

## أنواع النفوذية

- للنفوذية أنواع تصنف كما يلي :
- النفوذية المطلقة  $K$  (فيزيائية)
  - النفوذية الطورية (أو الفعالة)
  - النفوذية النسبية

**النفوذية المطلقة :** هي قابلية التشكيلة للسماح للموائع بالمرور من خلالها بحيث تكون هذه التشكيلة مشبعة 100% بمائع متجانس ( أي قيمة النفوذية لمائع متجانس ليس له تأثير على الوسط الذي يحيوه ) ، وتقاس بوحدة الدارسي

تقدر النفوذية الفيزيائية كمياً بواسطة عامل النفوذية  $k$  الذي يلعب دور عامل التناوب بين سرعة رشح سائل من خلال صخر ما ودرجه الهيدروليكي الذي يعتبر القوة المحركة لذلك السائل ذي اللزوجة  $\mu$  ، وترتبط هذه العناصر مع بعضها من خلال قانون دراسي التالي:

$$V = \frac{k * \frac{\Delta p}{\Delta l}}{\mu}$$

$$V = \frac{\square}{F}$$

وبما أن سرعة الرشح ليست إلا نسبة تصريف السائل إلى مقطع الصخر .

فإننا نحصل وانطلاقاً من قانون دراسي على العلاقة التالية المحددة لعامل النفوذية:

$$K = \frac{Q \cdot \bar{\Delta}l \cdot \mu}{F \cdot \Delta p}$$

حيث  $k$  عامل النفاذية الفيزيائية.  
 $Q$  نسبة تصريف السائل.  
 $\Delta L$  تدرج الصخر الهيدروليكي.  
 $\mu$  لزوجة السائل.  
 $F$  مقطع الصخر.  
 $\Delta P$  القوة المحركة لصخر ما.

**النفوذية الفعالة :** وهي قابلية التشكيلة للسماح للموائع بالمرور من خلالها بوجود موائع أخرى ( أي قدرة الصخر على إمرار مائع عبره بتواجد مائع آخر لا يمتزجان مع بعضهما ) .  
إذا لم تكن الطبقة مشبعة 100% بالمائع أو كان هناك موائع مصاحبه (غاز، نفط، ماء) فإن النفوذية المقاسة تكون نفوذية فعالة .

**النفوذية النسبية :** هي نسبة النفوذية الفعالة إلى المطلقة ، أو نسبة انتقال مائع بالنسبة لمائع آخر ضمن نفس التشكيلة وقيمتها محصورة بين الصفر وقيمة النفوذية المطلقة.

تكون النفوذية الفعالة أقل من النفوذية المطلقة للتشكيلة، عند وجود أكثر من مائع ( نفط و ماء ، أو نفط و غاز). وتعتمد نفوذية التشكيلات على النفوذية الفعالة .

## تأثير أبعاد المسامات على النفوذية :

تتغير قيمة النفوذية بحدود كبيرة تبعاً لتغير أبعاد الفراغ المسامي في الصخر لأن الفراغ المسامي هو الذي يحدد حجم السوائل والغازات المتحركة في الصخر.

احياناً يلاحظ أنه كلما زادت المسامية الفعالة كلما زادت النفاذية في الصخور الرملية تزداد المسامية الفعالة مع زيادة حجم الحبيبات لكن زيادة النفوذية مع زيادة المسامية الفعالة ليس دائماً والعلاقة بينهما ليست دوماً صحيحة فمن الممكن أن ينقص حجم الحبيبات في حين المسامية ثابتة وتقل النفوذية .

في الصخور **الخازنة الكلسية** تكون العلاقة بين المسامية الفعالة والنفوذية متغيرة جداً أيضاً ، ولا تعتمد على نوع ودرجة تصنيف الحبيبات، ولكن هناك صخور كلسية خازنة لها ( مسامية بين الحبيبية ) وزيادة مساميتها تؤدي إلى نفوذية عالية .

بشكل عام تقل نفوذية الصخور للسوائل والغازات كلما قلت أبعاد المسام والقنوات التي تصل بين هذه المسامات في الصخور، ويمكن ملاحظة علاقة خطية بين النفوذية والفراغ المسامي وهذه العلاقة لا تعتبر ثابتة بل تختلف من صخر إلى آخر لذلك فإن دراسة علاقة النفوذية بالفراغ المسامي من خلال عامل المسامية غير كافية .

لهذا تم دراسة هذه العلاقة بمساعدة عوامل أخرى مثل السطح النوعي  $Sp$  وترعرع القنوات المسامية في الصخر  $T$  وتدعى علاقة كوزني \_كارمان وتعطى بالشكل:

$$k = \frac{n^3}{f * sp^2 * T^2}$$

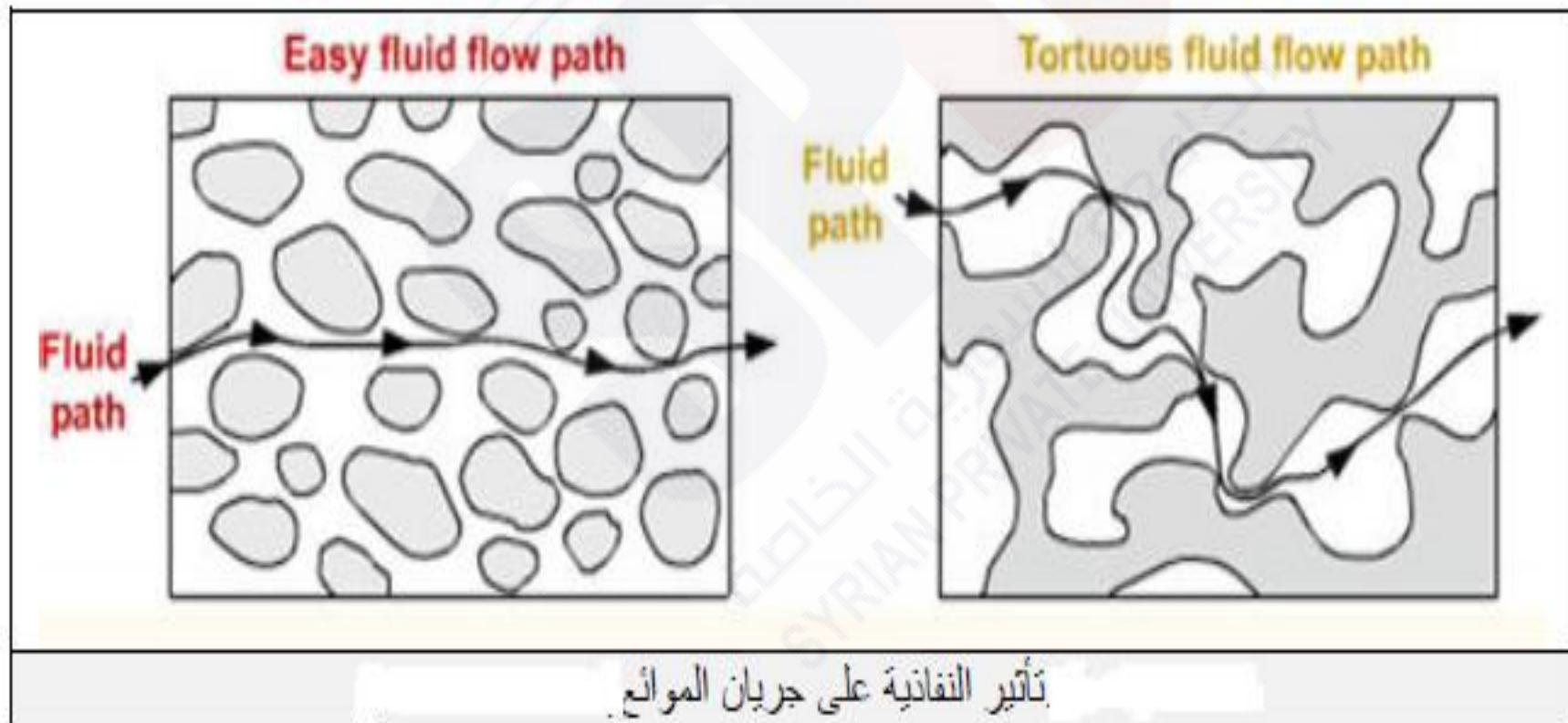
حيث:  $n$  المسامية العامة في الصخر

تعرج القنوات المسامية وهو نسبة الوسطي الإحصائي لطول القنوات إلى أقصى مسافة  $L$  بين بداية ونهاية القناة.

$f$  عامل يأخذ بعين الاعتبار شكل القنوات المسامية.

حيث نرى من علاقة كوزني - كارمان أن النفوذية تتناسب طرداً مع مكعب المسامية وعكساً مع مربع السطح النوعي و مربع التعرج.

يؤثر معامل التعرج على قيمة النفوذية وهذا المعامل يساوي واحد إذا كانت مسارات المائع داخل الوسط المسامي مستقيمة، وهذا يعني أن النفاذية تقل بزيادة قيمة هذا المعامل ( أي بزيادة تعرج مسار المائع داخل الوسط المسامي).

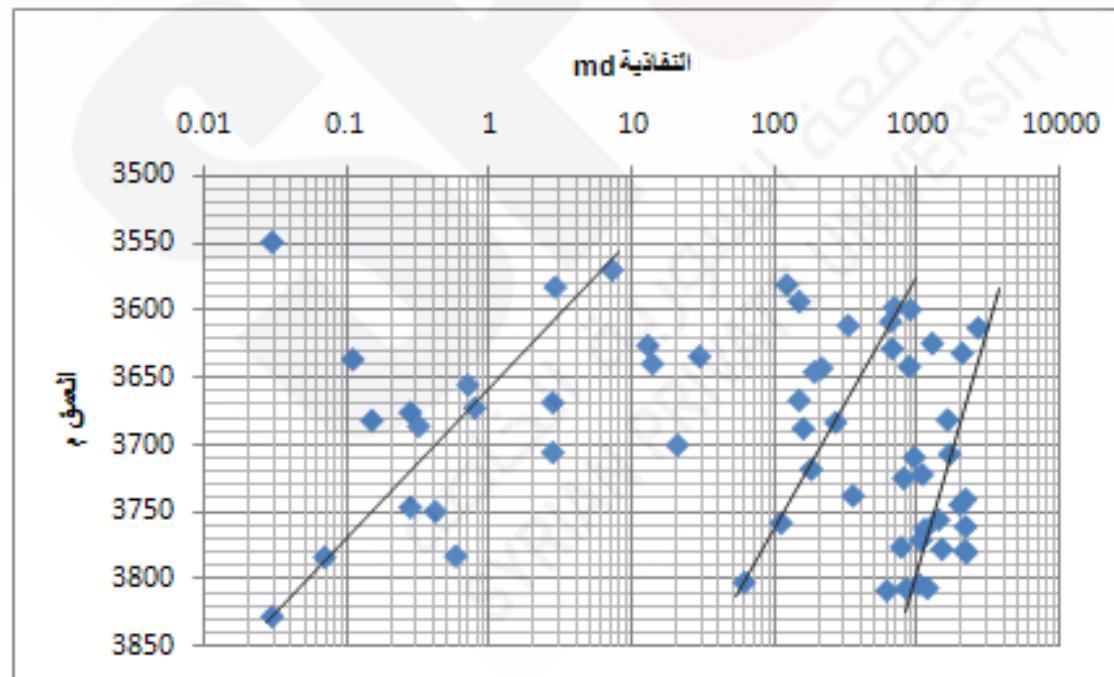


## تغير النفوذية مع العمق :

بشكل عام تتناقص قيم النفوذية بزيادة العمق ، حيث تتأثر النفوذية

- **عمليات التراص** التي يخضع لها الصخر تحت تأثير الضغط الناجم عن حمل الرسوبيات المتوضعة فوقه
- تتأثر بالتركيب الفلزی للصخر، فتناقص النفوذية مع تزايد نسبة الغضار والسيدريت في الصخر والذي يتوضع عملياً بين مسامات الصخر، ويعيق حركة المواقع ضمن مسامات الصخر.

مثال : علاقة النفوذية مع العمق ضمن تشكيلة رملية



مخطط : العلاقة بين النفاذية و العمق ضمن التشكيلة.

## **خصائص فيزيائية أخرى للصخور الخازنة:**

تعد المسامية والنفوذية الخاصتين الرئيسيتين للصخور الخازنة، وهما فقط اللتان تدخلان في مجال عمل جيولوجي البترول. أما بالنسبة للعاملين في حقل الإنتاج البترولي، فهناك صفة أخرى هامة عند دراسة وتقدير الصخور الخازنة، وهي **الخصائص الشعرية للصخر**.

هذه الخصائص ترتبط :

- بليتولوجية الصخر الخازن وبخاصة بأبعاد وأشكال المسامات فيه
- بطبيعة السوائل التي تشبع مسامات الصخر

تدرس هذه الخواص من قبل مهندسي الإنتاج على إطار المكمن ككل، لكونها تلعب دوراً رئيسياً في توجيه وتحيط عملية استثماره، حيث أنه من المعلوم أن درجة الإشباع للسوائل في المكمن، ودرجة الإشباع بالسوائل التي لا يمكن استثمارها هي على علاقة مباشرة بالخصائص الشعرية للمستويات الخازنة ومن هنا تأتي الأهمية الكبيرة لهذه الخصائص.

## مثال : تقييم المسامية والنفوذية لتشكيلة F في البئر A

تبدي تشكيلة F قيماً للمسامية تتراوح بين المتوسطة والجيدة (8-13%) وتبعد قيمة وسطية 11% ويمكن أن تصل لقيم عالية حوالي 18% .

نسبة الفرزات الغضاربية %	MD	نفاذية	مسامية %	العمق م
40.8	0.03	2	3549.6	
3.7	7.3	8.4	3570.2	
10	123	13.8	3581.1	
0	2.9	2.5	3582.9	
7	150	12.2	3593.5	
14	697	18.3	3598	
1	900	13.7	3599.5	
5	657	11.1	3608.4	

النفوذية :  
 تبلغ قيمتها الوسطية  
 في التشكيلة 661 MD  
 وأكبر قيمة لها تصل 2700 MD  
 كما وتبدى هذه القيم تناقصاً بتزايد  
 أعمق التشكيلة

غير نفوذة وغير منتجة

صخور نفوذة

متوسطة وعالية الانتاجية

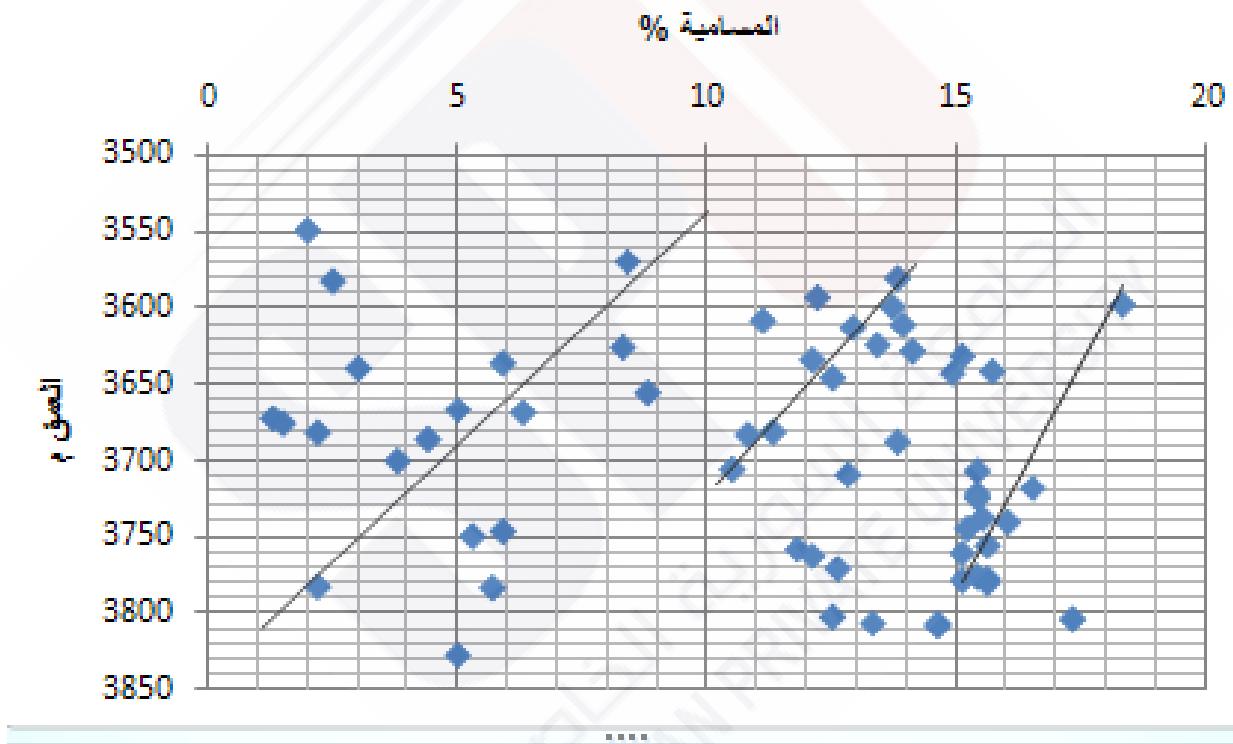
أعمق أخرى : مسامية ( 5-17 % )  
 النفوذية (0.03-1190 MD)

ويلاحظ تناقص قيم المسامية مع تزايد العمق (المخطط المرفق )، ونلاحظ وجود ثلاث تجمعات ضمن الأسرة الرملية تختلف هذه التجمعات تبعاً للتغير السحن ضمن التشكيلة (نتيجة اختلاف بيئه الترسيب)

التجمع الاول : يعود لصخور رملية غضارية وسيلت حيث تتجاوز نسبة الغضار فيه 10%،

التجمع الثاني : يعود لصخور رملية ناعمة وغير متجانسة تراوح مساميتها بين (10-15)،

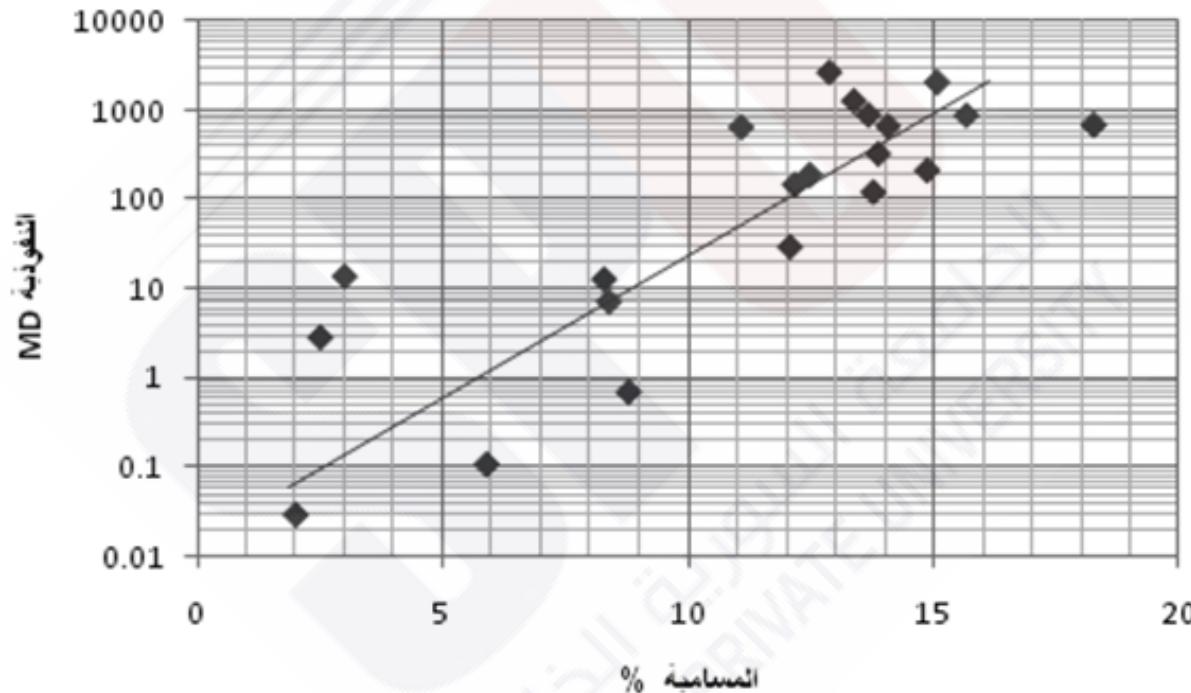
التجمع الثالث : صخور رملية لا تتجاوز نسبة الفلزات الغضارية فيها (3-4) % متوسطة إلى جيدة الفرز.



العلاقة بين المسامية والعمق في التشكيلة

في هذا المثال نلاحظ :

- تكون مسامية ونفاذية جيدة -- ويكون حجم الحبات الرملية كبير نسبياً --- وتقل نسبة الفلزات الغبارية فيه ، ---وتزداد نسبة الفلزات الغبارية عند الانتقال إلى رسوبات نهرية .
- عند مقارنة قيم المسامية مع النفاذية نلاحظ وجود علاقة ارتباط طردي بينهما بحيث تزداد المسامية مع تزايد النفاذية



العلاقة بين النفاذية والمسامية في تتشكيلة المولوسا F.

- يلاحظ وجود مسامية منخفضة مع نفوذية منخفضة لبعض النطاقات وذلك نتيجة تواجد نسبة من الفلزات الغبارية ضمن الحجر الرملي والتي تعمل على تقليل قيم المسامية وزيادة السطح النوعي والذي يتاسب عكساً مع النفوذية (حسب علاقة كوزني - كارمان).

تبدي هذه التشكيلة قيمًا مختلفة للنفوذية : نطاقات تتضمن صخور نفوذة متوسطة وعالية الانتاجية تتراوح بين (MD 112-2240) ويمكن مشاهدة بعض القيم لمستويات نصف نفوذة أو غير نفوذة وغير منتجة تتراوح بين (MD 0.28-2.8).

هذا التغير بالنفوذية يعود إلى المتحولات المؤثرة

نفوذية الصخور الحطامية تتعلق بالمتحولات التالية :

نسبة الفلزات الغضاروية %	نفاذية MD	مسامية %	العمق M
40.8	0.03	2	3549.6
3.7	7.3	8.4	3570.2
10	123	13.8	3581.1
0	2.9	2.5	3582.9
7	150	12.2	3593.5
14	697	18.3	3598
1	900	13.7	3599.5
5	657	11.1	3608.4

-مسامية الصخر - سطحه النوعي

-تدرج قنواته المسامية

-التركيب الكيميائي والفلزي للصخر

- وشكل وأبعاد حباته

- ودرجة التجانس

- ودرجة ارتباطه بالملاط

-محتويات الصخر من المواد الغضاروية

( فكلما زادت فيه هذه المحتويات نقصت المسامية بشكل حاد وسبب ذلك نقصان

المسامية وزيادة السطح النوعي

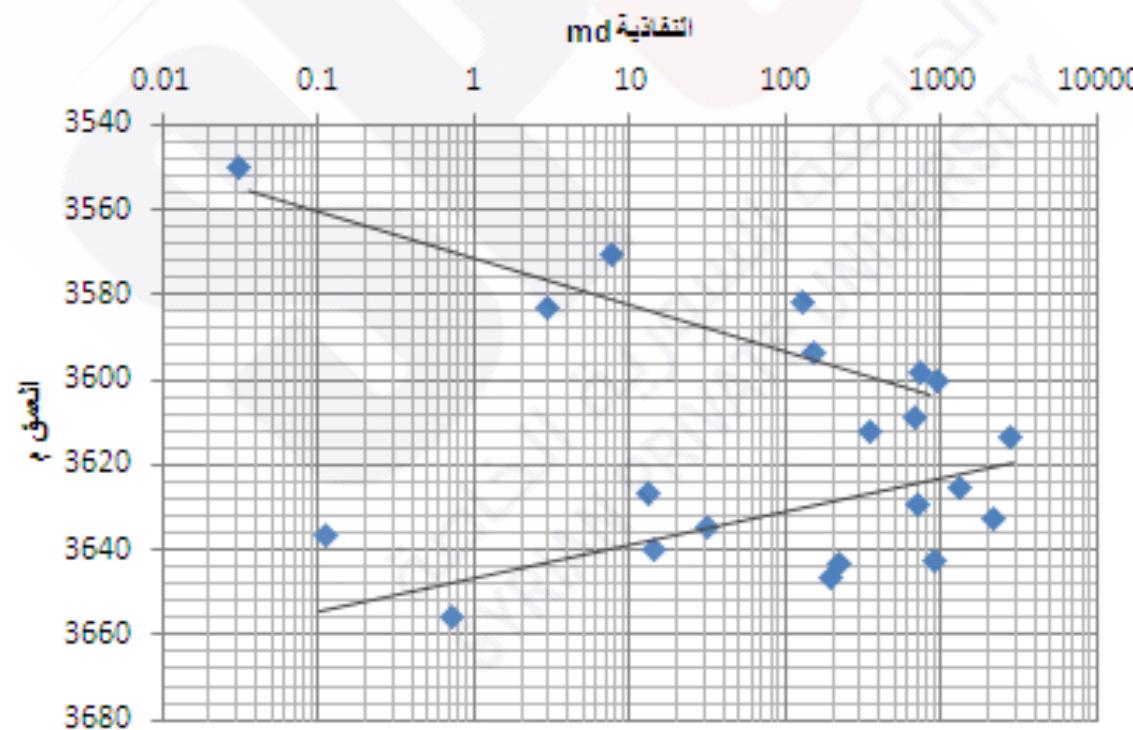
وزيادة تدرج القنوات المسامية .

-القيم المنخفضة جداً للنفوذية عائدة على الأغلب لصخور تزيد فيها نسبة الفلزات الغضاروية عن 5%

تبين أيضاً أن القيم الجيدة للنفوذية (2700-123 MD) تعود لحجر رملي كوارتزي ولا تتجاوز نسبة الغبار والكربونات فيه (0.7%).

أما القيم الضعيفة للنفوذية فهي تعود لصخور رملية كوارتزية غضارية ذات مسامية قليلة إلى ضعيفة.

تبدي قيم النفوذية في هذه التشكيلة قيم منخفضة للنفوذية تزداد مع تزايد العمق وذلك نتيجة تناقص نسبة الفلزات الكربوناتية والغضارية في هذا الجزء (من الأعلى باتجاه الأسفل) حيث يزداد السطح النوعي للصخر عند توافر نسبة من الغبار والكربونات فيه وهذا يقلل من قيم النفوذية ويستمر حتى العمق (3600 م) بعدها يلاحظ تشكل منحني ثانٍ يبدى تناقصاً مع العمق، بشكل مماثل للمسامية.



العلاقة بين النفوذية والعمق ضمن التشكيلة

-وبمقارنة قيم المسامية مع العمق في هذه التشكيلة نجد أنها تتناقص مع تزايد العمق

وذلك نتيجة عمليات التراص غير المنتظمة التي تعرض لها الصخر بسبب تواجد نسبة من الفلزات الغضارية وهذا يجعله أكثر قابلية للانضغاط من الحجر الرملي الكوارتزى حيث تكون حبات الكوارتز غير متأثرة بالتراص بسبب قساوتها العالية .

-يلاحظ وجود شواذات بقيم المسامية والنفوذية نتيجة تغير نسبة الفلزات الغضارية والكربوناتية في الحجر الرملي من الأعلى باتجاه الأسفل

بشكل عام يمكن القول :

- تتراوح القيمة الوسطية للمسامية في الحقل بين (8-11%) وهي مسامية متوسطة إلى منخفضة.
- تتراوح قيم النفوذية الوسطية بين (md 300 - 500) وتعود لصخر رملي متوسط إلى ضعيف الاتاجية.