

تزریق جانبی رس در گسل‌های نرمال

ترجمه: نیما پاسدار
مدیریت اکتشاف

وجود آمده در اثر کشش، توسط رس تزریق شده جانبی پر می شود. در شکل ۲ b، با افزایش جابجایی یا Offset، نازک شدگی لایه رسی سبب یک خمش جزئی در لایه ماسه‌ای بالایی می شود. تغییر شکل در لایه ماسه‌ای نیز به وقوع می پیوندد که نتیجه وارد عمل شدن گسل دوم است. این گسل در بالای لایه رسی قرار داشته و تشکیل یک بلوک فشاری را می دهد.

طبق شکل ۲ c، حرکت رو به پایین بلوک فشاری سبب نازک شدگی تدریجی جانبی لایه رسی به طرف گسل اصلی در نتیجه تزریق رس به داخل گسل می شود.

مدل ساده شده در دیاگرام مور

طبق شکل ۲، اگر نقطه A را در ناحیه رسی فرض کنیم، تنش حداکثر σ_1 برابر با وزن طبقات فوقانی و تنش حداقل σ_3 به طور افقی قرار دارد و به طور مستمر با حرکت گسل کاهش پیدامی کند. این نتایج را می توان

چکیده
این مقاله مراحل تزریق رس جانبی را در داخل گسل‌های نرمال معرفی می کند. در این راستا مشاهدات صحرایی با مدل‌های ژئومکانیکی ترکیب شده اند تا پارامترهای مربوطه قابل تعیین باشند. مطالعات صحرایی نشان می دهد که خمش گسل در لایه رسی می تواند شرایط لازم را برای تزریق رس فراهم آورد که این مراحل اغلب همراه با یک بلوک فشاری است. در این مقاله از مدل "اجزاء یا عناصر محدود" و همچنین مدل آزمایشگاهی (Sand box) و سپس مقایسه آن با مدل‌های رقیمی و شواهد صحرایی استفاده شده است.

زون گسله تغییر شکل یابد را بیان می کند.

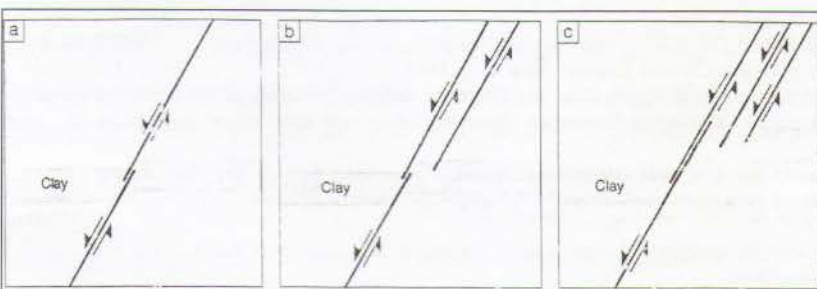
مدل جنبشی

در این مدل که توسط Pilaar, Lehner در سال ۱۹۹۷ عنوان شد، طبق شکل ۱ a، یک گسل با یک خمش در لایه رسی مفروض است. با افزایش افت قائم گسل، خمش به صورت ساختارهای کششی پول آپارت در داخل لایه رسی توسعه پیدامی کند. حفره به

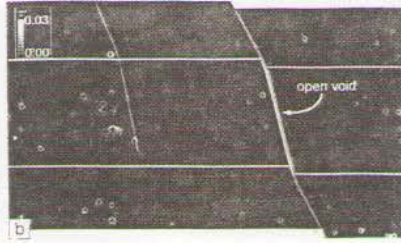
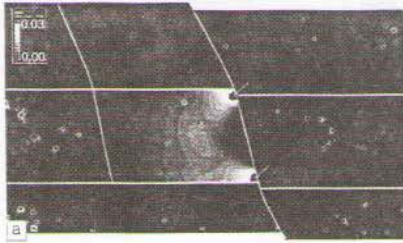
مقدمه

نتایج مدل‌های ذکر شده، همگی نشانه پیشرفت مراحل تزریق همزمان با زیاد شدن افت قائم گسل هستند این مدل در سازند Gharif در مرکز و جنوب عمان و یا سازند Natih در شمال عمان به کار گرفته شده است. این سیستم شامل توالی های ماسه-رس و یا رس-کربنات است.

در این ساختمانها خواص انتقال دهندگی گوزگسلی پارامتر بسیار مهمی برای کنترل کردن جریان یک سیال محسوب می شود. امروزه بیشترین تحقیقات عملی در مورد پروژه "Clay Smear" یا آغشتگی رس انجام می شود. این پروژه، فرآیندهایی را که سبب می شود رس موجود در سنگ دیواره به رس



شکل ۱: مدل ارائه شده Pilaar, Lehner با مدل جنبشی



شکل ۳. (a) در حالی که رس خاصیت پلاستیسیته داشته باشد (b) در حالی که خاصیت پلاستیسیته ندارند که در نتیجه باعث باز شدگی ساختار کششی پول-آپارات می‌گردد.

ارزیابی این حالت ایجاد شده است.

طبق این روش، سه لایه معرفی می‌شود: یک لایه رس در وسط و دو لایه ماسه در طرفین آن. نتیجه گیری حاصل از این مدل به ما نشان می‌دهد که ماسه، چسبندگی بالا، رس، چسبندگی کمتر و گسل، بدون چسبندگی (در یک عمق تقریبی چهار کیلومتر)، خواهد داشت.

هجوم تزریق رس

در این حالت، مثالی در قالب دو مدل بیان می‌شود: "مدل با تزریق رس" و "مدل بدون تزریق رس". (مطابق شکل ۳) هجوم تزریق رس توسط خاصیت پلاستیسیته لایه رسی در ساختار کششی پول آپارات می‌تواند به وجود آید. حال اگر لایه رسی خاصیت پلاستیسیته نداشته باشد، در آن صورت تزریق رس انجام نخواهد شد.

همچنین بیشترین شدت تغییر شکل ناشی از تنش (strain) را در نزدیکی حد فاصل رس-ماسه انتظار داریم و مجدداً نتیجه گرفته شد که بیشترین تزریق رس ابتدایی در گسل از فرو دیواره گسل منشاء می‌گیرد.

در آزمایش دیگر، در ارتباط با تغییرات تنش مطابق شکل ۴ به این نتیجه رسیدیم هر دو تنش σ_1 و σ_3 در اطراف خمش گسل کاهش پیدا می‌کند. این کاهش در حوضه

در دایره مور شکل ۲، دید که به واسطه آن، پایه راست که همان σ_1 است ثابت و پایه چپ σ_3 دارای حرکت به سمت چپ یا حرکت به سوی ناپایداری است. در نقطه A، دو احتمال وجود دارد:

(۱) اگر پوش تسلیم قبل از اینکه σ_3 صفر شود به وجود آمده باشد، در آن حالت جریان پلاستیکی رس به سمت ایجاد ساختار کششی پول-آپارات پیش می‌رود.

(۲) در یک رس با چسبندگی بیشتر، زمانی که پوش تسلیم مور در $\sigma_3=0$ قرار گیرد، در این حالت ساختار کششی باز می‌شود، چون لایه رسی فشار قائم را متحمل می‌شود بدون آنکه کشش داشته باشیم، بنابراین هیچگونه تزریقی نخواهیم داشت. در حالی از یک پلاستیسیته خطی "مور-کولمب"، وضعیت برای پیشروی تزریق جانبی توسط این فرمول عنوان می‌شود:

$$C = \frac{\sigma(1-\sin\phi)}{2\cos\phi} \quad \text{رابطه ۱}$$

C = چسبندگی Mpa

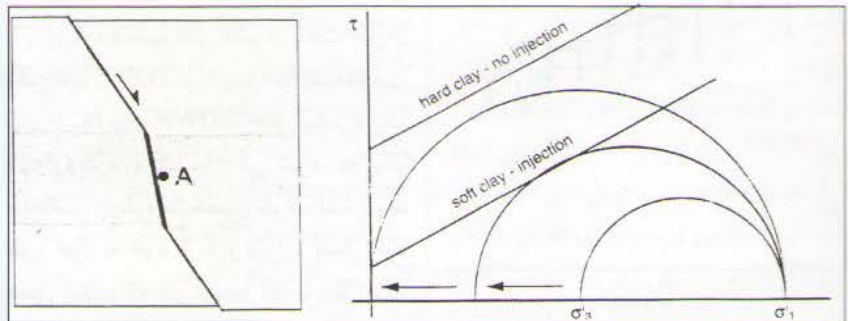
σ_1 = ماکزیمم تنش مؤثر Mpa

ϕ = زاویه اصطکاک داخلی (درجه)

سودمندی این معادله این است که همه پارامترهایی را که می‌توان از طریق Cutting data, Wireline به دست آورد، در این معادله لحاظ شده است. بنابراین می‌توان از آن برای پیشگویی هجوم تزریق رس در زیرزمین استفاده کرد.

مدل اجزاء محدود

محدودیت فرمول گفته شده این است که این فرمول نمی‌تواند تنشهای ناهمگن حوضه را در اطراف یک خمش گسل توصیف کند، بنابراین روشهای رقومی برای



شکل ۴. مدل ساده شده در دیاگرام مور

تنش به داخل لایه رسی نمی‌رسد.

برای تحقیق درباره تأثیر پارامترهای متفاوت در یک سیستم، یک سری آزمایشهای رقومی با دو جزء زاویه اصطکاک و چسبندگی برای رس انجام شد، که نتایج حاصل از این آزمایش‌ها به صورت یک دیاگرام چسبندگی-زاویه اصطکاک در شکل ۵ ترسیم شده است. این دیاگرام به ما نشان می‌دهد که اختلاف کاملاً مشخص میان دو وضعیت تزریق با رس و بدون تزریق با آن وجود دارد که در این دیاگرام توسط یک منحنی مرزی جدا شده‌اند. نکته عجیب که در این دیاگرام آورده نشده این است که آن نقاطی که به دور از حوضه تزریق رس قرار دارند رفتاری مشابه با نقاطی که در نزدیکی مرز هستند را نشان می‌دهند.

با طرح معادله ۱ در شکل ۵ می‌توانیم دریابیم که نتایج مدل "اجزاء محدود" خیلی پیچیده و مبهم است. ولی بزرگترین اختلاف میان مدل "اجزاء محدود" و مدل "ساده مور-کولمب" در حوضه تنش اینست که در مدل "اجزاء محدود" هم σ_3 و هم σ_1 کاهش می‌یابند، در صورتی که در مدل ساده "مور-کولمب" σ_1 ثابت می‌ماند.

تأثیر بلوک فشاری

برای تحقیق در مورد بلوک فشاری، ما مدل با گسل دوم را در نظر گرفتیم. ولی هیچگونه اختلافی بین مدل با گسل دوم و مدل بدون گسل دوم مشاهده نشد. در هر دو حالت مشاهده شد، رس اکثراً از لایه فرود دیواره گسلی تزریق می‌شود و همچنین محاسبه شده که هجوم تزریق رس با معادله ۱ مطابقت دارد. به طور کل، ناحیه شکل پذیر و قابل

"ZOWE" را به دنبال خواهد داشت، اما در آزمایشهای صورت گرفته برای لایه روباره نازک حالت استثنایی وجود داشت، چون در این آزمایشها قسمت خمش گسلی به طور خود به خود در لایه "ZOWE" شکل نمی گیرد، بنابراین تزریقی انجام نمی شود، که این مورد نیاز به مطالعه بیشتری دارد.

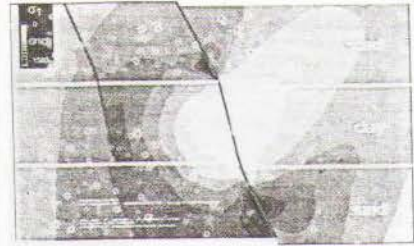
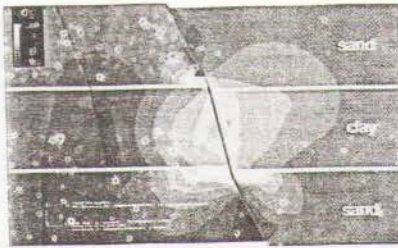
پتانسیل مکانیکی تزریق رس

بر اساس مدلی برای تزریق رس جانبی، معیار ویژه ای به عنوان پتانسیل مکانیکی تزریق رس یا (MCIP) بر اساس رابطه ۱ تعریف شده است:

$$MCIP = \frac{\delta l(1 - \sin\phi)}{(2 \cos\phi)c} \quad \text{رابطه ۲}$$

این معیار رفتار، تزریق جانبی را به داخل یک ساختار کشتی پور-آپارت در گسل پیش گویی می کند. پارامترهای این معیار توسط اطلاعات حاصل از خرده های حفاری و نمودارهای چاه پیمایی تعیین می شود، که یکی از مزیت های این رابطه است. بدین ترتیب، پارامتر MCIP بستگی به عوامل زیر دارد:

- ۱) مقاومت نسبی ماسه و رس در یک عمق مشخص
 - ۲) مقاومت رس در برابر تنش قائم مؤثر محاسبات رقومی آن به قرار زیر است:
- از سرعتهای برشی و فشارشی (V_p و یا V_s)، مقاومت فشار غیر محصور شیل تخمین زده می شود و سپس توسط اطلاعات ناحیه ای حاصل از خرده های حفاری، زاویه اصطکاک داخلی پیش بینی می شود. پس در یک عمق



شکل ۴: کاهش هر ۲ تنش اصلی در نزدیکی ساختار کشتی پور-آپارت.

ماده "ZOWE" که در فرادیواره گسل برش خورده و در امتداد گسل کشیده شده بود ایجاد یک آغستگی پیوسته و نامتقارن را می دهد. با ادامه آزمایش می توان دید که با افزایش تغییر شکل ماده "ZOWE"، این آغستگی، پیوستگی خودش را از دست می دهد که در نتیجه آن ماده "ZOWE" به داخل زون گسله تزریق نمی شود.

اگر لایه روباره ضخیم باشد (۹۷۵ cm) یک زون ضخیمی از ماده "ZOWE" توسط تزریق این ماده به داخل زون گسله به وجود می آید (شکل ۴c و ۴d) ساختمانی که در این حالت در آزمایش مشاهده می شود شبیه آن چیزی است که مادر مشاهدات صحرایی داشتیم. گسل پی سنگی یک خمش پلکانی را در لایه "ZOWE" شکل می دهد و همچنین گسل دومی هم تشکیل می شود و ایجاد یک بلوک فشاری را می دهد. ماده "ZOWE" در زیر بلوک فشاری می تواند به طور کامل به داخل صفحه گسلی تزریق شود که در نتیجه آن نازک شدگی ماده "ZOWE" در فرودیواره گسلی و ضخیم شدگی این ماده در صفحه گسلی خواهیم داشت. اختلاف عمده میان حالات لایه روباره ضخیم و لایه روباره نازک می تواند ناشی از اختلاف در مقاومت میان ماسه و ماده "ZOWE" و همچنین نسبت این مقاومت و تنش وارده بر ماده "ZOWE" دانست. نتیجتاً برای یک لایه روباره ضخیم تنش قائم که باعث جریان یافتن ماده "ZOWE" می شود و اختلاف مقاومت میان ماسه و ماده "ZOWE" خیلی بیشتر از یک لایه روباره نازک بیان می شود. در یک ضخامت روباره مشخص، بلوک فشاری به طور خود به خود در فرو دیواره گسل وارد عمل شده، که در نتیجه آن تزریق ماده

ارتجاع در لایه رس بدون وجود یک بلوک فشاری بزرگتر از حالتی است که بلوک فشاری حضور دارد، پس نتیجه گرفته شد ناحیه خمیری یا شکل پذیر در لایه رس توسط پهنای بلوک فشاری کنترل می شود. اما متأسفانه، آنالیزهای مدل های رقومی با افزایش جا به جایی های گسل نتیجه یکسانی نمی دهند.

مدل آزمایشگاهی

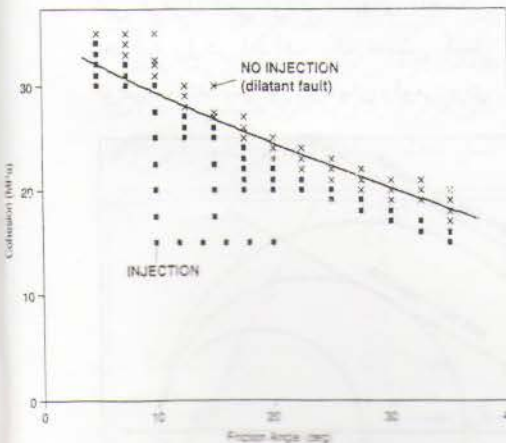
به دلیل محدودیت هایی که مدل رقومی در جا به جایی های بزرگ گسلی نشان می دهد، تصمیم گرفته شد که از تکنیک های آزمایشگاهی استفاده شود.

روش عمل

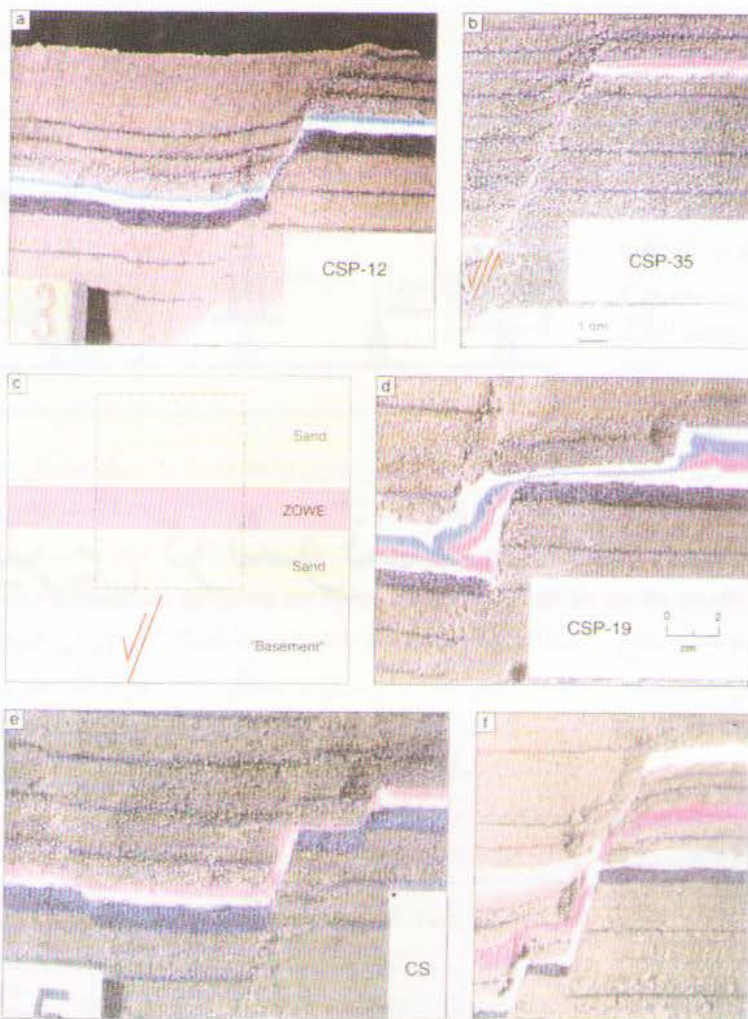
برای مدل "Sand box" مواد شکل پذیر (سیلیکون) که قبلاً برای مدل های مشابه به کار می رفت، برای آزمایش مورد نظر مناسب نیست، چون سیلیکون ضرورتاً یک سیال ویسکوز نیوتنی است، در حالی که رس در شرایط طبیعی یک ماده پلاستیک است. در آزمایشهای تزریق، تغییرات زیاد در نرخ برش از مشخصات مهم سیلیکون است، که در لایه رسی چنین حالتی نیست. پس تصمیم گرفته شد ماده ای به نام "ZOWE" که دانسیته کمی دارد و می تواند جانشین مناسبی برای رس باشد در نظر گرفته شود. حال مدلی با ماده "ZOWE" و ماسه خشک ساخته می شود، که حرکت اولیه گسل پی سنگی گسلش نرمال را در لایه رسوبی قرار گرفته بر روی آن به وجود می آورد (شکل ۶c).

نتایج

لایه روباره، در حالتی که نازک لایه (۷۵ cm) و ضخیم لایه (۹۷۵ cm) باشد را معرفی می کنیم. اگر لایه روباره نازک باشد (۷۵ cm) در این حالت، یک آغستگی نازک در امتداد زون گسله به وجود می آید. (شکل ۶a و ۶b).



شکل ۵: دیگرام چسبندگی-زاویه اصطکاک



شکل ۶: مدل آزمایشگاهی (Sand box)

پیدا کرده و در نتیجه باعث تزریق حجم زیادی رس به داخل گسل می شود.

نتیجه گیری

تزریق رس جانبی، برای توالیهای رسوبی که شامل ماسه، گل سنگ و یا کربنات، گل سنگ باشد به طور کلی یک فرآیند مهم محسوب می شود. همچنین یکی از موارد الزامی برای مراحل تزریق جانبی رس، پایین بودن نسبت مقاومت مکانیکی یا حرکتی گل سنگ به تنش مؤثر درجا است که باعث جریان یافتن گل سنگ (رس) به داخل خمش گسلی می شود. این محاسبات توسط خرده های حفاری و نمودارهای چاه پیمایی تعیین و سپس پردازش اطلاعات حاصل از این دو به وسیله پتانسیل مکانیکی تزریق رس (MCIP) آورده می شود.

(نسبت گوژ گسلی)، MCIP (پتانسیل تزریق رس مکانیکی) و KCIP (پتانسیل تزریق رس جنبشی) دخالت دارند.

مقدار رسی که به گوژ گسلی می پیوندند

در گسلهای با جابه جایی خیلی زیاد، به هیچ وجه ازدیاد رس گوژ گسلی نداریم. پس نتیجتاً مطالعه این گسلها مناسب نیستند و تصمیم گرفته شد تحقیقات بر روی گسلهایی با جابه جایی کم صورت گیرد. همان طور که در مدل جنبشی بحث شده است، ماکزیمم مقدار رس موجود برای تزریق جانبی به حجم رس در زیر بلوک یا بلوک های فشاری بستگی دارد، که این حالت با نتیجه گیری "Lehner and Pilaar" (۱۹۹۷) متفاوت است که پیشنهاد کرده بودند لایه ماسه ای که در بالای لایه رسی قرار دارد در حین تزریق خمش

مشخص و فشار روباره ممتد که می توانند توسط لاگهای دانسیته محاسبه شوند، MCIP به دست می آید. اما این مسایل فقط رفتار رس را برای جریان به داخل خمش گسلی صفحه گسل پیش گویی می کند و هیچ اشاره ای در مورد شروع یک بلوک فشاری در فرا دیواره گسلی نمی کند.

پارامتر KCIP (پتانسیل جنبشی تزریق رس) می تواند یک مورد پژوهش برای آینده باشد که مسایل حل نشده بالا را بررسی می کند. برای پیش گویی آغستگی رس در گسل، راههای متفاوتی وجود دارد که یکی از آنها SGR است، این پارامتر براساس توده رس موجود در قسمت گسل خورده تعریف شده است. بدین ترتیب برای تعیین پارامتر کلی CIF (رس گسلی) هر سه پارامتر SGR