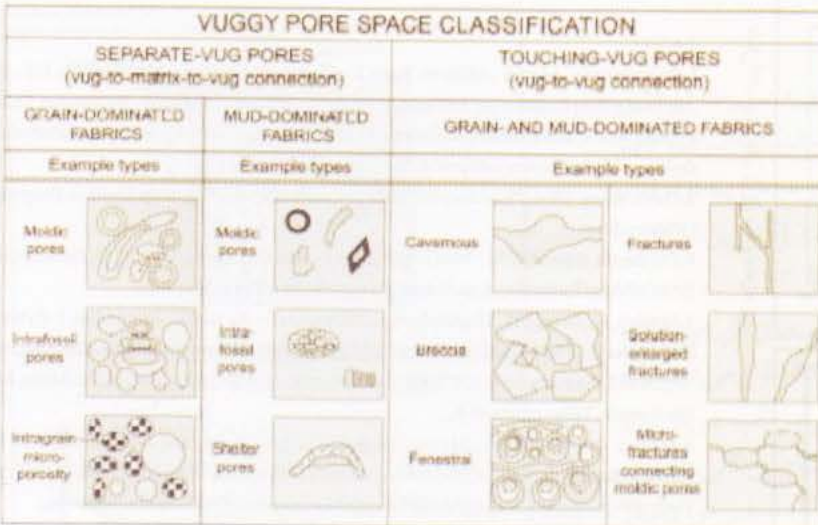
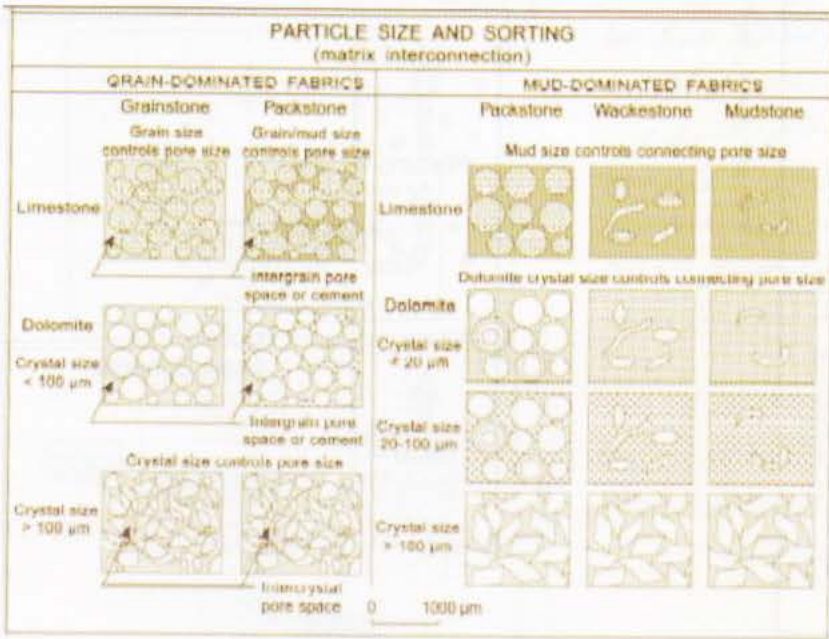


## تخمین تراوایی از طریق نگاره‌های چاه‌پیمایی در مخازن کربناته و ارتباط آن با زمین‌شناسی برای تعیین تراوایی نواحی بین چاه‌ها

بهنام نوروزپور - دانشکده مهندسی اکتشاف نفت - دانشگاه تهران - عضو انجمن SPE

قسمت اول



شکل شماره یک: تقسیم‌بندی فضای خالی بین ذره‌ای طبق تعریف Lucia (بالا) طبقه‌بندی فضای خالی حفره‌ای براساس پیوندهای بین حفرات

### چکیده

این مقاله مدلی

برای تخمین

تراوایی از طریق

نگاره‌های

چاه‌پیمایی در

مخازن کربناته

ارایه می‌دهد.

این مدل از ارتباط

تراوایی با تخلخل

بین دانه‌ای و فابریک

سنگ به عنوان

مشخصات پتروفیزیکی -

زمین‌شناسی کمک می‌گیرد.

این نوع طبقه‌بندی فابریک

سنگ، مدل زمین‌شناسی مناسبی

را برای تعیین تراوایی بین چاه‌ها فراهم

می‌سازد. تخلخل و تراوایی بسیار متغیر بوده و

نمی‌توان رابطه مناسبی را برای مخازن کربناته، بین آنها پیدا کرد،

اما تغییرات فابریک سنگ در شبکه چینه‌ای سکانس‌ها روند منظمی دارد.

۲۴  
ژانویه ۱۳۸۴



مقدمه

از تلفیق اندازه گیری های پتروفیزیکی و خصوصیات فضایی آن، می توان در جهت تعیین مدل مخزن، استفاده کرد و با اضافه کردن مدل های زمین شناسی می توان فواصل بین چاه ها (جایی که اندازه گیری مستقیم پتروفیزیکی مشکل باشد) را نیز مطالعه نمود. این ارتباط اگر از طریق تلفیق خصوصیات فابریک سنگ و اندازه گیری های پتروفیزیکی صورت گیرد، بهترین نتیجه را خواهد داد. این کار برای اولین بار توسط Lucia انجام گرفته است.

تقسیم بندی پتروفیزیکی فابریک سنگ های کربناته

فابریک سنگ را بر اساس روابط تخلخل - تراوایی و ویژگی های موینگی آن می توان به سه کلاس پتروفیزیکی تقسیم بندی کرد: (شکل شماره ۲).

- کلاس یک: شامل گرینستون، دول گرینستون (Dolo Grainstone) و دولستون های (Dolostone) بلور درشت.

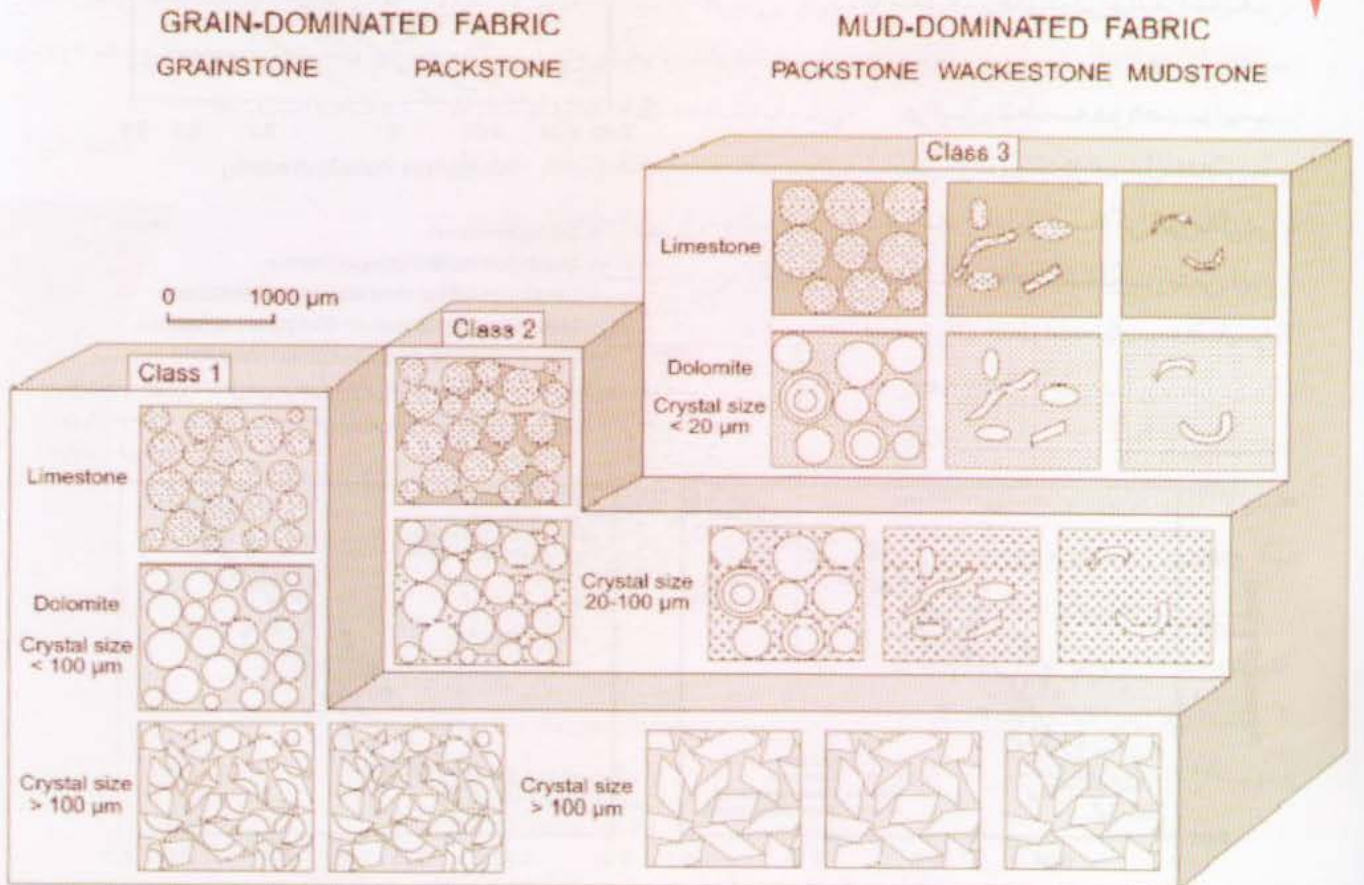
- کلاس دو: شامل پکستون های (Packstone) دانه ای، دول پکستون با دانه های ریز و متوسط بلور و دولستون های گلی متوسط بلور.

- کلاس سه: شامل آهک های گلی و دولستون های گلی ریز بلور.

تراوایی سنگ آهک با افزایش تخلخل بین دانه ای، جورشدگی و اندازه دانه ها، افزایش می یابد. (شکل ۳). آهک های گلی، کمترین تراوایی را دارند و در آباک تخلخل - تراوایی، در محدوده کلاس سه قرار می گیرند. پکستون های دانه ای، تراوایی بیشتری داشته و در کلاس دو جای دارند. گرینستون ها بیشترین تراوایی را دارند و در کلاس یک طبقه بندی می شوند. تراوایی در دولستون ها نیز با افزایش تخلخل بین دانه ای، اندازه دانه و

PETROPHYSICAL CLASSES

(شکل ۲)



شکل شماره دو: کلاس های مختلف فابریک سنگ بر اساس اندازه ذره و جورشدگی آنها با نسبت های تخلخل بین ذره ای - تراوایی مشابه

شماره ۲۳ - تیر ۱۳۸۴

جورشدگی سنگ آهک‌های زمینه،  
افزایش می‌یابد (شکل ۴).

## مدلسازی تراوایی در سنگ‌های کربناته:

مدل نهایی تخلخل- تراوایی که  
قبلاً مورد استفاده قرار می‌گرفت  
عبارتست از:

$$K = \alpha \exp(\beta \phi) \quad (1)$$

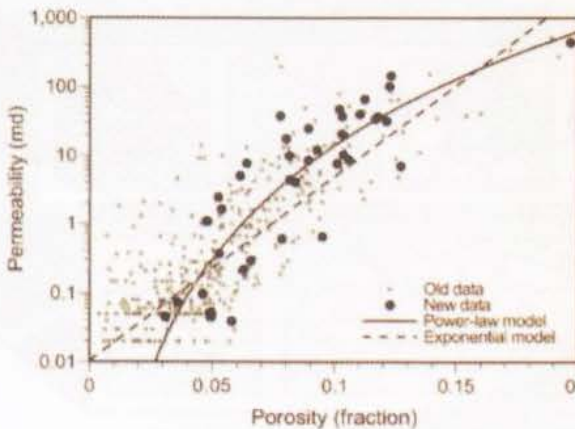
در این رابطه  $K$  تراوایی،  $\phi$   
تخلخل، و  $\beta$  و  $\alpha$  ضرایب ثابت هستند.  
مشکل این مدل این است که برای  
تخلخل صفر، مقدار تراوایی بزرگ‌تر  
از صفر را نسبت می‌دهد که موجب  
بروز خطاهای زیادی در مدلسازی  
مخزن می‌شود.

روابط واقعی تر تخلخل- تراوایی  
به شکل مدل‌های توانی بیان می‌شوند.

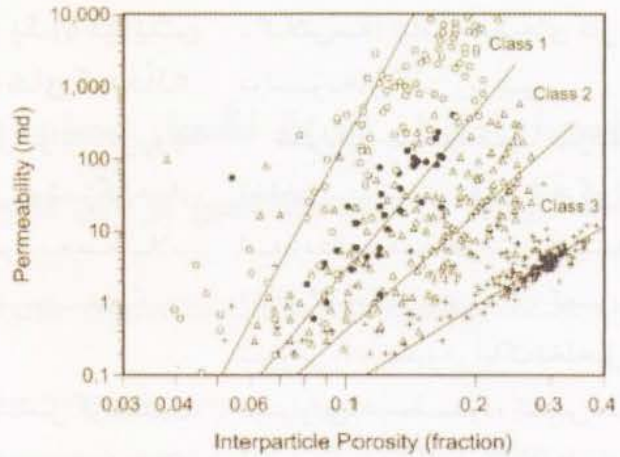
$$K = a \cdot \phi^b \quad (1)$$

در این رابطه  $a$  و  $b$  ضرایب  
ثابت بوده و مشکل مدلی را  
ندارند. به دلیل سادگی این مدل در  
دستگاه مختصات لگاریتمی (به  
صورت خط راست) به سایر

(شکل ۵) ▽



شکل شماره پنج: مقایسه بین مدل‌های تخلخل / تراوایی توانی و نمایی در دستگاه مختصات نیمه لگاریتمی (سمت چپ) و لگاریتمی (سمت راست)

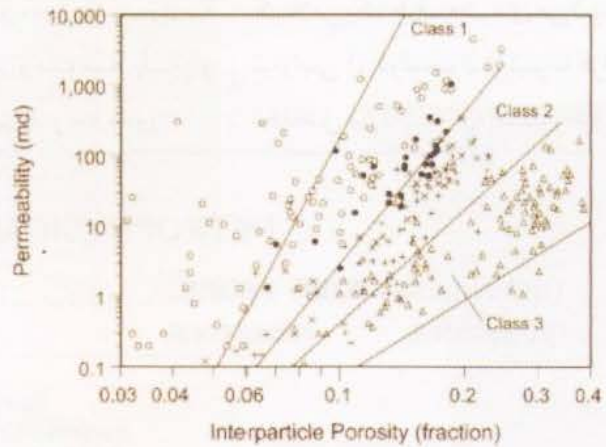


(شکل ۳)

- Grainstone
- Large-grain grain-dominated packstone
- △ Grain-dominated packstone
- ✦ Mud-dominated fabrics

QA-9208

شکل شماره سه: تخلخل بین ذره‌ای و تراوایی فابریک سنگ آهک



(شکل ۴)

- Dolograinstone
- △ Grain-dominated dolopackstone
- Large crystalline mud-dominated dolostone
- ✦ Medium crystalline mud-dominated dolostone
- ▽ Fine crystalline mud-dominated dolostone

QA-9209

شکل شماره چهار: تخلخل بین ذره‌ای و تراوایی فابریک دولستون، تراوایی تابعی از سنگ آهک  
سوروشی موجود در سنگ است. همچنین تراوایی در دولستون‌های گلی تابعی از اندازه بلورهای  
دولومیت می‌باشد.



## مقایسه با سایر مدل‌های تراوایی:

**مدل‌های Winland-pittman:** وینلند یک مدل توانی ارائه داد که ارتباط بین تخلخل، تراوایی و شعاع گلوگاه حفرات را نشان می‌دهد. پیت‌من نیز با استفاده از داده‌های بیشتر، ضرایب این مدل را تصحیح کرد.

$$K = a_{wp} \phi^{b_{wp}} r_{35}^{c_{wp}} \quad (4)$$

در این رابطه  $K$  تراوایی تصحیح‌نشده در هوا،  $\phi$  تخلخل و  $r_{35}$  شعاع اندازه‌گیری شده گلوگاه حفره به وسیله آزمایش تزریق جیوه در درجه اشباع ۳۵ درصد از جیوه می‌باشد و  $a_{wp}$  و  $b_{wp}$  و  $c_{wp}$  مقادیر ثابت هستند. البته هدف اصلی این معادله پیش‌بینی شعاع گلوگاه حفرات به منظور طبقه‌بندی سنگ‌هاست.

ادامه دارد

تخلخل بین ذره‌ای است. این رابطه به کمک یک تابع توانی که به ضرایب فابریک سنگ وابسته می‌باشد، مدل‌سازی شده است.

$$K = e^{a(\lambda)} \cdot \phi_{ip} b(\lambda) \quad (3a)$$

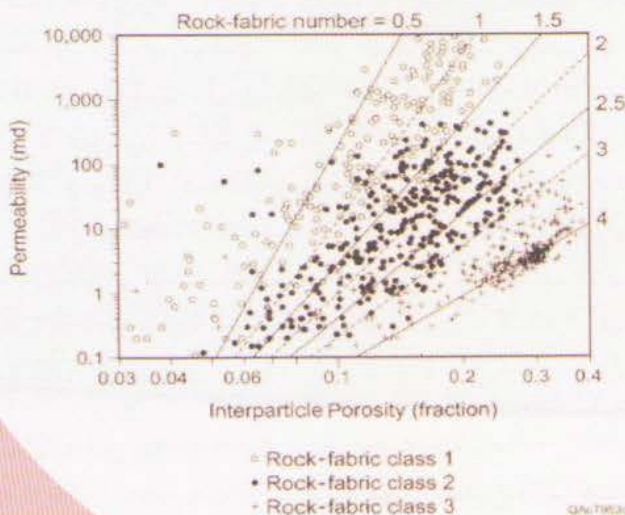
$\phi_{ip}$  تخلخل بین ذره‌ای و  $a(\lambda)$  و  $b(\lambda)$  پارامترهای وابسته به عدد فابریک سنگ ( $\lambda$ ) می‌باشند.

$$a(\lambda) = a_0 - a_1 \ln(\lambda) \quad (3b)$$

$$b(\lambda) = b_0 - b_1 \ln(\lambda) \quad (3c)$$

برای سهولت و کارایی بیشتر، علاوه بر مقادیر یک و دو و سه به عنوان کلاس‌های مختلف فابریک سنگ، مقادیر ۰/۵، ۱/۵، ۲/۵ و ۴ برای مقادیر مابین داده‌های  $k$  و  $\phi_{ip}$  در نظر گرفته شده است. این مدل با داده‌های تراوایی بین ۰/۱ تا ۱۰۰۰۰ میلی داری کالیبره شده‌اند. با یک برون‌یابی ساده می‌توان مشاهده کرد که تمام خطوط فابریک سنگ، تقریباً در تخلخل ۳/۵ درصد و تراوایی ۰/۰۷ میلی داری

به یکدیگر می‌رسند (شکل ۶).



شکل شماره شش: تراوایی و تخلخل بین ذره‌ای سنگ آهک و دولستون که براساس فابریک سنگ به کمک مطالعات مقطع نازک به دست آمده (نقاط) و مقادیر پیش‌بینی شده آنها براساس مدل عمومی تخلخل / تراوایی / فابریک سنگ (خطوط)

مدل‌های تخلخل- تراوایی ترجیح داده می‌شوند. البته گاهی مدل‌نمایی در بعضی از نمونه‌ها نسبت به مدل نتایج بهتری می‌دهد که ممکن است به دلیل اندازه‌گیری‌های نادرست صورت‌پذیرد. البته خطاهای سیستماتیک آزمایشگاهی به ویژه در تخلخل‌های کم نیز دلیل بسیار شایعی است. بنابراین بایستی داده‌های به دست آمده از هر آزمایش را کاملاً بازبینی کرد. به ویژه زمانی که به نظر می‌رسد داده‌های تخلخل- تراوایی از مدل‌نمایی بهتر پیروی می‌کنند.

## مدل عمومی تراوایی برای سنگ‌های کربناته:

مدل‌های تراوایی و تخلخل بین ذره‌ای برای سه کلاس سنگ‌های کربناته قبلاً ارائه شده‌اند. اما تعداد زیادی از نمونه‌ها به دلیل رنج کم تغییرات اندازه ذرات و جورشدگی آنها در هر کلاس، خارج از این کلاس‌ها قرار می‌گیرند.

بین فابریک سنگ‌ها، از گل سنگ‌های جورشده تا و کستون‌های پلوئیدی، پکستون‌های دانه‌ای غنی از گل، پکستون‌های دانه‌ای فقیر از گل و گرینستون‌های ۱۰۰ تا ۵۰ میکرومتری، پیوستگی وجود دارد. بنابراین فضای خالی و اندازه گلوگاه‌ها که تراوایی را در سنگ‌های کربناته کنترل می‌کنند، خود تابعی از پیوستگی اندازه ذرات، جورشدگی و