ميكانيك الصخور Rocks Mechanics

1-3 مقدمة

إن موضوع ميكانيك الصخور يعتبر احد اسس الجيولوجيا الهندسية ومن المواضيع المهمة في هذا الحقل ، حيث جاء الاهتمام بموضوع ميكانيك الصخور من عدة اتجاهات منها : الجيوفيزياء وعلاقتها بظواهر الاهتزازات ، والجيولوجيا التركيبية وعلاقتها بتركيب الارض والجيوتكنيك ، والهندسة المدنية كامتداد منطقي لموضوع ميكانيك التربة ، وهندسة الاسس بعلاقته بتصميم الاسس ، والانفاق والمناجم وعلاقتها بالخواص الميكانيكية للصخور، ومشاكل الانزلاقات الارضية ، فضلا عن امكانية الافادة من هذا الموضوع في الاغراض العسكرية .

لقد تطور هذا الموضوع في السنوات الاخيرة بصورة سريعة ، وبصورة خاصة بعد ظهور الحاجة الى منشآت تجلس على قواعد صلبة وقوية لمقاومة الاضرار التي يمكن ان تنجم عن استخدام القنابل الذرية .

إن الصخور في حالتها الطبيعية عبارة عن مادة متصدعة وغير متجانسة ، وخواصها تعتبر غير متشابهة في جميع الاتجاهات Anisotropic ومتقطعة Discontineous .

إن التصميم الانشائي في الصخور يتطلب معرفة الخواص الميكانيكية للصخور، وكذلك التصاميم الخاصة بالمواضيع المذكورة آنفا. من هذا المنطلق يمكن القول أن موضوع ميكانيك الصخور يشغل حيزا كبيرا في موضوع الجيولوجيا الهندسية. لقد عرف ميكانيك الصخور من قبل الاكاديمية الوطنية الامريكية للعلوم بانه عبارة عن علم نظري وتطبيقي للتصرف الميكانيكي للصخور من الجانب الذي له علاقة بتجاوب الصخور مع القوى في الحقل. ويمكن وضع هذا التعريف بصورة ابسط بانه عبارة عن دراسة تأثير القوى في الصخور.

إن الغرض من دراسة ميكانيك الصخور هو الحصول على معلومات يستطيع أن يستخدمها المهندس المدني في تصميم المنشآت على او في الصخور. إن هذه المعلومات يمكن ان تعكس ردود فعل الصخور للقوى المسلطة عليها من خلال :

- التصرف الميكانيكي لمادة الصخور Intact Rock حيث تعين غالبا في المختبرات على عينات صغيرة من اللباب او المقطعة بصورة منتظمة. وفي بعض الاحيان يكون ميكانيك الصخور مختصا فقط بهذا النوع من التحريات.

Scanned with CamScanner

التصرف الميكانيكي للكتل الصخرية Massive Rock التي يحكمها في العادة وجود الفواصل Joints والشقوق Fissures واسطح الطبقات Bedding Planes وظواهر التقطعات التركيبية Structural Discontinuities الصغيرة والكبيرة ، فضلا عن عوامل البيئة ، مثل وجود المياه ...الخ . إن هذا النوع من التحريات وتحليلات التصاميم التي تعقبها تدعى بهندسة الصخور Rock Engineering او ميكانيكية هندسة الصخور Rock Engineering Mechanics .

إن موضوع ميكانيك الصخور هو امتداد لموضوع ميكانيك التربة (الفصل الثاني) حيث بالامكان الرجوع الى الفصل الثاني في كثير من الفقرات لتشابهها وبصورة خاصة الخواص الفيزياوية والعلاقات الوزنية الحجمية .

Scanned with CamScanner

الفصل الثاني

الخواص الهندسية للصخور

Engineering Properties of Rocks

1.2 مقدمة : Introduction

تنقسم الصخور بالنسبة الى اصل تكوينها الى ثلاثة مجاميع رئيسة هي : ـ

الصخور النارية (Ignesus Rocks)

الصخور الرسوبية (Sedimentary Rocks)

الصخور المتحولة (Metamorphic Rocks)

تتميز هذه المجاميع عن بعضها في نوع المعادن المكونة للصخرة وكذلك نوع النسيج الذي تمتاز به (Texture) والذي يعتمد في الاساس على حجم وشكل بلورات المعادن المكونة للصخرة والمادة الرابطة (Cement) بينها ويمكن ان تتغير الصخرة طبيعيا من مادة قوية ومتماسكة (Strong-Consolidated) الى مادة ضعيفة رخوة وغير متماسكة (weak-unconsolidated) تعرف بالتربة (Soil) . فمن النواحي الهندسية يمكننا ان نعزى الفرق الاساسي بين الصخور والتربة الى قوة تماسك الحبيبات او البلورات (Grain or crystals) . ففي الصخور القوية تلتحم البلورات المكونة لها طبيعيا وتضفي على الصخرة قوة تفوق احيانا العلاباة المعدنية للحبيبات المكونة لها . اذن فالمهندس يمكن ان يتعامل مع مادتين متشابهتين في المكونات المعدنية الا انهما تختلفان في

Scanned with CamScanner

مقاومة الضغوط او قوة التحمل (Bearing Capacity) كما هو الحال في الصخور المختلفة والتربة .

لذلك تختلف الخواص الفيزيائية والميكانيكية للصخور باختلاف المادة الصخرية (اي نوع المعادن المكونة) وكذلك باختلاف قوة التحام حبيبات او بلورات هذه المعادن فمثلا تعتبر صخور الكرانيت (Granite) والبازالت (Basalt) النارية من الصخور القوية جدا (High Strength) .عالية الكثافة (High Density) وواطئة المسامية والنفاذية (Low Porosity and Permeability) . بينما تعتبر صخور الطفل (Shale) والرصيص (Conglomerate) الرسوبية من الصخور الضعيفة(Low Strength) قليلة الكثافة (Low Density) ذات مسامية عالية (High Porosity) اذا ماقورنت بالصخور النارية المذكورة انفا.ففي المشاريع الهندسية المزمع تشييدها على تراكيب صخرية . يجب تقويم نوعية الصخور هندسيا اولا بوصفها مواد صخرية (Rock material) اوهنا نتعامل مع المادة الصخرية على انها نماذج يتم فحصها في المختبر لتقويم خواصها وسلوكها الهندسي . وثانيا بوصفها كتلاً صخرية (Rock Masses)وهنا تدرس هيئة طبقات الصخور كما توجد في الطبيعة ويتم تقويم خواصها وسلوكها الهندسي في الحقل (Insitu) . وتشمل الدراسة الاخيرة دراسة الطبقة الصخرية كما توجد في التراكيب الجيولوجية وما تحتويه من فواصل وفوالق وعلى اعماق مختلفة وسوف نتناول في هذا الفصل اهم الخواص الهندسية للصخور .

2.2 الخواص الفيزيائية (الطبيعية) للصخور

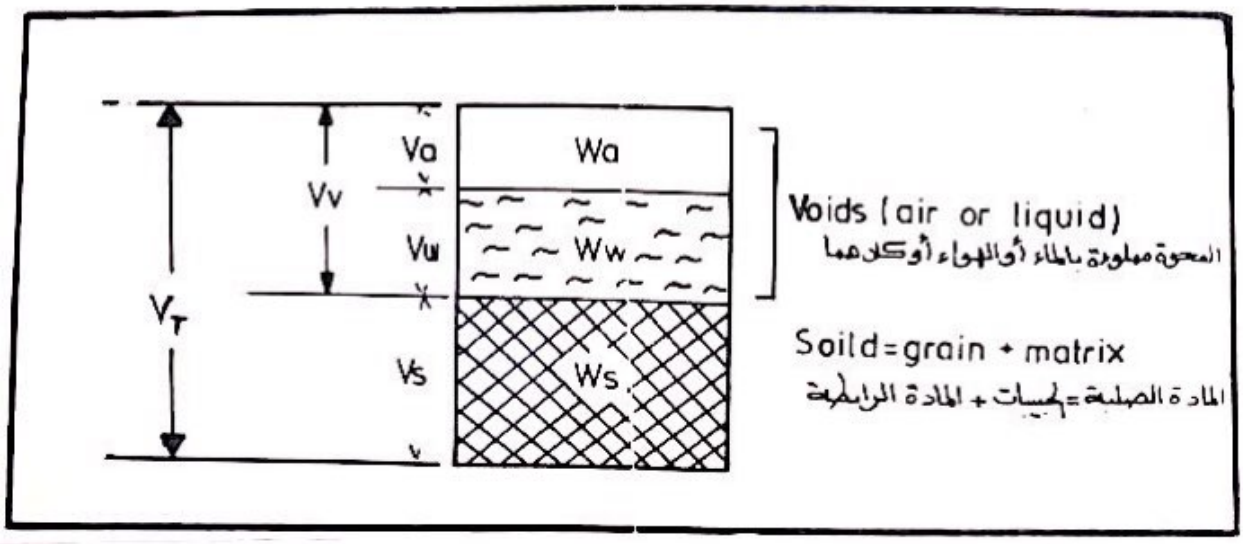
Physical Properties of Rocks

1.2.2 (1) الوزن النوعي والكثافة

Specific Gravity and Density

يعتبر الوزن النوعي والكثافة من الخواص الدالة للصخور (Rocks Index Properties) التي يستعان بها هندسيا في تصنيف الصخور الى عدة مجاميع (Groups)تختلف الواحدة عن الاخرى بخواصها الفيزيائية . ولكي نفهم ماذا يقصد بالخواص الفيزيائية الدالة للصخور نأخذ الشكل (2 ـ 1) الذي يوضح الحالة الفيزيائية للمادة الصخرية. فاذا تصورنا ان مادة الصخر اساسا تحتوي على جزائين منفصلين . الجزء الاول يمثل المادة الصلبة (Solid matter) والتي تكون متمثلة بحبيبات المعادن الصلبة (Mineral Grains) . والجزء الثاني يكون متمثلاً بالفراغات (Pores) الموجودة بين حبيبات او بلورات المعادن المكونة للصخرة

Scanned with CamScanner



شكل (2 ـ 1) يوضح علاقات الخواص الفيزيائية .

حيث ترمز الحروف التالية الى ما يأتي ،

Vv=الحجم الكلي للفجوات او الفراغات (Total Pore Volume)

Ww=وزن الماء المسامي (Pore Water weight)

Vw=الحجم الكلي للماء في المسامات (Pore water volume)

Wa=وزن الهواء أو الغاز المسامي (ويهمل في اغلب الحسابات)

Va=حجم الهواء أو الغاز المسامي (Pore air Volume)

Vs=حجم المادة الصلبة في الصخرة او الحجم الكلي للحبيبات
(Total Volume of solid matter)

Ws=وزن المادة الصلبة في الصخرة أو الوزن الكلي للحبيبات
(Total Weight of Solids)

V_T=الحجم الكلي لنموذج الصخرة (Bulk Volume)

والتي تكون مملوءة بالهواء او الغاز (Air or Gas) أو الماء (Water) .فيمكننا حساب الوزن النوعي والكثافة وفق الأتي :

$$\text{الكثافة الجافة} = \frac{\text{وزن المادة الصلبة او الحبيبات}}{\text{الحجم الكلي لنموذج الصخرة}}$$

Scanned with CamScanner

$$\gamma_d = \frac{W_s}{V_T} \qquad \ldots (1-2)$$

أما كثافة النموذج المشبع أو الحاوي على ماء (wet Density) فيمكن تعريفها كما في المعادلة الأتية :

$$\gamma = \frac{W_s + W_w}{V_T} \qquad \ldots (2-2)$$

وبالنسبة للنموذج المشبع بالماء فان جميع المسامات مشبعة بالماء .

$$\gamma = \frac{W_s + (V_v \times \gamma_w)}{V_T} \qquad \ldots (3-2)$$

أما الوزن النوعي الظاهري الجاف (Dry apparent Specific Gravity) للصخر G_b فيعرف في المعادلة الأتية :

$$G_b = \frac{W_s}{\gamma_w \cdot V_T} \qquad \ldots (4-2)$$

حيث تمثل γ_w كثافة الماء وتساوي وحدة واحدة في القياسات المترية(و 62 رطل / قدم^3 في القياسات البريطانية القديمة).ويمكن ان تكتب المعادلة في اعلاه بدلالة الكثافة ، وفق الأتي .

$$G_b = \frac{\gamma_d}{\gamma_w} = \frac{\text{الكثافة الجافة}}{\text{كثافة الماء}} \qquad \ldots (5-2)$$

حيث ان γ_d = الكثافة الجافة للصخرة او التربة

أما الوزن النوعي الظاهري للصخرة المشبعة للماء Gb_1 (Saturated apparent Specific gravity) فهو :

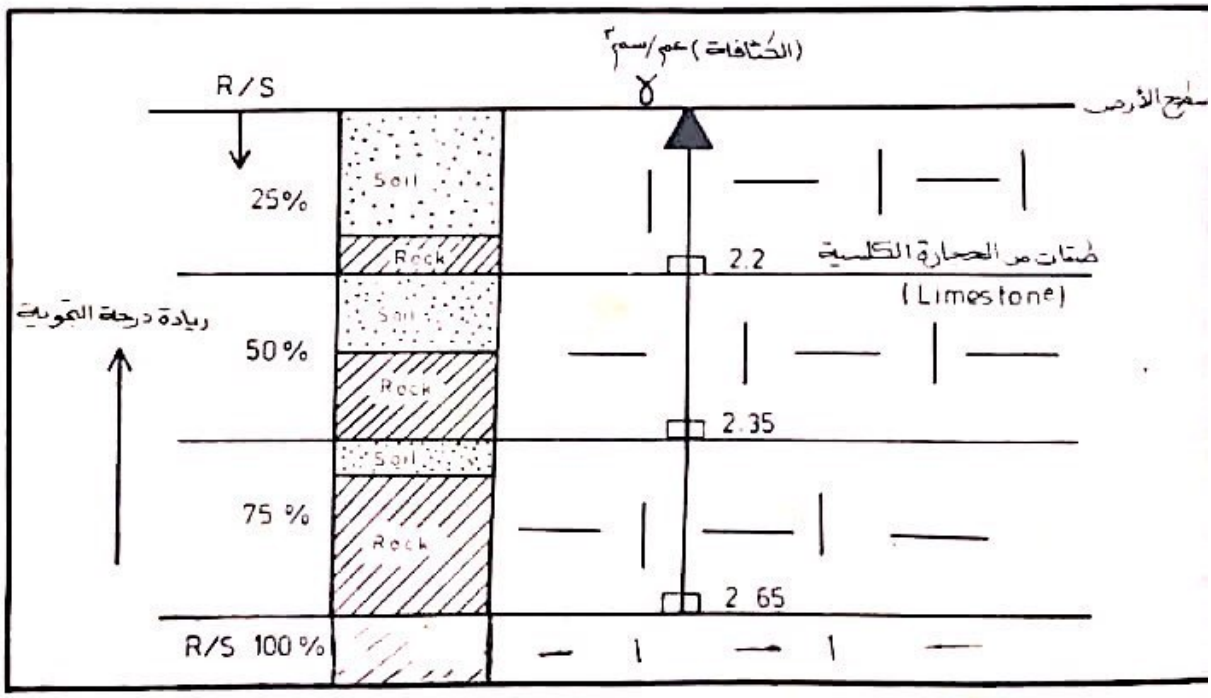
$$Gb_1 = \frac{\gamma_{sat.}}{\gamma_w} = \frac{W_s + W_w}{V_T \cdot \gamma_w} \qquad \ldots (6-2)$$

ان الصخور عموما غير متساوية في الكثافة او في الوزن النوعي.فالصخور التي تحتوي على معادن أو بلورات ثقيلة مثل الحاوية على العناصر الفلزية كالحديد والرصاص

Scanned with CamScanner

والنحاس والمغنسيوم ..... الخ تكون عالية الكثافة وفي الوقت نفسه تزداد الكثافة كلما قلت المسامية . لذلك فاننا نتوقع ان تكون كثافة الصخور النارية والمتحولة اعلى نسبيا من كثافة الصخور الرسوبية التي تقل فيها نسبة انتشار المعادن الثقيلة وتمتاز بمسامية اعلى على العموم . كذلك يتوقف اختلاف كثافة الصخور على نسبة المعادن الطينية فيها وعلى درجة تأثر الصخرة بالتجوية (Weathering).

حيث انه كلما زاد تأثير التجوية على الصخرة قلت الكثافة الى ان تقترب من كثافة التربة (Soil) بعد ان يقل تلاحم الحبيبات بعضها مع بعض بدرجة كبيرة . (الشكل 2 ـ 2) .



شكل (2 ـ 2) يوضح نقصان الكثافة مع درجة التجوية Degree of Weathering باتجاه سطح الارض في الصخور الكلسية .

Scanned with CamScanner

ملاحظة :

عندما تكون R/S = 100% فهذا يعني ان المادة الصخرية لم تتاثر بعد بعمليات التجوية . أما عندما تصبح نسبة R/S = 25% فمعنى ذلك ان 75 % من جسم الصخرة قد تحول الى مواد مفككة رخوة (تربة) بتأثير عوامل التجوية حيث ان :

R = المادة الصخرية غير المتأثرة بالتجوية .

S = المادة الصخرية المتاثرة كليا بالتجوية (التربة) .

ويبين الجدول (2 ـ 1) الكثافة الكلية والمسامية لعدد من لصخور المعروفة . ويلاحظ ان كثافة الصخور النارية القاعدية تصل الى 3 غم / سم³ . بينما تمتاز الصخور الرسوبية التي تكون اقل صلابة بكثافة اقل تصل الى 2 غم / سم³ ويرافق هذا الانخفاض في الكثافة زيادة ملحوظة في المسامية .

جدول (2 ـ 1) الكثافة الكلية والمسامية لبعض الصخور

نوع الصخرة Rock Type	اسم الصخرة Rock Name	الكثافة γ غم / سم³ Bulk Density	المسامية η porosity %
	الكرانيت	2.6-2.8	0.5-1.5
صخور	الدولارايت	3-3.1	1-0.5
	الرايولايت	2.8-2.6	4-6
نارية	الانديسات	3-3.1	10-15
	الكابرو	3-3.1	0.1-0.2
	البازالت	2.8-2.9	0.1-1.0
	الحجارة الرملية	2.0-2.6	5-30
صخور	الطفل	2-2.4	10-40
رسوبية	الحجارة الكلسية	2.2-2.6	2-20
	الدولومايت	2.5-2.6	1-10
	النايس	2.9-3.0	0.5-1.5
صخور	المرمر	2.6-2.7	0.5-2
متحولة	الكوارتزايت	2.7	0.1-0.5
	السليت (الاردواز)	2.5-2.7	0.1-0.5

Scanned with CamScanner

2.2.2 المسامية . (Porosity)

تعرف مسامية الصخرة بأنها النسبة بين حجم الفجوات او الفراغات (Pore Volume) الى الحجم الكلي لنموذج الصخرة (Bulk Volume)

اي ان المسامية $(n) = \frac{V_v}{V_T} \times 100\%$ ⇐ حجم الفجوات / الحجم الكلي ×١٠٠

ويعبر عنها عادة باعتبارها نسبة مئوية . وتعتمد المسامية بصورة مباشرة على حجم وشكل حبيبات أو بلورات المعادن المكونة للصخرة وعلى درجة تدرجها (Grading) وعلى ترتيب هذه الحبيبات وطبيعة تحشيتها مع بعضها (Packing) وعلى المادة الرابطة .

أ . حجم الحبيبات : تتناسب المسامية عكسيا مع حجم الحبيبات حيث كلما قل حجم الحبيبات زادت المسامية فمسامية الحجر الطيني اعلى من مسامية الحجر الرملي .

وتجدر الاشارة الى ان حجم المسامات تكون اكبر في الحجر الرملي بينما تكون صغيرة جدا في الطين .

ب . شكل الحبيبات : تزداد المسامية كلما ازدادت درجة استدارة الحبيبات . بينما تكون مسامية الصخور المتكونة من حبيبات ذات زوايا اقل بكثير . (شكل 2 ـ 3 أ و ب) .

جـ . ترتيب الحبيبات (Packing) : لو أخذنا مثلا نموذجا من الحجارة الرملية (Sandstone) ودرسنا طبيعة النسيج فيه وتبين بأنه من نوع التحشي المغلق (Closed Packing) كما في الشكل (2 ـ 3 جـ) فان المسامية في هذا النوع من الصخور تكون اقل من النوع الذي يكون فيه التحشي مفتوحاً كما في الشكل (2ـ3د) بنسبة تقترب احيانا من 40 ٪ .

د . تدرج الحبيبات (Grading) ـ

كذلك عندما يكون تدرج الحبيبات في الصخر ضيقاً اي ان الحبيبات تكون منتقاة بشكل جيداو ذات حجم متشابه (Poorly Graded-well sorted) فان المسامية في هذه الحالة تكون اكثر من الحالة التي يكون فيها تدرج الحبيبات واسعاً اي ان الحبيبات تكون منتقاة بشكل عشوائي وذات حجوم متباينة (Well Graded-poorly sorted) كما في الشكل (2 ـ 4) .

هـ . المادة الرابطة (Cementing Material) : ان زيادة كمية المواد او الرواسب الرابطة للحبيبات يقلل من حجم المسامات مما يؤدي بالنتيجة الى تقليل

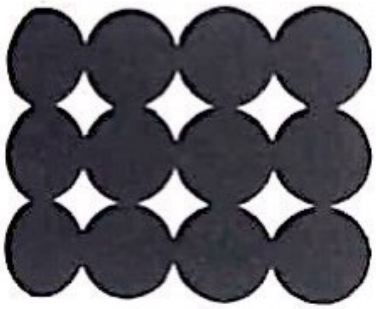
Scanned with CamScanner

(ب)

حبيبات اقل استدارة

(أ)

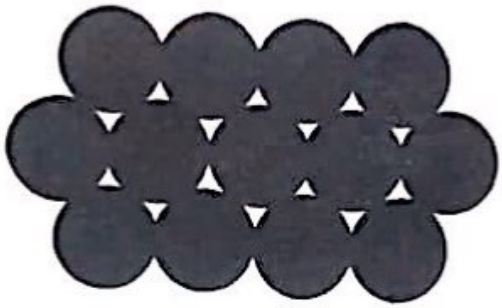
حبيبات اكثر استدارة



(S)

تحشي مفتوح

Open Packing

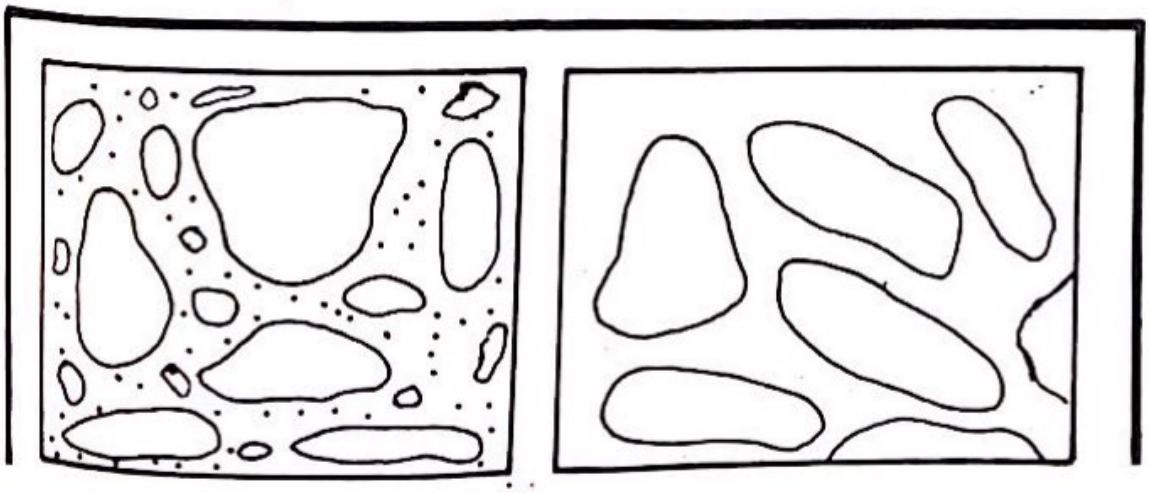


(جـ)

تحشي مغلق

Closed Packing

شكل (2 ـ 3) ترتيب الجيبات في الصخور الفتاتية



صخرة واسعة التدرج
(المسامية قليلة)

صخرة ضعيفة التدرج
(المسامية عالية)

شكل (2 ـ 4)

Scanned with CamScanner

المسامية. ففي الوقت الذي تصل فيه مسامية الحجر الرملي الى اكثر من 30% تنخفض مسامية الكوارتزايت الى الصفر (جدول 2 ـ 1) .

وتتناسب المسامية (n) مع نسبة الفراغات في الصخر (Voids Ratio) تناسبا طرديا . ويمكن قياس نسبة الفراغات وفق العلاقة :

$$e = \frac{V_e}{V_s} \qquad \ldots (2-7)$$

مما سبق يمكننا استنتاج العلاقة بين (n) و (e) وذلك وفق المعادلة الاتية :

$$n = \frac{e}{1+e} \times 100\,\% \qquad \ldots (2-8)$$

$$e = \frac{n}{1-n} \qquad \ldots (2-9)$$

ان اكثر انواع الصخور مسامية هي الصخور الرسوبية الميكانيكية المتكونة من العناصر الثلاثة الاتية :

١ ـ الحبيبات الصلبة (Solid Grains)

٢ ـ المسامات او الفجوات (Pores)

٣ ـ المادة الرابطة (Cementing Material)

اما الصخور الرسوبية الكيميائية مثل الصخور الكلسية والجبس وكذلك الصخور النارية والمتحولة فتعتبر قليلة المسامية اذا ماقورنت بالصخور الرملية او الطينية . (لاحظ الجدول 2 ـ 1) .

2. 2. 3 الامتصاص والتشبع بالماء (Water absorption and saturation)

الامتصاص هو قابلية الصخرة على جذب الماء والموائع الاخرى بين مساماتها وحول سطح الحبيبات . ولكي تكون الصخرة عالية الامتصاص او التشبع يجب ان يتوفر فيها شرط وجود المسامات (Pores) او الفجوات (Voids) او الشقوق الشعرية (microcrackc) . وتتغير قابلية الامتصاص في الصخر بتغير العوامل المذكورة في اعلاه وخاصة حجم الفراغات وكذلك مع تغير نوع المادة الصخرية وذلك بتغير المعادن المكونة لها . ويمكن التعبير عن قابلية الصخرة للامتصاص والتشبع بالماء

Scanned with CamScanner

او مايعرف بمحتوى الرطوبة (moisture content m) بانها النسبة بين الوزن الكلي للماء في المسامات(W_W)ووزن المادة الصلبة فيها(W_S)اي ان محتوى الرطوبة

$$m = \frac{W_w}{W_s} \times 100\%$$

وتتوقف درجة الامتصاص (Sr) او التشبع بالماء (Degree of Saturation) على نسبة حجم الماء المسامي V_W (Pore Water Volume) الى الحجم الكلي للمسامات (Pore Volume - V_V) اي ان درجة التشبع

$$S_r = \frac{V_w}{V_v} \times 100\% \quad \text{حجم الماء / حجم المسامات الكلية} \qquad \ldots (10-2)$$

2.2 معامل الانتفاخ عند الاشباع (Coefficient Saturation Swelling)
ويمثل النسبة بين التغير الحاصل في النموذج (عند تغير حالته من الجفاف الى الاشباع) إلى الطول الاصلي للنموذج الجاف .

3.2 الطرق المختبرية لقياس الخواص الفيزيائية للصخور :

1.3.2 طريقة حساب وزن الحبيبات (W_S)

هناك عدة طرق لحساب الوزن الكلي للحبيبات الصلبة . والطريقة المتبعة عادة في ميكانيك الصخور تتلخص بوضع نموذج الصخر في فرن مسخن بدرجة حرارة (105)° م لمدة تقرب من اربع ساعات ثم يتم وزن النموذج بعد تبريده في اناء التبريد بمعزل عن الهواء (Dessicator) . فالوزن يمثل وزن المادة الصلبة فقط للصخرة اي وزن الحبيبات .

2.3.2 طرق حساب الحجم الكلي (Bulk Volume) للصخرة : V_T

وهناك عدة طرق متبعة في المختبر لقياس الحجم الكلي : ـ

Scanned with CamScanner

أ ـ الطريقة الاولى :

وتكون باستعمال جهاز الفيرينير (Vernier) وتسمى بطريقة (Calliper method) وتستعمل عادة في النماذج المنتظمة والاشكال الهندسية مثل المكعب أو المنشور الرباعي ... الخ . وتعتمد بالاساس على قياس الابعاد أو القطر ومن ثم ايجاد الحجم . فمثلا اذا كان النموذج اسطواني الشكل فان حجمه

$$L \times A = (V)$$

حيث ان L تمثل طول النموذج

وتمثل (A) مساحة القاعدة وتساوي مربع نصف القطر × النسبة الثابتة اي ان

$$A = r^2 \times \pi$$

ب ـ الطريقة الثانية : ـ

وهي طريقة قاعدة ارخميدس (قاعدة الغمر بالماء) وهنا يمكن استعمال نماذج من صخور منتظمة او غير منتظمة الشكل . وهذه الطريقة اكثر استعمالا من الطريقة الاولى وهي اكثر دقة . حيث يحسب الحجم الكلي للنموذج الصلب وفق الآتي :

$$V_T = \frac{(W_{sat} - W_{sb})}{\gamma_w} \qquad (2 - 11)$$

W_{sat} = وزن النموذج الصخري المشبع بالماء (وهو في الهواء)

W_{sub} = وزن النموذج الصخري مغموراً بالماء

γ_w = كثافة الماء او السائل المستعمل .

جـ ـ الطريقة الثالثة :

وهي طريقة الازاحة الزئبقية (Mercury Displacement Method) . وتتلخص هذه الطريقة بوضع النموذج الصخري في سائل الزئبق . وبما ان الزئبق لا يتمكن من النفاذ داخل نسيج او مسامات الصخور الا اذا كانت تحتوي على فجوات أو تشققات كبيرة نسبيا وذلك بسبب قوة الشد السطحي العالية فيحسب حجم النموذج الصلب بواسطة حجم الزئبق المزاح .

Scanned with CamScanner

د ـ الطريقة الرابعة :

وهي طريقة الازاحة المائية (Water Displacement Method) ويتم حساب الحجم الكلي لنموذج الصخرة في هذه الطريقة بغمره وهو مشبع بالماء داخل اناء ومن ثم حساب حجم الماء المزاح . وتعتبر هذه الطريقة من الطرق السهلة والسريعة لقياس حجم النموذج .

3.3.2. طريقة حساب حجم المسامات : (Pore Volume Determination V_v)

وتستعمل عادة طريقة التشبع بالماء . حيث يمكن حساب حجم الفراغات او المسامات في الصخرة من حاصل طرح وزن الحبيبات (W_s) الذي يمثل الوزن الجاف لنموذج الصخرة من وزن نموذج الصخرة المشبع بالماء (W_{sat}) وفق الآتي :

$$V_v = (W_{sat} - W_s) / \gamma_w \qquad \ldots (12 - 2)$$

4.3.2. طريقة حساب حجم الحبيبات (Grain Volume Determination V_S)

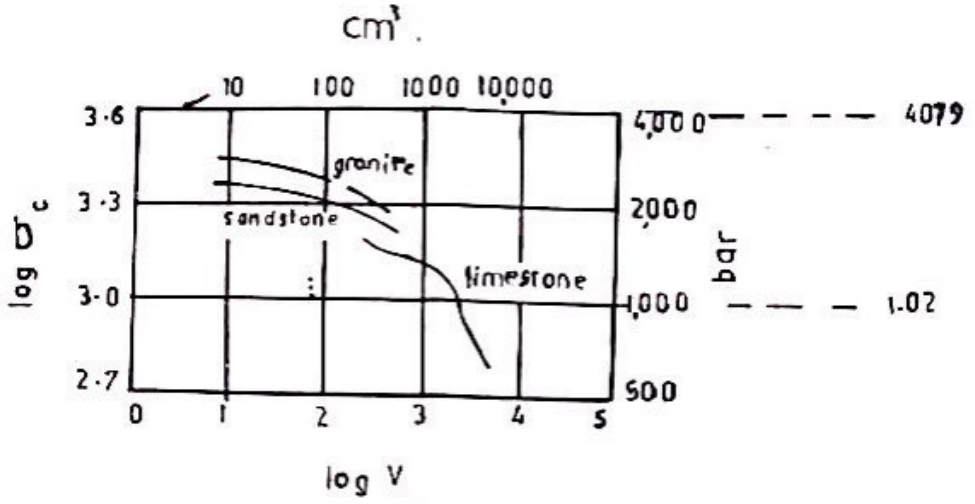
وتستخدم عادة طريقة بويل (Boyle's method) لتعيين حجم المادة الصلبة في نموذج الصخرة اي الحجم الكلي للحبيبات . وتتلخص هذه الطريقة بحساب علاقة الضغط مع الحجم في كبسولة الغاز التي يوضع فيها النموذج وتقاس قابلية الانضغاط (Compressibility) في كلتا الحالتين كما مبين في الشكل (2 ـ 5) .

وبالامكان كذلك تقدير حجم المادة الصلبة من الفرق بين الحجم الكلي لنموذج الصخرة وحجم المسامات .

ويمكن حساب حجم المادة الصلبة V_S من العلاقة بين الوزن النوعي للحبيبات G_S ووزن المادة الصلبة W_S

$$V_s = \frac{W_s}{G_s} \qquad \ldots (13 - 2)$$

Scanned with CamScanner



شكل(2 ـ 5)تغير الانضغاط مع حجم النموذج لصخور مختلفة

4.2 نفاذية الصخور (Rock's Permeability)

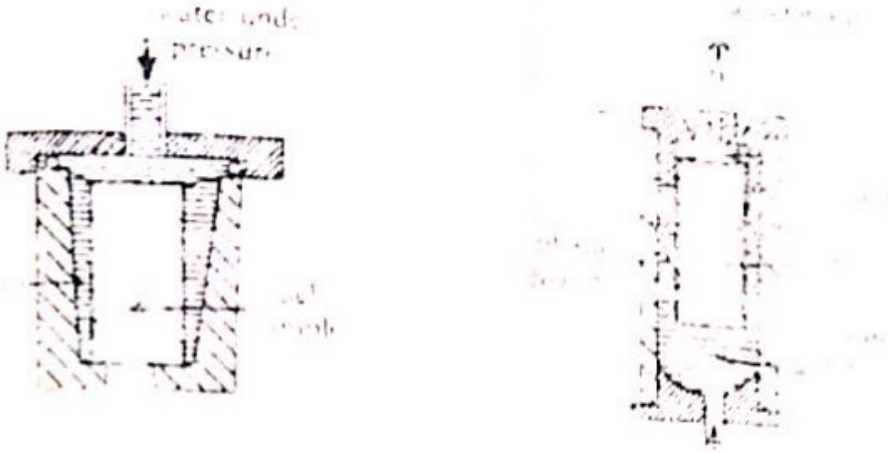
تعد نفاذية الصخور من الخواص التي لها اهمية كبرى في اية دراسة هندسية للصخور . وخاصة في حقول الهندسة المدنية وهندسة الري والهندسة الصحية وهندسة النفط وهندسة المناجم اضافة الى جيولوجيا المياه السطحية والجوفية بشكل خاص . والنفاذية (Permeability) هي قابلية الصخرة لتمرير الموائع المختلفة .

وتعتمد قابلية الصخرة بالسماح للموائع بالمرور خلالها بصورة اساسية على حجم المسامات والفجوات والشقوق التي يتوجب ان تكون متصلة مع بعضها والتي تعمل عمل ممرات دقيقة (Micro Flow Paths) . وعندما تكون هذه الممرات غير متصلة مع بعضها .يصعب عندئذ على الموائع المرور خلال الصخرة وعند ذلك لاتعتبر الصخرة منفذة او نفاذة ولكن قد تكون في الوقت نفسه مسامية.وبذلك قد تكون الصخور مسامية ومنفذة (كالحجر الرملي) او مسامية وغير منفذة (كالطين) اعتمادا على حجم المسامات وعلى مدى اتصالها مع بعضها .

ويتم قياس النفاذية استناداً الى قانون جريان الموائع في الاجسام العالم دراسي (Darcy's law) .. حيث يحتسب معامل او ثابت النفاذية K (سم في الثانية) للنموذج الصخري اسطواني الشكل الذي يوضع في خلية هوك (Hoek Triaxial Cell) والتي تم تغييرها لهذا الغرض من قبل دو (1971) كما في المعادلة التالية (شكل 2 ـ 6)

$$K = \frac{Q \times h.}{A \times L} \quad \ldots (14-2)$$

Scanned with CamScanner



شكل (2 ـ 6) فحص النفاذية (بالاتجاه العمودي) للصخور في المختبر

Permeanuters

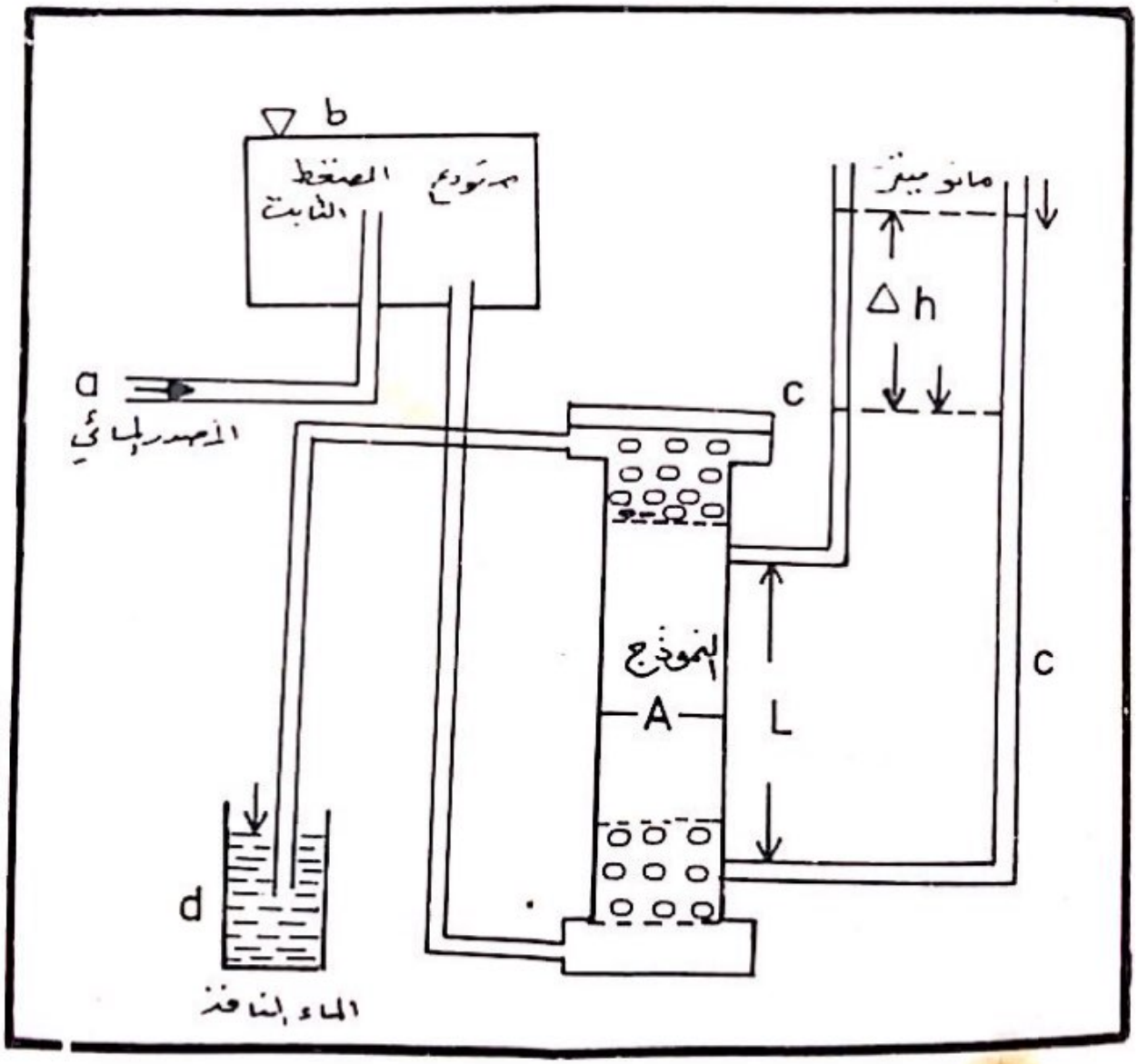
حيث تمثل Q حجم السائل المار خلال وحدة زمنية (سم مكعب / ثا) .
h الفرق الرأسي في عمود الماء (سم ,Applied Head)
A مساحة النموذج (سم مربع)
L طول النموذج (سم)

وبالامكان قياس النفاذية باي اتجاه مرغوب فيه ويتم تحديد ذلك الاتجاه في النموذج. وبالامكان قياس نفاذية الصخور باستخدام الهواء المضغوط بدل الماء ليمر خلال النموذج الاسطواني (شكل 2 ـ 6) ، ومع ان النتائج من المفروض ان تكون متشابهة عند اخذ لزوجة الماء والهواء بنظر الاعتبار . فان نفاذية الهواء تكون عموما اكبر من نفاذية الماء .

وتجدر الاشارة الى حقيقة مهمة في هذا المجال وهي ان الخواص الميكانيكية للصخرة كالنفاذية تختلف عند قياسها للمادة الصخرية في المختبر (Rock material) والكتلة الصخرية في الحقل (Rock mass) . وتكون نفاذية المادة الصخرية عادة اقل بكثير من نفاذية الكتلة الصخرية الحاوية على الشقوق والفواصل ومستويات التطبق واحيانا الفجوات الكبيرة (Caverns) .

Scanned with CamScanner

مما سبق يتضح ان بعض الصخور ذات النفاذية الواطئة قد تحتاج الى قوة دفع أو ضغط مائي يصل الى حد 300 كغم / سم² لقياس النفاذية فيها . وفي الحالات العملية عندما تكون النفاذية واطئة جدا بحيث يصعب قياسها في المختبر باستخدام الماء وتقل اهميتها هندسيا بحيث يمكن اهمالها . وتزداد اهمية النفاذية في الصخور الضعيفة والرخوة غير ملتحمة الحبيبات (Weakly cemented rocks) والتي تقترب خواصها الهندسية من خواص التربة الخشنة (Coarse Soil Properties) .
ويستعمل جهاز العمود أو الضغط الثابت لقياس النفاذية في هذه الحالة (constant head Permeameter) كما موضح في الشكل (2 ـ 7) .



شكل (2 ـ 7) جهاز الضغط الثابت لقياس النفاذية للتربة الخشنة والصخور الرخوة في المختبر .

Scanned with CamScanner

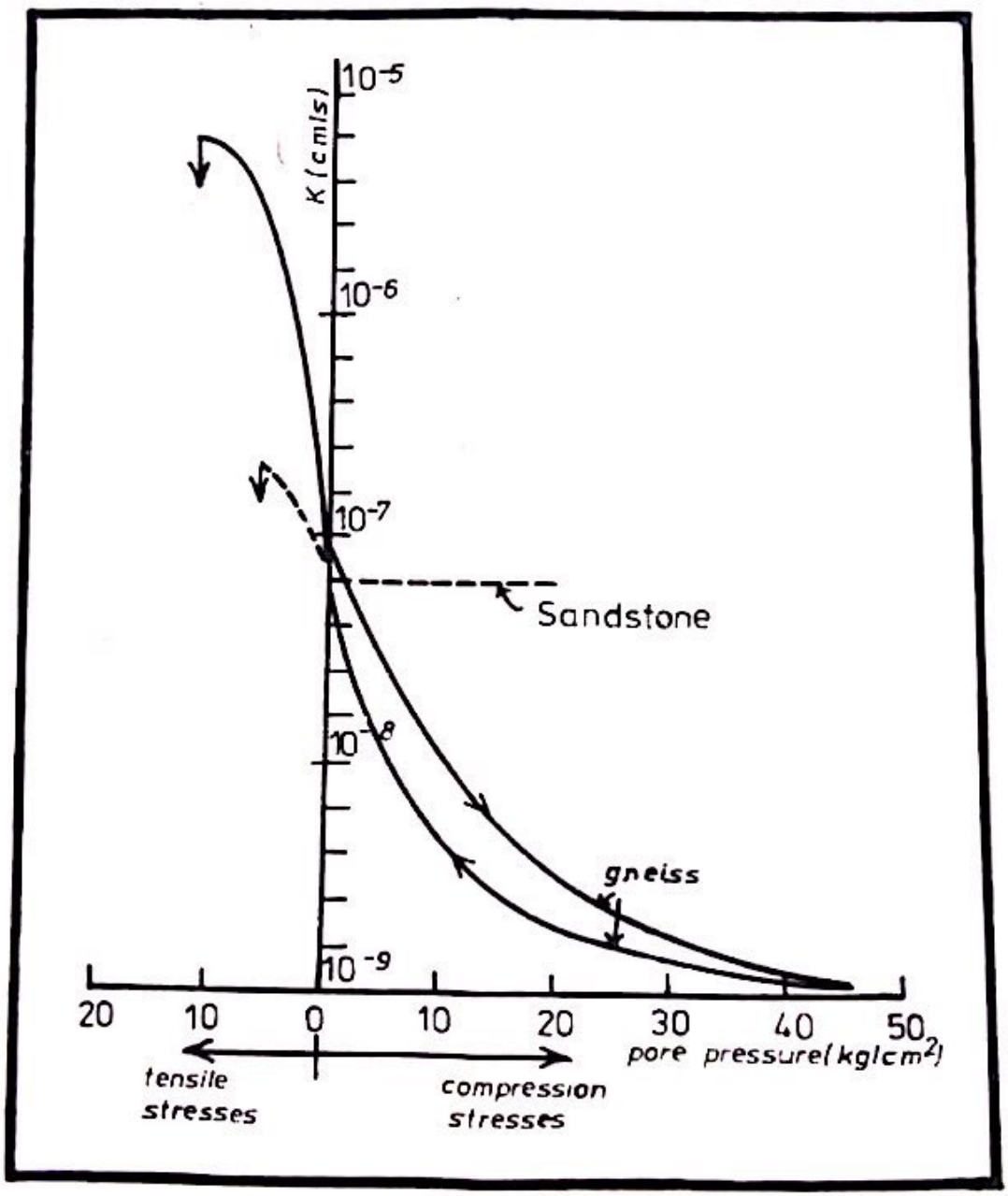
1.4.2 العوامل المؤثرة على نفاذية الصخور :

هناك عدة عوامل يمكن ان تغير نتيجة قياس النفاذية او نضوح الموائع (Percolation of fluids) في الصخرة منها عوامل خارجية فنية تتعلق بطبيعة اجراء القياس وشكل وحجم النموذج . ومنها عوامل تتعلق بالمادة الصخرية وهي العوامل المؤثرة نفسها في مسامية الصخور المذكورة آنفا اضافة الى اهم العوامل وهم عامل حجم المسامات أو الفجوات الموجودة في الصخرة اكثر من الحجم الكلي للمسامات .

فلو اخذنا مثلا الحجارة الرملية ذات المسامية العالية والتي غالبا ما تكون صخوراً مكمنية جيدة (Reservior Rock or Aquifer) نجدها ايضا عالية النفاذية . بسب كون الفجوات او المسامات بين الحبيبات كبيرة نسبيا . ولكن اذا ما قورنت نفاذية الحجارة الرملية مع نفاذية الحجارة الطينية نجد ان نفاذية الطين اقل بكثير من نفاذية الحجارة الرملية بحيث يمكن اعتبارها غير منفذة علما بان مسامية الطين اكبر من مسامية الاخيرة (جدول 2 ــ 4) . وبذلك تكون الحجارة الرملية مسامية ومنفذة في الوقت نفسه (Porous & Permeable) بينما الحجارة الطينية مسامية غير منفذة (Porous -Impermeable) . وعند مقارنة الحجارتين الرملية والطينية مع الحجارة الكلسية نجد ان الاخيرة تمتاز بقلة نفاذيتها وذلك لتكونها من التحام بلورات كاربونات الكالسيوم بعضها مع بعض بطريقة تختلف عن طبيعة التصاق حبيبات أو بلورات الصخور الرسوبية الميكانيكية . كالحجارة الرملية . لكن قد نجد ان بعض انواع الحجارة الكلسية تكون اكثر نفاذية من الحجارة الرملية وهنا قد يكون العامل المسبب هو وجود شقوق وفجوات مختلفة الاشكال والابعاد متصلة مع بعضها مما يسهل حركة الموائع خلال الصخرة . ولقد اشارت الدراسات والبحوث في مجال قياس نفاذية الصخور الى انه حتى في الصخرة الواحدة تتغير النفاذية حسب الاتجاه . اي ان علاقة اتجاه النضوح مع اتجاه الشقوق والفجوات له تاثير كبير على نفاذية الصخر . كذلك زيادة الضغط المؤثر على الصخرة له علاقة كبيرة . فقد دلت التجارب على الصخور الرملية بأنه عندما يرتفع الضغط المسلط على المحور الطولي للنموذج(من 0 الى 45 كغم / سم^2) يقل معامل النفاذية (K) من 1.3 x 10^{-8} الى 1.5 x 10^{-9} م / ثا على شرط ان يكون اتجاه النضوح موازياً لاتجاه الشقوق والفجوات الذي يكون باتجاه المحور الطولي للنموذج .

Scanned with CamScanner

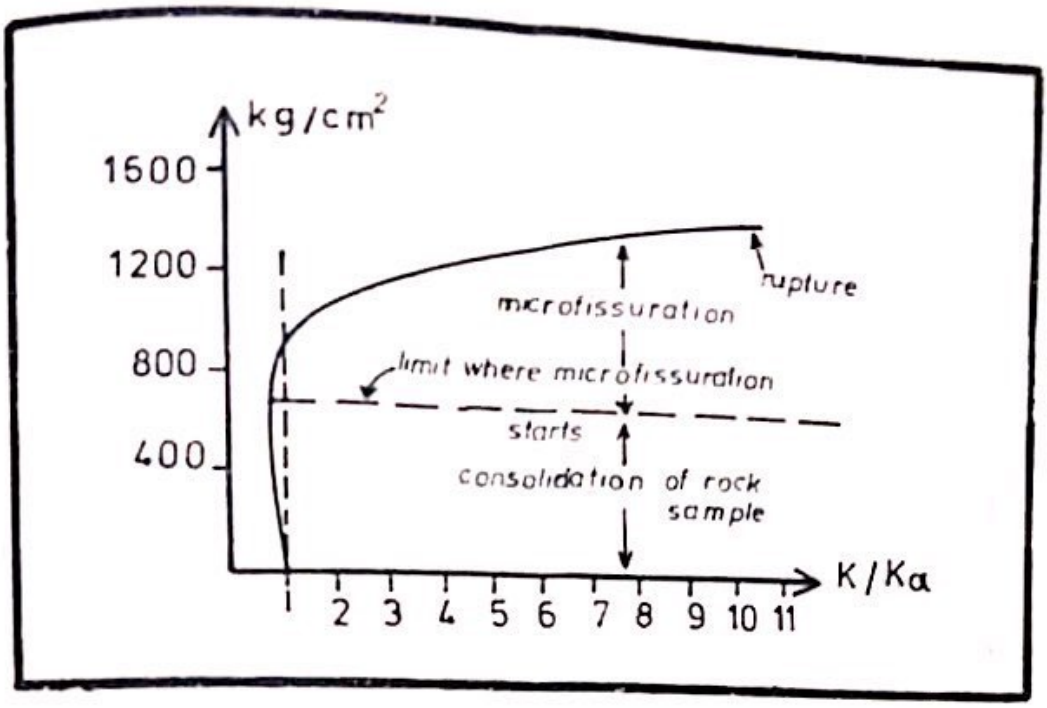
وقد اكدت التجارب والقياسات الحقلية على التراكيب الصخرية بأن نفاذية طبقة ما تقل بزيادة عمقها عن سطح الارض (كما هو ملاحظ في تسجيلات ابار النفط (Well Logging Interpretation وذلك بسبب زيادة درجة التكاثف (Compaction) بسبب التقارب بين الحبيبات في الاعماق . نلاحظ من الاشكال (2 ـ 8) و (2 ـ 9) اختلاف النفاذية مع زيادة الضغط المسلط على الصخور وكذلك مع العمق في صخور مختلفة الانواع .



شكل (8.2) ـ

يبين علاقة النفاذية مع الاجهادات الضغطية والشدية لصخور مختلفة .

Scanned with CamScanner



شكل (2 ـ 9) يوضح علاقة مراحل التشقق الدقيق والتكاثف مع زيادة الضغط ومؤشر النفاذية .

وتجدر الاشارة هنا الى انه بالنسبة الى دراسة نفاذية الصخور في الموقع الحقلي (Insitu Studies) يجب عدم اهمال تاثير الفواصل (Joints) واتجاهاتها وكذلك سمكها وانواعها والمواد التي تملئها . ففي صخور الكلس التي تحتوي على الفواصل المختلفة يزداد معامل النفاذية (K) من 10^{-4} عندما يكون سمك الفاصل يساوي 0.1 ملليمتراً الى 10^{-1} عندما يكون السمك مساويا الى 6 ملليمتر .

وهكذا بالنسبة الى صخور اخرى وفق ما مبين في الجدول (2 ـ 2)

جدول (2 ـ 2)

تأثير سمك الفاصل على نفاذية الصخور

نوع الصخرة	سمك الفاصل	معامل النفاذية الحقلية
	Width of joint in(mm)	K (m/s)
الصخور الكلسية	0.1	10^{-4}
الصخور الكلسية	6.0	10^{-1}
الصخور الرملية	0.4	10^{-3} ـ 10^{-2}
صخور الكرانيت النارية .	2.0	10^{-1}

Scanned with CamScanner