

# روشن حد بد تعیین نفوذ پذیری واحد هیدرولیک به کمک دستگاه DSI

• مهندس نیل العدنی (شلمبرژه) و مهندس علی براتی (شرکت توسعه پتروایران)  
 • ترجمه: مهندس سروناز معظمی (شلمبرژه)

نفوذ پذیری تخمین زده شده به اندازه دو سیکل افزایش می یابد. از آنجا که موج استونلی از مدول سیال و مدول برشی در فرکانس های پایینی تاثیر می پذیرد، می توان کند شدن آن را در ناحیه نفوذناپذیر به صورت زیر شبیه سازی نمود (رابطه زیر براساس تئوری Biot Poro-elastic ارایه شده است):

$$dtst^2 = (pf * dtsh^2 / pb) + dtf^2$$

dtsh = کندشدگی استونلی (μs/ft)

pf = چگالی بالایه گل (g/cc)

pd = چگالی کپه ای (g/cc)

dtf = کندشدگی بالایه گل (μs/ft)

با رسم منحنی تغییرات  $dtst^2$  نسبت به  $dtsh^2 / pb$  در زونی با نفوذ پذیری صفر، خط مستقیمی با شیب pf و عرض از مبدا  $dtf^2$  حاصل می شود. تنها شرطی که در برآش این خط در نظر گرفته می شود این است که تمامی نقاط باید بالای این خط و یا بر روی آن قرار گرفته باشند (شکل ۱).

تمامی این تلاش ها چندان موفقیت آمیز نبوده و این رابطه همواره صادق نیست. زیرا در آن مقدار پیچش Tortuosity و شکل کانال های ارتباطی حفره ها در نظر گرفته نشده است.

## DSI

زمانی که از دستگاه صوتی DSI به صورت بخشی از نمودارهای چاه پیمایی به همراه بررسی های Dipole و استونلی استفاده می شود، میزان کندشدگی (Slowness) فشاری، برشی و استونلی قابل اندازه گیری است. کندشدگی استونلی با حرکت سیال در سازند متخلخل و گل کبره (Mud Cake) افزایش می یابد. اگر ضخامت و ترکیب گل حفاری تغییری نکند، تاثیر آن بر کندشدگی، معمولاً به صورت یک جابه جایی، تغییر یکنواخت و ثابت باقی می ماند.

یکی از فاکتورهای موثر بر کندشدگی استونلی مدول دانه ای است. به عنوان مثال

هنگامی که لیتولوژی از کلسیت خالص به دولومیت و یا سیلیکات تغییر می یابد، تاثیر بر کندشدگی نیز تغییر خواهد نمود. موج استونلی از مدول سیال نیز تاثیر می پذیرد. به عنوان مثال، اگر سیال از مایع به گاز تغییر کند،

امروزه نفوذ پذیری را براساس نگارهایی (Logs) که به طور تجربی با یکدیگر انطباق یافته و بر روی انواع گوناگون سنگ ها (از لحاظ مشخصات دینامیکی) انجام گرفته اند، تعیین می کنند. دریافت کلی بر این است که نفوذ پذیری تابعی از نوع سنگ است.

تعیین نفوذ پذیری و نحوه توزیع آن در اکثر مواقع بسیار مهم و حیاتی است. همچنین، عملیات مغزه گیری و چاه آزمایی تنها در چند چاه انتخابی یک میدان انجام می گیرند. از این رو اگر سنگ مخزن، به صورت سنگ کربناتی ناهمگن بوده و یا به صورت توالی پیوسته ماسه و شیل باشد، ویژگی های مخزن که براساس نفوذ پذیری تعیین شده است، نمی توانند نمایانگر حقیقی مشخصات دینامیکی مخزن باشند. به همین ترتیب، تعیین مقدار تولید مخزن نیز اشتباه خواهد بود. از این رو تهیه نقشه نوع سنگ مخزن برای توصیف های دقیق تر که منجر به ساختن مدل جایگزین مناسبی از مخزن شود، ضروری است.

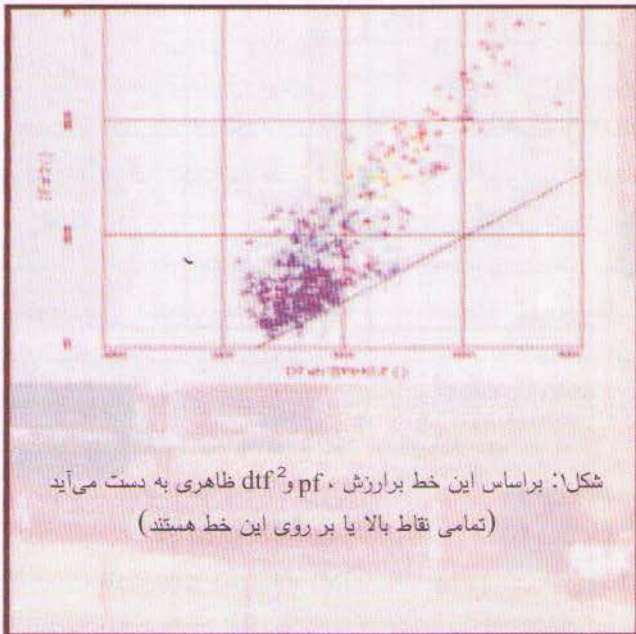
از آنجا که معمولاً نگارگیری در تمام چاه ها صورت می گیرد، به طور تجربی سعی می شود برای تخمین نفوذ پذیری از داده های نمودارهای موجود، استفاده شود. برای این منظور از رسم منحنی تغییرات نفوذ پذیری براساس تخلخل استفاده می شود، که فرمول عمومی این منحنی به صورت زیر به کار می رود:

$$a \log(k) = b(\phi e)c + d$$

k = نفوذ پذیری (md)

$\phi e =$  تخلخل موثر ( $m^3 / m^3$ )

a, b, c and d = فاکتورهای مقیاسی



شکل ۱: براساس این خط برآش، pf و  $dtf^2$  ظاهری به دست می آید (تمامی نقاط بالا یا بر روی این خط هستند)

۳/۵ قوت است. حجم اندازه‌گیری شده با آن به صورت استوانه‌ای یا ضخامت ۰/۵ تا یک فوت و ارتفاع ۳/۵ فوت است.

در این تساوی، تنها فاکتور تجربی برای تطابق نفوذپذیری حقیقی IMF است که برپایه مفهوم واحد هیدرولیکی بیان شده است. با توجه به این که مدول دانه‌ای بر

رابطه‌ای که در بالا ارائه شده است، کندشدگی استونلی را در ناحیه نفوذناپذیر نشان می‌دهد. این کندشدگی در محیط نفوذپذیر از رابطه بالا قابل اندازه‌گیری نبوده و با کمی تغییر همراه است، که این تغییر را می‌توان ناشی از میزان پیچ‌خوردگی (Tortuosity) دانست. با داشتن نسبت کندشدگی استونلی حقیقی (اندازه‌گیری شده) به کندشدگی تئوری به دست آمده از مدل تخمین زده شده، این اندیس قابل اندازه‌گیری بوده و رابطه زیر را می‌توان به دست آورد:

$$kIst = dtst / [ (pf * dtsh^2 / pb) + dtf^2 ]^{1/2}$$

kIst = اندیس نفوذپذیری استونلی

این اندیس بیشتر نمایانگر میزان پیچ‌خوردگی کانال‌های ارتباطی است تا حجم آن‌ها. از این رو این اندیس، مشخصات و نوع واحد هیدرولیکی مخزن را نشان می‌دهد.

با در نظر گرفتن فرمول پویزلی (Poisuille) و قانون داریسی، می‌توان رابطه زیر را برای توصیف نفوذپذیری واحد هیدرولیکی ارائه نمود:

$$K = 1014 FZI^2 [ \phi e^3 / (1 - \phi e)^2 ]$$

FZI = اندیس زون جریان  
با مقایسه FZI اندازه‌گیری شده از نفوذپذیری تخمین زده شده توسط دستگاه MDT و نمودار تخلخل مؤثر، یک رابطه خطی قابل تشخیص است.

از آنجاکه در ناحیه نفوذناپذیر با رسیدن اندیس نفوذپذیری استونلی به مقدار 1، FZI صفر می‌شود و با رسیدن نفوذپذیری به بی‌نهایت، هردو این مقادیر نیز بی‌نهایت می‌شوند، می‌توان رابطه ساده زیر را بین FZI و اندیس نفوذپذیری استونلی به دست آورد:

$$FZI = IMF (KIst - 1)$$

IMF = فاکتور تطابق مجموع

کندشدگی استونلی تاثیر می‌گذارد، IMF از رابطه زیر محاسبه خواهد شد:

$$IMF = \sum (IMF_i V_i)$$

فاکتور تطابق هرکانی (m<sup>3</sup>)  
V<sub>i</sub> = هرکانی

این روش تنها تحت شرایط زیر صادق است:

- حضور سیال تک فاز در محیط متخلخل

- تغییرات دمایی قابل چشم‌پوشی
- گل‌کبیره

- تک‌جنسی با ضخامت یکسان و ثابت
- نمودارهای کافی برای مدل‌سازی لیتولوژی حجمی

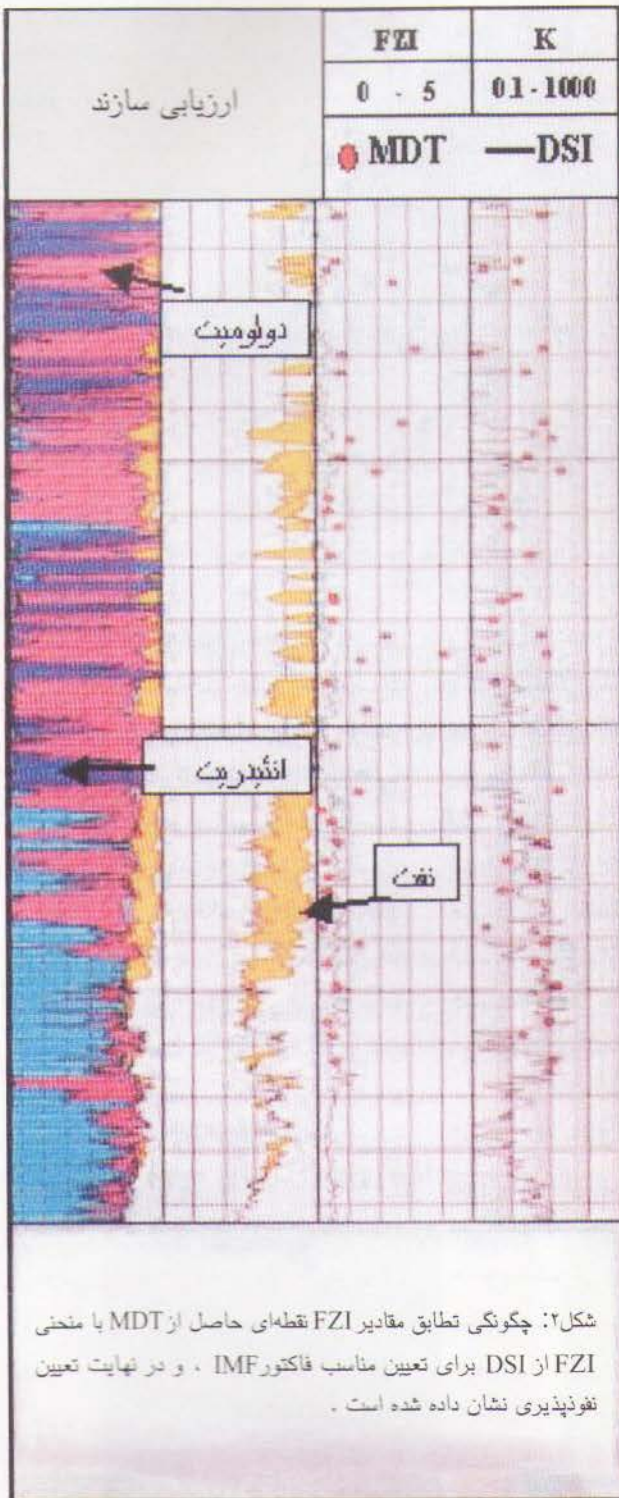
- در دست داشتن، مغزه نفوذپذیری به دست آمده از MDT و یا پروفیل تولید با نرخ کاهش ثابت

- در چاه‌های نامناسب و یا با دیواره ناصاف، این روش چندان کاربرد ندارد.

- این روش محدود به DSI با قابلیت جداسازی قائم

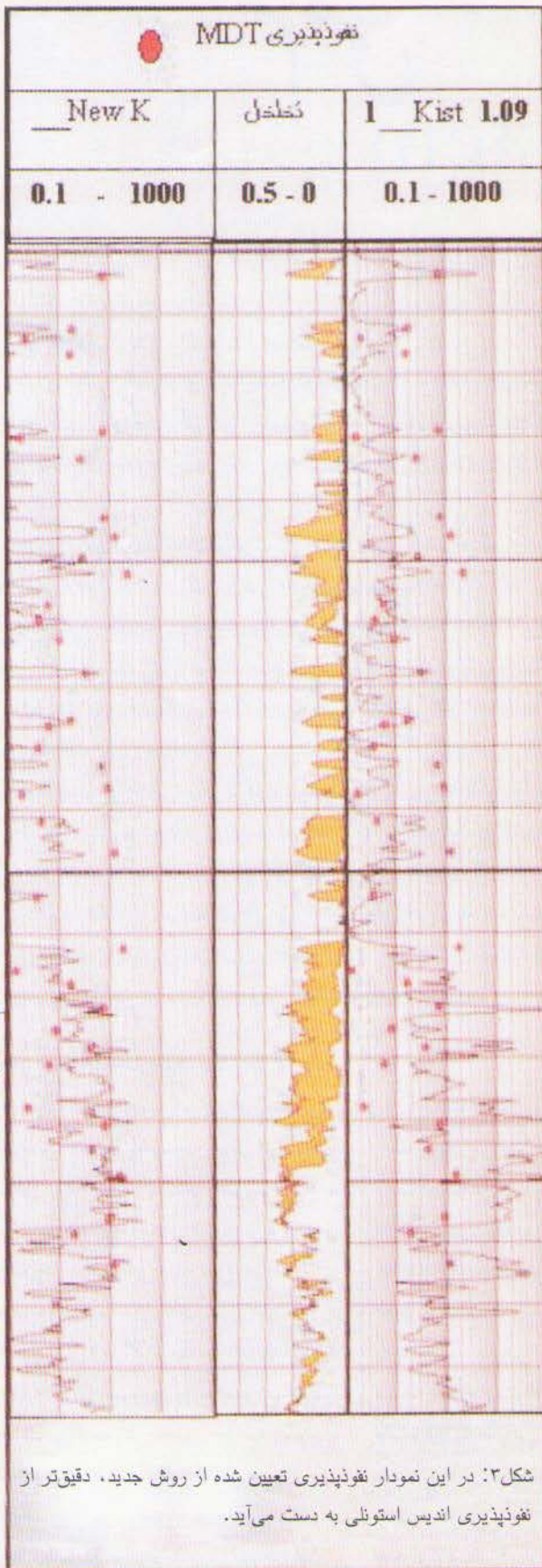
- این روش محدود به DSI با قابلیت

- این روش محدود به DSI با قابلیت



شکل ۲: چگونگی تطابق مقادیر FZI نقطه‌ای حاصل از MDT با منحنی FZI از DSI برای تعیین مناسب فاکتور IMF و در نهایت تعیین نفوذپذیری نشان داده شده است.

نتیجه‌گیری MDT



شکل ۳: در این نمودار نفوذپذیری تعیین شده از روش جدید، دقیق‌تر از نفوذپذیری اندیس استونلی به دست می‌آید.

مثالی از مخزن نفتی کربناته (چاه 12-1/4 اینچ)

در این چاه، هیچ‌گونه اطلاعات و داده‌ای از مغزه در دست نیست. با وجود این که چندین تست MDT انجام گرفته است، با این حال از داده‌های مربوط به بررسی قابلیت تحرک پذیری برای پیش‌بینی نفوذپذیری سازند با فرض فیلترگل حفاری (Mud Filtrate) با ویسکوزیته ۵/۵ سانتی‌پواز استفاده می‌شود (شکل ۲).

مخزن کربناتی و حاوی نفت است که به طور عمده از دولومیت سنگ آهک و لایه‌های انیدریت با ندول‌های انیدریت تشکیل شده است.

از آنجا که برای این دسترسی به کندشدگی مربوط به پالایه گل، مقادیر چگالی و IMF مورد نیاز است یک منحنی (شکل ۱) تهیه شده است. چگالی تراویده گل ۱/۱۲ (g/cc) و میزان کندشدگی آن ۱۷۶ (μs/ft) در زون نفوذناپذیر مشاهده شده است.

با توجه به این روش جدید، تنها فاکتور تجربی مورد نیاز برای این کالیبراسیون، IMF است. با انجام مکرر عملیات، مقدار IMF برای دولومیت ۲۵، برای کلسیت نه به دست آمده تا با FZI حاصل از MDT مطابقت کند (شکل ۲).

هر مقدار FZI حاصل از DSI با مقادیر FZI از MDT مطابقت داده می‌شوند، از این رو نفوذپذیری را از این روش جدید می‌توان محاسبه نمود. بهترین تطابق با نفوذپذیری حاصل از MDT در شکل ۲ و ۳ مشاهده می‌شود.

برخی از این مقادیر نفوذپذیری MDT بر روی منحنی نفوذپذیری ترسیمی روش جدید قرار نمی‌گیرند و این با توجه به جداسازی قائم نمودارهای DSI و PEX و فرض ثابت بودن ویسکوزیته برای محاسبه FZI و MDT است.

اگر نفوذپذیری به سبب ناهمگونی آریموتال باشد، مانند تخلخل ثانویه یا شکستگی، این تغییر را می‌توان در نمودارهایی با قدرت جداسازی بالا، مانند FMI مشاهده نمود.

نتیجه‌گیری

• اندیس

نفوذپذیری استونلی تابعی از میزان پیچ‌خوردگی، شکل و اندازه کانال‌های ارتباطی حفره‌ها است و FZI را می‌توان از اندیس نفوذپذیری استونلی به دست آورد و از روی آن نفوذپذیری را تعیین کرد.

• انتظار می‌رود که

در آینده بتوان IMF را بر اساس تئوری انتشار موج استونلی تشریح کرد.

• مشابه موج

استونلی، می‌توان تطابق بین مقاومت کالیبره شده حاصل از FMI و میزان FZI تعیین نمود تا از روی آن نفوذپذیری دقیق ناحیه ناهمگن را بررسی کرد.

• این روش تنها

تحت شرایط ذکر شده، صدق می‌کند.

شماره ۱۳ - مرداد ماه