرشیلی می‌شوند، عوامل مکانیکی هستند که به طور کلی وابسته به وزن گل حفاری، روش حفاری و شرایط طبیعی و محیطی سازند می‌باشد. عوامل عمده اثرگذار بر پایداری دیواره چاه توسط مهندسی در دو دسته قابل کنترل و غیرقابل کنترل گروه‌بندی شده است که این عوامل در جدول (۱-۲) عنوان شده است.

جدول ۱: عوامل قابل کنترل و غیرقابل کنترل در چاه‌های نفت (McLelan, 1996)

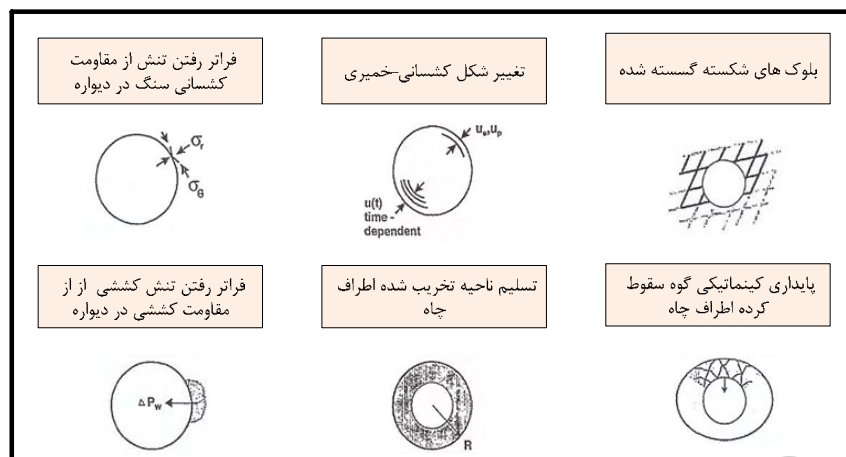
عوامل قابل کنترل	عوامل غیر قابل کنترل
<ul style="list-style-type: none"> تنش درجا فشار منفذی سازند لیتولوژی سنگ خواص شیمیایی آب منفذی استحکام سنگ رفتار انبساطی سازند شکاف های طبیعی تخلخل و نفوذ پذیری توزیع دانه ها و فضای حفره ای خواص حرارتی سنگ دمای سازند 	<ul style="list-style-type: none"> نوع سیال حفاری خواص شیمیایی گل حفاری فشار ته چاهی دانسیته معادل چربانی سرعت گردش مسیر چاه قطر چاه دمای ته چاه عمق نصب لوله جداری ارتعاش رشته حفاری

۴- پیش‌بینی ناپایداری دیواره چاه

در شکل ۴ یک طبقه‌بندی از روش‌های پیش‌بینی ناپایداری دیواره چاه بیان شده است. در این جدول روش‌های پیش‌بینی ناپایداری دیواره چاه به سه دسته مشاهداتی، قطعی، احتمالاتی تقسیم شده است.



شکل ۴: انواع روش‌های پیش‌بینی ناپایداری دیواره چاه (McLelan, 1996)



شکل ۵: انواع مدل‌های استفاده شده جهت تفسیر ناپایداری چاه شکل ۷ انواع گسیختگی برشی

۵- تعیین پارامترهای مورد نیاز در بررسی پایداری دیواره چاه

دو روش کلی برای تعیین جهت تنش‌های اصلی افقی و قائم شکل گرفته است که به شرح زیر است:

الف- تعیین مقدار تنش در جای قائم (σ_z)

تنش در جای قائم در هر نقطه از چاه معادل وزن روباره می‌باشد. بنابراین انتگرال‌گیری دانسیته لایه‌های بالای، بار

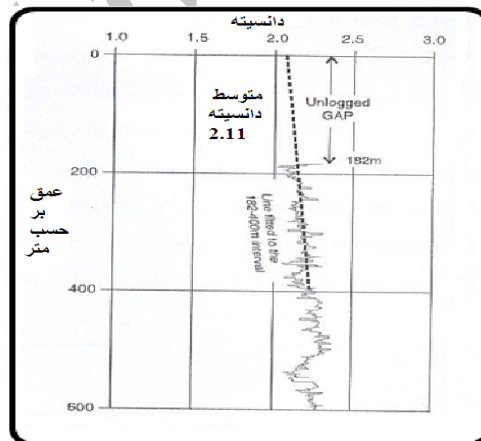
$$\sigma_v = \int_0^D P_b dt$$

را در نقطه‌ای مورد نظر تعیین می‌کند.

که P_b دانسیته حجمی سنگ اشباع از سیال و D عمق مورد نظر برای محاسبه σ_v است.

در اکثر چاه‌ها لاگ دانسیته برای قسمت‌های فوقانی چاه وجود ندارد که با استفاده از برون‌یابی خطی، دانسیته

این ناحیه تخمین زده می‌شود، شکل (۶) نمونه‌ای از تخمین دانسیته این ناحیه را نشان می‌دهد.



شکل ۶: تخمین دانسیته نواحی بدون لاگ با استفاده از برون‌یابی خطی

ب- تعیین مقدار تنش‌های در جای افقی (σ_h, σ_H)

برای تعیین مقدار تنش‌های افقی، روش‌های متعددی وجود دارد. مقدار σ_h را می‌توان به ترتیب دقت‌های

مختلف و شکست هیدرولیکی بدست آورد. روش توسعه داده شده توسط ژوو در سال ۱۹۹۴ مناسب می‌باشد زیرا فقط

با اندازه‌گیری‌های ابزار شیب‌سنج و وسائل تصویرگر چاه به بازوهای کوچک و بزرگ نیاز دارد. روش سوم برای تخمین

مقدار σ_H ، شامل به کار بردن روش آنالیز معکوس به منظور اندازه‌گیری فشار شکست که این روش به حالتی محدود می‌شود که وضعیت مناسبی بین مسیر چاه‌ها و همچنین اندازه‌گیری‌های مربوط به شکاف‌ها وجود داشته باشد.

جدول ۲: انواع تست‌ها برای تخمین تنش افقی

نام آزمایش	روش انجام آزمایش	ملاحظات
Micro-FT	این شکست به وسیله تزریق آهسته حدود ۱ متر مکعب سیال با ویسکوزیته کم، از طریق چاه باز یا لوله جداري مشبک شده به داخل سازند ایجاد می‌شود. یک شکاف بارها باز و بسته می‌شود، بنابراین کاهش‌های پی‌درپی فشار بر روی نمودار نشان داده می‌شود تا فشار ثابت بسته شدن بدست آید.	این فشار معادل کوچکترین تنش اصلی است که در بیشتر حوضه‌ها کوچکتر از σ_v و برابر با σ_H می‌باشد
Mini-FT	شامل تزریق سریع سیال ویسکوزی در حدود بیش از ۱۰ متر مکعب می‌باشد. مقدار σ_H را می‌توان از منحنی فشار-زمان ثبت شده، معادل فشار بسته شدن شکاف تعبیر کرد.	تست تحریک شکاف‌های قبلی می‌باشد
LOT	سر چاه بسته می‌شود، در نتیجه فشار ستون بالا می‌رود و چاه تحت فشار قرار می‌گیرد. این روند ادامه می‌یابد بنا منحنی فشار حجم از حالت خط راست منحرف شود. نقطه انحراف را به عنوان فشار نفوذ تعریف می‌کنند.	اگر Micro-FT یا Mini-FT در چاه‌های مجاور انجام نشده بود و توصیه می‌شود که فقط به داده‌های تستی که در عمق بیش از ۳۰۰ متر انجام شده است رجوع شود.

۶- تعیین خواص مکانیکی سنگ

طراحی مناسب عملیات حفاری ایجاب می‌کند که خواص ژئومکانیکی سازند را بشناسیم. خواص کشسانی سنگ برای بیان مقاومت سنگ در برابر تنش، بدون اینکه تغییر شکل دائم رخ دهد، تعریف می‌شود. که شامل مدول یانگ، ضریب پواسون، مدول برشی، مدول حجمی و ضریب تراکم پذیری می‌باشد. این پارامترها را می‌توان از طریق تست فشاری تک‌محوره و سه‌محوره بر روی نمونه مغزه و یا از طریق لاگ‌های الکتریکی، بخصوص داده‌های صوتی بدست آورد. مقادیر اندازه‌گیری شده به روش اول استاتیک و به روش دوم دینامیک اختلاف وجود دارد. اما با این وجود، روش دینامیک به دلیل صرفه‌جویی در زمان و هزینه‌ها، با وجود دقت پایین‌تر آن نسبت به روش استاتیک، در میداین نفتی مرسوم شده است.

جدول ۳: روابط دینامیکی مورد استفاده در تحلیل‌ها

$v_t = \sqrt{\frac{k + \frac{4}{3}G}{\rho_b}}$	سرعت امواج طولی V_L
$v_t = \sqrt{\frac{G}{\rho_b}}$	سرعت امواج عرضی
$E = \frac{\rho_b}{\Delta t_T^2} \left[\frac{3\Delta t_T^2 - 4\Delta t_l^2}{\Delta t_T^2 - \Delta t_l^2} \right] * 1.34 \square 10 \text{ psi}$	مدول الاستیسیته دینامیک
$k = \rho_b \left[\frac{3\Delta t_T^2 - 4\Delta t_l^2}{3\Delta t_T^2 - \Delta t_l^2} \right] * 1.34 \square 10 \text{ psi}$	مدول بالک دینامیک
$G = \frac{\rho_b}{\Delta t_T^2} * 1.3 \square 10$	مدول برشی دینامیک
$v = \frac{1}{2} \left[\frac{\Delta t_T^2 - 2\Delta t_l^2}{\Delta t_T^2 - \Delta t_l^2} \right]$	ضریب پواسون

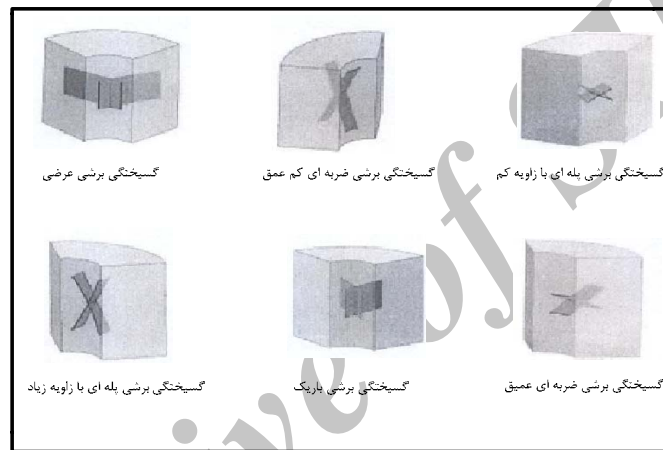
در این روابط ρ_b بر حسب گرم بر سانتی‌متر مکعب می‌باشد

۷- انواع گسیختگی

تنش‌های برجا، مقاومت سنگ دربرگیرنده، فشارمغذی و فشار سیال حفاری پارامترهای مؤثر در وقوع گسیختگی در دیواره چاه هستند. در این بخش گسیختگی‌های موجود در دیواره چاه بدون در نظر گرفتن ناپیوستگی‌های موجود در دیواره چاه به دو گروه اصلی گسیختگی برشی و گسیختگی کششی تقسیم شده‌اند.

۷-۱- گسیختگی برشی

یکی از متداولترین گسیختگی‌های موجود در دیواره چاه‌های نفتی که در شکل زیر نشان داده شده است، گسیختگی برشی است. مطالعات و تحقیقات وسیعی برای درک شکل و نحوه تشکیل این نوع از گسیختگی صورت گرفته است. اصلی‌ترین مکانیسم به وجود آورنده چنین گسیختگی شکست برشی است. انواع گسیختگی‌ها در زیر با شکل آورده شده است:



شکل ۷: انواع گسیختگی برشی (Birchwood, 2002)

جدول ۴: انواع گسیختگی‌های برشی

گسیختگی برشی عرضی	هنگامی رخ می‌دهد که تنش مماسی واقع در دیواره چاه تنش بیشینه و تنش شعاعی (فشار چاه) تنش کمینه باشد. عرض ناحیه گسیخته شده در این حالت در حدود ۲۰ تا ۹۰ درجه است
گسیختگی برشی ضربه ای کم عمق	هنگامی رخ می‌دهد که تنش محوری، تنش بیشینه و تنش شعاعی، تنش کمینه باشد. این دو تنش در صفحه قائم عمل کرده و عامل به وجود آورنده گسیختگی برشی می‌باشد، که در راستای تنش افقی کمینه قرار می‌گیرد.
گسیختگی برشی پله ای با زاویه کم	هنگامی رخ می‌دهد که تنش مماسی، تنش اصلی بیشینه و تنش قائم، تنش اصلی کمینه باشد. در نتیجه یک ترک برشی با زاویه بسته به وجود می‌آید
گسیختگی برشی پله ای با زاویه زیاد	هنگامی رخ می‌دهد که تنش مماسی، تنش اصلی کمینه و تنش قائم، تنش اصلی بیشینه باشد. در نتیجه یک ترک برشی با زاویه باز به وجود می‌آید که حدود یک چهارم محیط چاه را احاطه می‌کند.
گسیختگی برشی باریک	گسیختگی برشی باریک هنگامی رخ می‌دهد که تنش شعاعی (فشار چاه)، تنش اصلی بیشینه و تنش مماسی، تنش اصلی کمینه باشد.
گسیختگی برشی ضربه ای عمیق	گسیختگی برشی ضربه‌ای عمیق هنگامی رخ می‌دهد که تنش شعاعی (فشار چاه)، تنش اصلی بیشینه و تنش اصلی کمینه باشد.

۲-۷- گسیختگی کششی

گسیختگی کششی معمولاً در دیواره اطراف چاه‌های باز (بدون لوله جداری) جایی که تنش‌های شعاعی با فشار گل حفاری کنترل می‌شود رخ می‌دهد. افزایش ناگهانی در فشار گل می‌تواند از مقاومت کششی سنگ تجاوز کرده و باعث گسیختگی کششی در چاه‌ها و به دنبال آن باعث افزایش ابعاد چاه و هرزروی گل شود. شرط به وجود آمدن چنین گسیختگی به قرار زیر است:

$$\sigma_3 + T_0 \leq 0$$

که در آن σ_3 تنش کمینه اصلی وارد بر دیواره چاه، T_0 مقاومت کششی سنگ است.



شکل ۸: انواع گسیختگی کشش (Birchwood, 2002)

جدول ۵: انواع گسیختگی کششی

گسیختگی کششی قائم	هنگامی رخ می‌دهد که تنش مماسی وارد بر دیواره چاه از حد مقاومت کششی سنگ در برگیرنده چاه تجاوز کند.
گسیختگی کششی افقی	گسیختگی کششی افقی به ندرت در دیواره چاه مشاهده می‌شود.
گسیختگی کششی استوانه‌ای	هنگامی رخ می‌دهد که تنش شعاعی کششی وارد بر دیواره چاه از مقاومت کششی سنگ در برگیرنده چاه تجاوز کند.

۳-۷- تأثیر فشار منفذی بر پایداری دیواره چاه

فشار منفذی سازند فاکتوری بسیار مهم و اثرگذار بر روی آنالیز پایداری دیواره چاه و عملیات حفاری می‌باشد. اگر فشار منفذی به طور مناسبی تخمین زده نشود، منجر به ایجاد مشکلاتی در حین حفاری مانند چسبیدن لوله‌ها، ناپایداری دیواره چاه، هرزروی سیال حفاری، فوران چاه و به طور کلی افزایش هزینه‌های عملیاتی خواهد شد. تأثیر فشار منفذی بر روی خواص مکانیکی سنگ‌های اشباع به طور وسیعی به وسیله نظریه تنش مؤثر، که ترازقی آن را تنش کنترل کننده تراکم یا برش در سنگ تعریف کرده است، مورد تحقیق و بررسی قرار گرفته است.

$$\sigma_e = \sigma_t - P_p$$

که σ_t و σ_e به ترتیب تنش کلی و تنش مؤثر وارد بر سنگ و P_p فشار منفذی می‌باشد.

تجارب آزمایشگاهی و مشاهدات دقیق در میادین نفتی منجر به اصلاح رابطه مذکور به صورت زیر شد:

$$\sigma_e = \sigma_t - \alpha P_p$$

طبق نظریه برندت، α ضریب تصحیحی می‌باشد که اثر فشار منفذی را بر روی خنثی کردن فشار کلی وارده نشان می‌دهد. طبق نظر شخص مذکور مقدار این ضریب بین صفر و یک، بسته به شکل هندسی منافذ و خواص اجزای سازند متغیر می‌باشد. گیرتسما و اسکمپتون رابطه زیر را برای مقدار α پیشنهاد دادند:

$$\alpha = 1 - \frac{K}{K_r}$$

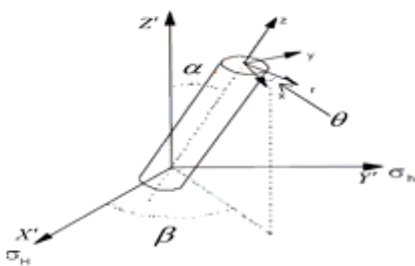
در اینجا K مدول حجمی سنگ متخلخل و K_r مدول حجمی ماتریس سنگ می باشد. اگر حالت جریان پایا فرض شود، فشار منفذی فقط با شعاع تغییر خواهد کرد و از قانون دارسی پیروی می کند.

$$\bar{K} = \frac{QM}{2\pi kh} \left(\frac{r}{R} \right) P(r) = P_1 + \ln(\bar{K})$$

در این فرمول Q دبی سیال، M گرانروی سیال، h ضخامت مخزن و K نفوذ پذیری می باشد.

۸- تحلیل تنش چاه مایل

با استفاده از تحلیل‌های تانسوری تنش می‌توان وضعیت چاه شیب‌دار را مورد ارزیابی قرار داده و به تخمین مناسبی از شرایط پایداری دست یافت. برای محاسبه تنش‌های شعاعی و مماسی دیواره چاه مایل به تعدادی تبدیلات تنش نیاز می‌باشد. هندسه چاه مایل را می‌توان با استفاده از یک دستگاه مختصات محلی (XYZ) تعریف نمود که محور Z منطبق با محور چاه، محور X موازی تصویر افقی گمانه و محور Y خط عمود بر محور X می‌باشد (شکل ۹).

$$\begin{bmatrix} \sigma_x \\ \sigma_y \\ \sigma_z \\ \tau_{xy} \\ \tau_{yz} \\ \tau_{zx} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sin^2 \beta & \cos^2 \beta & 0 \\ \cos \beta \cos \alpha & \sin \beta \cos \alpha & \sin^2 \alpha \\ \cos \beta \sin \alpha & \sin \beta \sin \alpha & \cos^2 \alpha \\ -\sin \beta \cos \beta \cos \alpha & \sin \beta \cos \beta \cos \alpha & 0 \\ \cos \alpha \sin \alpha (\cos \beta) & \cos \alpha \sin \alpha (\sin \beta) & -\cos \alpha \sin \alpha \\ -\sin \alpha \cos \beta \sin \beta & \sin \alpha \sin \beta \cos \beta & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \sigma_H \\ \sigma_h \\ \sigma_v \end{bmatrix}$$


شکل ۹: دستگاه مختصات محلی چاه مایل

زاویه α انحراف محور گمانه از جهت قائم (شیب چاه)، زاویه آزیموت گمانه β در جهت پادساعتگرد از محور X' تا تصویر افقی محور چاه در صفحه $X'Y'$ را نشان می‌دهد.

۹- راه‌های مقابله با ایجاد ناپایداری به هنگام حفاری در لایه‌های ماسه ای

بیش از ۷۰ درصد حفاری و تولید نفت در جهان از مخازن ماسه سنگی انجام می‌شود. در زمان تولید اختلاف فشار سازند با چاه سبب ایجاد مکانیزم‌های برشی و یا کششی و در نهایت تولید ماسه خواهد شد. که به دو صورت می‌توان از ریزش جلوگیری کرد:

- ✓ تعیین وزن گل مناسب اهمیت پیدا می‌کند و از مهمترین عوامل کنترل است.
- ✓ می‌توان با حفاری جهت دار مناسب از ریزش چاه جلوگیری کرد.

۱۰- راه‌های مقابله با ایجاد ناپایداری به هنگام حفاری در لایه‌های شیلی

مؤثرترین شیوه برای حل و یا مدیریت مشکلات ناشی از ناپایداری شیل‌ها می‌توانند بررسی وزن، نوع، شیمی و ذرات گل حفاری و همچنین استراتژی راندن لوله جداری باشد. تاثیرات مکانیکی، شیمیایی و فیزیکی ناشی از برهم

کنش بین گل و سازند ممکن است که به کاهش ناپایداری چاه در بازه های نه‌چندان مقاوم منجر شود. راهکارهای مقابله با ناپایداری دیواره چاه به ترتیب عبارتند از:

الف- افزایش غلظت نمک موجود در گل حفاری ب- استفاده از گل حفاری پایه نفتی ج- بررسی و مطالعه وضعیت تنش‌های درجا د- کاهش دمای گل حفاری ه- استفاده از گل حفاری حاوی هیدروکسید پتاسیم و- استفاده از گل حفاری حاوی کلرید پتاسیم ز- استفاده از گل حفاری حاوی مواد پلیمری ح- استفاده از گل حفاری حاوی مواد آهکی و یون کلسیم ط- وزن ایمن گل حفاری.

۱۱- نتیجه گیری

روش‌های پیشگیری که از شکست القایی سازند:

- باید وزن مخصوص گل به اندازه کافی بالا باشد که فشار سازند را کنترل کند.
- پایین آوردن گرانش و مقاومت ژله ای
- جلوگیری از فشار موجی که ناشی از تند راندن لوله ها به داخل چاه می باشد.
- جلوگیری از تویی شدن مته و طوق مته ها
- در هنگام حفاری باید از افزایش فشار ته چاه جلوگیری نمود که بوسیله عوامل: نامناسب بودن رئولوژی سیال حفاری و هیدرولیک، نرخ جریان بالا، اندود صافی ضخیم فشار موجی، درست شدن پل از ذرات در فضای حلقوی.

روش های مقابله با ناپایداری:

- برنامه ریزی قبل از حفاری
- فرآیند تقویت بدنه چاه
- بسته نرم افزاری
- انجام فرآیند مقاوم سازی

۱۲- منابع

1. Birchwood, R. 2002, Options for enhanced wellbore stability.
2. Helstrup, O.A.; Chen, Z. and Rahman, S.S., 2004, Time-dependend wellbore instability and ballooning in naturally fracture formation, Journal of petroleum science and engineering, No. 43, pp. 113-128.
3. Hawkes, C.D.; Smith, S.P. and McLellan, P.J., 2002, Coupled modeling of borehole instability and multiphase flow underbalanced drilling, paper SPE presented at the IDAC/SPE Drilling conference, Dallas, Texas, 26-28.
4. McLellan, P.J., 1996, Assessing the risk of wellbore instability in horizontal and inclined wells, Journal of Canadian petroleum technology, Vol.35, No.5, pp.21-32.
5. Mengjiao, Y.; Chenevert, M.E. and Sharma, M.M., 2003, Chemical-mechanical wellbore instability model for shale: accounting for solute diffusion, Journal of petroleum science and engineering, No. 38, pp.131-143.
6. Nawrocki, P.A.; Dusseault, M.B. and Bratli, R.K., 1998, Use of uniaxial compression test result in stress modeling around opening in nonlinear geomaterials, Journal of petroleum science and engineering, No. 21, pp.79-94.
7. Rahman, M.K.; Naseby, D. and Rahman, S.S., 2000, Borehole collapse analysis incorporating time-depend pore pressure due to mud penetration in shale", Journal of petroleum science and engineering, No.28, pp.13-31.
8. Tara, U.A. and Mody, F.K., 2002, Managing borehole stability problem: On the learning, Unlearning and Relearning curve, paper AADE presented at the AADE Technology conference, Houtson, Texas.