

کاربرد دانش مکانیک سنگ در حفر چاه

یک دوره کامل از بارگذاری و باربرداری روی سازند، بسیار حائز اهمیت است. علاوه بر آن، ارزیابی نمونه های سیمانی و سازند در مورد اثر بارگذاری دوره ای در خلال حفر چاه می تواند بسیار مفید باشد. رابطه تنش و کرنش، چارچوب عکس العمل مواد دانه ای سازند را به بار وارده تشریح می کند. این رابطه نشان می دهد که مواد، رفتار الاستیک یا پلاستیک، ترد یا نرم، نرم شوندگی کرنشی (Strain Softening) یا سخت شوندگی کرنشی (Strain Hardening) در حین بارگذاری از خود نشان می دهند.

ترجمه و تدوین:

آرش خسروی - شرکت مهندسی و توسعه نفت

مقدمه

ایجاد یک چاه دایره ای و اقدام به حفاری و نهایتاً استفاده از سیالات حفاری و تکمیل چاه در سازند پایدار، دلیلی است برای به وجود آمدن یک سری از پدیده ها که باعث عدم پایداری چاه، خرابی لوله های جداری، شکست مشبک کاری و تولید ماسه می شود.

چاه استوانه ای سبب تمرکز تنش می شود که می تواند به چند برابر قطر چاه در اطراف آن گسترش یابد. این تمرکز تنش که متفاوت از تنش های دور از میدان است، می تواند از مقاومت سازند فراتر رود و در نتیجه آن شکست روی دهد. حفر چاه استوانه ای و ورود سیالات خارجی به سازند باعث ایجاد اثرات زیر در اطراف چاه می شود:

- ۱) ایجاد میدان تمرکز تنش.
- ۲) رهاشدن از شرایط محصور شدگی (فشار همه جانبه).
- ۳) جابه جایی غیر الاستیک و زمان تابع که از به وجود آمدن سطح آزاد ناشی می گردد. شدت این اثرات و شکست منتج از آن به مقادیر تنش و خواص مکانیکی سازند بستگی دارد.
- ۴) فشار منفذی را مختل می کند که خود باعث تمرکز فشار و بالا بردن آن می شود.
- ۵) مقاومت چسبندگی سازند را کاهش می دهد که به واکنش سیال با بافت سازند بستگی دارد.
- ۶) نیروهای موینگی را تغییر می دهد.

خواص مکانیک سنگی

در این مورد بیشتر از خواصی استفاده خواهد شد که به فعالیت فواصل نزدیک چاه مربوط است. این فعالیت ها شامل ناپایداری چاه مرتبط با حفاری آن، شکست سیمان، مفاهیم مکانیک سنگ در مشبک کاری، آغاز آبشکاف (Hydraulic Fracturing)، هندسه شکست در اطراف چاه و تولید ماسه خواهد بود.

خواص مکانیکی مورد بحث شامل خصوصیات بارگذاری - باربرداری و بارگذاری دوره ای، پروالاستیسیته، تخریب منافذ و مقاومت در برابر شکست است.

خصوصیات بارگذاری - باربرداری

حفر یک چاه باعث بارگذاری و باربرداری روی سازند و پوشش سیمانی آن می شود. بنابراین مطالعه روی خصوصیات

پروالاستیسیته

در جوار چاه، می توان پروالاستیسیته را بر اساس مفهوم تنش مؤثری که توسط (Terzaghi ۱۹۴۳) معرفی شد، مورد ارزیابی قرارداد. این مفهوم بیانگر این است که فشار منفذی به خشی کردن تنش مکانیکی وارده از طرف تماس دانه به دانه مواد، کمک می کند. این بدان معنی است که تنش مؤثر از تنش اصلی وارده کوچکتر است.

ویسکوالاستیسیته

«خزش» یک خاصیت ویسکوالاستیک یا پدیده ای تابع زمان است که در ساخت چاه باعث ایجاد مشکلاتی می شود. تابع خزش، خواص رئولوژیکی سنگ را مشخص می سازد.

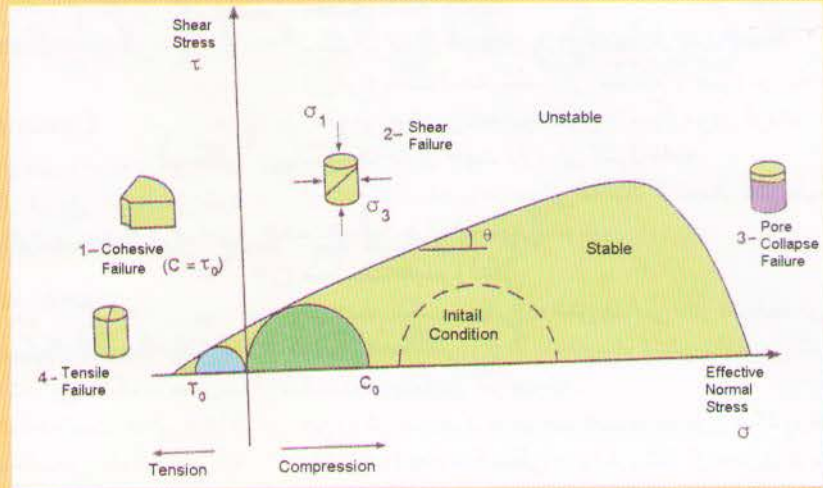
سختی شکست

سختی شکست خاصیتی از ماده است که مقاومت سنگ را در مقابل انتشار شکستگی و ایجاد حالتی از شکست نشان می دهد. برای انتشار شکست شعاعی یا سکه ای شکل شرایط خاصی باید در نوک شکستگی حاکم باشد. زمانی که مکانیک شکست الاستیک خطی مورد استفاده قرار می گیرد، منحنی شکست می تواند به مقاومت کششی (با فرض شرایط استاتیک) مرتبط باشد.

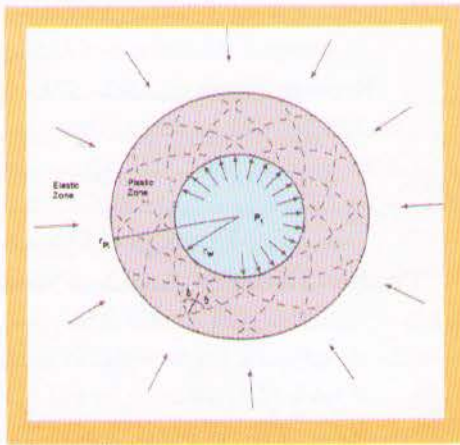
فروریزش منفذی

اگر چه تخریب یا فروریزش منفذی یک فاکتور مهم در زمان تخلیه مخزن به حساب می آید، در طراحی چاه بایستی برای این خاصیت مکانیک سنگی حسابی جداگانه باز کرد، چرا که در نظر گرفتن این فاکتور به معنی جلوگیری از مشکلات بعدی در اطراف چاه است. این مشکلات عبارتند از: نشست زمین، شکست لوله جداری، تخریب مشبک کاری و دیگر آسیب ها. فروریزش منفذی توسط تخلیه فشار منفذی حادث می شود که می تواند مشکلاتی را در مخزن به وجود آورد، مانند کاهش تخلخل و نفوذپذیری (بخصوص در پیرامون چاه)، تولید ماسه و مهاجرت دانه های نرم از نقطه ای به نقطه دیگر.

فروریزش منفذی همچنین می تواند باعث تراکم در سرتاسر لایه های رو باره گردد که به تبع آن مشکل نشست و برش چاه را به وجود می آورد و در نتیجه آن لوله جداری و حتی در بعضی حالات لوله مغزی تخریب می شود. شکل ۱ بخش فروریزش منفذی را که توسط ملاک شکست Mohr تشریح شده، نشان می دهد.



شکل ۱: مکانیزم شکست تفاضلی و محل‌های تنش مربوط به آن در پوش شکست Mohr - Coulomb



شکل ۲: نواحی پلاستیک و الاستیک اطراف چاه

میدان‌های تنش اطراف چاه

وقتی در یک چاه به صورت فعال بارگذاری اعمال می‌شود (فشار چاه کمتر از فشار مخزن است) یا به صورت غیر فعال بارگذاری شود (فشار چاه از فشار مخزن بیشتر است) دیگر اثرات تنش می‌توانند باعث شکست سازند گردند. اگر ما یک توده سنگ همگن، همسانگرد و الاستیک خطی را در نظر بگیریم که در زیر حد تسلیم خود تنیده شده باشد (مورد تنش واقع شده باشد)، میدان تنش آن در مختصات قطبی به صورت عمودی، مماسی و شعاعی بیان می‌شود.

همانطور که مشخص است، تنش حداقل افقی ($\sigma_{H,min}$)، تنش حداکثر افقی ($\sigma_{H,max}$) و تنش عمودی (σ_V) بایستی در منطقه معین گردند. با دانستن آنها بسیاری از مسائل مکانیک سنگی قابل حل خواهند بود.

وقتی چاهی در یک سازند بکر حفر می‌گردد، قبل از حاکم شدن منطقه الاستیک بر جا، یک منطقه پلاستیک در جوار چاه و به اندازه چند برابر قطر چاه توسعه می‌یابد (شکل ۲). این منطقه پلاستیک می‌تواند مشکلات ناپایداری عدیده‌ای را در خلال حفاری به وجود آورد. در ناحیه مخزن، به دلیل تولید ماسه، منطقه پلاستیک ممکن است به صورت عمیق‌تر در مخزن توزیع گردد. در سنگهای شکسته شده، امکان فروریزش چاه وجود دارد، مگر اینکه از سیالی با وزن بسیار بالا استفاده شود. اندازه منطقه الاستیک بایستی برای اطمینان از پایداری چاه، مشبک کاری‌ها و تولید ماسه، کاملاً شناسایی گردد.

ملاک شکست

برای تفهیم مکانیزم شکست، بایستی یک ملاک یا معیار شکست خاص را مورد استفاده قرار دهیم. مواد دانه‌ای، مثل ماسه، در حالت برش می‌شکنند در حالی که در مواد نرم مانند رسها، فشردگی پلاستیک در مکانیزم شکست حکم فرماست.

پایداری چاه یا پیرامون آن گردند:

- ۱) شکست برشی بدون تغییر شکل پلاستیک محسوس مانند انفجار.
 - ۲) تغییر شکل پلاستیک و فشردگی که ممکن است سبب فروریزش منفذی گردد.
 - ۳) شکست کششی که باعث جدا شدن سازند از هم می‌شود.
 - ۴) شکست چسبندگی، معادل با فرسایش که می‌تواند باعث جابه‌جایی ذرات نرم و تولید ماسه گردد.
 - ۵) خزش که سبب تنگ شدن چاه در حین حفاری می‌شود.
 - ۶) فروریزش منفذی که شکست جامعی از ساختار بافت است و می‌تواند در زمان تولید چاه به وقوع بپیوندد.
- بسیاری از ملاکهای تجربی اصطلاح شدند تا بتوانند شکست سنگ را پیش‌گویی کنند. درک تفسیر فیزیکی از این ملاک‌ها قبل از اینکه از آنها در مورد مشکلات مربوط به حفر چاه استفاده کنیم، بی‌فایده است. چنین ملاک‌هایی، تجربی هستند و مهندسان بایستی در انتخاب آنها در مورد مسایل موجود دقت کافی به خرج دهند. معمولاً ملاک شکست، برای به دست آوردن پوش‌های شکست به کار می‌رود تا نواحی پایدار و ناپایدار را تفکیک کند. بعضی از مهندسان سعی می‌کنند که پوش شکست را به صورت خطی در بیاورند که این عمل جنبه

تصنعی به کار می دهد. ملاکهایی که برای کار بر روی چاه و اطراف آن معمولاً مورد استفاده قرار می گیرند در زیر آورده شده اند:

○ ملاک شکست Coulomb - Mohr

این ملاک شکست به مقاومت برشی وابسته به نیروهای تماسی، اصطکاک و چسبندگی های فیزیکی مرتبط می شود که در میان دانه های توده وجود دارد. تقریب خطی این ملاک به شکل زیر است.

$$\tau = c + \sigma_n \tan \phi$$

که τ تنش برشی، c مقاومت چسبندگی و ϕ زاویه اصطکاک داخلی و σ_n تنش عمودی موثر است. این ملاک به صورت خطی است و به طور تجربی به دست آمده است. دواير Mohr که در شکل یک نشان داده شده اند، اساس یک آزمایش سه محوره فشاری است که نقش اساسی در این ملاک بازی می کنند. پوشش حاصل از این دواير مرز بین پایداری و عدم آن است.

○ ملاک شکست Brown-Hoek

این ملاک نیز تجربی است و برای مخازن شکسته شده به طور طبیعی به کار برده می شود. این ملاک در مورد شکست ترد جویگوست ولی در مورد شکست نرم و شکل پذیر نتایج ضعیفی ارائه می دهد.

○ ملاک شکست Prager-Drucker

این ملاک شکست همان ملاک اصلاح شده Von Mises است که سطوح تنش را به صورت یک هشت و جهی در نظر می گیرد و بر اساس تنش برشی است. اگر سطوح تنش بالا باشند می توان از این ملاک استفاده نمود.

□ کاربردهای مربوط به مکانیک اطراف چاه

○ ناپایداری اطراف چاه در خلال حفاری

بیشترین مشکلات ناپایداری چاه در سازندهای شیلی اتفاق می افتد. چند مکانیزم سبب ناپایداری چاه می گردد که عبارتند از عوامل شیمیایی و مکانیکی.

- اثرات شیمیایی

این اثرات عبارتند از: تورم رس (هیدراسیون) و مهاجرت، مبادله یونی، فساد سیمانی و تخریب در اطراف چاه.

- اثرات مکانیکی

اثرات مکانیکی در چاه به صورت شکستگی مدنظر قرار خواهد گرفت که دو مکانیزم شکست کششی و برشی در این میان حکم فرما خواهند بود. در این بین وزن سیال حفاری نیز از لحاظ مکانیکی موثر است.

○ مشبک کاری

مشبک کاری های بدون نقص، سبب تولید کافی و بدون مانع، بدون هیچ افت و تولید ماسه ای خواهند شد.

- مشبک کاری های جهت دار جهت شکست هیدرولیکی شناخت جهت بهینه مشبک کاری نقش اساسی در زوایای شکست زمین بر اساس اصول مکانیک سنگ خواهد داشت. شناخت مسائل تنش و مقاومتی می تواند شکست هیدرولیکی موفقیت آمیزی را از طریق مشبک کاری جهت دار

به دنبال داشته باشد.

- مشبک کاری خوشه ای برای شکستگی چاه

این نوع باعث ایجاد شکستگی متقاطع و عمود در چاه می شود که می تواند برنامه اسیدکاری را بسیار موفق گرداند.

- مشبک کاری جهت دار برای کنترل ماسه

ایجاد مشبک کاری در جهاتی که متأثر از اعمال تنش طبیعی هستند باعث تولید ماسه می شوند.

○ شکست هیدرولیکی

در نتیجه شکست وقتی که تنش مماسی، در هر نقطه ای از اطراف چاه، کششی و برابر با مقاومت کشش سازند می شود، شکست در چاه آغاز خواهد شد.

این روش هم اکنون در صنعت نفت در بسیاری از کشورهای جهان برای ایجاد شکستگی و تولید بیشتر از مخازن کربناته رواج دارد. نکته حائز اهمیت اینست که عدم کنترل وزن سیال حفاری و افزایش بیش از اندازه آن می تواند باعث ایجاد شکست هیدرولیکی شود که سلامت چاه را به مخاطره می اندازد.

○ تولید ماسه

وقتی چاهی در سازند کم تحکیم یافته حفاری می شود، شرایط نامحصولی که سبب ایجاد ناحیه پلاستیک می گردد، می تواند با مرور زمان در اطراف چاه گسترش پیدا کند. وقتی چاهی لوله جداره گذاری و سیمانکاری می شود، فشار همه جانبه دوباره احیاء می گردد، اما ناحیه پلاستیک قابل برگشت نیست و نهایتاً در زمان تولید، مواد ماسه ای جدا شده از این ناحیه تولید می گردند.

□ نتیجه گیری

در این برهه از زمان نیابستی مطالعات ژئومکانیکی مخصوصاً مکانیک سنگی را در طراحی یک چاه نادیده گرفت. دانش مکانیک سنگ، دانش شناخت رفتار زمین است. شناخت رفتار زمین با به دست آوردن تنش های موجود حاصل می شود. آزمایش های مکانیک سنگی و تفسیر نمودار های الکتریکی حاصل از چاه نیز برای به دست آوردن تنش ها به وجود آمدند.

در نتیجه با حصول اطلاعات لازم می توان چاهی را حفر نمود که ایمن ترین باشد و کمترین هزینه را به لحاظ خطراتی که آن را دنبال می کند، در برداشته باشد.

برگرفته از کتاب:

E. J. Economides, L. T. Watters. S. Dunn-Norman, "PETROLEUM WELL CONSTRUCTION", 1998