



محاضرات مادة الجيولوجيا الهندسية / المرحلة الاولى / قسم الهندسة المدنية

كلية الهندسة / جامعة تكريت

تدريسي المادة

أ.م. د. لمياء نجاح الطائي

م.د. سراب سهام

٢٠٢٥/٢٠٢٤

الفصل الرابع: الخواص الفيزيائية والميكانيكية للصخور

كما هو معروف بأن الصخور لها استخدامات كثيرة في الاعمال الهندسية وخصوصا في مجال الانشآت المدنية ، لذا يستوجب التعرف على خواصها الفيزيائية والميكانيكية

• الخواص الفيزيائية للصخور:

١. المسامية (Porosity): هي نسبة حجم الفراغات في عينة ما الى حجم العينة الكلي.

وتعتمد على:

- أ - شكل الحبيبات المعدنية المؤلفة للصخر.
- ب - تدرج احجامها.
- ت - كيفية ترتيبها وحرصها.
- ث - درجة الانضغاط وصلابة هذا الصخر واحتوائها على حبيبات مختلفة الحجم^(١).

○ طريقة حساب المسامية:

أ - توزن عينة من الصخر وهي جافة بعد وضعها في فرن في درجة حرارة 105° لمدة ٢٤ ساعة وليكن وزنها W_1 وهذا يعني وزن المادة الصلبة في العينة.

(١) حيث ان الاجزاء الصغيرة سوف تحتل الفراغات بين الحبيبات الكبيرة وبذلك تقل المسامية وقد تزداد المسامية بوجود الشقوق الدقيقة او الفواصل. حيث إن المسامية الصخرية مقياس لقابلية خزنها للسوائل.

Engineering Geology

ب - توزن العينة بعد غمرها في الماء لمدة ٤٨ ساعة [حيث تملأ الفجوات بالماء] وليكن وزنها w_2 ، وان حجم الفجوات يتحدد بعد طرح وزن العينة الجافة من وزن العينة المغمورة بالماء وهي في حالة التشبع أي $[w_2 - w_1]$.

ت - يعاد وزن العينة المشبعة بالماء وهي مغمورة بكاملها تحت سطح الماء وليكن الوزن w_3 وهذا يعني وزن الماء المزاح الذي يساوي الحجم الكلي للعينة $[w_2 - w_1]$.

$$Porosity = \frac{w_2 - w_1}{w_2 - w_3} \times 100\%$$

٢. محتوى الرطوبة (*Moisture Content*): وهي عبارة عن النسبة بين وزن الماء الموجود داخل الفجوات المتواجدة في العينة الى وزن المادة الصلبة الجافة من العينة.

وتحدد مختبرياً بأن توزن العينة وهي جافة وليكن وزنها $[w_1]$ ، ثم تغمر هذه العينة في الماء لمدة معينة وفي درجة حرارة معينة ثم يحدد وزنها وليكن $[w_2]$ ، ويمكن حسابها كما يلي:

اما درجة التشبع تعرف بأنها النسبة بين حجم الماء الممتص فعلاً والحجم الكلي للعينة، وتختلف من صخرة الى اخرى.

٣. الوزن النوعي (*Specific Gravity*): هو وزن حجم معين من المادة الصخرية الى وزن نفس الحجم من الماء، وعادة يكون خالياً من الوحدات، ويقسم الى نوعين:

أ - الوزن النوعي الظاهري: يتحدد بوزن عينة من الصخر وهي جافة ولتكن $[w_1]$ ثم وزن العينة وهي مشبعة بالماء ولتكن $[w_2]$ ومن ثم توزن وهي مغمورة كلها في الماء ولتكن $[w_3]$ ، ويمكن حسابها كما يلي:

بالماء

ب - الوزن النوعي الحقيقي: هو النسبة بين وزن حجم معين من المواد الصلبة الى وزن نفس الحجم المساوي له من الماء (أي: وزن الماء المزاح)، ويمكن حسابه كالآتي:

وزن الماء الذي يكون حجمه مساوياً للحجم الكلي للعينة $[w_3 - w_2]$.
وزن الماء في الفجوات فقط يكون حجمه مساوياً لحجم الفجوات الذي يساوي $[w]$
ولكن:

$w = w_2 - w_1$ and by substituting from $[w]$ will get:

نحصل على وزن الماء بالحجم المساوي للمواد الصلبة $w_2 - w_3 - w_2 =$
 $(w_1 +$ والذي ويساوي ايضاً $[w_3 - w_1]$.

هي مغمورة بالماء

٤. الكثافة (Density): هي وزن وحدة حجم معين من المادة المعدنية الصلبة

المكونة للصخر ولكن يجب ملاحظة ما يلي:

أ - كثافة حبيبات المادة الصلبة d_{solid} (وزن مجاميع المعادن في وحدة حجم معين من المادة الصلبة).

ب - الكثافة الجافة d_{dry} (وزن مجاميع المعادن في وحدة من الحجم الكلي أي المادة الصلبة والفجوات عندما تكون خالية من الماء).

ت - الكثافة المشبعة $d_{saturated}$ (وزن مجاميع وكذلك الماء الموجود في الفجوات لوحدة الحجم، أي المادة الصلبة والفجوات ممتلئة بالماء).

٥. الكثافة الكلية (Bulk Density): وهي وزن مجاميع المعادن مع الماء الموجود في الفجوات في وحدة الحجم أي المادة الصلبة والفجوات ممتلئة كلياً بالماء.

Engineering Geology

حيث يقل الوزن عمّا هي عليه في حالة الوزن في الهواء بمقدار دفع الماء

للينة عند غمرها فيه، ولناخذ مثالاً على ذلك:

نفترض ان لدينا عينة وزنها الجاف 2.44 غم / سم³، وإن حجم المسامات 50%، فإن دفع الماء يعادل وزن الماء الذي يزيحه 50% من حجم العينة.

وان حجم المواد الصلبة في العينة = $1 \times 50/100 = 0.5$ سم³.

مقدار الدفع للعينة = $0.5 \text{ سم}^3 \times 1 \text{ غم/سم}^3 = 0.5$ غم.

الوزن المغمور = $2.44 \text{ غم} - 0.5 = 1.94$ غم.

٦. النفاذية (Permeability): وهي قابلية الصخور على مرور السوائل من خلال

فجواته المتصلة بعضها مع البعض الآخر، وتتوقف النفاذية على:

○ حجم المسامات.

○ كيفية اتصالها.

○ درجة لزوجة السوائل ودرجة الحرارة.

وجريان الماء يحدث عند توفر فرق ضغط مائي (h)، وعندما ينساب الماء

خلال نموذج صخري طوله (L) فان الانحدار الهيدروليكي (او الميل) يساوي فرق

علو الضغط المائي (h) مقسوماً على طول المسار للعينة (L) اي بمعنى آخر

الانحدار الهيدروليكي:

Engineering Geology

ولقد تمكن العالم دارسي من حساب سرعة المياه الجوفية حيث وجد انها تتناسب تناسباً طردياً مع معامل النفاذية والانحدار الهيدروليكي، وان معامل النفاذية هذا عبارة عن مقدار ثابت يعتمد على طبيعة الصخور وخواص السائل المار فيه.

٧. متانة الصخور (Durability): بعض الصخور تتأثر عند تعرضها للجو^(٢) مما يؤدي الى تلف التراكيب الصخرية غير المتينة. وهذه يمكن تقديرها اثناء مشاهدة مكاشف الصخور بجوار المقالع وبعض هذه الصخور تتأثر بفعل الانجماد اثناء فترة البرد او قد تؤدي الى فقدان اواصرها من جراء تفكك المادة اللاصقة.

(٢) على سبيل المثال معدن البايرات عند تعرضه للعوامل الجوية كالامطار او الاوكسجين فانها تؤدي الى اكسدته او احداث تغييرات كيميائية به.

• الخواص الميكانيكية للصخور: وهذا يعني كيفية تشوهه او انهيار المواد تحت تأثير

القوى المسلطة عليها.

مفاهيم خاصة بالخواص الميكانيكية:

○ الاجهاد: هو القوة مقسومة على وحدة المساحة.

○ الانفعال: هو التغير الحاصل على الجسم سواء في الحجم او الشكل او الطول

او الزوايا وينتج من تأثير الاجهاد ويرمز له بالرمز ϵ .

○ التشويه: هو مقدار الزيادة او النقصان في حجم او طول او الزوايا للجسم

ويرمز له (d).

○ المادة المرنة تماماً: وهي المادة التي يزول عنها كل الانفعال الناتج عن

اجهاد معين عند زوال الاجهاد المسلط عليها.

○ المادة اللدنة: وهي المادة التي لا يزول عنها الانفعال حتى بعد رفع الاجهاد

عنها.

○ المادة المطاوعة: وهي المادة التي يمكن سحبها بواسطة الشد الى مقطع اخر

اصغر من مقطعها الاصلي.

○ المادة الهشة: هي المادة التي تنقصها المطاوعة وتفتت وتتكسر عند

تعرضها للاجهادات التي تفوق قوة تحملها.

○ **نقطة الخضوع:** وهي النقطة التي تظهر عندها علامة تشويه غير قابلة للزوال.

○ **نقطة الزحف:** هي النقطة التي تظهر عندها أولى علامات الانتفاخ المستعرض وغير قابلة للزوال^(٣).

بالنسبة للمادة المرنة يمكن ربط العلاقة بين مقدار الانفعال والاجهاد بواسطة معامل يونك [معامل المرونة]، الذي يرمز له بالحرف E وهو عبارة عن:

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon}$$

اما نسبة بويزون والتي تمثل النسبة بين مقدار الانفعال [التشويه المستعرض مقسوماً على الانفعال في الاتجاه المحوري] [التشويه الطولي] فيرمز له بالرمز γ .
في التشوه المرن الانفعال يتناسب طردياً مع الاجهاد المسلط وهذا يعني زوال التشويه بعد رفع الاجهاد. والنقطة A تعرف بأعلى حد للمادة المرنة تماماً.

(٣) عندما تتعرض المادة الصخرية الى اجهادات لفترات طويلة من الزمن يحدث ما يسمى بالزحف او الانفعال الذي يعتمد بدوره على الزمن الذي يشمل نوعاً من انواع الجريان.

التصنيف الهندسي للصخور للأغراض الانشائية

لجأ المهندسون في تصنيف الصخور تبعاً لطبيعة المنشآت المقامة فيها وكيفية سلوك هذه المواد الصخرية تحت تأثير الاجهادات المختلفة اخذين بنظر الاعتبار حجم الفتحات وعمقها من سطح الارض، لذا قسمت هذه الصخور إلى مايلي :

١ - الصخور القوية

أ - الصخور الكتلية المرنة : هي تلك الصخور القوية ذات الصفات الميكانيكية والجيولوجية التي يمكن اقامة فتحات بها تحت سطح الارض دون الحاجة الى دعائم صناعية. بحيث تسمى الصخور الكتلية اذا كانت المسافات بين الفواصل التي تفصل بين الكتل الصخرية اوسع بكثير من عرض الفتحة المراد اقامتها .
من امثلتها الصخور الرملية السميكة والصخور الكلسية والصخور الكرانيتية وصخور الكابرو وصخور المرمر حيث تتميز بمرونة عالية جداً وقوة تحمل عالية.

٢ - الصخور القوية الطباقية

أ - الصخور الطباقية المرنة : تضم جميع الصخور الرسوبية ذات الطبقات الرقيقة او الصخور المتحولة الصفائحية . ومن امثلتها الصخور الطباقية الرملية وصخور الارذواز وتتميز بمعاملات مرونة متوسطة وقوة تحمل متوسطة.

ب -الصخور الطبقية غير المرنة : تشمل الصخور الرسوبية الطبقية التي لها قابلية الزحف اثناء احتوائها على الماء مثل صخور النضيد وبعض الصخور الملحية والفحم الحجري.

٣ - الصخور القوية ذات الفواصل

وهي تلك الصخور التي تتخللها مفاصل كثيرة باتجاهات متعددة ولكنها التحمت فيما بينها بفعل المواد اللاحمة وظلت في حالة انفصال مثل الصخور الرملية الطينية والصخور الكلسية.

٤ - الصخور الضعيفة

وهي تلك الصخور التي تحوي على فواصل كثيرة وباتجاهات كثيرة وعشوائية وغير ملتحمة فيما بينها. بحيث لايمكن اقامة فتحات بها دون الحاجة الى دعائم صناعية ومن امثلتها الصخور الطينية والترب والصخور القشرية .

التصنيف الهندسي للصخور لاغراض الاساسات

ان عملية تحديد صلابة الصخور وقابليتها على تحمل أساسات المنشآت الضخمة كالسدود والخزانات والمباني العالية تعد من الامور المهمة بالنسبة لمهندس الاساسات وهذه تستوجب التعرف على الخواص الميكانيكية للصخور والطبيعة الجيولوجية لهذه المواد ولذلك صنفتم هذه الصخور تبعا" لقدرتها على تحمل الضغط الى قسمين :

١ - التصنيف الحقلّي لهذه الصخور

٢ - التصنيف الهندسي لأغراض الأساسات حيث يتحدد بخاصيتين رئيسيتين هما قوة تحمل الصخور للضغط ومقاومة الصخور للاحتكاك والبري ودرجة صلابة المعادن المكونة لها.