

ومن العوامل المسببة لاختلاف نفاذية الصخور نسبة المواد الطينية فيها فكلما زادت نسبة معادن الكايولينات او المونتمورلونايت (Kaolinite and Montmorillonite) قلت نسبة النفاذية وفق ما موضح في جدول (2 - 3) ادناه

جدول (2 - 3)

نوع الصخرة	معامل النفاذية K cm/s	طبيعة الصخرة المسامية
١ - الكرانيت	10 ⁻⁴ -10 ⁻⁵	
2 - الكابرو	10 ⁻⁷ -10 ⁻⁵	
3 - الدوايرايت	10 ⁻⁷ -10 ⁻⁵	قليلة
4 - البازالت	10 ⁻⁵ -10 ⁻⁴	الى قليلة جدا
5 - الحجارة الرملية	10 ⁻⁴ -10 ⁻²	
6 - الطفل	10 ⁻⁴ -10 ⁻³	متوسطة الى
7 - الحجارة الكلسية	10 ⁻⁵ -10 ⁻³	عالية
8 - الكورتزايت	10 ⁻⁸ -10 ⁻⁵	
9 - المرمر (الرخام)	10 ⁻⁵ -10 ⁻⁴	متوسطة الى
10 - السليت (الأردواز)	10 ⁻⁷ -10 ⁻⁴	قليلة

أما بالنسبة لانواع الصخور الضعيفة فان خواصها تقترب من خواص التربة والجدول (2 - 4) يبين مسامية ونفاذية الانواع الرئيسة للرواسب (■) .

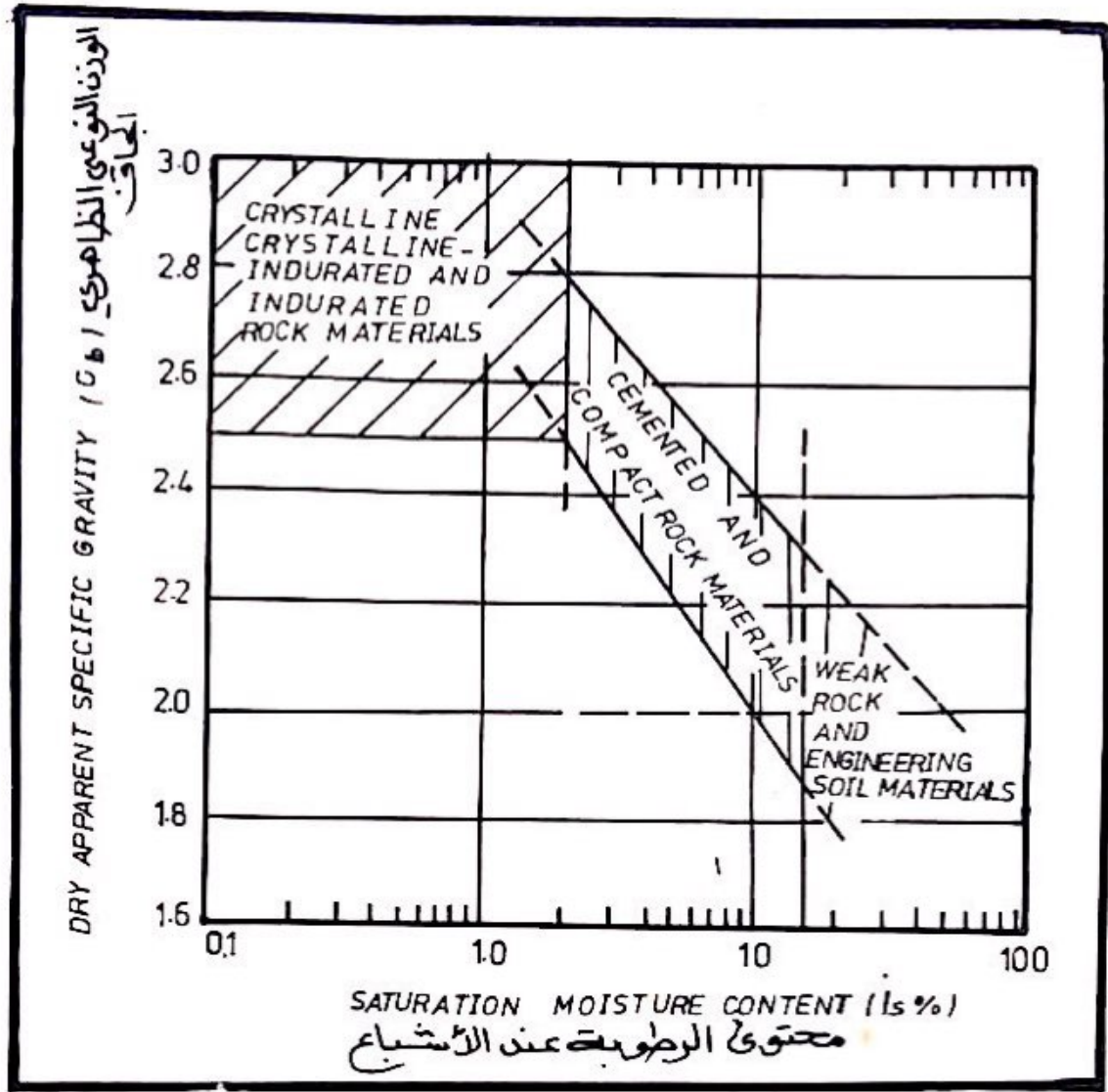
(■) انظر الفصل الثالث بالنسبة للخواص الفيزيائية للتربة .

جدول (2 - 4)
مسامية ونفاذية بعض الرواسب غير المتماسكة

النفاذية cm/s	المسامية (n)%	نوع التربة
$10^4 - 10^2$	35-25	Gravel 1 - حصى
$10 - 10^3$	40-25	Sandy-Gravel 2 - حصى رملي
$10^{-3} - 10^{-5}$	50-45	Sandy Clay 3 - طين رملي
$10^{-5} - 10^{-8}$	60-50	Clay 4 - طين

5.2 العلاقات الفيزيائية للصخور :

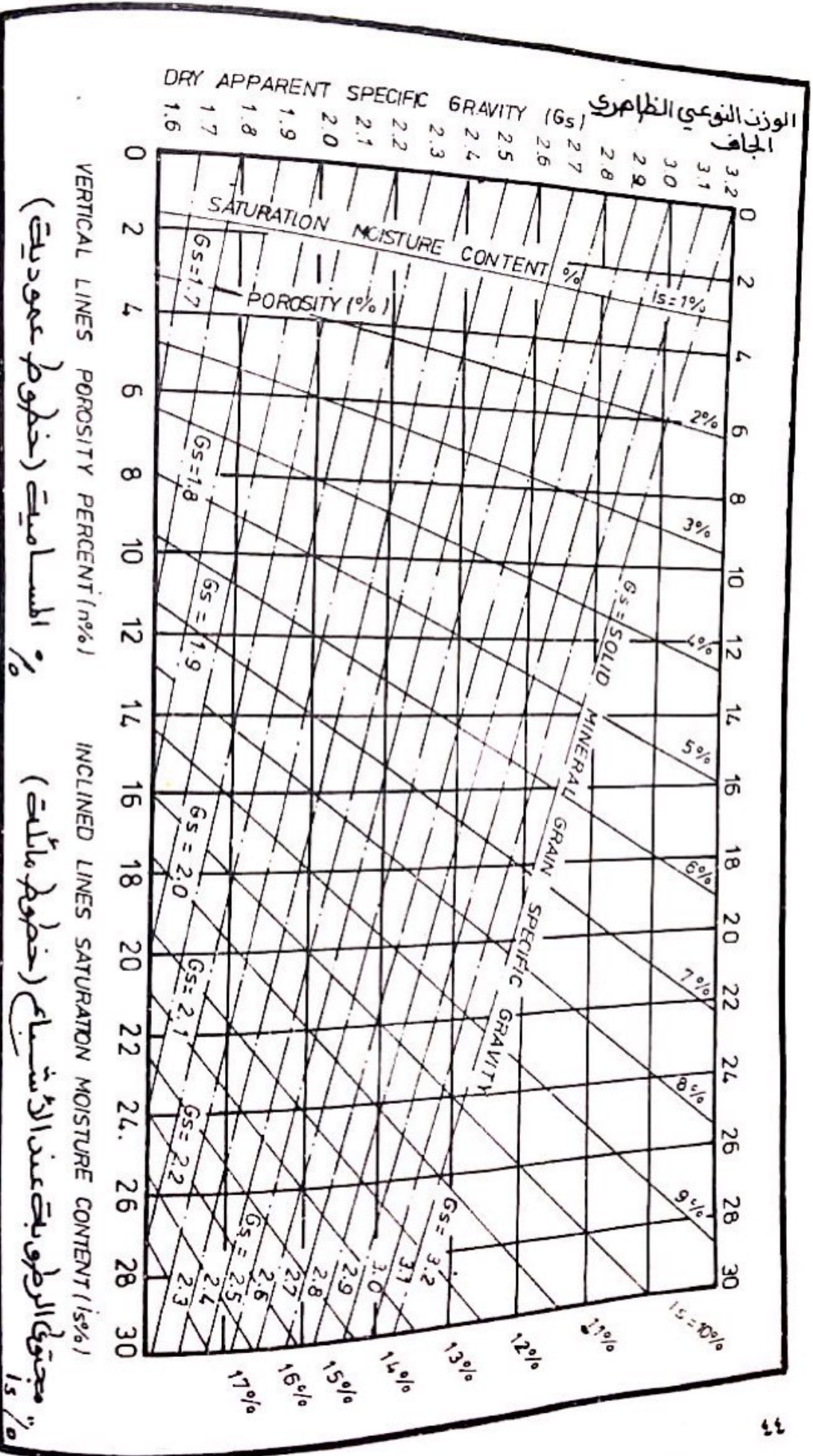
نلاحظ في الشكل (2 - 10) علاقة الوزن النوعي للمادة الصخرية مع نسبة الرطوبة فيها عند الاشباع . وبصورة عامة فانه بزيادة نسبة الرطوبة عند الاشباع او الامتصاص في الصخور تقل كثافة الصخور او وزنها النوعي . الا اننا نرى من الشكل (2 - 10) بأن الصخور المتبلورة القوية مثل صخور الدولومايت الرسوبية وصخور البازالت النارية تمثل الجزء العلوي (المجموعة الاولى) من الشكل التي تكون فيها درجة الرطوبة قليلة وفي الوقت نفسه تكون عالية الكثافة وذلك لقلة المسامات الموجودة في نسيجها . اما الجزء الوسطي من الشكل فيمثل مجموعة الصخور متوسطة الكثافة والتصلب (المجموعة الثانية) التي تتراوح نسبة الرطوبة في الصخور التابعة لها من 11 - 20 % (بالمقياس اللوغاريتمي) كالصخور الرملية التي تتغير خواصها الفيزيائية بتغير المادة الرابطة . اي انها قد تتغير من صخور رملية ذات كثافة تتراوح من 2.5 - 2.7 الى صخور رخوة غير مترابطة الحبيبات قليلة الكثافة (1.9 - 2) لكنها عالية التشبع والامتصاص المائي . اما المجموعة الثالثة . وهي التي نلاحظها في اسفل الشكل . فانها تمثل الصخور الضعيفة غير متلاحمة الحبيبات اي انها ذات خواص تشبه خواص التربة الهندسية . حيث قد تصل نسبة الامتصاص الى 100 % وتنخفض كثافتها الى اقل من (1.6) .



شكل (2 - 10) تصنيف الصخور نسبة الى G_b , is% .

ويمثل الشكل (2 - 11) مخططاً بيانياً (Nomograph) يربط بين الوزن النوعي الظاهري ونسبة الرطوبة عند الاشباع ومسامية الصخرة . ويلاحظ من الشكل بأنه عندما يكون الوزن النوعي الظاهري الجاف لصخرة ما يعادل مثلاً 2.6 ومساميتها تساوي 10% فان مقدار نسبة الرطوبة عند الاشباع فيها سوف يعادل 38% وهكذا بالنسبة الى بقية الصخور .

لقد اشارت الدراسات والبحوث في مجال قياس الخواص الفيزيائية للصخور بأن هذه الخواص تتغير بتغير نوع الصخرة وقد تتغير كذلك ضمن طبقة صخرية واحدة . فقد تزداد مسامية الصخور في الطبقة الواحدة افقياً او عمودياً حسب الظروف الجيولوجية لتلك الصخرة في الحقل . ويشير بحث حديث حول الخواص الفيزيائية



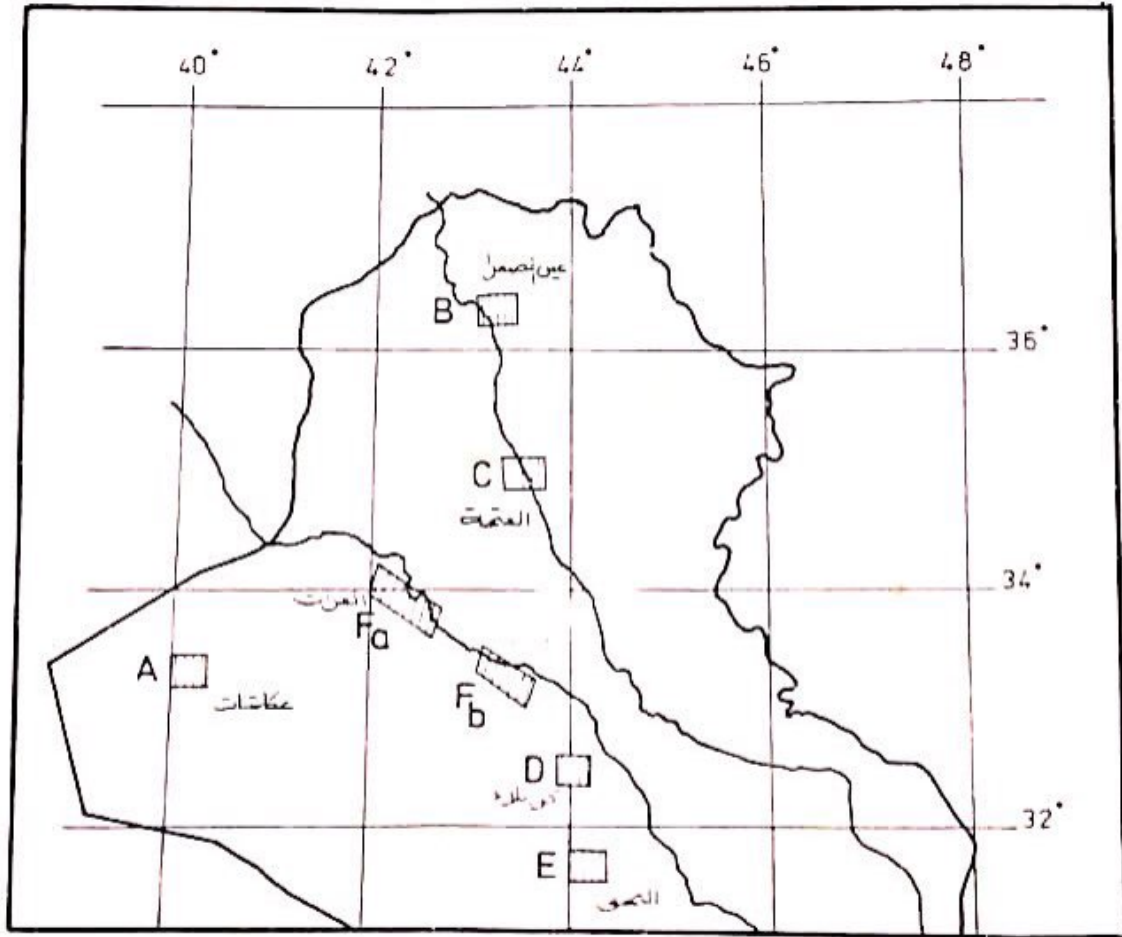
الوزن النوعي الظاهري الجاف

المسامية (خطوط عمودية)

المسامية (خطوط مائلة)

عقل (2 - 11) بين منطقتي علاقة G_s ، $i_s\%$ ، $n\%$ في صورتين مختلفتين.

لصخور كلسية عراقية من مواقع مختلفة شكل (2 - 12) الى أن هذه الخواص تتغير باختلاف الموقع وكذلك اعتمادا على طبيعة الصخر وظروفه الجيولوجية المختلفة كما مبين في جدول (2 - 5) (فتوحى . 1981) .



شكل (2 - 12) مواقع الصخور الكلسية التي تمت دراستها (على السطح أو قريباً منه)
(فتوحى . 1981)

جدول رقم (2 - 5)
يبين بعض الخواص الفيزيائية لصخور كلسية من مواقع مختلفة من القطر

نوع الصخور الكلسية	الموقع	معدل الكثافة غم / سم ³	معدل المسامية %	النفذية ملي دراسي md
1 - كلسية فوسفاتية	A	2.1	12	
2 - كلسية دولوماتية	B	2.3	4	
3 - كلسية قيرية	C	2.4	25	
4 - كلسية دولوماتية	D	2.2	13	
5 - كلسية طباشيرية	E	2.25	20	15
6 - كلسية - صدفية	F _a	2.3	25	20.7
7 - كلسية طباشيرية	F _b	2.4	40	2500

المصدر ، فتوحى (1981)

6.2 الخواص الميكانيكية للصخور Mechanical Rock Properties

في الجزء الاول من هذا الفصل تكلمنا عن اهم الخواص الفيزيائية للصخور والعوامل المؤثرة عليها . وفي هذا الجزء سيتم التطرق الى الخواص الميكانيكية للصخور . واهمها دراسة مدى مقاومة الصخرة للقوى والجهد المسلط عليها ومنع حدوث الانهيار (Failure) فيها .

ان حدوث الكسر والانهيال في الصخرة عند تعرضها لقوة خارجية يعتبر نهاية مرحلة تشويه الصخر (Deformation). وبعد هذه المرحلة تغير الصخرة سلوكها الهندسي بالنسبة للقوة الخارجية المؤثرة عليها. ومن الاهمية بمكان حصول المهندس على قيم هذه الخواص التي تمثل قوة مقاومة الصخرة قبل قيامه بوضع تصاميم الاسس (Design of Foundation) المزمع اقامتها على مثل هذا النوع من الصخور. ويتم خلال هذه العملية التعرف على مدى مقاومة الصخرة للانضغاط او القص وقابلية تحملها للاثقال (Bearing capacity).

1.6.2 دراسة قوة (مقاومة) الصخور (Rock Strength)

يمكن تقسيم مقاومة الصخور للضغوط الى الانواع الآتية :

- 1 - المقاومة الانضغاطية (Compressive Strength)
- 2 - المقاومة الشدية (Tensile Strength)
- 3 - المقاومة القصية (Shear Strength)

1.1.6.2 - المقاومة الانضغاطية للصخور

(Compressive Strength of Rocks)

يقصد بالمقاومة الانضغاطية للصخرة مجموع القوى الممثلة باصرة التحام الحبيبات أو البلورات المكونة لمادة الصخرة المقاومة للقوة الخارجية المسلطة عموديا عليها. اي يمكن اعتبار المقاومة الانضغاطية بأنها العلاقة بين القوة الداخلية في الصخرة وبين القوة الخارجية المسلطة عليها عموديا. فعندما تكون هاتان القوتان متعادلتين أو تكون القوة الداخلية اكبر فان الصخرة تكون في حالة توازن ميكانيكي اي في حالة استقرار وعدم تشويه. اما عندما تصبح القوى الخارجية اكبر من القوة الداخلية المعاكة لها فعندها تتكسر او تنهار الصخرة. وتمثل مقاومة الصخرة للضغط العمودي عند نقطة الانهيار مقاومة الانضغاط. وتقاس عادة في المختبر بواسطة جهاز فحص القوة (compression machine).

ويتم ذلك اولا بتهيئة نماذج الصخرة على شكل لباب صخري (Core Samples) اسطوانتي الشكل (او اي شكل منتظم اخر كمكعب او منشور او رباعي الخ) ذي ابعاد ثابتة. فبالنسبة للنماذج الاسطوانية الشكل او اللباب الصخري تكون نسبة الطول (Length, L) الى القطر (Diameter, D) اثنين على الاقل.

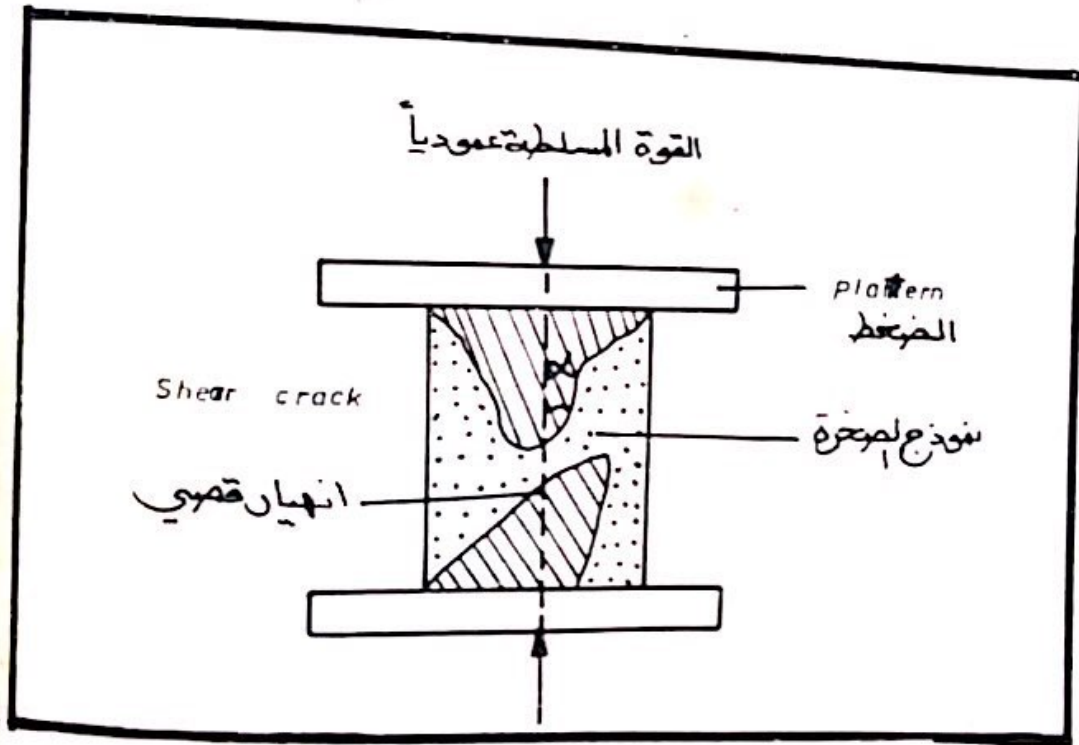
ويوضع النموذج في جهاز فحص مقاومة الانضغاط غير المحصور وفق ما موضح في شكل (2- 13) وتسلط عليه القوة العمودية (unconfined compressive force) الى ان ينهار نموذج الصخرة .

ويتم بعدئذ تقسيم قيمة الضغط عند نقطة الانهيار (Failure point) على المساحة الكلية للنموذج ، التي تتعرض للضغط ليمثل الناتج المقاومة الانضغاطية .

الضغط عند الانهيار

المساحة

= اي المقاومة الانضغاطية



شكل (2- 13) فحص مقاومة الصخرة الانضغاطية غير المحصورة α زاوية الانهيار .

وتقاس عادة بالوحدات الآتية ، كغم / سم² او نيوتن / ملم² او باوند / انج² . وتختلف الصخور بالنسبة الى درجة مقاومتها للانضغاط فهناك ضخور ذات مقاومة عالية جدا بسبب طبيعة تكوينها كالصخور النارية حيث تصل مقاومتها الى حدود 3000 كغم / سم² بالنسبة للبازالت و2500 كغم / سم² بالنسبة للكرانيت . وهناك

صخور اخرى ضعيفة التماسك والتصلب اي ان المقاومة الداخلية لها تكون ضعيفة بسبب ضعف قوة الاصرة بين الحبيبات والبلورات كما في صخور الطفل الضعيفة (100 كغم / سم²) والصخور الرملية عالية المسامية وضعيفة التلاحم (Weakly cemented) (200 كغم / سم²) . ومن اهم العوامل المؤثرة على مقدار المقاومة الانضغاطية للصخور : -

- 1 - نوع الصخرة : فالصخور النارية تعد من الصخور القوية اذا كانت غير متأثرة بالتجوية تليها عموما الصخور المتحولة ثم الصخور الرسوبية .
- 2 - نسبة الفجوات (Void ratio) وكذلك المادة الرابطة والبينية فيها (Cementing and matrix materials)
- 3 - ابعاد النموذج (L/D اي نسبة الطول الى القطر) فكلما تزداد هذه النسبة تقل قيمة المقاومة الانضغاطية كما مبين في المعادلة الآتية :

$$C_c = C_0 \left(0.8 + \frac{0.2}{L/D} \right) \quad \dots (15-2)$$

حيث أن C_c مقدار المقاومة الانضغاطية للصخرة
 C_0 مقدار المقاومة الانضغاطية القياسية عندما تكون $L/D = 1$. (لاحظ ان
 $C_0 = C_c$ عندما تكون $L/D = 1$) .

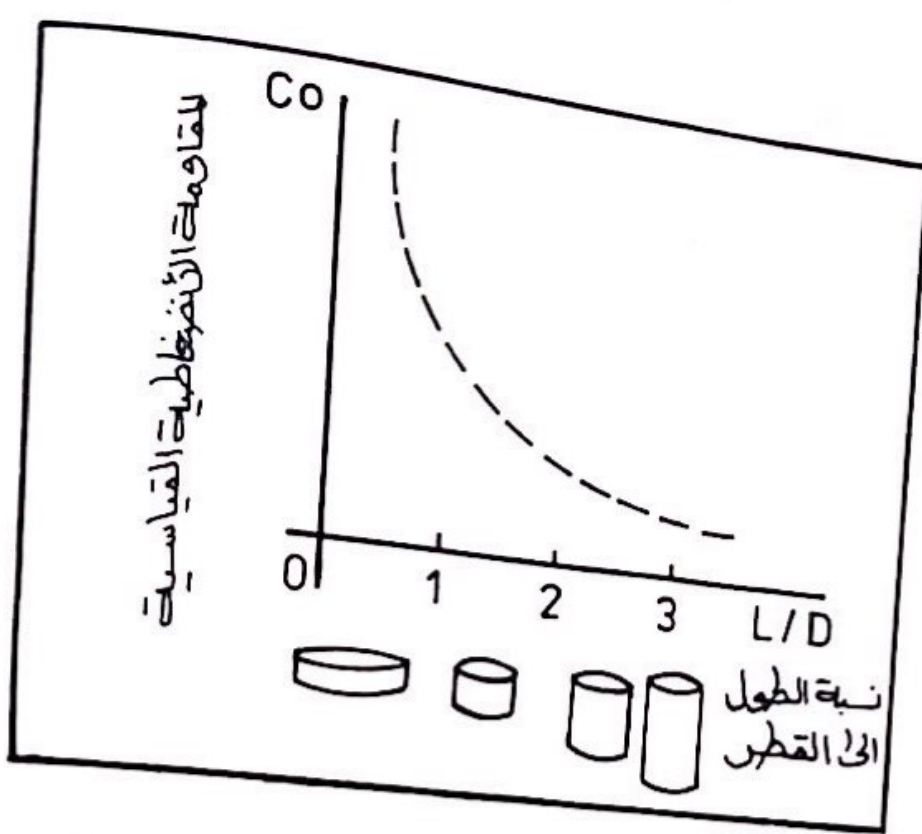
ويبين الشكل 2 - 14 اختلاف قيمة المقاومة الانضغاطية مع تغير نسبة L/D .

4 - معدل سرعة الانضغاط (Rate of loading)

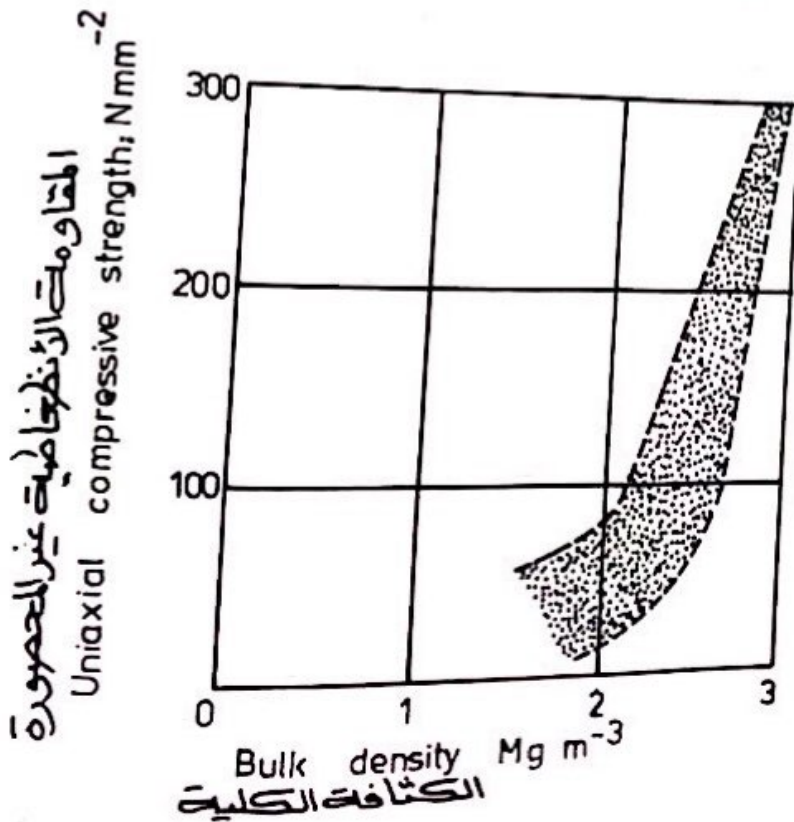
وتضعف المقاومة الانضغاطية للصخرة عادة بنقصان كثافتها وكذلك بزيادة نسبة الرطوبة فيها (انظر الاشكال 2 - 15 أ و ب) .

2.1.6.2 المقاومة الشدية Tensile strength

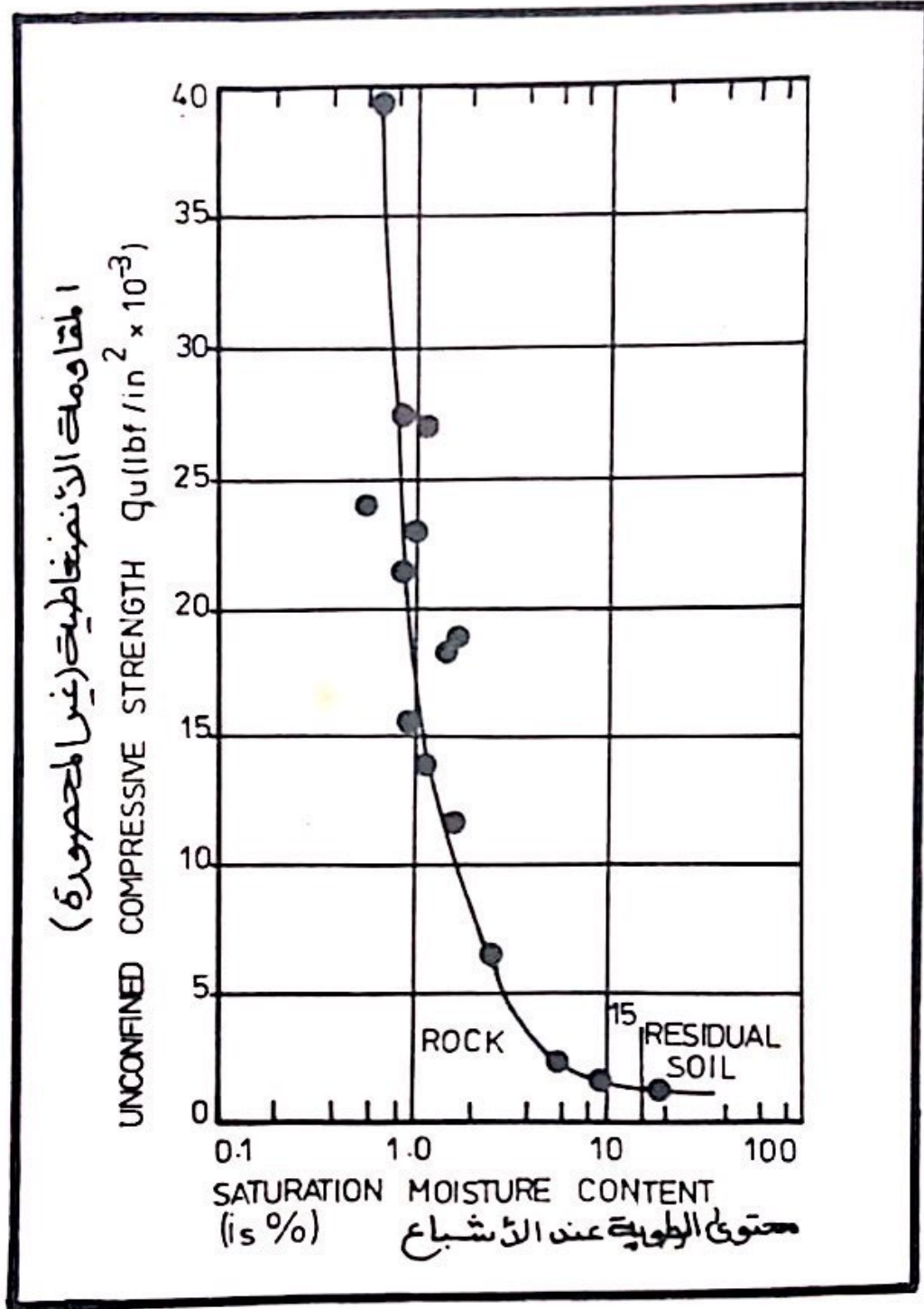
وتحسب فيها مقاومة الصخرة لقوة شد او سحب مسلطة عليها من الخارج وتتم بطريقتين تعرف الاولى بالطريقة المباشرة (Direct Method) . وتتلخص بتسليط قوة الشد على النموذج الصخري المثبت في جهاز الفحص بالطريقة المبينة في شكل (2 - 16 أ) الى ان يتم الانهيار وفي هذه الحالة يكون مستوى الانهيار (failure plane) عموديا على محور قوة الشد المسلطة . ثم تحسب مقاومة الشد (C_t)



شكل (2 - 14) - تغير المقاومة الانضغاطية للصخرة مع ابعاد النموذج الاسطوانى .



شكل (2 - 15 أ) تغير المقاومة الانضغاطية للصخرة مع الكثافة الكلية



شكل (2 - 15 ب) تغير المقاومة الانضغاطية للصخرة مع محتوى الرطوبة عند الاشباع .

بطريقة قياس الضغط عند نقطة الانهيار ويتم تقسيم قيمة الضغط على مساحة النموذج .

اما الطريقة الثانية فتعرف بالطريقة غير المباشرة (Indirect method) او الطريقة البرازيلية (Brazilian Disc method) ويتم فيها قطع نموذج على شكل قرص دائري بنسبة القطر الى السمك (D/t) تساوي 3 ويوضع عموديا في جهاز قياس مقاومة الانضغاط ويتم تسليط الضغط الى ان يتم الانهيار (شكل 2 - 16 ب) . عندها يتم تسجيل مقدار الضغط وتحسب المقاومة الشدية للنموذج وفق الآتي :

$$C_t = \frac{2P_c}{\pi Dt} \quad \dots (16 - 2)$$

C_t المقاومة الشدية

P_c مقدار الضغط المسلط

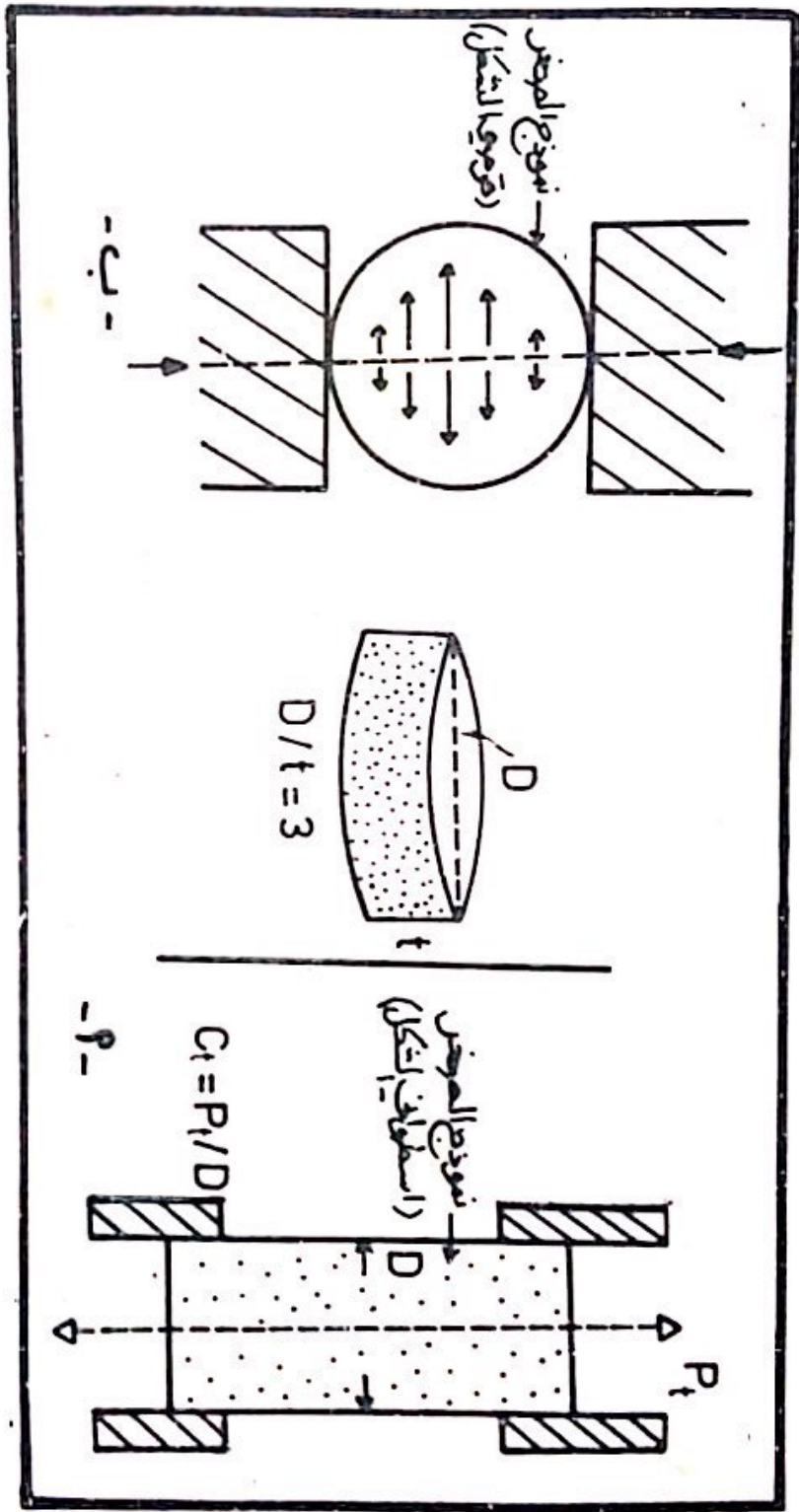
D قطر النموذج

t سمك النموذج

وبالنسبة للطريقة الثانية يتم التوصل الى الانهيار الشدي (Tensile Failure) في الصخرة نتيجة تكون قوة شد (وتسمى بجهد الشد المتكون) (induced Tensile Stress) داخلية تصل الى قيمتها القصوى عند مركز القص وفق ما موضح في الشكل (2 - 17) .

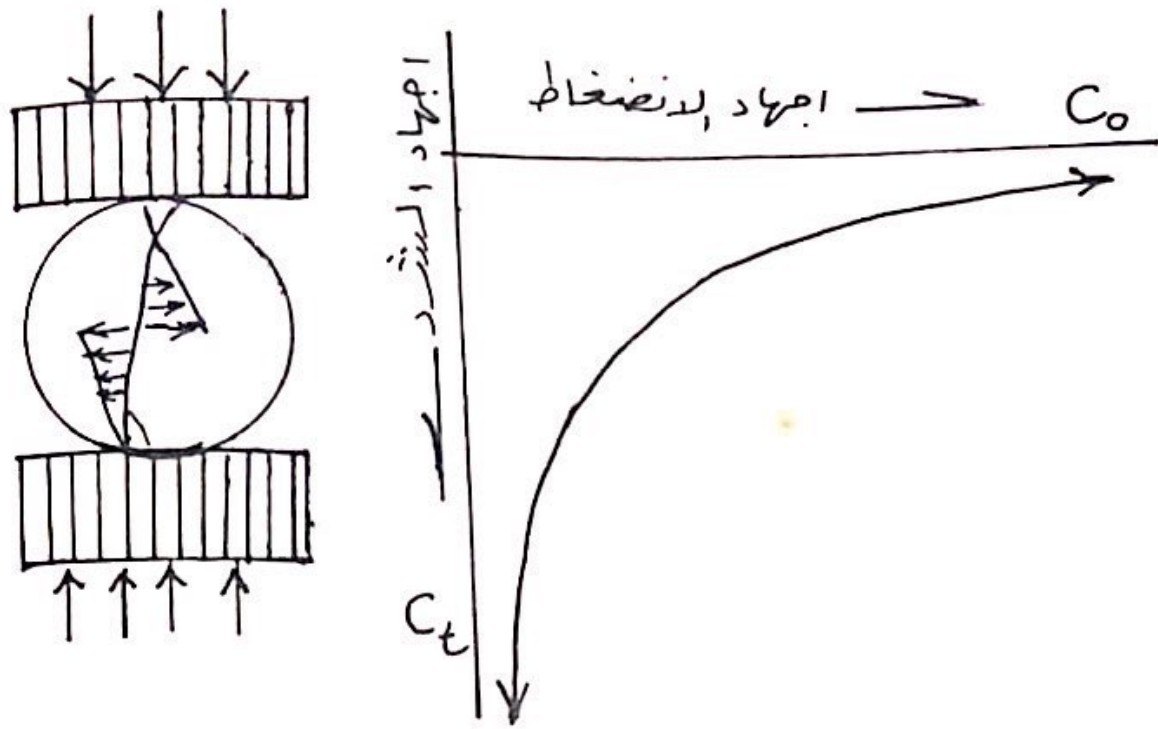
واغلب الصخور عادة تكون مقاومتها الانضغاطية اكبر عدة مرات من مقاومتها الشدية . وتقل المقاومة الشدية للصخرة مع زيادة درجة التجوية وتقرّب هذه المقاومة من الصفر عندما تصبح قوة تماسك حبيباتها معدومة . عندئذ تصبح مقاومتها الشدية وخصائصها الميكانيكية شبيهة بالتربة . اما بالنسبة للصخور القوية فان النسبة بين مقاومتها الانضغاطية والشدية قد تصل الى 10 مرات اي اذا كانت المقاومة الانضغاطية لصخرة منماسكة الحبيبات حوالي (1000 كغم / سم²) فان مقاومتها الشدية تكون بحدود (100 كغم / سم²) وتقل هذه النسبة بتشبع الصخرة بالماء او بتحلل المعادن الاصلية فيها الى معادن ثانوية مثل المعادن الطينية . وللتعبير عن العلاقة بين قيمتي مقاومة الصخرة الانضغاطية والشدية يمكن الاستعانة بوشر العدد الثابت (K) حيث يمثل بين المقاومة الانضغاطية والشدية للصخرة :

$$K = \frac{C_0}{C_t}$$



شكل (2 - 16) فمض مقارنة التند للاصغور .

(ا) الطريقة المباشرة (ب) الطريقة غير المباشرة



شكل (2 - 17) . توزيع اجهادات الشد داخل القرص .

فبالنسبة للصخور النارية التي تكون عادة من الصخور القوية فان قيمة النسبة (K) تتراوح ما بين (8 - 10) اما بالنسبة للصخور الرسوبية مثل الرملية والكلسية وعدد من انواع الصخور المتحولة مثل السليت والشيست فان قيمة النسبة تتراوح بين (4 - 6)

اما بالنسبة للصخور الضعيفة مثل الصخور الطينية فان قيمة النسبة (K) تكون اقل من 4 .
وفي الجدول رقم (2 - 6) مقارنة بين المقاومات المختلفة لعدد من انواع الصخور .

3.1.6.2 - المقاومة القصية (Shear Strength)

يقصد بالمقاومة القصية هنا المقاومة التي تسجلها المادة الصخرية حين تعرضها الى قوى خارجية تكون مركبة القوى فيها موازية للسطح المراد حساب مقاومته للقص او الانزلاق . وكما نعلم فان التراكيب الجيولوجية للصخور تحتوي على سطوح مختلفة الانواع وغالبا ما تكون متمثلة بمستويات الصدعات (Fault Planes) الكبيرة والصغيرة وكذلك مستويات الفواصل (Joint Planes)

جدول (2 - 6) يوضح مقاومة انواع الصخور

نوع الصخرة	المقاومة الانضغاطية	المقاومة الشدية	المقاومة القصية
	C_0	C_t	τ
	N/mm ²	N/mm ²	N/mm ²
1 - الكرانيت	250 - 100	7 - 25	14 - 50
2 - الكابرو	300 - 150	30 - 15	-
3 - الصخور الرملية	170 - 20	25 - 4	40 - 8
4 - الصخور الكلسية	250 - 30	25 - 5	-
5 - الصخور الطينية	100 - 5	10 - 2	30 - 3
6 - صخور السليت (الأردواز)	200 - 100	20 - 7	30 - 15

ملاحظة :

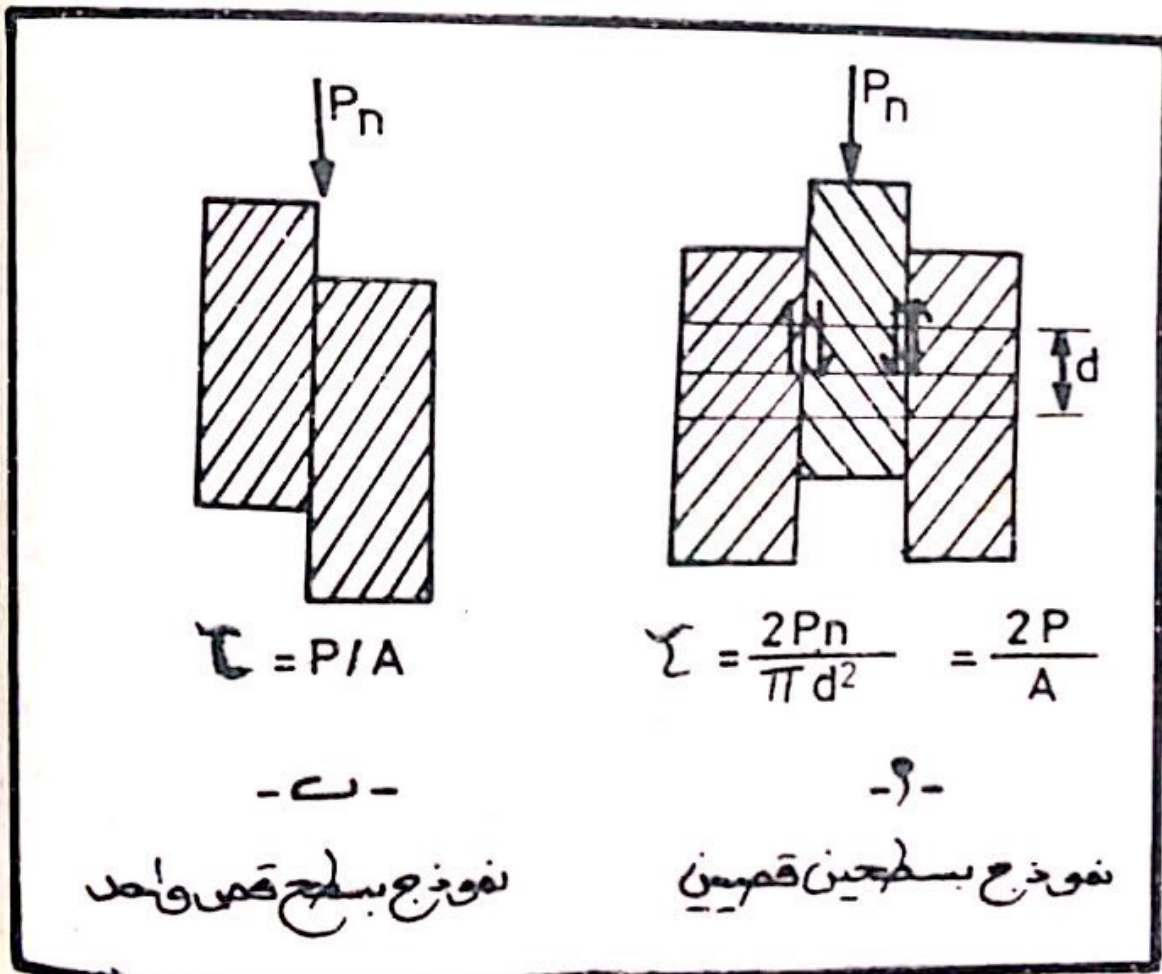
$$1 \text{ كغم} / \text{سم}^2 = 10 \text{ نيوتين} / \text{ملم}^2$$

ومستويات التطبق (Bedding Planes) والتصفح على انواعه (Cleavage & Foliation) وتشكل هذه السطوح مناطق او مستويات ضعف في الطبقات ومن ثم في التركيب نفسه . لقد استنتج مهندسو الحفر والانشاء بأن قياس مقاومة القص او الانزلاق للصخرة يعطيهم فكرة عن سلوكية هذه التراكيب الجيولوجية عند تعرضها لقوى او اجهادات (Stresses) خارجية مفاجئة كما في الزلازل (Earthquakes) والبراكين التي يكون لها تأثير مباشر على استقرارية الكتل الصخرية (Stability of Rock Masses) في الحقل او في الموقع الهندسي .

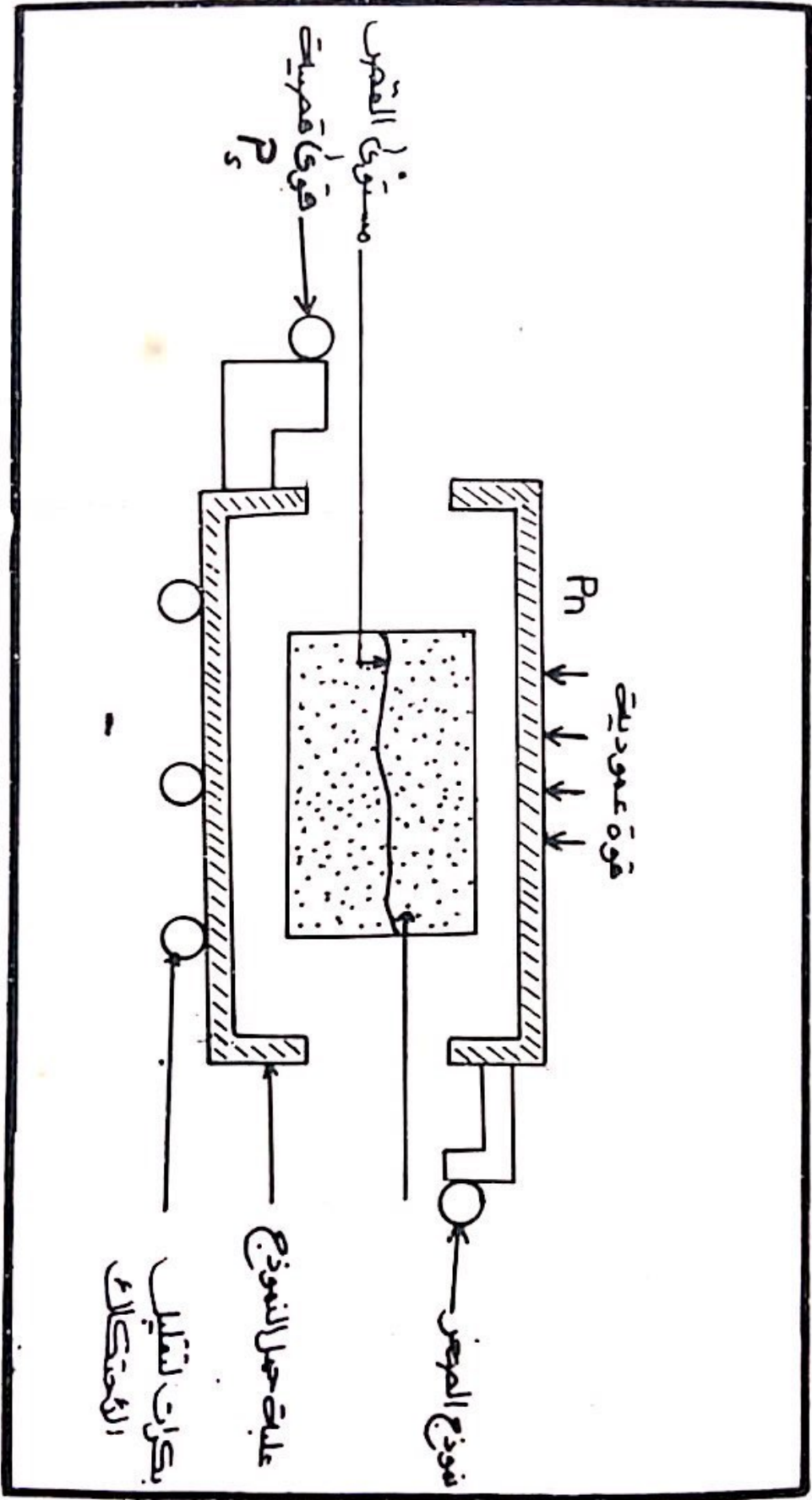
هناك طريقتان يمكننا بواسطتهما حساب مقدار المقاومة القصية (τ) لنوع الصخر المراد فحصه وهما : الطريقة القصية المباشرة (Direct shear method) او القص اللاحصور والطريقة غير المباشرة (Indirect Shear Method) وتعرف بطريقة الضغط الثلاثي المحاور (المحصور) (Triaxial Method)

أ - الطريقة المباشرة او غير المحصورة :
Direct or unconfined Shear Method

يوضح الشكل (2-18) طريقة قياس مقاومة القص بالطريقة المباشرة . وفي مختبرات ميكانيك الصخور يستعمل جهاز صندوق فحص القص Shear Box (Device) لهذا الغرض (شكل 2 - 19) . ويتكون هذا الجهاز من ثلاثة اقسام رئيسية . القسم الاول يمثل خلية النموذج (Sample box) المراد فحص مقاومته والقسم الثاني جهاز تسليط القوة العمودية (P_n) على مساحة النموذج المراد فحصه والقسم الثالث جهاز تسليط القوة القصية (P_s) بحيث تكون موازية لسطح النموذج العلوي والسفلي . ويحتوي جهاز فحص مقاومة القص كذلك على مايكروميتر (micrometers) او مؤشرات اخرى (gauges) لقياس مقدار الازاحة العمودية (Normal Displacement) والافقية (Lateral Displacement) ومن ثم التشوية (Deformation) الذي يحدث للنموذج الصخري اثناء الفحص .



شكل (2 - 18) . - طريقة القص اللامحصور او المباشر في الصخور



شكل (2 - 19) صندوق فحص التمس بالطريقة البسيطة .

ويحسب الجهد العمودي المؤثر (σ_n) وفق الآتي :-

$$\sigma_n = \frac{P_n}{A} \quad \dots (17-2)$$

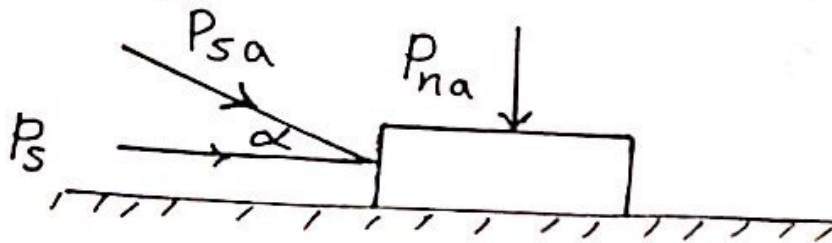
أما مقاومة القص (τ) أو الاجهاد القصي عند الانهيار فتحسب من المعادلة الآتية :

$$\tau = \frac{P_s}{A} \quad \dots (18-2)$$

حيث تمثل A مساحة النموذج الصخري المعرضة للقص . واثناء عملية الفحص يتم تسجيل مقدار الإزاحة العمودية (Normal Displacement) وكذلك الإزاحة القصية فيه أي بالاتجاه الموازي لقوى القص . حيث تسجل هذه القراءات خلال عملية الفحص على شكل جدول ثم يحول إلى منحن بياني وذلك وفق الشكل (2 - 20 أو ب) .

وعند نهاية الفحص ترسم النتائج على إحداثيات محوري (τ) و (σ_n) وذلك لإيجاد قيمة زاوية أو معامل الاحتكاك الداخلي لمادة الصخر (ϕ) بالنسبة لمراحل الفحص المختلفة وكذلك لإيجاد مقدار القوة الرابطة بين الحبيبات (Cohesion C) (انظر الشكل 2 - 21) .

أما إذا كانت القوى القصية المؤثرة على سطح النموذج غير موازية له أي مائلة بزاوية مقدارها α عن المحور الأفقي (X) عندئذ يحسب الجهد العمودي على مستوى القص واجهاد القص (normal & Shear Stresses) وفق الآت



$$\sigma_n = \frac{P_n}{A} = \frac{P_{na} + P_{sa} \sin \alpha}{A} \quad \dots (19-2)$$

$$\tau = \frac{P_s}{A} = \frac{P_{na} \cos \alpha}{A} \quad \dots (20-2)$$

SOIL MECHANICS LABORATORY

DIRECT SHEAR ON COHESIONLESS SOIL

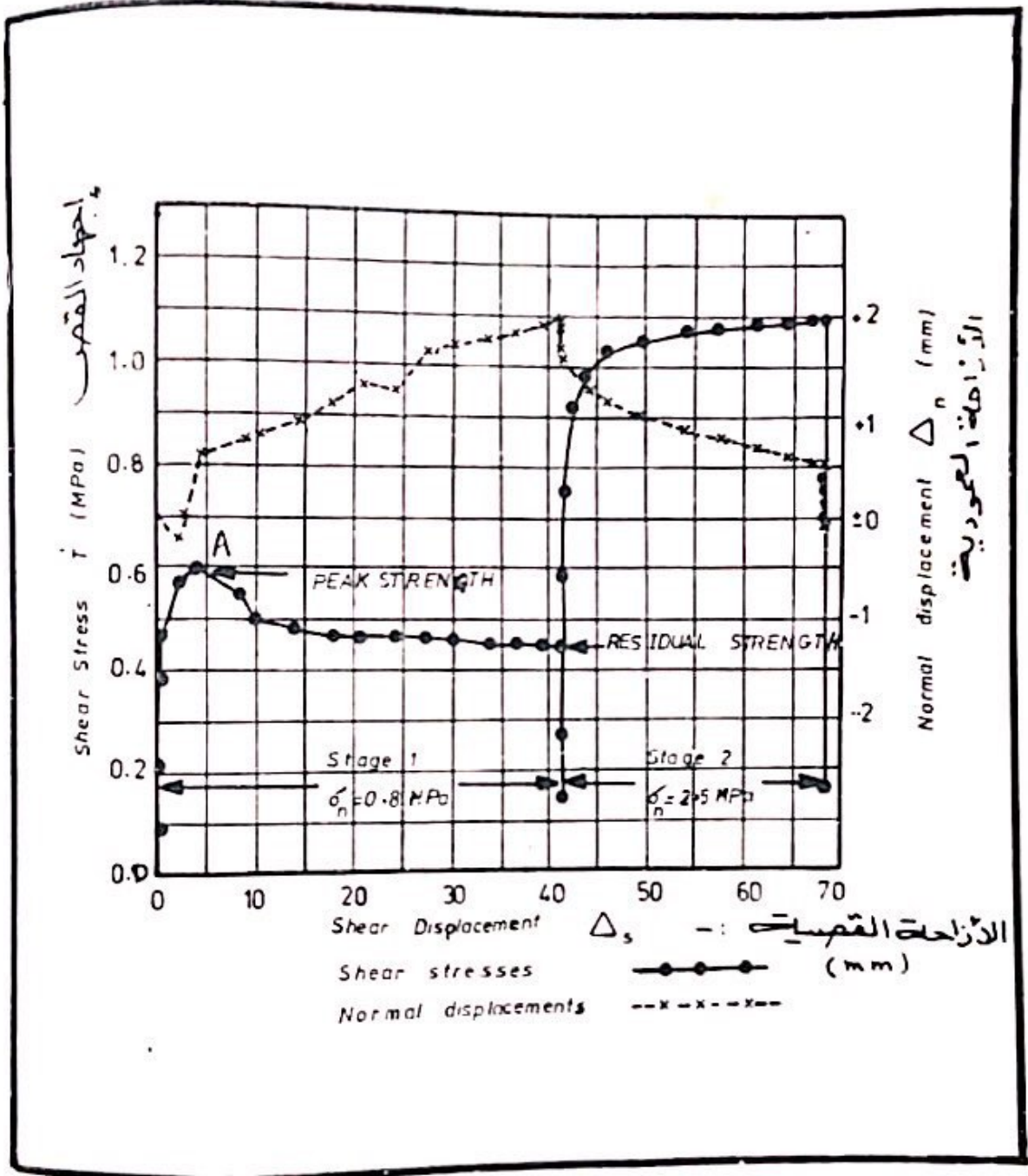
SOIL SAMPLE Sand, brown fine uniform SOIL SPECIMEN WEIGHT TEST NO 0.25
Subrounded particles, mostly INITIAL WT CONTAINER + DRY SOIL IN g 410.7 DATE Sept 10, 1950
quartz FINAL WT CONTAINER + DRY SOIL IN g 297.9 TESTED BY JRC.S
 LOCATION Orange Falls, Maine BORING NO CA SAMPLE DEPTH 30ft
 SAMPLE NO CA-1-30 WT. DRY SOIL USED, W_s IN g 112.8
 SPECIFIC GRAVITY, G_s 2.67

SHEAR BOX SOIL SPECIMEN VOLUME NORMAL LOAD
 LENGTH, L IN cm 7.62 BOX TO SOIL, y_s IN cm 2.32 APPLIED LOAD 75.0 lbs. 12,000 lbs / sq ft.
 INSIDE DEPTH, b IN cm 3.78 SOIL THICKNESS, t IN cm 1.27 TAKE IN lbs 45
 BLOCK + GRATING, X IN cm 4.83 SAMPLE VOLUME, V_s IN cc 73.8 SCALE LOAD IN lbs 795
 PROVING RING NO 15 IV SOLIDS VOLUME, V_s IN cc 42.7
 CALIBRATION FACTOR 5.18 per 0.0001 in. VOID RATIO, e 74.3
 POROSITY, n 4.27

ELAPSED TIME IN min.	SHEAR DIAL IN in.	SHEAR DISPLACEMENT IN in.	NORMAL DIAL IN in.	NORMAL DISPLACEMENT IN in.	PROVING RING DIAL IN 0.001 in.	SHEAR FORCE IN lbs.	ϕ
0	0.100	0.0	0.1587	-0.0	0.0	0.0	0.0
1/2	102	0.07	1561	-0.038	19.2	35.0	126
1	109	0.09	1547	-0.050	42.8	214.0	286
1 1/2	119	0.19	1535	-0.050	47.0	305.0	407
2	129	0.29	1523	-0.056	71.5	387.5	475
2 1/2	140	0.40	1521	-0.046	81.5	407.5	544
3	155	0.55	1510	-0.047	90.5	452.5	603
3 1/2	173	0.73	1511	-0.056	97.8	489.0	657
4	190	0.90	1525	-0.042	102.5	512.5	683
4 1/2	220	1.20	1541	-0.026	107.2	536.0	715
5	240	1.40	1546	-0.021	109.4	547.0	724
5 1/2	260	1.60	1551	-0.016	109.3	546.0	720
6	280	1.80	1555	-0.012	110.0	550.0	723
6 1/2	300	2.00	1559	-0.008	110.0	550.0	723
7	320	2.20	1561	-0.006	109.8	549.0	722
7 1/2	340	2.40	1562	-0.005	109.0	545.0	726
8	360	2.60	1562	-0.005	109.0	545.0	726
8 1/2	380	2.80	1562	-0.005	109.9	544.5	725
9	400	3.00*	1562	-0.005	108.2	541.0	720
9 1/2	420	3.20	1562	-0.005	107.8	539.0	718
10	440	3.40	1562	-0.005	107.1	535.5	713
10 1/2	460	3.60	1561	-0.006	107.2	536.0	715
11	480	3.80	1560	-0.007	107.5	537.5	717
11 1/2	500	4.00	1555	-0.009	106.0	540.0	720
12	520	4.20	1557	-0.010	106.0	540.0	720
12 1/2	540	4.40	1555	-0.012	106.2	541.0	722
13	560	4.60	1555	-0.012	106.0	540.0	720

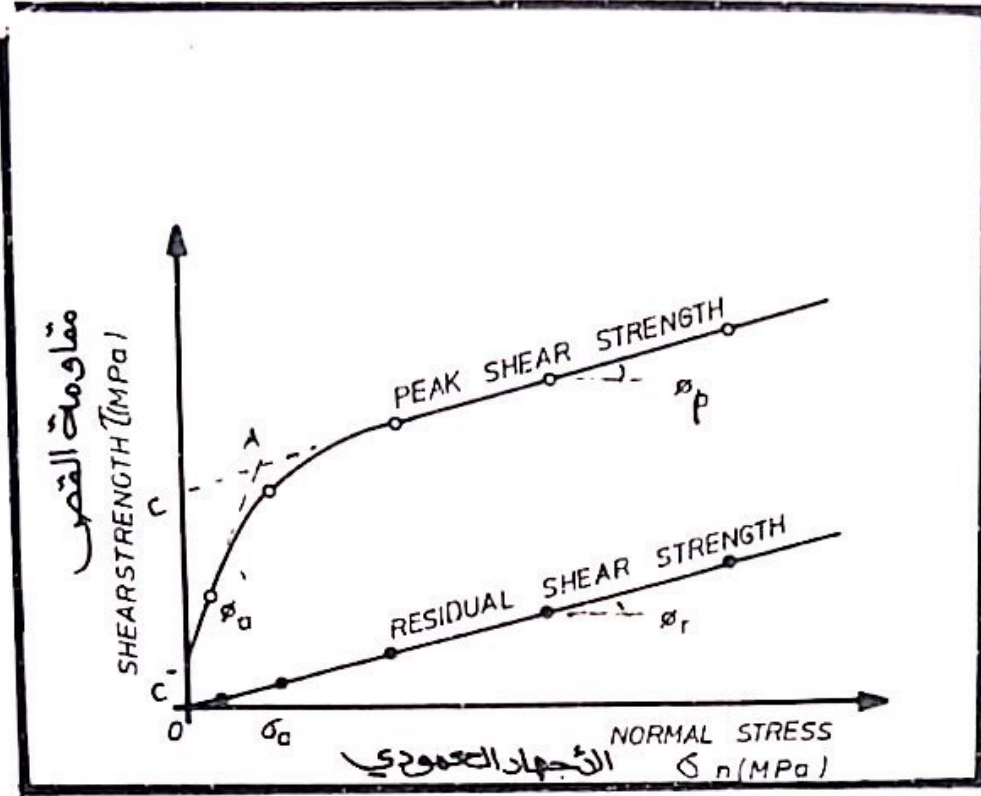
REMARKS: Sand observed leaking from shear box

شكل (2 - 20) نتائج فحص القص المباشر (أ) جدول نتائج القص المباشر



(ب) مخطط اجهاد القص والازاحة القصية (Stress-Displacement Curve) من نتائج فحص القص المباشر.

شكل (2 - 20)



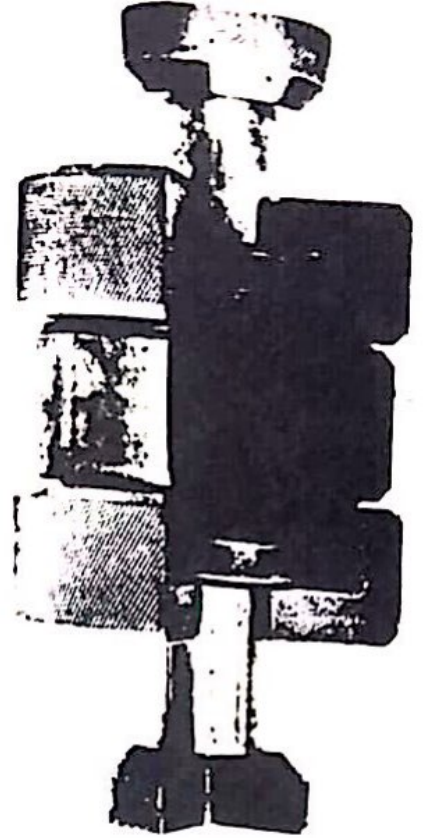
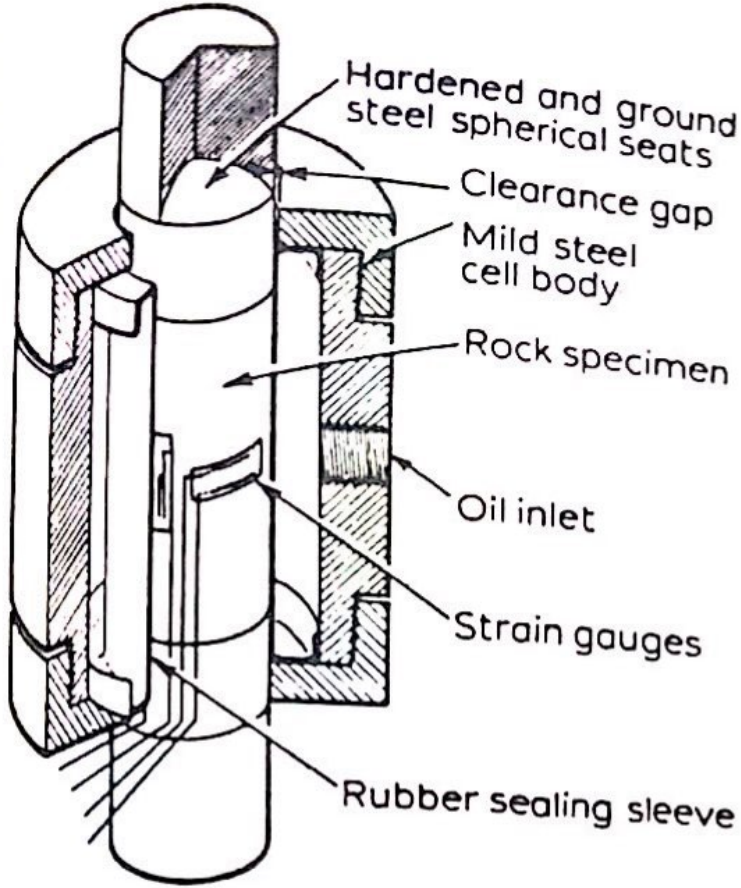
شكل (2 - 21) رسم نتائج فحص القص المباشر

حيث ان P_n و P_s تمثلان مجموع القوى القصية والعمودية المؤثرة على التوالي .

ب - الطريقة غير المباشرة او المحصورة

Indirect or Triaxial Rock Testing (Confined Shear Strength)

يمكن قياس مقاومة القص للصخر بطريقة استعمال خلية الضغط المحصور (Triaxial Confinement Cell) كالتي نشاهدها في الشكل (2 - 22) . وتتكون من علبة مصنوعة من الفولاذ يوضع فيها النموذج وهو داخل غلاف من المطاط (Sleeve) لمنع تسرب سائل الزيت المضغوط من الدخول الى مسامات الصخور ويتم تسليط الضغط على النموذج من الاعلى والاسفل بواسطة جهاز فحص المقاومة (P_n) وكذلك من الجوانب بواسطة الضغط الهيدروليكي لسائل الزيت (P_c) الذي يبقى ثابتا اثناء الفحص . اما الضغط المحوري المسلط من الاعلى والاسفل على النموذج فانه يزداد الى ان ينهار النموذج وينكسر ويماد الفحص بضغط مختلفة .



شكل (2 - 22) جهاز الضغط ثلاثي المحاور لقياس مقاومة القص في الصخور

تحسب مقاومة التماسك (C) بين الحبيبات بواسطة رسم دوائر موهر للاجهاد (Mohr circles) والتي تمثل العلاقة بين اجهاد القص والاجهاد العمودي على مستوى القص (انظر الشكل 2 - 32). يستفاد من قياس المقاومة القصية للصخر بهذه الطريقة عندما تكون الصخور في الموقع الهندسي تحت ظروف القوى (الاجهادات) المسلطة من جميع الاتجاهات اي على اعماق كبيرة .