۹- پوش‌سنگ (Cap Rock)

پوش‌سنگ‌ها در واقع سنگ‌هایی هستند که می‌توانند از حرکت رو به بالای هیدروکربن جلوگیری نمایند. ضرورتاً یک پوش‌سنگ باید در برابر هیدروکربن نفوذناپذیر باشد. اساساً سنگی که تراوایی صفر داشته باشد وجود ندارد اما بعضی از سنگ‌ها مانند تبخیری‌ها تراوایی خیلی کمی دارند، در حدی که می‌توان آن را نادیده گرفت.

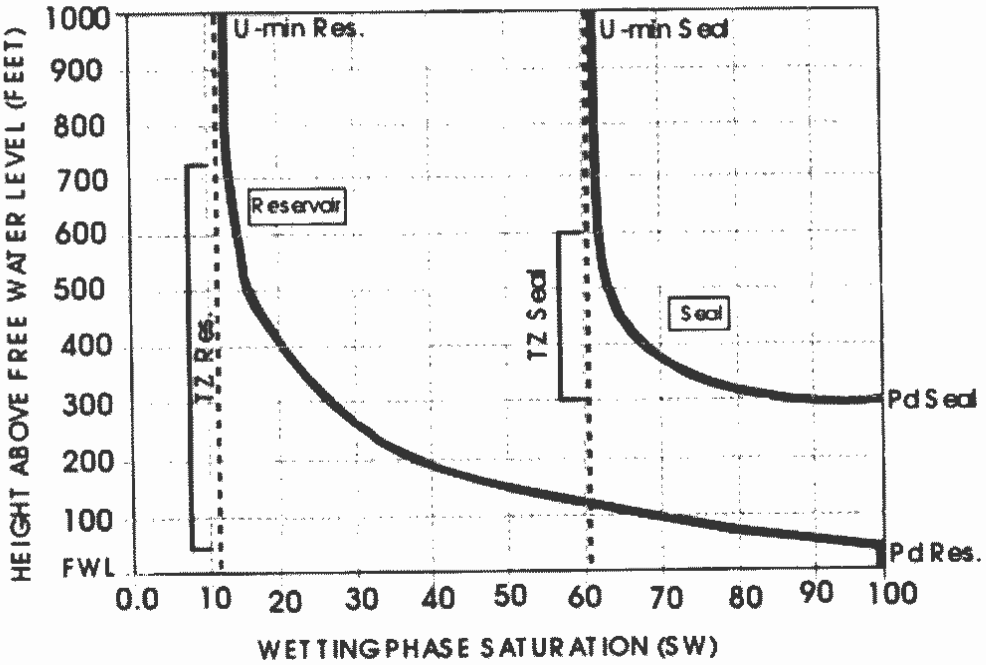
پوش‌سنگ‌ها می‌توانند از انواع سنگ‌های رسوبی مانند کربنات‌ها، آواری‌ها و تبخیری‌ها باشند. از سنگ‌های کربناته، میکریت‌ها می‌توانند یک پوش‌سنگ خوب باشند، چون این سنگ‌ها دانه‌ریز بوده و تراوایی کمی دارند. از انواع دیگر کربنات‌ها که می‌توانند پوش‌سنگ باشند، آنهایی هستند که کاملاً سیمانی شده‌اند و تراوایی‌شان را از دست داده‌اند. فقط تنها مشکلی که در رابطه با این سنگ‌ها وجود دارد شکننده بودن آن‌ها می‌باشد. بنابراین در مناطق فعال تکتونیکی می‌توانند شکسته شوند و خصوصیت پوش‌سنگ بودن را از دست دهند.

در آواری‌ها، سنگ‌های دانه‌ریز مانند شیل می‌تواند یک پوش‌سنگ خوب محسوب شود. شیل‌ها فراوانترین سنگ‌های رسوبی می‌باشند که می‌توانند در اغلب حوضه‌های رسوبی به طور متناوب با سنگ‌های دیگر همراه باشند. بیش از ۶۰ درصد میدان‌های بزرگ شناخته شده دارای پوش‌سنگ شیلی هستند. در مقایسه با کربنات‌ها، شکنندگی شیل‌ها کمتر است، پس می‌توانند در مناطق از نظر تکتونیکی فعال بهتر عمل کنند. از دیگر سنگ‌های آواری که می‌توانند به عنوان پوش‌سنگ معرفی شوند سنگ‌های آواری سیمان شده و فشرده شده می‌باشند که تخلخل و تراوایی آن‌ها از بین رفته است.

سرانجام آخرین و مهمترین گروه پوش‌سنگها، گروه تبخیری‌ها مانند انیدریت و نمک است. آن‌ها از بهترین پوش‌سنگ‌ها هستند، چون تراوایی نزدیک به صفر دارند و عملکردشان در برابر نیروهای تکتونیکی، شکننده نیست. در مناطق فعال تکتونیکی، سنگ‌های تبخیری شکل‌پذیر هستند و رفتار پلاستیک دارند و هرگز شکسته نمی‌شوند.

عموماً کیفیت یک پوش‌سنگ به ضخامت، ارتفاع ستون هیدروکربن زیر آن‌ها، فشار جابجایی (displacement pressure, P_d) (شکل ۹-۱) و گسترش جانبی آن بستگی دارد. با افزایش پارامترهای فوق، کارآیی یک پوش‌سنگ افزایش خواهد یافت. ضخامت پوش‌سنگ، ارتفاع ستون هیدروکربن و گسترش جانبی پوش‌سنگ می‌تواند سریعاً تخمین زده شود، اما

برای اندازه‌گیری فشار جابجایی، یک سری آنالیزهای مختلف مانند اندازه‌گیری فشار مویینه لازم می‌باشد.



شکل ۹-۱ - دیاگرامی که در آن فشار جابجایی (فشاری که در آن جیوه به داخل خلل و فرج سنگ نفوذ می‌کند) برای یک سنگ مخزن و یک پوش‌سنگ مقایسه شده است

۹-۱ ارزیابی پوش‌سنگ‌ها (Cap Rock Evaluation)

پوش‌سنگ‌ها در مطالعات ارزیابی ظرفیت تجمعات هیدروکربنی یکی از مهمترین اجزا هستند که معمولاً نادیده گرفته می‌شوند. پوش‌سنگ‌های مؤثر برای تجمعات هیدروکربنی، ویژگی‌های شاخص دارند از جمله اینکه ضخیم هستند، تداوم جانبی دارند، سنگ‌هایی انعطاف‌پذیرند و فشار بالایی در مجاری مویینه دارند. پوش‌سنگ‌ها را باید در دو مقیاس مختلف، مقیاس کوچک (میکرو) و مقیاس بزرگ (مگا) یا مقیاس میدانی، بررسی کرد. مشکل است که بتوان با استفاده از اطلاعات (میکرو) به دست آمده از یک نمونهٔ دستی پوش‌سنگ، ارزیابی درستی از کل پوش‌سنگ به وسعت یک مخزن هیدروکربنی به دست آورد.

۹-۱-۱ خصوصیات پوش‌سنگ‌ها در مقیاس کوچک

۹-۱-۱-۱ خواص مویینه

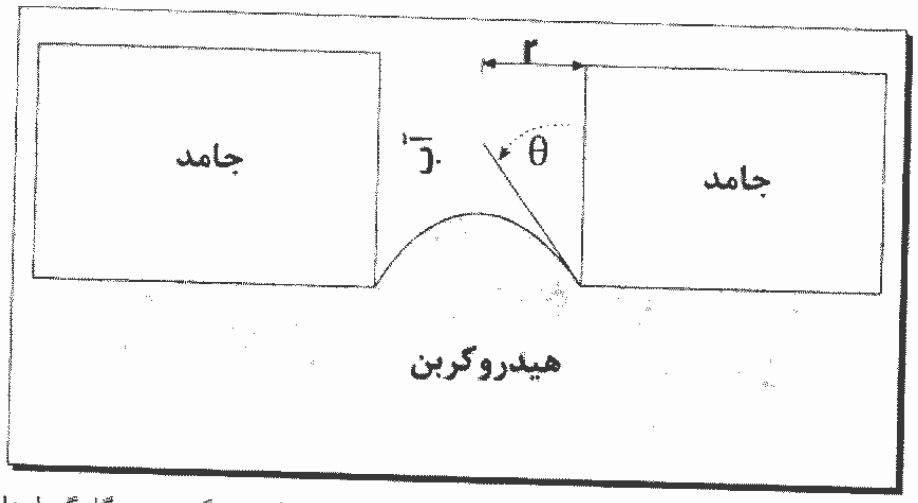
اساساً تعیین کیفیت یک پوش‌سنگ به وسیلهٔ اندازه‌گیری حداقل فشاری صورت می‌گیرد که برای جابجایی آب درون خلل و فرج و شکستگی‌های درون پوش‌سنگ لازم است (فشار جابجایی، P_d) که نتیجهٔ آن تراوش می‌باشد. فشار جابجایی یک سنگ پر از آب، تابعی است از

کشش سطحی بین آب- هیدروکربن (σ)، میزان ترشوندگی (θ) و شعاع بزرگترین گلوگاه‌ها (r) که از رابطهٔ زیر به دست می‌آید (شکل ۹-۲).

$$P_d = -2\sigma Cos\theta / r$$

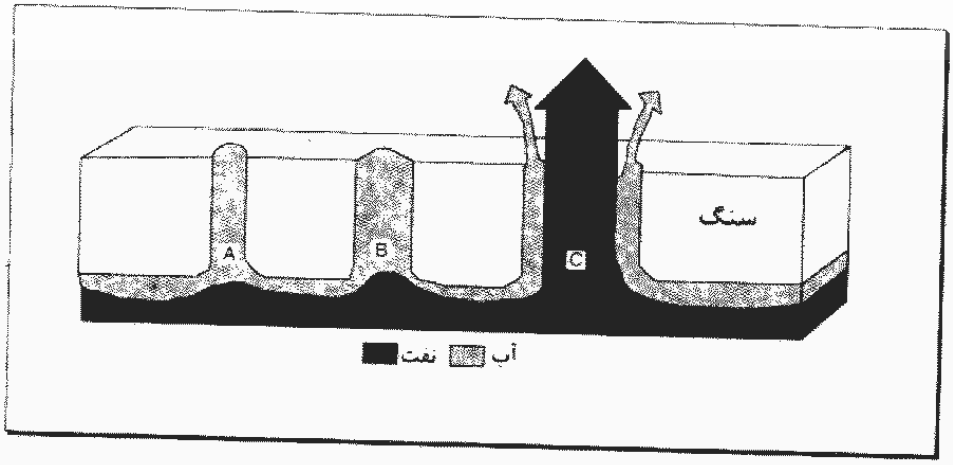
فشار جابجایی (ظرفیت پوشندگی) یک سنگ توسط عوامل زیر افزایش می‌یابد:

- وقتی شعاع بزرگترین گلوگاه خلل و فرج‌های به هم متصل کاهش یابد.
- ترشوندگی کاهش یابد.
- کشش بین سطحی آب - هیدروکربن افزایش یابد.



شکل ۹-۲ فشار جابجایی مویینه به سه عامل وابسته است: شعاع بزرگترین گلوگاه‌های متصل به‌هم r، ترشوندگی (θ) و کشش بین سطحی آب - هیدروکربن (σ)

نیروهای مویینه در یک پوش‌سنگ باعث محبوس شدن هیدروکربن‌ها و تجمع آن‌ها می‌شود. نیروی شناوری ستون هیدروکربن ناشی از اختلاف چگالی بین هیدروکربن و آب منفذی درون مخزن است. نیروی شناوری هیدروکربن باید توسط نیرویی برابر یا بیشتر که همان فشار مویینه درون مجاری پوش‌سنگ است، خنثی گردد (شکل ۹-۳). یکی از مواردی که در آزمایشگاه قابل اندازه‌گیری است، فشار جابجایی لازم برای رانش مخلوطی از هیدروکربن تحت شرایط خاص فشار و دما می‌باشد.



شکل ۹-۳ - گلوگاه‌های A و B در سنگ باریک هستند (فشار درون مجرا بالاست)، ولی گلوگاه C آنقدر بزرگ است که فشار شناوری ستون هیدروکربن قادر به جابجایی آب روزنه‌ها و عبور از میان گلوگاه باشد

۹-۱-۲-۳ انتشار در پوش‌سنگ‌ها (Diffusion in Cap Rocks)

انتشار هیدروکربن‌ها درون پوش‌سنگ اصولاً وابسته است به:

- نوع هیدروکربن
- مشخصات شبکهٔ خلل و فرج‌های پر از آب درپوش‌سنگ
- زمان موجود برای انتشار

بنابراین با تشخیص میزان توانایی پوش‌سنگ در کاهش انتشار هیدروکربن‌ها قادریم که یک چارچوب برای بررسی‌های عمومی زمین شناسی تعریف کنیم. اگر هیدروکربن ذخیره شده نفت باشد، احتمالاً میزان تراوش از طریق انتشار در پوش‌سنگ ناچیز است. اگر هیدروکربن ذخیره شده متان باشد و توسط لایه‌های بدون آب روزنه‌ای متصل به هم پوشیده شده باشد، (مثل نمک و انیدریت)، انتظار هیچ کاهشی از طریق عمل انتشار نمی‌رود. ولی اگر متان به وسیله شیل آبدار و متخلخل پوشیده شده باشد، در طی مدت زمان طولانی زمین‌شناسی، نوعی کاهش ناشی از انتشار رخ خواهد داد. به طور خلاصه می‌توان از کاهش میزان تجمع هیدروکربن‌ها در اثر انتشار چشم پوشی کرد، مگر در مناطق اکتشافی که هیدروکربن مورد انتظار متان باشد یا جایی که پوش‌سنگ دارای فضای روزنه‌ای پر از آب و متخلخل است و یا در جایی که نگهداری هیدروکربن درون نفتگیر در مدت طولانی رخ داده باشد.

۹-۱-۲ خصوصیات پوش‌سنگ‌ها در مقیاس بزرگ

۹-۱-۲-۱ لیتولوژی

هر نوع لیتولوژی می‌تواند برای یک تجمع هیدروکربن نقش پوش‌سنگ را بازی کند. تنها شرط لازم آن است که حداقل فشارجابجایی در آن واحد لیتولوژیکی بیشتر از فشار شناوری ستون هیدروکربن در محل تجمع باشد. با این‌حال بهترین و مؤثرترین پوش‌سنگ‌ها: تبخیری‌ها، آواری‌های دانه ریز و سنگ‌های غنی از مواد آلی هستند. معمولاً این لیتولوژی‌ها بیشتر به عنوان پوش‌سنگ دیده می‌شوند، چون‌که آن‌ها فشار بالایی درون مجاری خود دارند، به طور جانبی تداوم دارند، نسبتاً انعطاف‌پذیرند و بخش اعظم مواد پر کنندهٔ حوضه‌های رسوبی را تشکیل می‌دهند.

۹-۱-۲-۲ انعطاف‌پذیری (Ductility)

چین‌خوردگی و گسل‌خوردگی که همراه تشکیل برخی نفتگیرها صورت می‌گیرد باعث ایجاد تغییر شکل‌های مهمی در پوش‌سنگ می‌گردد. معمولاً در سنگ‌های شکننده، شکستگی‌ها

افزایش می‌یابد در حالی‌که لیتولوژی‌های انعطاف‌پذیر بر اثر تغییر شکل پلاستیک جریان می‌یابند. ترتیب انعطاف‌پذیری لیتولوژی‌های پوش‌سنگ به‌صورت زیر است:

نمک ← انیدریت ← شیل‌های غنی از کروژن ← شیل‌های رسی ← شیل‌های سیلتی ← مادستون‌های کربناته ← چرت‌ها

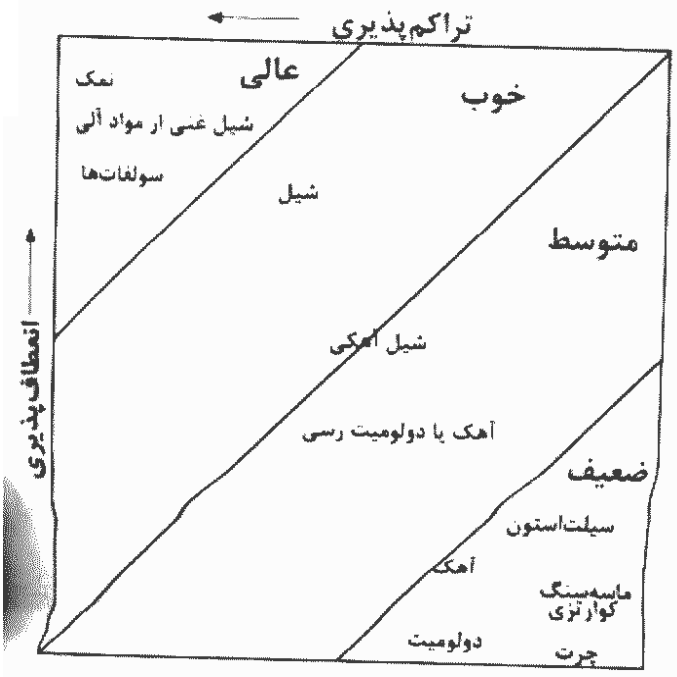
در این مجموعه، نمک بیشترین و چرت کمترین انعطاف‌پذیری را دارد.

مادستون‌های کربناته شاید فشار مویینه بالایی داشته باشند ولی تحت تغییر شکل، شکستگی‌های زیادی در آن‌ها توسعه می‌یابد که در نمک‌ها، انیدریت، شیل‌های رسی و سنگ‌های غنی از ماده آلی اینطور نیست. البته انعطاف‌پذیری، خاصیتی است در سنگ با دما و فشار (عمق دفن) تغییر می‌کند. سنگ‌های تبخیری در عمق کاملاً انعطاف‌پذیرند در حالی‌که در اعماق کم شدیداً شکننده هستند.

سنگ‌های غنی از مواد آلی سنگ‌های دانه‌ریزی هستند که دارای کروژن انعطاف‌پذیر می‌باشند. چنین سنگ‌هایی در حین چین‌خوردگی معمولاً رفتاری پلاستیک از خود نشان می‌دهند که باعث می‌شود در خلل و فرج‌های باقیمانده، فشار جابجایی خیلی بالایی حاکم شود.

در حوضه‌هایی که تغییر شکل و شکستگی در شدیدترین وضعیت خود وجود دارد، انعطاف‌پذیری در پوش‌سنگ‌ها اهمیت زیادی دارد. لیتولوژی‌هایی که دارای ریزتخلخل و ماتریکسی انعطاف‌پذیرند، قادرند حتی تحت چندین بار تغییر شکل، خواص پوشندگی خود را حفظ کنند. تحقیقات اخیر روی مشخصات ۲۵ میدان بزرگ گازی در جهان نشان می‌دهد که همه آن‌ها که در حوضه‌های تراستی واقعند دارای پوش‌سنگ‌هایی تبخیری می‌باشند. در ۱۷۶ میدان گازی غول‌آسای جهان دیده می‌شود که تقریباً پوش‌سنگ همهٔ آن‌ها شیل یا سنگهای تبخیری می‌باشد.

شکل ۹-۴ تقسیم بندی پوش‌سنگها را بر اساس انعطاف‌پذیری و قابلیت تراکم (compressibility) نشان می‌دهد. همان‌طوری‌که در شکل دیده می‌شود در این تقسیم بندی، پوش‌سنگها به چهار دسته عالی، خوب، متوسط و ضعیف بر حسب انعطاف‌پذیری و قابلیت تراکم طبقه‌بندی می‌شوند.



شکل ۹-۴ - تقسیم بندی پوش‌سنگها بر اساس انعطاف‌پذیری و قابلیت تراکم

۹-۱-۲-۳ ضخامت (Thickness)

فقط چند سانتیمتر شیل رسی معمولی از لحاظ تئوری برای به دام انداختن یک ستون خیلی ضخیم هیدروکربن کافی است. یک شیل رسی با اندازهٔ ذرات 10^{-4} میلی‌متر قاعدتاً باید فشار مویینه حدود PSI ۶۰۰ داشته باشد که از لحاظ تئوری قادر است برای مثال ستون نفتی ۳۰۰۰ فوتی را زیر خود نگهدارد. متأسفانه احتمال ضعیفی وجود دارد که یک چنین زونی به ضخامت چند اینچ بتواند در سرتاسر یک تجمع قابل ملاحظه به طور مداوم، بدون شکستگی و با حفظ خصوصیات خود، به طور ثابت وجود داشته باشد. مزایای یک پوش‌سنگ خیلی ضخیم آن است که چندین لایه دارد که هر کدام به عنوان پوش‌سنگ احتمالی عمل می‌کنند و احتمال بیشتر آن است که سطح پوشنده عملاً روی کل محوطهٔ حوضه توزیع شده است.

جایی که نفتگیرها بر اثر جابجایی گسلی مخازن به وجود آمده باشند، ضخامت پوش‌سنگ خیلی مهم می‌باشد. در چنین مکان‌هایی پوش‌سنگ فوقانی طوری جابجا می‌شود که تبدیل به پوش‌سنگ جانبی می‌گردد و ضخامت پوش‌سنگ به طور مستقیم ارتفاع ستون هیدروکربن به دام افتاده را تعیین می‌کند.

۹-۱-۲-۴ تداوم جانبی (Lateral Continuity)

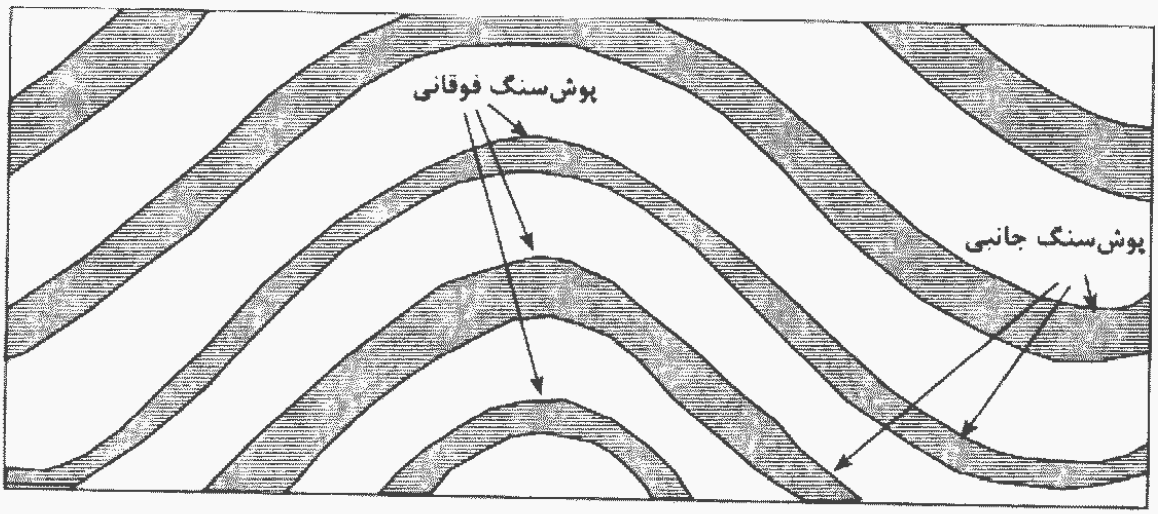
پوش‌سنگ‌ها بایستی به اندازه کافی گسترش جانبی داشته باشند. برای پی بردن به این مهم، تطابق آن‌ها با استفاده از نمودارهای چاه‌پیمایی می‌تواند کمک خوبی باشد. در اغلب حوضه‌ها، لایه‌های پوشانندهٔ وسیع و مهمی وجود دارد. این پوش‌سنگهای با گسترش وسیع، ضخامت زیاد، خصوصیات ثابت در جوانب و عمدتاً لیتولوژی‌های نسبتاً انعطاف‌پذیر شناخته می‌شوند. هر جا که این پوش‌سنگها روی سنگهای منشأ بالغ و مخازن یافت شوند، در مقیاسی وسیع انباشته‌های هیدروکربنی یافت می‌شود. مثال درخشانی از این نوع سازند گچساران در حوضه زاگرس است.

۹-۲ ارزیابی توانایی پوش‌سنگ در اکتشاف

به همراه هر کدام از انواع اصلی نفتگیرهای هیدروکربنی، نوعی مشکلات خاص مربوط به پوش‌سنگ وجود دارد. در هر حوضه‌ای بررسی دقیق داده‌های نمودار و عملیات لرزه‌ای می‌تواند تحلیل صحیحی از میزان توانایی پوش‌سنگ در نگهداری هیدروکربن به دست دهد.

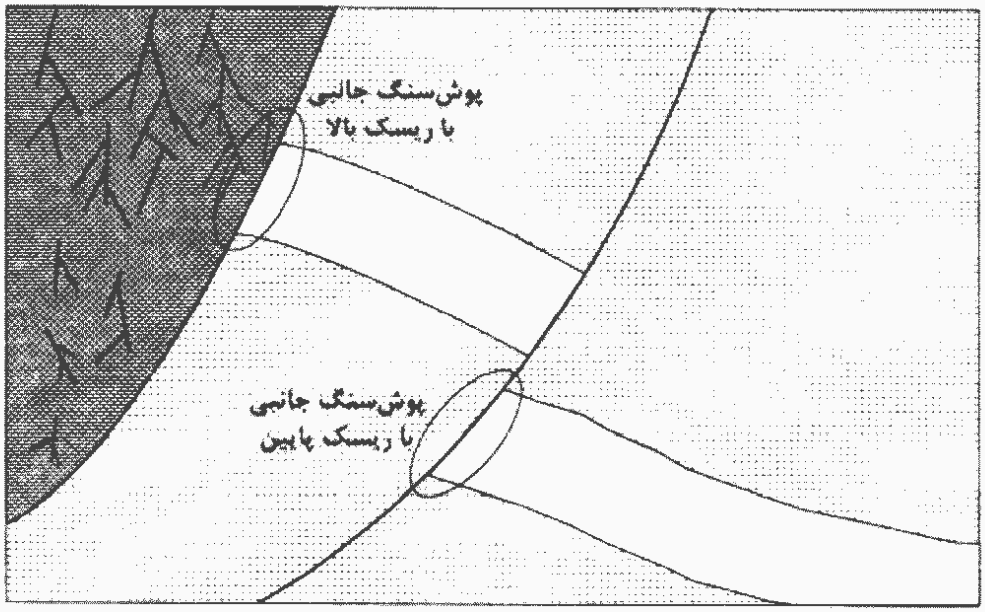
۹-۲-۱ طاقدیس

ساختمان‌های طاقدیسی ساده از لحاظ توانایی پوش‌سنگ در نگهداری هیدروکربن مخاطرهٔ کمتری در بردارند. چین‌خوردگی با تحدب به سمت بالای توالی‌های رسوبی باعث می‌شود که هر واحد پوش‌سنگی، هم سطح پوشانندهٔ فوقانی و هم جانبی باشد (شکل ۹-۵). در موارد نادری، توالی رسوبی تقریباً به طور کامل از سنگ‌های متخلخل و تراوا تشکیل شده است. در چنین مناطقی نفتگیرهای گسلی و چینه‌ای کاملاً نامحتمل بوده و حتی کلوژرهای طاقدیس مانند نیز برای حبس هیدروکربن مشکل دارند. در مجموعه‌های به شدت چین‌خورده ممکن است بر قسمت پوش‌سنگ فوقانی که محل تجمع احتمالی می‌باشد تنش قابل ملاحظه‌ای وارد شده باشد. خطر اصلی برای پوش‌سنگ در کلوژر گنبدی، آن است که در حین چین‌خوردگی شکستگی‌های باز در آن پدید آیند. نیروهایی که سبب چین‌خوردگی می‌شوند، تمایل به فشرده‌ن و شکستن واحدهای چین‌خورده دارند. کلوژرهای طاقدیسی در کمربندهای تراستی بایستی دارای پوش‌سنگ‌هایی باشند که قادر به تغییر شکل پلاستیک باشد.



شکل ۹-۵ - دریک کلوژر گنبدی هر واحد پوش‌سنگی هم سطح پوشانندهٔ فوقانی و هم جانبی است

نفتگیرهایی که پوش‌سنگ به‌صورت جانبی به پی سنگ کم عمق و شکننده وابسته هستند، بسیار نامطمئن می‌باشند (شکل ۹-۶). شکستگی‌های باز حتی خیلی باریک، به طور فوق العاده ای خاصیت جابجایی سیالات را دارند. برای اینکه بر اهمیت سالم بودن پوش‌سنگ فوقانی و نداشتن شکستگی‌های کششی باز در آن تأکید شود مثالی آورده می‌شود. یک شکستگی باز به اندازه یک هزارم اینچ که روی ستون نفت ۵۰۰ فوتی قرار داشته باشد باعث تراوش نفتی به میزان ۱۵۰ میلیون بشکه در سال می‌شود.



شکل ۹-۶ - نیمرخ شماتیکی از نفتگیرهای بالقوهٔ گسلی. نفتگیر گسلی که در برابر پی‌سنگ شکسته قرار دارد احتمال فرار هیدروکربن از آن زیاد است

۹-۲-۲ نفتگیرهای گسلی

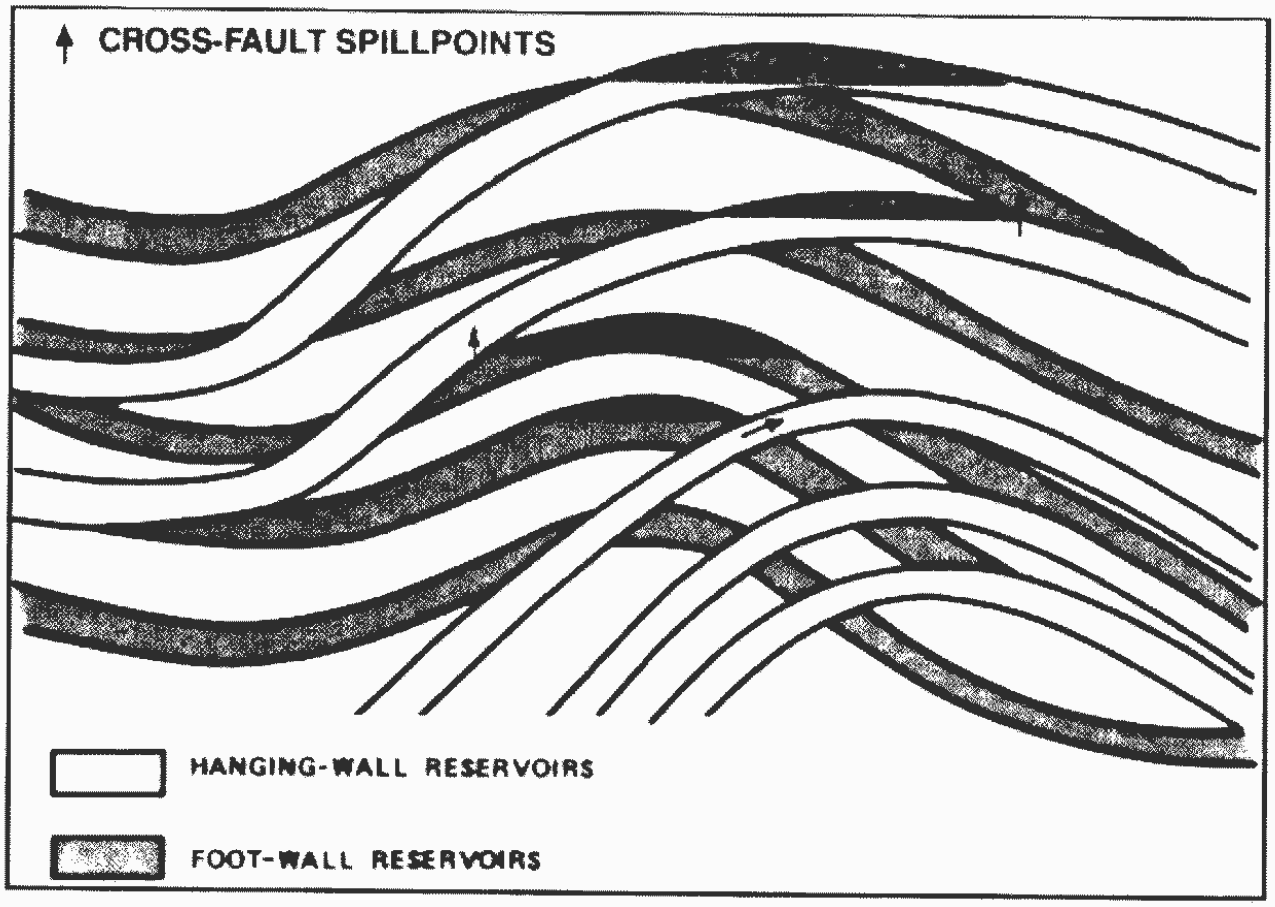
گسل‌ها قادرند مخازن متخلخل را طوری جابجا کنند که در مجاورت پوش‌سنگ قرار گیرند و تشکیل نفتگیر بدهند. کلوژر گسلی نیازمند دو نوع پوش‌سنگ است:

- پوش‌سنگ فوقانی و
- پوش‌سنگ جانبی در تقاطع گسل با مخزن.

کلوژرهای گسلی نه تنها نیازمند یک پوش فوقانی با ثبات از لحاظ لیتولوژی بر روی محوطهٔ نفتگیر هستند، بلکه نیازمند قرارگیری یک پوش‌سنگ جانبی در تقاطع گسل با مخزن نیز می‌باشند.

در یک مجموعهٔ مختلط ساختمان‌های گسل خورده، هیدروکربن‌ها به طور تصادفی توزیع نمی‌شوند. توزیع آن‌ها از قوانین خیلی ساده فیزیکی تبعیت می‌کند و محل‌های ترجیحی حضور هیدروکربن را می‌توان پیش‌بینی کرد، به شرط آنکه داده‌های زیر سطحی صحیح باشند. برای آنالیز احتمال پیوستگی پوش‌سنگ و مخزن در یک نفتگیر، روش نقشه سطح گسلی آلن ابزار سودمندی می‌باشد. در این روش مقاطع سنگی دارای لایه‌بندی در منطقه به دو دسته پوش‌سنگ و غیر پوش‌سنگ تقسیم‌بندی شده‌اند. لایه‌های پوش‌سنگی یا غیر پوش‌سنگی در محل‌های ساختمانی صحیح خود نقشه‌برداری شده‌اند و رد آن‌ها روی سطوح گسلی مرزی رسم شده است. در یک نقشه سطح گسلی آلن در هر صفحهٔ گسلی که درمحدودهٔ محل اکتشاف واقع است ردهای لایه‌های پوش‌سنگی و غیر پوش‌سنگی از فرودیواره، روی فرادیواره منطبق می‌شود. وقتی که در یک زمینه ساختاری ردهای گسلی مخزن و پوش‌سنگ در نظر گرفته شده

باشند، قادرند نشان دهند که یک مخزن در کجا ممکن است در یک پیکربندی نفتگیردار قرار گرفته باشد (شکل ۹-۷).

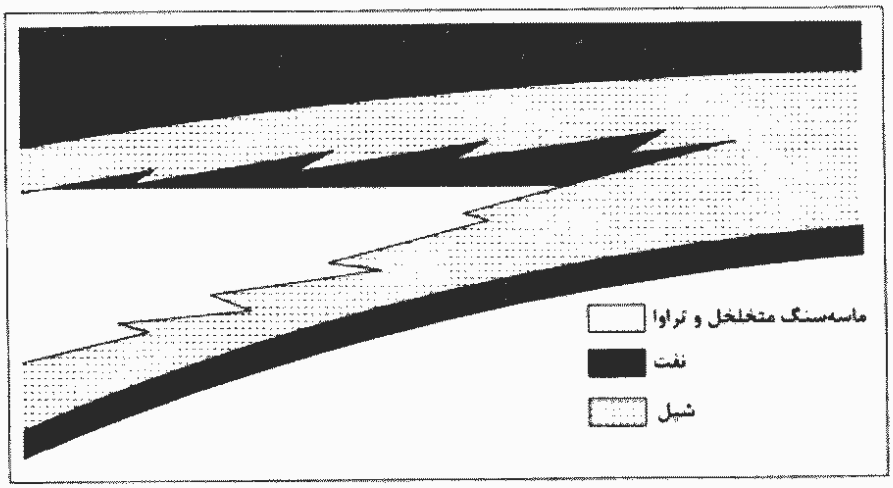


شکل ۹-۷ - یک نقشه صفحهٔ گسلی نوع آلن که لیتولوژی‌های پوش‌سنگی و غیر پوش‌سنگی را دسته‌بندی می‌کند و واحدهای لیتواستراتیگرافی فرادیواره را روی فرودیواره منطبق می‌کند

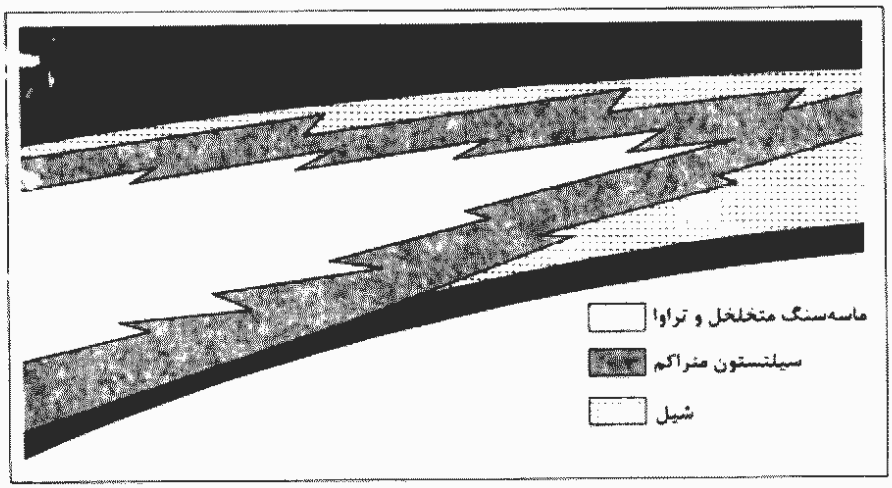
به طور معمول صفحات گسلی در مهاجرت سیالات نقشی ندارند و عموماً اهمیت آن‌ها در سطوح پوشاننده فقط ازاین لحاظ است که ممکن است سنگ‌هایی با خواص مویینگی و فشار سیال مختلف را در کنار یکدیگر قرار بدهند. صفحهٔ گسلی فقط تحت شرایطی خاص می‌تواند گذرگاهی باز برای مهاجرت سیالات باشد. مهمترین این شرایط خاص، گسل خوردگی کم عمق و نزدیک به سطح می‌باشد که ممکن است یک شکاف باز انتقال دهنده سیال باشد. در کل، ساختمان‌های گسل خوردهٔ کم عمق از این نظر که ممکن است صفحهٔ گسلی رخنه‌ای در آن‌ها باشد به طور ذاتی مخاطره‌انگیز هستند. در موارد خاصی که لایه‌های شیلی ضخیم رسی و فشرده نشده بین مخازن وجود دارد، ممکن است رس‌ها در امتداد سطح گسل قرار گیرند. کشیدگی رس‌های با فشردگی کم روی صفحهٔ گسلی باعث قرار گرفتن مواد پوشاننده در امتداد گسل به طور محلی می‌شود.

۹-۲-۳ نفتگیرهای چینه‌ای

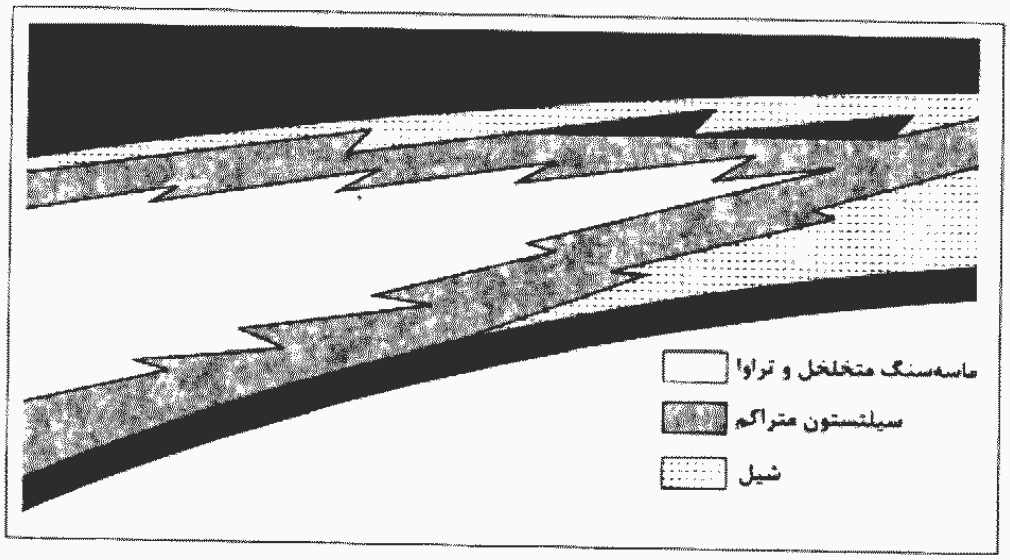
نفتگیرهای *تغییر رخساره ای* - یک نفتگیر چینه‌ای می‌تواند بر اثر تغییر رخسارهٔ جانبی یک مخزن به پوش‌سنگ در جهت روبه بالای شیب پدید آید. چنین تغییرات رخساره‌ای در مخازن بسیار مرسوم است، ولی تجمعات اقتصادی ناشی از آن نسبتاً نادرند. مشکلی که متوجه چنین نفتگیرهای می‌باشد این است که مخزن باید به طور کامل و ناگهانی در جهت روبه بالای شیب به سنگ‌های پوشاننده تبدیل شود. این کافی نیست که لیتولوژی بالای شیب یک پوش‌سنگ خوب باشد، بلکه باید کاملاً فاقد زون‌های متخلخل و تراوا باشد. در ارزیابی نفتگیرهای چینه‌ای که بر اثر تغییر رخساره به سمت بالای شیب پدید آمده اند، یکی از مهمترین پارامترهای قابل نقشه‌برداری شدت تغییر از مخزن به پوش‌سنگ می‌باشد. اگر تبدیل رخساره‌ها ناگهانی نباشد هیدروکربن‌ها به مقدار زیاد در یک زون رو به بالای شیب که نه کاملاً مخزن است و نه کاملاً پوش‌سنگ، هدر می‌روند (شکل‌های ۹-۸ تا ۹-۱۰).



شکل ۹-۸ - اگر ماسه‌سنگ‌های متخلخل و تراوا به طور ناگهانی به شیل تغییر رخساره دهند، همهٔ ستون هیدروکربن درقسمت سنگ مخزن خواهد بود

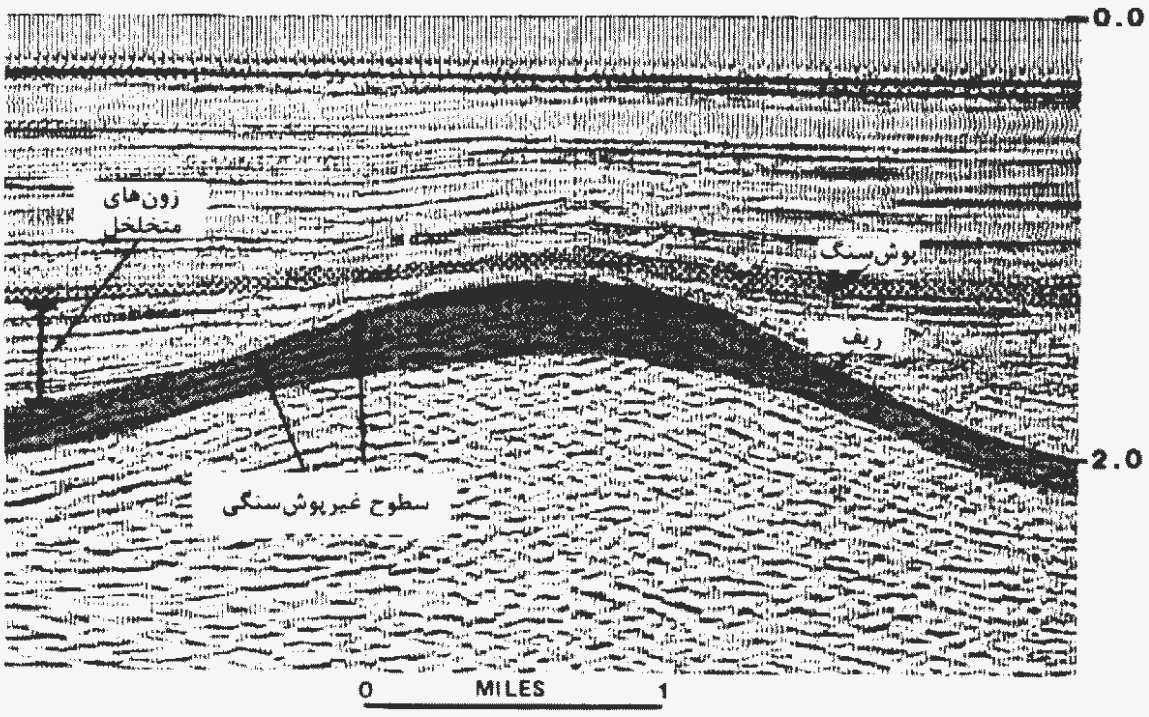


شکل ۹-۹ - عموماً ماسه‌سنگ‌های متخلخل و تراوا قبل از اینکه به طور جانبی به شیل تبدیل شوند به سیلتستون‌های غیر تراوا تغییر می‌یابند

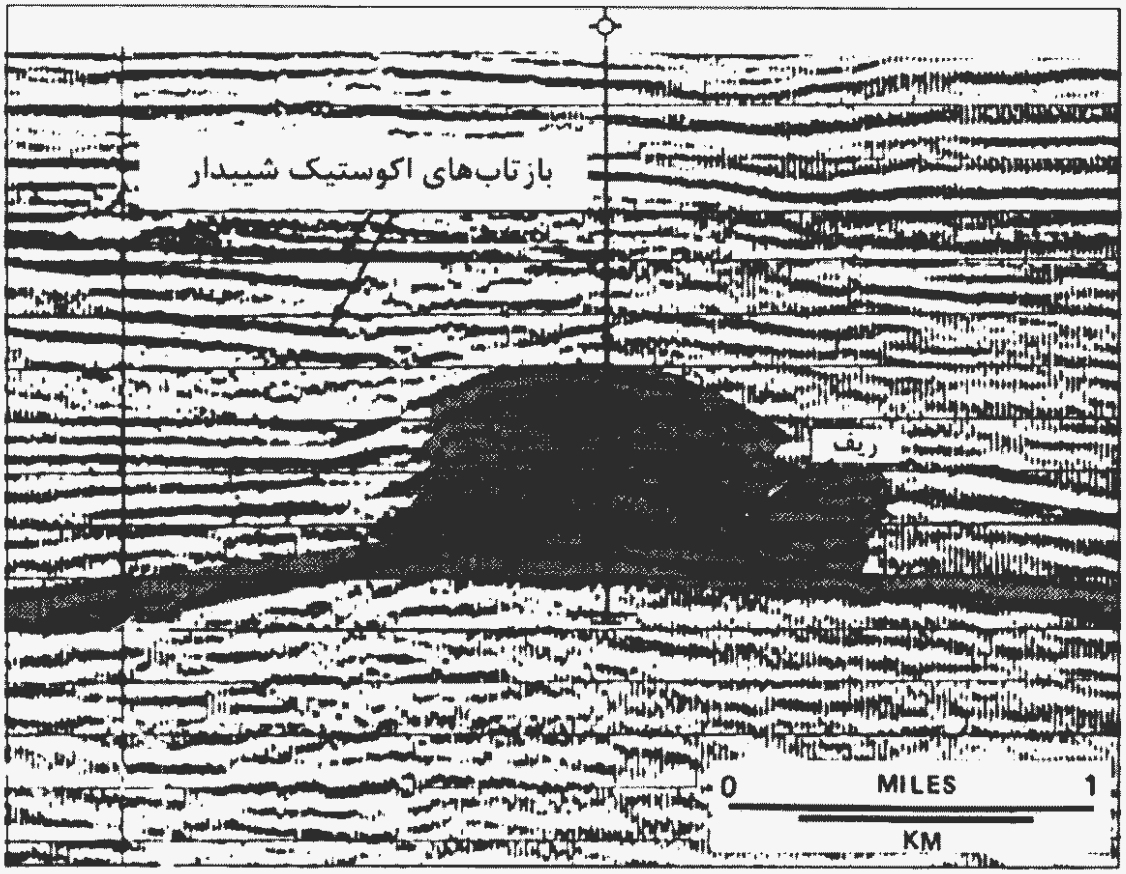


شکل ۹-۱۰ - اگر شدت تغییر از مخزن به پوش‌سنگ تدریجی باشد یک ستون نازک هیدروکربنی در رخسارهٔ غیر مخزنی (زون تحلیل رونده) محبوس خواهد شد

ریف‌ها - ریف‌ها نوع مساعدی از نفتگیرهای چینه‌ای هستند، چون‌که آن‌ها می‌توانند کلوژر ساختمانی خودشان را شکل بدهند. کلوژر بدام اندازندهٔ واقعی یک ریف مخروطی با وضعیت قرارگیری اولین پوش‌سنگ بالای مخزن ریف تعریف می‌شود. یک خطای همیشگی در تفسیر مخازن ریفی، این است که ماکزیمم برجستگی موجود (معمولاً بالاترین سطح ریف) را به عنوان سطح پوشاننده نقشه‌برداری می‌کنند بدون اینکه احتمال این را هم در نظر بگیرند که شاید این‌طور نباشد (شکل ۹-۱۱). بررسی مقاطع لرزه‌ای حوضه‌های ریفی بسیار سودمند است. انعکاس‌های لرزه‌ای شیب‌داری که به یک ریف برخورد می‌کنند علائم هشدار دهنده‌ای هستند. آن‌ها ناهمگنی در پوش‌سنگ احتمالی را نشان می‌دهند و ممکن است نشانهٔ محل‌های فرار سیالات باشند (شکل ۹-۱۲). به طور کلی مطالعه داده‌های لرزه‌ای در هر نوع مخزنی می‌تواند راهنمایی درخشانی راجع به میزان مخاطره‌انگیز بودن پوش‌سنگ ارائه دهد. اطاعات ساختمانی و سنگ‌شناسی به دست آمده از مقاطع لرزه‌ای، قادر است بینش ارزشمندی نسبت به میزان احتمالی ریسک پوش‌سنگ به ما ارائه دهد.



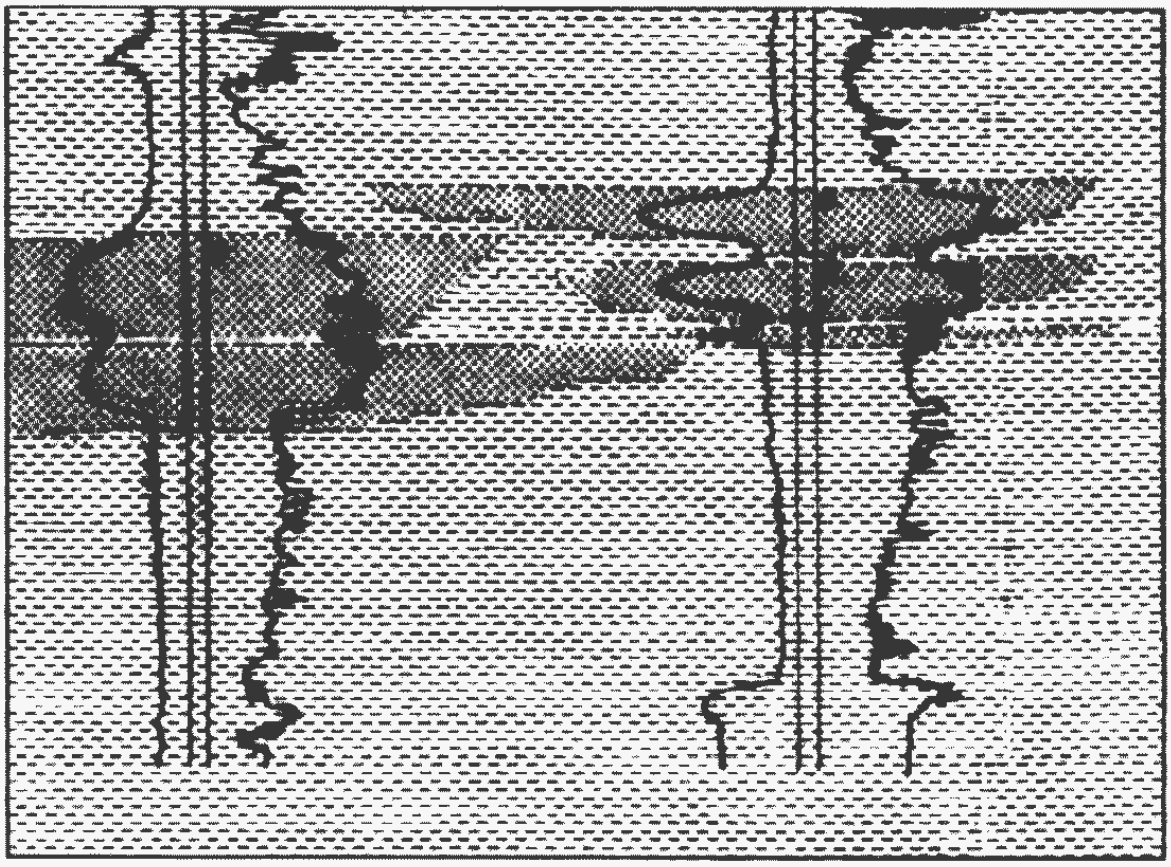
شکل ۹-۱۱ - واحدهای متخلخل و تراوای چینه‌ای که روی ریف آنلپ شده‌اند، نشان می‌دهند که احتمالاً دامنه‌های ریف فاقد سطح پوشاننده هستند



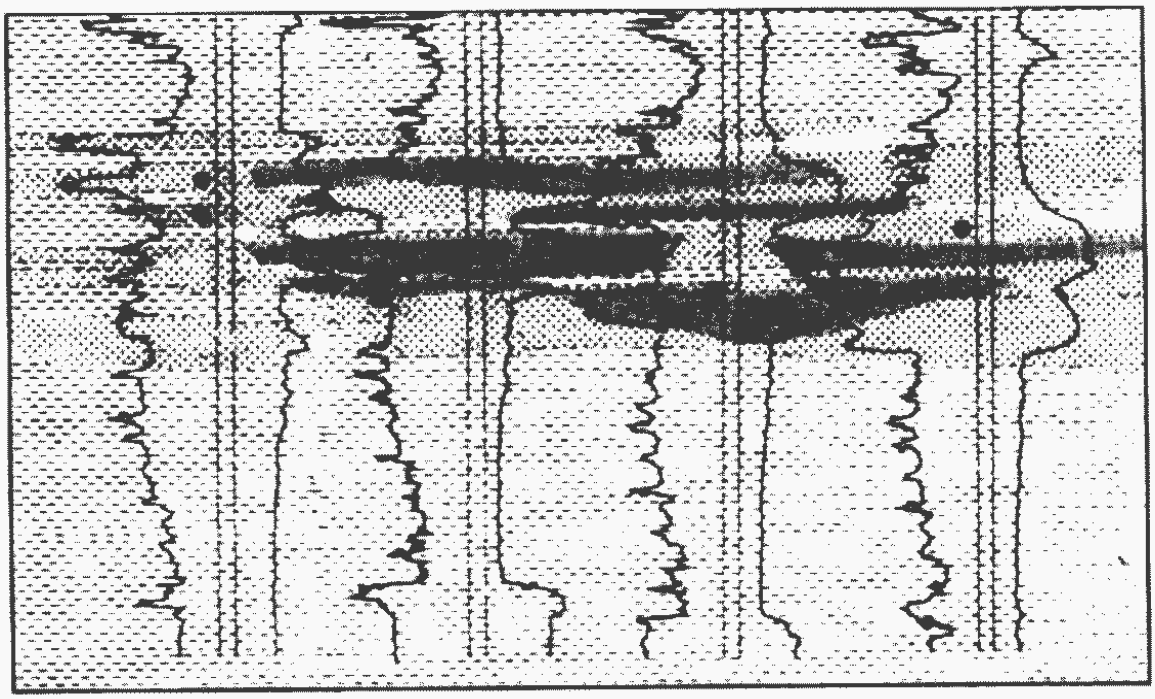
شکل ۹-۱۲ - بازتاب‌های آکوستیک شیبدار که به بالاترین قسمت ریف منتهی می‌شوند نشان می‌دهند که احتمالاً سطح پوشانندهٔ ریف یکنواخت نمی‌باشد

کانال‌های ماسه‌سنگی - کانال‌های ماسه‌سنگی یکی از انواع جالب نفتگیرهای چینه‌ای است. میزان ریسک پوش‌سنگ در کانال‌های ماسه‌سنگی، بشدت وابسته به خواص مویینگی و همگنی

واحدهای دربرگیرنده است. اگر کانال‌های ماسه‌سنگی در لایه‌هایی نسبتاً همگن و ناتراوا محصور شده باشند، هر امتداد کانال به سمت بالای شیب یک نفتگیر بالقوه خواهد بود. اما اگر کانال‌ها توسط چینه‌هایی به شدت متغیر قطع شده باشند، نفتگیرهای واقعی خیلی کم خواهند بود. مثلاً حفاری اولیه در لایه‌های کرتاسهٔ حوضهٔ دنور جنوبی در کلرادو، نشان از احتمالات متعدد اکتشاف در کانال‌های ماسه‌سنگی داشت. اولین سری لاگ‌ها که صحیح نبودند نشان از پوش‌سنگ فوقانی و مخازنی حاوی آثار نفت داشته است (شکل ۹-۱۳). بسادگی می‌شد تصور کرد که حفاری‌های بیشتر قطعاً چندین نفتگیر چینه‌ای ماسه‌سنگی کانالی با اندازهٔ قابل ملاحظه را آشکار خواهد کرد. اگرچه همهٔ کوشش‌ها بر نقشه‌برداری از اندازه، مشخصات و توزیع ماسه‌سنگ‌های کانالی متمرکز شد، ولی حفاری‌های بیشتر نشان داد که لایه‌های پوش‌سنگی (فوقانی و جانبی) تداوم‌شان قطع می‌شود (شکل ۹-۱۴). معلوم است که به جای اینکه به دنبال لایه‌های ضخیم و متخلخل ماسه‌سنگی باشیم بهتر است مناطقی را جستجو کنیم که پوش‌سنگی فوقانی و جانبی داشته باشند.



شکل ۹-۱۳ حفاری‌های اولیهٔ با فاصله زیاد نشان از حضور آثار نفتی در قسمت‌های فوقانی ماسه‌سنگ‌های کانالی داشته است



شکل ۹-۱۴ - حفاری‌های بیشتر چنین توالی‌های بریده و پر شده‌ای نشان داد که با گسترش جانبی اندک لیتولوژی پوش‌سنگ همراه بوده‌اند

۹-۳ پوش‌سنگ‌های غیرعادی

گاهی اوقات در تجمعات هیدروکربنی پوش‌سنگ‌هایی عجیب و غیرمعمول حضور دارند. این پوش‌سنگ‌ها بازتابی از رژیم‌های جریانی دینامیک (تغییر در فشار مؤثر موئینگی درون مجاری) یا تغییر توزیع گلوگاه‌های خلل و فرج سنگ می‌باشند.

تأثیر هیدرو دینامیک برپوش‌سنگ‌ها - میزان فشار موئینگی مؤثر نگهدارنده سیال در پوش‌سنگ قویاً توسط گرادیان پتانسیل ناشی از حرکت آب از مرز پوش‌سنگ- مخزن تغییر می‌کند. جایی که جریان آب از پوش‌سنگ به مخزن هیدروکربن در جهت پایین شیب باشد، فشار مؤثر درون مجاری پوش‌سنگ افزایش می‌یابد. ولی اگر جریان آب از مخزن به سمت پوش‌سنگ در بالای شیب باشد، فشار مجاری کاهش می‌یابد و توانایی پوش‌سنگ برای ممانعت از حرکت هیدروکربن‌ها کم می‌شود. بر اساس یک اصل کلی، نیروی هیدرودینامیک تأثیر کمی روی میزان ریسک پوش‌سنگ اغلب تجمعات هیدروکربنی دارد. با این وجود در حوضه‌هایی که جریان هیدرودینامیک مهمی دارند، جهت و بزرگی جریان هیدرودینامیک در ارزیابی میزان توانایی پوش‌سنگ در مخازن که انتظار وجود هیدروکربن در آن‌ها می‌رود اهمیت حیاتی دارد. برای مثال در حوضهٔ پاودر ریور وایومینگ جریان هیدرودینامیک رو به طرف پایین شیب، به شدت فشار مؤثر درون مجاری پوش‌سنگ‌های جانبی نه چندان مناسب را افزایش می‌دهد، طوری که ستونی از هیدروکربن در این میادین به دام می‌افتد.

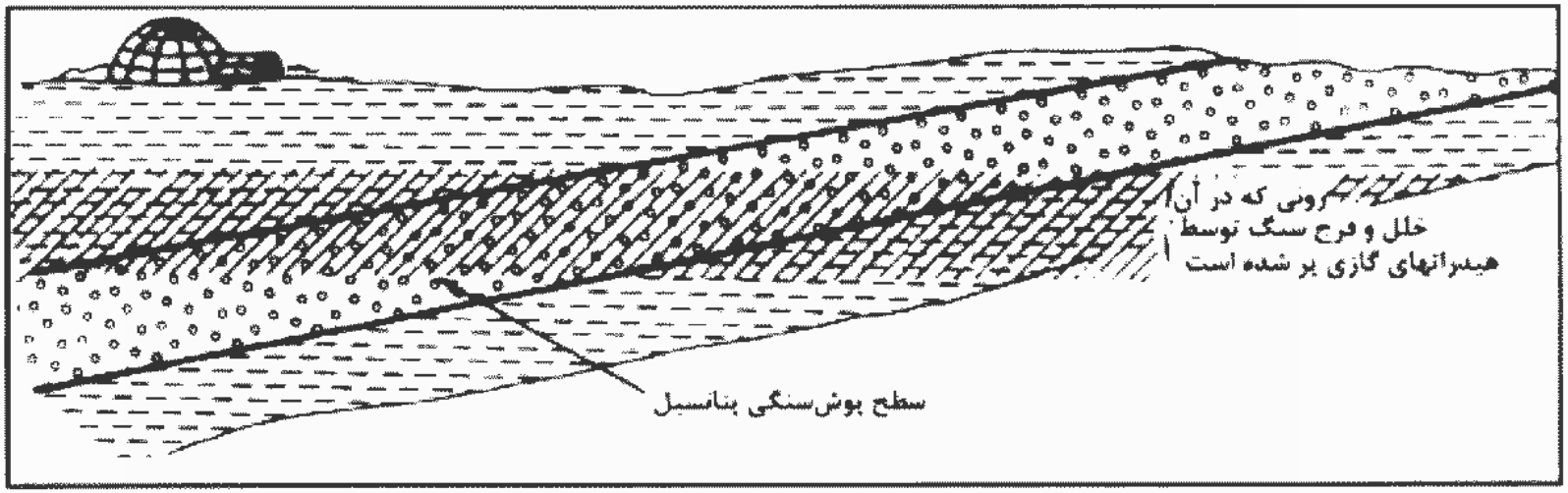
پوش‌سنگ‌های دیاژنتیک - دیاژنز شیمیایی و مکانیکی مخازن قادر است فضای روزنه‌ها را تغییر داده و ببندد. به طور معمول تغییر دیاژنتیکی فضای روزنه‌ای درون و اطراف مخزن، باعث تغییر خصوصیات جریان کلی درون آن مخزن می‌شود. زون‌های سیمانی شده به شدت در برابر حرکت سیالات مقاومت می‌کند، ولی بسیار به ندرت باعث ایجاد یک سطح پوشانندهٔ با تدوام جانبی برای یک تجمع هیدروکربنی اقتصادی می‌گردد.

پوش‌سنگ‌های قیری - یکی از محل‌هایی که به عنوان مثالی از تجمعات زیر پوش‌سنگ قیری ذکر شده است، مخزن ماسه‌سنگی تمبلور در میدان کولینگای شرقی در کالیفرنیاست. لایهٔ ماسه‌سنگی نفت دار در فاصلهٔ کمی به سمت بالای شیب محل رخنمون به شدت با قیر آغشته شده است و نقش پوش‌سنگ را بازی می‌کند.

- هیدرات‌های گازی عبارتند از بلورهای جامد ته‌نشین *(gas hydrates) هیدرات‌های گازی* شدهٔ گاز و آب. هیدرات گازی یک مادهٔ شبه یخ نیمه پایدار است که شامل مولکول‌هایی گازی در شبکه‌ای از مولکول‌های آب می‌باشد. تشکیل هیدرات گازی جامد در خلل و فرج سنگ بستگی به شوری آب روزنه‌ای، فشار، حرارت و ترکیب گاز دارد. شرایط لازم برای تشکیل هیدرات‌های گازی، آن است که در شرایطی زیر فشار نرمال و در حرارت پائین، گاز و آب بر هم اثر کنند. از نظر یک زمین‌شناس، چنین شرایطی فقط در دو وضعیت طبیعی می‌توانند وجود داشته باشند: (۱) در مخازن نواحی دریایی کم عمق در نواحی همیشه یخبندان و (۲) در مخازنی که محل دفن آن‌ها نسبتاً کم عمق است ولی زیر آب‌های سرد و عمیق قرار دارد.

هیدرات‌های گازی وضعیت اول در عمق ۲۰۰۰ متری در کوتاسک سیبری گزارش شده‌اند، جایی که در عمق ۱۴۰۰ متری حفاری دما به صفر درجهٔ سانتیگراد می‌رسد. برای وضعیت دوم هیدرات‌های گازی در عمق ۶۰۰ متری زیر کف دریا در مغزه‌هایی گزارش شده‌اند که از حفاری در جلگهٔ بلیک به دست آمده‌اند.

گازهای هیدروکربنی در حال مهاجرت به سمت بالای شیب لایه‌های متخلخل، می‌توانند در شرایط مناسب فشار و حرارت به شکل هیدرات‌های پرکنندهٔ خلل و فرج رسوب کنند. مقادیر زیادی گاز شناخته شده‌اند که به همین ترتیب درون هیدرات‌های پر کنندهٔ خلل و فرج‌ها به دام افتاده‌اند. به علاوه این هیدرات‌های پر کنندهٔ خلل و فرج‌ها قادرند دریک مخزن شیب‌دار، پوش‌سنگی ایجاد کنند که باعث ایجاد مخزن نفت و گاز در قسمت پایین شیب شود (شکل ۹-۱۵).



شکل ۹-۱۵ - هیدرات‌های گازی که فضای روزنه‌ای مخزن را می‌بندند، می‌توانند یک پوش‌سنگ درون سازندی ایجاد کنند که هیدروکربن‌های بیشتری را در قسمت پایین شیب بدام می‌اندازد

در نهایت اینکه ارزیابی میزان ریسک همراه با عملیات اکتشافی یک محل نیازمند تعیین احتمال حضور یک پوش‌سنگ مناسب است. نفتگیرهای مختلف از نظر میزان ریسک پوش‌سنگ انواع خاص خود را دارند. برای هر دسته نفتگیر بالقوه، مفاهیم و تکنیک‌های زمین‌شناسی وجود دارد که ارزیابی میزان مخاطره‌انگیزی پوش‌سنگ را آسان می‌کند. فهم میزان ریسک هر پوش‌سنگ به انتخابی هوشمندانه از میان محل‌های مختلف قابل اکتشاف منجر می‌شود.