الجيولوجيا الهندسية

أسس وتطبيقات

تأليف

أ.م. شكر علي خليل الصالحي

منشورات

جامعة عمر المختار

البيضاء

2022

اسم الكتاب : الجيولوجيا الهندسية
اسم المؤلف : شكر علي خليل الصالحي
رقم الإيداع : 2017/108م

دار الكتب الوطنية بنغازي – ليبيا

© 2022 المؤلف

هذا كتاب يخضع لسياسة الوصول المفتوح (المجاني) ويتم توزيعه بموجب شروط ترخيص إسناد المشاع الإبداعي (CC BY-NC-ND 4.0)، والذي يسمح بالنسخ وإعادة التوزيع للأغراض غير التجارية دون أي اشتقاق، بشرط الاستشهاد بالمؤلف وبجامعة عمر المختار كناشر الاصلي.

منشورات

جامعة عمر المختار

البيضاء

الترقيم الدولي

ردمك ISBN 978-9959-79-076-7

محتويات الكتاب

الموضوع	الصفحة
– المقدمة	1
الفصل الأول	
أساسيات الجيولوجيا الهندسية	
– تعريف الهندسة	8
– تعريف الجيولوجيا الهندسية	9
– تعريف الدراسات الجيوتقنية	11
– اهم الحقائق في دراسة الجيولوجيا الهندسية	12
– الهدف من الجيولوجيا الهندسية	12
– تحقيق أهداف الجيولوجيا الهندسية	13
– المواد	15
– نسيج الكتلة	15
– الكتلة الأرضية	16
– العوامل الطبيعية	17
– المناخ	17
– أهمية دراسة مناخ المنطقة في الأعمال الهندسية	19
– الإجهاد	20
– الجاذبية	20

- الحركات الارضية 21
- التعرية 21
- الكوارث الطبيعية 21
- الفيضانات 22
- المعالجة والحلول 23
- العواصف 24
- المقذوفات البركانية 24
- الزلازل 26
- تبدد الكتل 27
- العمليات الديناميكية (الحركية) 27
- تعريف المصطلحات الأساسية 28
  - التربة 28
  - الصخور 29
- مصادر الفصل الاول 30

الفصل الثاني

التصنيف الهندسي وخواص الصخور والمعادن المكونة للصخور

- تعريف القشرة الأرضية 33
- أنواع الصخور في الطبيعة 33
- تصنيف الصخور النارية 34
- التركيب المعدني للصخور النارية 37

- الصخور الرسوبية 38
- مراحل تكوين الصخور الرسوبية 39
  - التجوية والتعرية 39
    - التجوية الميكانيكية 39
    - التجوية الكيميائية 39
  - النقل 40
  - الترسيب 40
  - التصلب والتصخر 40
- الخصائص العامة الصخور الرسوبية 40
- تصنيف الصخور الرسوبية 43
- الصخور الرسوبية الفتاتية 43
  - الصخور الرسوبية الكيميائية 44
  - الصخور الرسوبية الكيميائية– الميكانيكية 44
  - الصخور الرسوبية العضوية 45
- الصخور المتحولة 45
- الخصائص العامة الصخور المتحولة 46
- عوامل التحول 46
  - الحرارة 46
  - الضغط 47
  - المحاليل الكيميائية الفعالة 48

- الزمن 48
- أنواع التحول 48
  - التحول الحراري 49
  - التحول التهشمي 50
  - التحول الإقليمي 50
  - التحول نتيجة الحمل 51
- التصنيف الهندسي للصخور 51
  - تصنيف الصخور لغرض إنشاء الإنفاق 51
  - تصنيف الصخور لغرض التعدين 55
  - تصنيف الصخور تبعا لميكانيكية التشوه 55
- خواص المعادن المكونة للصخور 56
  - تعريف المعدن 57
  - أهم الخواص الطبيعية للمعادن 57
  - قابلية المعادن للتغير 62
  - العوامل المؤثرة على طبيعة المعادن 62
- مصادر الفصل الثاني 66

الفصل الثالث

أولا – الخواص الطبيعية والميكانيكية للصخور

مقدمة 71
- الخواص الطبيعية للصخور 73

- الوزن النوعي الظاهري 74
- المسامية الظاهرية..... 76
- نشأة المسامية 80
- أنواع المسامية 80
- المسامية الكلية 81
- المسامية الفعالة..... 81
- محتوى الرطوبة..... 81
- الامتصاص 82
- الخواص الميكانيكية للصخور..... 82
- وحدات قياس القوة الموجهة والإجهاد والانفعال..... 83
- وحدات قياس الطول 83
- وحدات قياس الكتلة 83
- وحدات قياس الزمن 83
- القوة 84
- الضغط 84
- القوة التفاضلية الموجهة 87
- القوة الكابسة..... 87
- قوة الشد 88
- القوة المزدوجة 88
- قوة اللي..... 88

- الإجهاد والانفعال 88
- الإجهاد..... 88
- الانفعال..... 89
- قانون هوك 90
- معامل يونج 90
- المرونة..... 91
- قوة تحمل الصخور 94
- قوة تحمل الصخور لإجهادات الضغط 95
- قوة تحمل الصخر لإجهاد الشد..... 95
- قوة تحمل الصخر لإجهاد القص..... 95
- خطوات رسم دوائر موهر..... 97
- الإجهادات المسموح بها..... 98
- مصادر الفصل الثالث..... 99

الفصل الرابع

الخواص الطبيعية والميكانيكية للتربة

- الخواص الطبيعية للتربة 103
- مصادر التربة..... 104
- العمليات التي تسبب تفتيت الصخور وتكوين التربة..... 105
- التجوية..... 105
- الجاذبية الأرضية..... 108

- الرياح 108
- المياه 109
- التركيب المعدني للتربة 109
- العوامل المؤثرة على الخواص الهندسية للطين 109
- أنواع الطين 112
- التدرج الحبيبي للتربة 112
- طريقة تحليل الحجم الحبيبي 115
- أهم الخطوات المتبعة لعملية فحص التربة 120
- الاختبارات الحقلية 121
- طرق أخذ العينات 127
- طريقة (الجسات) 127
- ردم الحُفر 131
- تحديد عدد وعمق الجسات 131
- عينات التربة 134
- تحديد منسوب المياه الجوفية 138
- خطوات الاختبارات المعملية 140
- تحضير العينات 141
- طريقة التحضير 141
- الاختبارات 143
- مصادر الفصل الرابع 158

الفصل الخامس
المياه الجوفية

- تعريف المياه الجوفية 162
- حركة المياه الجوفية 162
- مكامن المياه الجوفية..... 165
- أهم مكونات الطبقات الحاملة للمياه..... 165
  - الخزانات الجوفية الحرة 166
  - خزانات المياه الجوفية المقيدة أو الحبيسة 167
  - الخزان شبه المقيد..... 167
- مظاهر المياه الجوفية 167
  - الآبار..... 168
  - الآبار الإرتوازية..... 168
  - مياه الينابيع..... 169
  - الينابيع الحارة 170
- العوامل المؤثرة في تذبذب مستوى المياه الجوفية..... 171
  - الامطار 171
  - الجريان السطحي 172
  - التبخر والنتح..... 172
  - الضغط الجوي..... 172
- مصادر الفصل الخامس..... 174

الفصل السادس

التقنيات الحديثة وتحديد المواقع

- التقنيات الحديثة في تحديد المواقع 177
- خطوط الطول 186
- دوائر العرض 189
- طريقة إيجاد إحداثيات المواقع 189
- التقدير الستيني 190
- طريقة قراءة إحداثيات الموقع 192
- خواص ومميزات GPS 192
- مصادر الفصل السادس 195

الفصل السابع

الخرائط الكنتورية وتمثيل مظاهر السطح

- الخطوط الكنتورية 199
- مفهوم الخطوط الكنتورية 199
- تعريف سطح المرجع 199
- تعريف منسوب النقطة 200
- خصائص الخطوط الكنتورية 200
- فوائد الخطوط الكنتورية 202
- طريقة رسم الخطوط الكنتورية 202
- الفاصل الرأسي (الفرق الثابت بين الخطوط الكنتورية) 207

- رسم القطاعات التضاريسية 210
- خطوات الرسم 213
- دليل الخريطة 215
- طريقة رسم الدليل الجيولوجي للطبقات 215
- تمثيل الطبقات الأفقية على الخريطة 222
- مصادر الفصل السابع 228

فهرس الجداول

رقم الجدول	عنوان الجدول	الصفحة
1	يبين تأثير تواجد المعادن في الصخر	35
2	أشكال الصخور النارية ومواقعها	36
3	تأثير تواجد المعادن في الصخر	38
4	تصنيف الصخور الرسوبية الفتاتية حسب الحجم الحبيبي	44
5	مقياس موه للصلادة	59
6	استخدام بعض المواد المتاحة لتحديد الصلادة	60
7	يمثل مسامية بعض التكوينات الجيولوجية	80
8	وحدات الضغط	87
9	ارقام المناخل وما يعاد لقطر الفتحات بالمليمترات	114
10	قطر فتحات المناخل وما يعاد لها بالمليمترات	115
11	المناخل المستخدمة في المثال	117
12	البيانات التي يتم الحصول عليها من العمليات الحسابية	120
13	قوة تماسك الصخر	127
14	الوزن النوعي لأنواع التربة	148
15	الادوات المستخدمة في اختبار الدمك	149
16	قيم نسبة تحمل كاليفورنيا	150

رقم الجدول	عنوان الجدول	الصفحة
17	مقدار الاختراق القياسي	151

فهرس الأشكال

رقم الشكل	عنوان الشكل	الصفحة
1	اهمية توزيع المواد تحت سطح الأرض	16
2	بركان هائج وللافا السائلة تجري كالأنهار	25
3	بداية فعالية البركان التي تبدأ بالدخان	25
4	تأثير الزلازل على الأرض والمباني	27
5	السدود في الصخور النارية	36
6	القاطع في الصخور النارية	37
7	التطبقالمستوي والمتقاطع	41
8	أنواع مختلفة للمتحجرات	42
9	أنواع مختلفة لعلامات النيم	43
10	شقوق الطين	43
11	أهمية توزيع المواد تحت سطح الأرض	49
12	الصخور المهشمة	52
13	يبينأ الطفلةبالصخور المتماسكة	53
14	الصخور المتشققة	54
15	الصخور الكتلية	54
16	البريق الفلزي	59
17	نوع من انواع الانفصام	61
18	معدن البايرايت	64
19	معدن اورثوكليس وكاؤولينايت	64

رقم الشكل	عنوان الشكل	الصفحة
20	القوة العمودية ومركبة القوة على سطح الجسم	85
21	يوضح أنواع القوة التفاضلية	89
22	حدود المرونة	91
23	طريقة تعرض الصخور لإجهاد الضغط	93
24	إجهاد القص	94
25	زاوية مقاومة القص	96
26	معامل المرونة	97
27	الأجزاء الرئيسية للتربة	104
28	علاقة المسامية بزاوية الاحتكاك(مقاومة المعدن)	106
29	معدن اورثوكليس من مجموعة فلسبار	107
30	أنواع المناخل	114
31	يبين المنخل رقم (4)	117
32	يبين المنحي الافتراضي	121
33	آلة تحديد معامل القص للتربةفي الحقل	124
34	آلة الحفر اليدوي	128
35	آلة الحفر الدوراني	130
36	مخطط يدوي يبين طريقة توزيع الجسات على الأرض	133
37	طريقة توزيع الجسات على الأرض	134
38	صندوق تقسيم العينة	142
39	طريقة تربيع العينة	143
40	جهاز تحديد حد السيولة	145

رقم الشكل	عنوان الشكل	الصفحة
41	جهاز اختبار قوة القص المباشر	152
42	جهاز اختبار الضغط غير المقيد	153
43	تأثير الانحدار على سرعة الجريان	165
44	مكامن المياه الجوفية	168
45	مخطط يبين الينابيع الحارة	170
46	مصدر حرارة المياه الساخنة	171
47	يبين جهاز GPS	178
48	يبين درجات خط الطول شرقا	180
49	يبين درجة الدائرة الواحدة في التقسيم الستيني	181
50	يبينتغير ألإحداثيات	182
51	يبين مخطط لخطوط الطول ودوائر العرض	183
52	يبين الخطوط الكنتورية والمستويات الأفقية	184
53	طريقة رسم الخط الكنتوري الأول والثاني	185
54	يوضح رسم الخط الكنتوري الثالث	188
55	رسم الخطوط الكنتورية بطريقة الإدراج (الحشو)	191
56	الخريطة الكنتورية	193
57	يبين طريقة رسم القطاع	194
58	يبين طريقة رسم القطاع باستخدام قطعة ورقية	201
59	يبين خريطة كنتورية يبين خريطة كنتورية	204
60	رسم الخطين المتوازيين	204
61	تقسيم الخط العمودي	206

رقم الشكل	عنوان الشكل	الصفحة
62	مقياس الرسم الرأسي للدليل	208
63	طريقة تحديد طبقة الحجر الرملي	212
64	رسم طبقة الحجر الرملي والجيري	214
65	رسم طبقة الحجر الرملي والجيري والطفل	216
66	رسم طبقة الحجر الرملي والجيري والطفل وكونجلوميرات	217
67	الشكل النهائي للدليل الجيولوجي	218
68	الدليل الجيولوجي وتحديد السطح العلوي لطبقة الكونجلوميرات	218
69	تحديد الطبقة الكونجلوميرات والطفل	219
70	تحديد الطبقة الكونجلوميرات والطفل	220
71	يبين الأسطح العلوية والسفلية للطبقات مع الرموز	221
72	يبين رسم طبقة الحجر الرملي والجيري والطفل وكونجلوميرات	221
73	الشكل النهائي للدليل الجيولوجي	222
74	يبين الدليل الجيولوجي وتحديد السطح العلوي لطبقة الكونجلوميرات	224
75	يبين تحديد الطبقة الكونجلوميرات والطفل	225
76	يبين السطح العلوي والسفلي للطبقات عدا طبقة الحجر الجيري	226
77	يبين الأسطح العلوية والسفلية للطبقات مع الرموز	227

المقدمة

تشكل الجيولوجيا الهندسية أحد الجوانب التطبيقية لعلم الجيولوجيا وحلقة الوصل مع الهندسة المدنية والفروع الهندسية الأخرى ، مما يساهم في تذليل المشاكل الهندسية ذات العلاقة من خلال تطبيق العلوم الجيولوجية في الأعمال الهندسية . وقد نال علم الجيولوجيا الهندسية كغيره من العلوم الأساسية ، اهتماما بالغا من العاملين في مجال الهندسة المدنية إلى الحدّ الذي حذا ببعض الجامعات الكبرى لإدخاله ضمن تخصصات طلبة الهندسة المدنية . إن الترابط بين علم الجيولوجيا والهندسة المدنية (وعلى الرغم من التباين الواضح بينهما) قد بدأ منذ أن بدأ الإنسان بتشييد أبنيته على سطح الأرض .

والمهندس الجيولوجي على معرفته الكاملة بالمبادئ الجيولوجية يستطيع أن يعمل في عدة مجالات هندسية متنوعة خصوصا في التخطيط المدني والتوسع الحضري . إضافة إلى فحص مواقع التراكيب الأساسية مثل السدود والمصانع والمباني الثقيلة حيث تمثل واحدة من الأجزاء الرئيسية المستخدمة في التطبيقات الهندسية . ومن ناحية أخرى تتضمن الجيولوجيا الهندسية استكشاف خواص المواد الأرضية وتقييم المواد الإنشائية والأراضي الصعبة مثل مناطق السبخات والترب القابلة للانهيار ، بحيث يمكن توفير المعلومات التي يتم الحصول عليها من خلال إجراء الفحوصات الموقعية وترجمتها على هيئة خرائط جيولوجية هندسية ، والتي تمثل الجزء الأساسي لعدد من المشاريع فضلا عن المجالات التي يستلزم إجراء تحريات جيولوجية أولية ومفصلة .

وقد حذا بمنظمة اليونسكو (UNESCO) أن تشجع الدول على امتلاك الخريطة الجيولوجية الهندسية كنوع من الخريطة الجيولوجية التي توضح بشكل عام كل عناصر البيئية الجيولوجية الهندسية من التصميم والإنشاء والصيانة . وتختلف أنواع الخرائط الجيولوجية الهندسية اعتمادا على مقياسها وغرضها ومحتواها .

كما بدأ اتحاد المهندسين الجيولوجيين في عام 1980م بتشجيع الباحثين لرسم خريطة جيولوجية هندسية للمدن الرئيسية ودراسة المخطط التمهيدي المقترح . وقد تبنت أقسام الجيولوجيا الهندسية في العديد من الدول العربية المخطط التمهيدي لخريطة للجيولوجيا الهندسية وبدئوا برسم الخرائط للمدن الرئيسية في دولهم .

ومن هذا المنطلق ولأهمية الموضوع وافتقار الكثير من المكتبات إلى الكتب التي تتعلق بالجيولوجيا الهندسية ، لذلك فإن الهدف من هذا الكتاب هو استعراض الجوانب الأساسية في علم الجيولوجيا الهندسية التي يجب أن يتعرف عليها طالب الجيولوجيا قبل غيره ،لما لها من دور متميز في المعرفة الجيولوجية وفي كل المجالات الطبيعية والتطبيقية ، وقد تم استعراض جميع الفقرات بأسلوب سهل فهمه بعيدا عن التعقيد ويشمل كل الجوانب التي تتطلبها دراسة الجيولوجيا الهندسية ، حيث يتضمن الكتاب سبعة فصول متسلسلة في فقراتها ومترابطة فيما بينها ، إذ يضم الفصل الأول تعريف وأهمية الجيولوجيا الهندسية ، في حين يضم الفصل الثاني التصنيف الهندسي وخواص المعادن المكونة للصخور .

كما شمل الكتاب في فصله الثالث الخواص الطبيعية والميكانيكية للصخور . وتناول الفصل الرابع الخواص الطبيعية والميكانيكية للتربة بما في ذلك احتوائه على جميع الاختبارات الضرورية في المنشآت الحيوية ، بينما شمل الفصل الخامس أهمية الخزانات الجوفية للمياه وتراكيبها الجيولوجية بعنوان المياه الجوفية .

بما أن التقنيات الحديثة أصبحت من الأمور التي لا يمكن الاستغناء عنها في التطبيقات الجيولوجية لما لها من الفوائد التي تساهم في تذليل العقبات وتسهيل إجراء الأعمال الحقلية بالدقة المطلوبة لذا كان لزاما علينا إعطاؤها شيئا من التفصيل في التوضيح وتحديد المواقع في أية نقطة على سطح الأرض سواء أكانت شبكة الإحداثيات الفرعية أو الرئيسية التي تعمل بالارتباط مع الأقمار الصناعية التي تعتمد كليا على شبكة

الإحداثيات العالمية (خطوط الطول ودوائر العرض) وهذه ما تناولناها في الفصل السادس ، بينما شمل الفصل السابع طرق تمثيل المظاهر الطبيعية ومنها رسم الدليل الجيولوجي وطريقة رسم القطاعات الطولية والعرضية .

وفي الختام أرجو من البارئ عز وجل أن يوفق كل من أسهم أو يسهم في إثراء وتطوير العلم والمعرفة في كل المجالات ومنها الجيولوجيا الهندسية ، وأن يوفقنا الله لما فيه الخير ويسدد خطانا على طريق العلم والمعرفة لخدمة البشرية جمعاء .

شكر علي خليل الصالحي

حزيران 2012

الفصل الأول
أساسيات الجيولوجيا الهندسية

المقدمة

تعني كلمة الجيولوجيا بالمفهوم العربي بـ (علم الأرض) ، ويرجع أصل كلمة الجيولوجيا إلى اللغة الإغريقية ، وهي متكونة من مقطعين وهما (جيو GEO) وتعني الأرض ، و (لوجو LOGO) وتعني علم أو منطق . ويمكن تعريف الجيولوجيا بأنها العلم الذي يختص بدراسة مكونات الأرض وتاريخها وكذلك التغيرات التي تحدث على سطحها وبداخلها والقوى المؤثرة المستمرة وأسبابها التي تحدث عليها خلال الأزمنة الجيولوجية المتعاقبة وتاريخ نشأة الحياة فيها .

وتتميز مادة الجيولوجيا بأنها علم واسع كما أن طبيعة دراستها فرضت أن تستعين بالعلوم الأخرى لتحقيق المعرفة المطلوبة في كل ما يخص كوكب الأرض الذي نعيش عليه ، ولكون الجيولوجيا علما واسعا فقد تفرع إلى عدة تخصصات لتسهيل تغطية كل المجالات المختلفة المطلوبة دراستها ، مثل الجيولوجية الطبيعية ، والتركيبية ، والفيزيائية ، والكيميائية ، والاقتصادية ، والنفطية ، والتاريخية ، هذا بالإضافة إلى تخصصات أخرى مثل الجيولوجيا الحياتية والصحية .

ويعد علم الجيولوجيا من العلوم التطبيقية ذات الأهمية الكبرى في الحياة ، ولا يستغنى عنه البشر بأي حال من الأحوال وذلك لمعرفة الأعمال الهندسية أو المعيشية ، ومنذ القدم حاول الناس إيجاد المواقع الملائمة للسكن بعيدا عن الصخور الصلبة واختاروا الأماكن القابلة للنحت وأسسوا قريتهم ومدينتهم وأماكن مصانعهم اليدوية ، وكذلك المزارع في معرفة الأرض الصالحة والتربة المناسبة للزراعة وأماكن الماء ومصادره .

أمـا بالنسـبة للمهنـدس فهـو أيضـا لا يسـتغني عـن هـذا العلـم لأن المهنـدس المـدني وكذلك المعماري لا يستطيع تصميم أية منشأة ما لم يعلم القاعدة التي سوف يتم الإنشاء عليها فمعرفة الأرض التي سيبني عليها المنشآت يوفر له الوقت والجهد المبذولين من حيث معرفة الكميات المناسبة والتصاميم المفضلة في مثل هذه المناطق .

ولكي يتمكن المعماري والمهندس المدني من القيام بمهامهم في التصميم والإنشاء بشـكل صـحيح مـن هنـا جـاء أحـد فـروع هـذا العلـم ألا وهـو (الجيولوجيـا الهندسـية Engineering Geology) وهذا العلم هو الرابط بين الهندسة الجيولوجية والهندسة المدنية ومن أهم الأعمال التي يشمله هذا التخصص إعداد الدراسات الجيوتكنيكية (الجيوتقنية) .

تعريف الهندسة

يعتقـد بعـض المختصـين أن أصـل كلمـة "هندسـة" يرجـع لكلمـة "الإنـدازة" باللغـة الفارسية والتي تعني القدرة على حل المشكلات . ويعرِّف قاموس المحيط هذه الكلمة على أنها (**العلـم الرياضـي الـذي يبحـث في الخطـوط والأبعـاد والسـطوح والـزوايا والكميـات والمقـادير الماديـة مـن حيـث خواصـها وقياسـها أو تقويمهـا وعلاقـة بعضـها بـبعض فمـثلا المبـادئ والأصـول العلميـة المتعلقـة بخـواص المـادة ومصـادر القـوى الطبيعيـة وطـرق استخدامها لتحقيق أغراض مادية وفن الإفادة من المبادئ والأصول العلمية في بناء الأشياء وتنظيمها وتقويمها**) .

والهندسـة هـي التطبيـق العملـي للخـواص الفيزيائيـة والكيميائيـة للمـواد بحيـث تنـتج تشـكيلات ذات فائـدة محـددة للبشـر . ينـدرج تحـت هـذا التعريـف تصـميم وتحديـد المواقـع الملائمـة للإنشـاء الـتي لهـا علاقـة باستكشـاف الموقـع ودراسـة التربـة والصـخور والميـاه الجوفيـة وتحليـل المعلومـات وترجمتهـا للتنبـؤ بطريقـة تصـرف هـذا الموقـع عنـد البنـاء عليهـا فيمـا يعـرف

بالهندسة الجيولوجية ، وتصميم وتشكيل المواد الإنشائية فيما يعرف بالهندسة الإنشائية وتصميم وتشكيل الآلات بما يعرف بالهندسة الميكانيكية وتصميم وتشكيل المواد ذات الخواص الكهربائية أو ما يعرف بالهندسة الكهربائية وما إلى ذلك من أقسام الهندسة .

وقد نال علم الجيولوجيا الهندسية كغيره من العلوم الأساسية ، اهتماما بالغا من العاملين في مجال الهندسة المدنية إلى الحدّ الذي حذا ببعض الجامعات الكبرى لإدخاله ضمن تخصصات طلبة الهندسة المدنية . إن الترابط بين علم الجيولوجيا والهندسة المدنية والفروع الهندسية الأخرى قد بدأ منذ أن بدأ الإنسان بتشييد أبنيته على سطح الأرض على الرغم من التباين الواضح بينهم .

تعريف الجيولوجيا الهندسية

تعد الجيولوجيا الهندسية أحد الجوانب التطبيقية لعلم الجيولوجيا وتشكل حلقة الوصل مع الهندسة المدنية والفروع الهندسية الأخرى ، وذلك بتطبيق مبادئ علم الجيولوجيا للتقليل من المشاكل الهندسية ذات العلاقة .

إن تطبيق المبادئ الجيولوجية في الاستكشافات الهندسية تعود بالنفع على العلوم الهندسية ، وإن معرفة المكونات الجيولوجية للتربة والصخور سيساعد في معرفة مدى توازن المنشآت الهندسية وإدامتها .

واستنادا على معطيات التخصصات العلمية فإن المهندس المدني ومهندسي الفروع الأخرى غير مؤهلين للقيام بدراسة جيولوجية متكاملة ، وفي الوقت نفسه فإن الجيولوجي لا يتمكن من تطبيق المبادئ الجيولوجية في حل المشاكل الهندسية ، لذا فإن المسافة بين المهندس المدني والجيولوجي يملؤها الآن ما يسمى بالمهندس الجيولوجي . والمهندس الجيولوجي على معرفته الكاملة بالمبادئ الجيولوجية يستطيع أن يعمل في عدة مجالات هندسية فضلا عن المجالات التي يستلزم إجراء تحريات جيولوجية أولية ومفصلة وكما يلي :

1- في مجال الكشف عن الثروات الطبيعية واستخراجها بإمكان المهندس الجيولوجي أن يعمل في عمليات الكشف عن النفط والخامات المعدنية والمياه الجوفية ، فيستخدم طرق الكشف السطحية والجوية وكذلك التنقيب وإجراء الفحوصات المختبرية والموقعية ، واستخدام طرق الكشف التحت سطحية والتي تعتمد على الأجهزة الجيوفيزيائية المتنوعة .

2- وفي المجالات الهندسية بإمكان المهندس الجيولوجي العمل في مجال إنشاء السدود والخزانات المائية باختيار المواقع الافتراضية المناسبة ، وإيجاد الحلول والمعالجات المناسبة لتفادي المشاكل المتوقعة عند الإنشاء وتحديد مناطق الضعف والفجوات الداخلية ومشاكل الردم والانزلاق والاهتزازات الأساسية والمستحثة من جراء تجمع الحجم الهائل للمياه في الخزانات ومراقبة جسم السد بعد الإنشاء .

3- وفي مجالات حفر الأنفاق يعمل المهندس الجيولوجي على إجراء الدراسات الجيولوجية اللازمة لأجل تحديد المسار الدقيق للنفق آخذا بنظر الاعتبار المشاكل المختلفة أثناء حفر الأنفاق وبعدها وكذلك التكاليف الاقتصادية لإجراء عمليات الحفر والبناء .

4- وفي مجال إنشاء الطرق والجسور فإن المهندس الجيولوجي يعمل على تخطيط الطرق على الخرائط الجيولوجية والجغرافية والصور الجوية ، والكشف عن الصخور التي تمر عليها الطرقات وأسلوب معالجة كل مرحلة إنشاء وتحديد مواقع المواد المطلوبة للاستخدام في مجال رصف الطرق وذلك ضمن الدراسات الجيولوجية التي يقوم بها .

5- وفي مجال الزراعة والري يعمل المهندس الجيولوجي على معرفة أنواع التربة وتركيبها ومصدرها وخصائصها واكتشاف مصادر المياه الجوفية وإنشاء السدود والقنوات الزراعية .

6- إن المهندس الجيولوجي يعمل على تقديم المعلومات الجيولوجية الموقعية ولأعماق تعتمد على نوع المنشأ وحجمه ونوع المواصفات والترسبات والمياه الجوفية ومستواها وتذبذبها وتحديد نسبة الأملاح فيها في مشاريع التأسيس للمنشآت المدنية .

7- وفي مختلف المجالات فالمهندس الجيولوجي يعمل على أجراء الدراسات الجيولوجية باستخدام احدث تقنيات (GIS) لأجل الحصول على المعلومات اللازمة لتفادي المشاكل المتوقعة في المجالات الهندسية .

ومن تعريف الجيولوجيا الهندسية (Engineering Geology) بأنها احد الجوانب التطبيقية لعلم الجيولوجيا من خلال إعداد **الدراسات الجيوتقنية** (الجيوتكنيكية Geotechnical Study) للأرض التي سيتم إقامة المنشآت عليها ، ولأن المهندس المدني وكذلك المعماري لا يستطيع تصميم أية منشأة ما لم يكن لديهم البيانات الكافية عن القاعدة التي سوف يتم الإنشاء عليها ، ولهذا تُعد الجيولوجيا الهندسية الرابط بين الجيولوجيا والهندسة المدنية ، ومن أهم الأعمال التي يشملها هذا التخصص هو إعداد الدراسات الجيوتقنية (الجيوتكنيكية) .

تعريف الدراسات الجيوتقنية

تشمل جميع الأعمال التي لها علاقة باستكشاف الموقع من خلال دراسة التربة والصخور والمياه الجوفية وتحليل المعلومات للتنبؤ بطريقة تصرف التربة عند البناء عليها ، وهذه الدراسات تعتبر مهمة جدا في مرحلتي التصميم والتنفيذ للمباني ، وتعتبر مكملة لها ، وتشتمل الدراسات المطلوب إجراؤها للموقع على مرحلتين هامتين يقدم فيهما تقريران منفصلان وكما يلي :

أ- تقرير المسح الابتدائي .

ب- تقرير المسح النهائي .

وتعتمد هذه التقارير على أهمية وحساسية المشروع ، ويمكن أن يطلب تقرير واحد أو كلاهما معا ، وسوف يتم شرح هذه الفقرة بشيء من التفصيل في الفصول اللاحقة .

أهم الحقائق في دراسة الجيولوجيا الهندسية The Major Facts of Eng. Geology

1- تتم دراسة الجيولوجيا الهندسية في العديد من الدول في الدراسات العليا وتعتمد عنوانه على الدراسة الأولية ، فإذا كانت دراسة الطالب (الجيولوجيا) فإن المتخرج يحمل عنوان (الجيولوجيا الهندسية) ، أما إذا كانت دراسة الطالب الأولية هندسية فإن المتخرج يحمل عنوان (الهندسة الجيولوجية) .

2- مهما يكون أصل الدراسة والتدريب فإن المهندس الجيولوجي يساهم في مهمة تزويد البيانات الخاصة بالأرض بما يكفل للأعمال الهندسية تحديد الكلفة والوقت .

3- إن الإخفاق في الأعمال الهندسية ربما يؤدي إلى إزهاق الأرواح بالإضافة إلى الأضرار الجسدية والخسائر المادية وبالتالي التأخير في تنفيذ المشاريع ، ولتجنب هذه الإخفاقات والحوادث الناتجة عن ذلك ، لذا يجب الأخذ بملاحظات ومعالجات المهندس الجيولوجي في الموقع على المخططات والأعمال الإنشائية ، وللوصول إلى هذا المستوى لابد معرفة كيفية تحقيق أهداف الجيولوجيا الهندسية .

الهدف من الجيولوجيا الهندسية Aims of Engineering Geology

لكل فرع من فروع الدراسة هدف وغاية ، وقد قام الاتحاد العالمي للجيولوجيين بتعريف الجيولوجيا الهندسية بأنها تطبيق للبيانات الجيولوجية والتقنيات والقواعد لدراسة كل من :

أ- الصخور الطبيعية ومواد التربة والسوائل السطحية وتحت السطحية .

ب- تفاعل المواد والعمليات المتداخلة مع البيئة الجيولوجية .

ولذلك فإن العوامل الجيولوجية توثر على التخطيط والتصميم والبناء وعمليات صيانة التراكيب الهندسية وكذلك التطوير ومعالجة مصادر المياه الجوفية وتفسيرها وتقديمها لكي تستخدم في الأعمال الهندسية والتطبيقات المرتبطة . تتباين المواضيع أعلاه من بلد إلى آخر اعتمادا على الدولة وملائمة الموقع حيث أن :

1- معظم المهندسين الجيولوجيين هم بالأساس الجيولوجيون الذين يقومون بتزويد المهندسين بالبيانات الجيولوجية من دون تأويل أو تعليل .

2- والقسم الآخر من المهندسين الجيولوجيين يقومون بتصميم الأساسات والميول وأعمال التسوية وتحريات التربة ، أي أنهم يقضون معظم أوقاتهم في الدراسات الجيوتقنية ، وتعتمد هذه الأمور على التدريب والخبرة العملية وكذلك على موقف المؤسسة التي يعمل به المهندسون الجيولوجيون .

3- في معظم الدول فإن مشاريع البحث والاستكشاف عن مصادر المياه الصالحة للشرب تعتمد كليا على المهندس الجيولوجي ، بينما في الدول الأخرى يتم ذلك من قبل الجيولوجيين المتخصصين في المياه ولكنهم انفصلوا عن الجيولوجيا الهندسية .

تحقيق أهداف الجيولوجيا الهندسية

تعتمد فلسفة الجيولوجيا الهندسية في تحقيق أهدافها على ثلاثة افتراضات منطقية بسيطة وهي :

1- من المعروف بأن جميع الأعمال الهندسية يتم بناؤها إما في أو على الأرض .

2- تكون للأرض دائما ردة فعل تجاه الأعمال الهندسية .

3- يجب أن تتلاءم الأعمال الهندسية مع ردة فعل الأرض (سلوكها الهندسي) تجاه تلك الأعمال الهندسية المعينة[1] .

يتبين من الفرضية الأولى بأن المخططات وتنفيذ المشروع يتم من خلال العمل الجماعي لفريق العمل من المخططين والمعماريين والمهندسين وليس بمقدور شخص واحد أن ينجز جميع أعمال المشروع لوحده ، والمفهوم الحيوي هو أن بناء أية وحدة هندسية في أو على الأرض تعتمد على البيانات الأرضية ، وإذا كان هذا صحيحا فإنه يؤكد بأن للأرض دائما ردة فعل تجاه العمل الهندسي .

إن المشكلة الرئيسية في الأعمال الهندسية هي تخمين قوة وطبيعة ردة فعل الأرض لكل من البناء وعمليات تنفيذ المشروع ، حيث من الممكن أن تكون ردة الفعل صغيرة وغير مهمة أو تكون ضخمة ومن الممكن أن تكون كارثية ، وتعتمد على الطبيعة الجيولوجية المحيطة بالموقع والعمل الهندسي .

ولكي يتم تحقيق الفرضية الثالثة على المهندسين تصميم العمل الهندسي بشكل يمكن من خلاله تنفيذ البناء ضمن حدود الطبيعة الجيولوجية المحيطة بالموقع فقط من دون وقوع أضرار واضحة نتيجة ردة فعل الأرض ، ولتحديد الخصائص الهندسية للأرض لابد من معرفة الخواص الهندسية للتصميم المقترح وقوة الأرض التي يتم البناء عليها .

تمكن الكاتبان جون نل وديفيد بريس (John knill & David price, 2002) من التوصل الى تعبير مشترك للخاصية الهندسية للأرض من خلال المفاهيم التالية :

خواص المواد	**+**	**نسيج الكتلة**	**=**	**خواص الكتلة**
خواص الكتلة	**+**	**البيئة**	**=**	**مصفوفة الجيولوجيا الهندسية**
مصفوفة الجيولوجيا الهندسية	**+**	**التغيرات الناتجة من العمل الهندسي**	**=**	**الخاصية الهندسية للأرض**

إن المعادلات اللفظية آنفة الذكر يزودنا بمعلومات كافية لحساب ومعرفة سلوك الكتلة التي يتم البناء عليها .

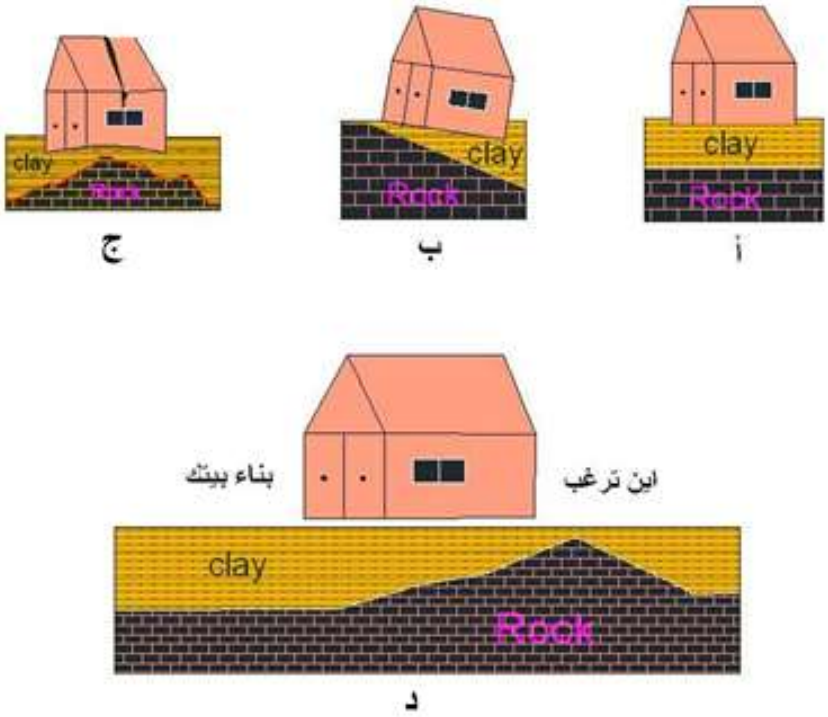
المواد Materials

من الممكن أن تكون المواد بشكل عام إما من الصخور أو التربة والسوائل والغازات التي تحتويه المواد ، مع العلم بأن خواص المواد معروفة بشكل واضح في الهندسة مثل (الكثافة ومقاومة القص والتشوه ... الخ) .

نسيج الكتلة Mass Fabric

يمكن تفسير نسيج الكتلة بأنه النمط الذي تكون فيه المواد مرتبة ضمن الكتلة (من الممكن أن تكون المواد ضمن الطبقات الصخرية وغير الصخرية أو ضمن القواطع (Dykes) أو العروق (Veins) أو الصخور البركانية (Volcanic rocks) والسدود (Sills) حيث تحتوي هذه الكتل على الفجوات والفواصل (Joint) والصدوع (Faults) ... الخ . ومن غير المحتمل حساب ردة فعل الكتلة الأرضية في التشييد الهندسي إلا إذا تم التعرف على كيفية توزيع مختلف المواد ضمن حجم الإجهاد الناتجة من التشييد على الأرض .

يوضح الشكل (1) تأثير اختيار موقع البناء في الطبقات المتباينة السمك والنوع ، فمثلا البناء على طبقة طينية قابلة للانضغاط ذات السمك المنتظم وأسفلها طبقة صخرية ذات السمك المنتظم غير قابلة للانضغاط يكون التشوه في الطين ويكون هبوط البناء منتظما كما في الشكل (1– أ) ، بينما إذا كان سمك الطين غير منتظم أسفل البناء في المركز وأسفلها طبقة صخرية أيضا غير منتظم السمك عندها يكون الهبوط في هذه الحالة تفاضلية حيث يميل المبنى نحو الطبقة الطينية ذات السمك الأكبر ويؤدي إلى انحناء المبنى وربما حدوث شقوق ولكن لا يحدث أضرار جسيمة كما في الشكل (1– ب) ، في حين إذا كان سمك الطين غير منتظم في النهاية اليمنى واليسرى من البناء مع الصخور القريبة من سطح الأرض



شكل 1 يبين أهمية توزيع المواد تحت سطح الأرض

في الوسط فإن الهبوط التفاضلية للمبنى المشيد تؤدي إلى نتائج كارثية حيث يؤدي إلى حدوث كسر في الجهة الخلفية للمبنى كما في الشكل (1- ج) ، وهذه الأمثلة البسيطة توضح مدى أهمية فهم وتوزيع المواد تحت سطح الأرض .

الكتلة الأرضية The Earths' Mass

من المهم أن نقرر ماذا نعني بالكتلة ، حيث يمكن تعريف الكتلة الأرضية بأنها حجم من الأرض التي تتأثر من أو تؤثر في الأعمال الهندسية . ويمكن أن تتأثر كتلة معينة من الأرض بسبب الأعمال الهندسية نتيجة ما يلي :

1- الإجهاد الناتج من الثقل المفرط للمبنى مثل الجسور والسدود .
2- أعمال الأنفاق حيث أن الكتلة التي يتم إزالتها لفتح الأنفاق هي بالأساس كانت تدعم على استقرار الكتلة وإزالتها تعني إزالة ركائز دعم الكتلة ، وكذلك بالنسبة إلى أعمال استخراج المعادن حيث تتضرر أية عمليات بناء في هذه المناطق بسبب انهيار (انخساف) الطبقات التحتية نتيجة أعمال التعدين .
3- تتعرض السدود التي يتم إنشاؤها في الوديان على مخاطر الانزلاق من جوانب الوديان لسببين رئيسين إما وجود بعض الآثار التاريخية أو طبيعة الأرض ، وهذه بطبيعة الحال تؤثر على الكتلة الأرضية التي تمت عملية البناء عليها .
4- من الممكن أن تكون الكتلة الأرضية التي تجري عليها عمليات التشييد هي في الأساس متكونة من مواد طبيعية ناتجة من تشكل سدود صخرية من مكسرات الصخور أو عمليات التجوية التي تتعرض لها الصخور وتنزلق وتشكل الأرضية وعندها تتطلب إجراء التصاميم وفقا لطبيعة الأرض[2] .

العوامل الطبيعية The Natural Factors

تُعد عوامل البيئة من العوامل المؤثرة في التصميم والإنشاء ولها خصائص مهمة تشمل المناخ والإجهاد على الأرض والكوارث الطبيعية وكذلك عامل الفترة الزمنية ، ولكل من العوامل آنفة الذكر عناصر تتأثر وتؤثر على العوامل الهندسية الإنشائية وكما يلي :

المناخ The Climate

لكل منطقة من سطح الأرض خصائص مناخية معينة ، من حيث عوامل الأمطار والرياح ودرجة الحرارة وساعات شروق الشمس ويمكن تحديد الطقس

السنوي للمنطقة بالاعتماد على هذه العوامل . وفي معظم أرجاء العالم فإن عوامل المناخ غير ثابتة خلال السنة وبالتالي يتم حساب كميات الأمطار من خلال الأمطار السنوية والموسمية . وموضوع التباين المناخي موضوع طويل ومعقد وهو خارج اختصاصنا هنا ، ولكن من الممكن ذكر العوامل الرئيسية التي تؤثر على طبيعة المناخ في أية منطقة من سطح الأرض وكما يلي :

1- موقع المنطقة بالنسبة إلى دوائر العرض (Latitude) حيث تتأثر بكمية الحرارة المستلمة من الشمس .
2- موقع المنطقة من حيث قربها وبعدها من خط الاستواء (Equator) وكذلك على التضاريس .
3- ارتفاع المنطقة عن مستوى سطح البحر (Altitude) وهذا يؤثر على كمية إشعاع الشمس وعلى كمية الأمطار .
4- مدى قرب وبعد المنطقة عن البحر .

وربما يتساءل القارئ لماذا يكون المناخ ذا دلالة بالنسبة إلى الجيولوجيا الهندسية والهندسة المدنية ، لأن العديد من عوامل الجيولوجيا الهندسية تتأثر بالمناخ فمثلا فإن مستوى المياه الجوفية هي من العوامل المهمة في تحديد سلوك الكتلة الأرضية في منطقة ما ومدى استجابتها للعمليات الهندسية ، وبالإضافة إلى تأثيرها في معظم المناطق إلا أنها ذات أهمية قصوى وتشكل مصدرا للمشاكل التي لا حدود لها خاصة في المناطق التي تكون فيها مستوى المياه الجوفية قريبا من سطح الأرض وخاصة في العراق ودول الخليج وفي المناطق التي يكون فيها منسوب المنطقة قريبا من مستوى سطح البحر[3] .

أهمية دراسة مناخ المنطقة في الأعمال الهندسية

Importance of Climates' Study in Eng. works

1- إن دراسة التوزيع السنوي لكمية الأمطار يساهم في حل المشاكل التي تواجه تنفيذ المشاريع الإنشائية الهندسية وذلك من خلال التعرف على ليونة التربة (حدود السيولة Liquid Limit) فمثلا من الممكن أن تتحول التربة الطينية إلى موائع لزجة (Viscose Fluid) بدلا من أن تكون ذات صلابة لينة .

2- في المناطق ذات الأمطار الغزيرة ونسبة الرشح قليلة تؤدي إلى تعرية النباتات مما يؤدي إلى انجراف التربة وتكوين شلالات واسعة .

3- في حالة الجفاف الطويل والرياح الشديدة تؤدي إلى تحريك الغبار مما يؤدي إلى مشاكل صحية على العاملين وكذلك على الأجهزة الحساسة المستخدمة في الأعمال الهندسية والمكائن[4] .

4- في حالة درجات الحرارة المنخفضة تؤدي إلى تجمد خطوط المياه وزيادة لزوجة زيوت المحركات بشكل مفرط بحيث تفقد الزيوت خاصية التلين .

5- في حالة درجات الحرارة المرتفعة فإنها تؤدي إلى تخفيف كثافة زيوت المكائن عندها تفقد الزيوت خاصيتها في تزييت المحركات بشكل مناسب وبالتالي توقف جميع الأعمال الإنشائية التي تعتمد على المكائن .

ويتبين من الأمثلة البسيطة آنف الذكر مدى الحاجة إلى التعرف وبشكل جيد على مناخ المنطقة لإنجاح العمليات الهندسية ، ويمكن القول بأن هذه العوامل تعتبر من العوامل الاعتيادية التي تؤثر على العمليات الهندسية إذا ما قورنت بالعوامل المناخية الأخرى غير الاعتيادية مثل الأعاصير (Hurricanes) والإعصار الاستوائي (Typhoon) والزوابع (Whirlwind) ... الخ ، التي تكون لها نتائج كارثية وليس المهم

متى تحصل وربما خلال فترة زمنية طويلة لكن من الممكن ملاحظتها كل سنة في أماكن متفرقة من الأرض .

الإجهاد Stress

الضغط أو الإجهاد هو في علم الميكانيكا القوة على وحدة المساحة ووحداته هي وحدات تعريفه أي وحدات القوة مقسومة على وحدات المساحة مثل كيلوغرام/ سم^2 (kg/cm^2) ، أو نيوتن/م^2 (N/m^2) ، أو باوند/إنج^2 (lb/in^2) ، وما شابه ذلك من وحدات حسب النظام المستخدم للوحدات .

ينتج الضغط أو الإجهاد من تسليط قوة لجسم ما من سائل أو غاز أو صلب على مساحة معينة من الأبعاد لمادة ما صلبة كانت أم سائلة أم غازية . عموما عندما توجه قوة على جسم ما فإنها تولد ضغطا عليه ، وتعتمد كمية الضغط على عاملين المساحة التي تنتشر عليها وهو الأهم ، وكذلك مقدار القوة المسلطة . يستعمل الكثير من الجيولوجيين كلمة الإجهاد للتعبير عن القوة الخارجية المؤثرة على الصخور .

تتواجد جميع المواد تحت إجهاد معين وقوة واتجاه الإجهاد يؤثران وبقوة على ردة فعل الأرض تجاه الأعمال الهندسية وخاصة الأعمال تحت الأرضية ، وتحصل الإجهادات في الأرض نتيجة ما يلي :

الجاذبية Gravity

يسبب وزن أية مواد تحت سطح الأرض وفوق أية مستوى ضغطا على المواد الموجودة تحتها ، والانضغاط العمودي (Vertical compression) على أية عينة غير محصورة يصاحبها تمدد جانبي ، وفي حالة المجال المحصور ينشأ إجهادا أفقيا ، والنسبة بين الإجهاد الأفقي (σ_h) والإجهاد العمودي (σ_v) يساوي نسبة الإجهاد الجانبي (K) وكما في المعادلة التالية :

$$K = \frac{\sigma h}{\sigma v}$$

K = نسبة الإجهاد الجانبي ، σh = نسبة الإجهاد الأفقي، σv = الإجهاد العمودي .

الحركات الأرضية Tectonics

تظهر الإجهادات الناشئة من الحركات الأرضية (التكتونية) الحالية وربما الحركات التكتونية السابقة تظهر على الأكثر أفقيا وغالبا ما تشكل قوة متجهة .

التعرية Erosion

يمكن أن تنشأ الإجهادات التي لها صلة بمعالم سطح الأرض نتيجة إعادة توزيع الإجهادات الناشئة من تآكل الوديان وخاصة في المناطق الجبلية ذات الانحدارات الشديدة (الجرف Steep mountains) ، والإجهادات المفروضة على التربة أو الكتلة الصخرية سواء كانت طبيعية أم من الأعمال الهندسية تتأثر من تواجد المياه التي هي الأخرى تفرض إجهادا نتيجة ضغط الماء .

الكوارث الطبيعية Natural Hazard

يتعرض الكثير من الدول في العالم على الكوارث الطبيعية المتكررة الحدوث مع العلم بأن أكثر الكوارث المعروفة لدى المهندسين هي :

1- الفيضانات (Floods) ، 2- الأعاصير (Hurricanes) والزوابع (Whirlwind) ، 3- البراكين (Volcano) ، 4- الزلازل (Earthquake) ، 5- العواصف الرملية، 6- الموجات المدية (Tidal Waves) ، الانهيارات الثلجية (Snow Avalanches) .

ومن غير الممكن تنفيذ المشاريع الهندسية في المناطق التي تحدث فيها هذه الكوارث من دون التعرف على طبيعة وخطورة هذه الكوارث .

1- الفيضانات Floods

تُعد الفيضانات من الكوارث الطبيعية الأكثر هلاكا ، وهي ليست مثيرة ومفاجئة مثل الزلازل والمقذوفات البركانية (Volcanic Eruption) ، وغالبا ما تحدث الفيضانات في السهول الفيضية (Alluvial Plains) والتي تكون غنية بالأراضي الزراعية .

والآثار الناجمة عن الفيضانات هي كثيرة ولا تقتصر في وفاة الكثيرين وإنما يؤدي أيضا إلى تلف المحاصيل الزراعية وهلاك المواشي والتي يعتمد عليها الناس في اقتصادهم وقوتهم اليومي ، وبالإضافة إلى ذلك فإن تأثيرها ليس فقط في وقت حدوثها وربما تشكل كارثة لفترة طويلة .

يمكن تصنيف الفيضانات حسب النشأة إلى فئتين رئيستين وهما :

1- الفيضانات الناتجة من العواصف المطرية

تصاحب هذه العواصف حدوث الأعاصير (Hurricanes) والإعصار الاستوائي (Typhoon) .

2- الفيضانات الناتجة من الفيض البحري

وتحدث هذه الفيضانات بسبب ارتفاع مستوى سطح البحر نتيجة العواصف .

ويمكن أن يكون موقع مصدر الفيضانات بعيدا عن المناطق التي تحدث فيها الفيضانات ، وأكثرها تحدث في المناطق التي تكون فيها ترسبات العصر الرباعي (Quaternary) لأنها تشكل الترسبات الحديثة في السهول الفيضية وقيعان الأنهار . وتؤثر طبيعة الأرض بما فيها الترسبات والصخور على درجة الفيضانات وكما يلي :

1- سعة قيعان المجرى أو الأنهار محدود فإذا كانت كمية المياه الناتج من العواصف المطرية اكبر من سعة قاع المجرى والنهر فإن الكميات الزائدة تفيض على الأراضي المجاورة .

2- يؤثر نوع الصخور ونفاذية الترسبات على حدوث الفيضانات حيث تعمل الشقوق والكسور الموجودة في الصخور على ترشيح كميات كبيرة من المياه إلى باطن الأرض مثل الصخور الكلسية والحجر الرملي التي تتميز بالنفاذية العالية ، مما تساعد على عدم حدوث الفيضانات . وإذا كانت الترسبات من الحجر الطيني أو الصخور المتبلورة فإن نسبة الرشح المائي إلى باطن الأرض تكون قليلة جدا لان هذه الترسبات ذات نفاذية قليلة أو معدومة مما يؤدي إلى عدم استيعاب الكميات الزائدة من مياه الأمطار في مجاري الأنهار وبالتاي إلى حدوث الفيضانات .

ويتبين من الملاحظات والأمثلة بأن إقامة أي مشروع يتطلب من دون شك إجراء الدراسات الجيولوجية المستفيضة ليس فقط للبناء الهندسي وإنما أيضا للتقليل من الآثار الناجمة من الفيضانات .

المعالجة والحلول Solution & Pre-treatment

توجد عدة طرق للمعالجة وإيجاد الحلول المناسبة للتقليل من آثار الفيضانات وكما يلي :

1- في المناطق الساحلية فإن إنشاء الحواجز المائية (كاسر الأمواج) وكذلك القواطع (Dykes) تساعد على حماية المنطقة من قوة الأمواج والفيض البحري[5] .
2- اتخاذ الإجراءات التقنية للسيطرة على تدفق المياه في الأنهار والمجاري المائية .
3- أفضل وسيلة للتقليل من مخاطر الفيضانات هي إقامة السدود الضخمة على مجاري الأنهار التي لها أهمية كبيرة ليست فقط في السيطرة على تدفق المياه ومنع الفيضانات وإنما تساعد أيضا في توفير الطاقة الكهربائية ، وكذلك توفير المياه اللازمة للزراعة في أوقات الجفاف ، مثل السد العالي في مصر وسد الموصل في العراق وسد أتاتورك في تركيا .

2- العواصف Storms

تم إيضاح أنواع العواصف خلال فقرة الفيضانات وأكثرها معروفة لدى الكثيرين هي المصحوبة بالإمطار والرعد (Hurricanes) وكذلك الإعصار الاستوائي (Typhoon) والتي تحدث في مناخ المناطق المدارية وشبه المدارية ، فمثلا تحدث الأعاصير (Hurricanes) في منطقة الكاريبي بينما تحدث (Typhoon) في بحر الصين ، وليس المهم ذكر أسماء العواصف بقدر ما هو مهم كيفية إنشاء المباني والمنشآت وحمايتها من العواصف ، ويجب تصميم المباني بشكل تقاوم ضغط الرياح الناجمة من هذه العواصف فمثلا إذا زادت سرعة الرياح أكثر من (100كم /ساعة) وهذا يعني أحمال إضافية على الأساسات وعندها يلزم إنشاء ركائز (Piles) إضافية لإنجاز التماسك المطلوب في الشد (Tension) .

وفي المدن الساحلية يكون تأثير هذه العواصف أكثر بسبب ارتفاع مستوى سطح البحر وقد تصل إلى عدة أمتار مما يؤدي إلى تغطية الساحل ومن ثم زيادة نسبة الرطوبة في الترسبات على المنحدرات ويتسبب في حدوث انهيارات التربة .

3- المقذوفات البركانية Volcanic Eruption

تحتوي الكرة الأرضية على المئات من البراكين النشطة القابلة للثوران ويقدر عددها (500) بركان وتشير الإحصائيات الحديثة للأمم المتحدة بأن أكثر من (200000) حالة وفاة من البراكين رغم التحذيرات المسبقة .

وتُعد البراكين اقل أهمية بالمقارنة مع الكوارث الطبيعية الأخرى مثل الأعاصير والفيضانات بالإضافة إلى أن اغلب البراكين ليست مفاجئة وممكن تداركها والابتعاد عن مواقع التأثير . ولتجنب مخاطر هذا النوع من الكوارث يفضل اختيار أماكن أخرى للعيش . وتوجد أنواع عديدة من البراكين ولكن لا مجال لذكرها هنا لان الأعمال الهندسية تكاد تكون معدومة في المناطق التي تكون قريبة من البراكين وكما في الشكل (1 و 2) .

شكل 2 يبين بركان هائج واللافا السائلة تجري كالأنهار

شكل 3 يبين بداية فعالية البركان التي تبدأ بالدخان

4- الزلازل Earthquake

تعاملت الكثير من الكتب والبحوث مع الزلازل والهندسة المدنية وبالأخص من وجهة نظر عواقب الهزات الأرضية على البناء والتشييد ، ولم يتم اخذ أصل الزلازل والزلازل الارتدادية بنظر الاعتبار أو تم طرح معالجات محدودة وحتى أن البحوث الخاصة بعلم الزلازل عند تناولها سلوك الأرض تحت الهزات الأرضية لا تأخذ بنظر الاعتبار ردة فعل الأعماق القريبة من سطح الأرض (Shadow Depth) .

وللزلازل مخاطر بيئية هندسية أهمها حركة الأرض ، وظهور الصدوع والتمزق الأرضي ، الحريق ، الانهيارات الأرضية ، تسييل التربة ، تغير منسوب سطح الأرض والخسف والرفع الأرضي والتسونامي[6] .

ولإيجاد المعالجات الملائمة لمشكلة الزلازل يجب التعرف على :

1- تقدير قوة وتردد ومواقع حدوث الزلازل مستقبلا وذلك من خلال الدراسات الجيولوجية حول المواقع المقترحة لإنشاء المباني والمنشآت وكذلك إجراء المسح الشامل لوقائع الزلازل السابقة .

2- إجراء دراسة ميدانية حول الموقع المقترح للتقييم ومقارنته بالمواقع المشابهة التي لها استجابة إلى حدوث الزلازل ويمكن تحديد هذه المواقع من خلال احتمالية وجود تميع التربة (Liquefaction) .

وفي دراسة لإمكانية تسييل تربة مدينة المرج في ليبيا أثناء الهزة الأرضية سنة (1982) تبين أن قوام التربة وخصائصها الفيزيائية والميكانيكية تجعلها تربة خصبة لحدوث التسييل ، فضلا على وجود عوامل طبيعية وبشرية تؤدي بالقطع لتشبع تربة المرج بالماء والذي يُعد من أهم العوامل المؤدية لهذا التسييل[7] .

شكل 4 يبين تأثير الزلازل على الأرض والمباني

3- تقدير استجابة التراكيب المقترحة للدراسة إلى الارتجاجات المتوقعة ومقارنتها مع المواقع الأخرى الشبيهة والتي حدثت فيه الزلازل .

تبدد الكتل Mass Movement

هي بالأساس الانهيارات والإنزلاقات الأرضية (Land Slides) التي تحدث في معظم المواد والصخور والتربة ، ويمكن القول بأن معظم حركة الكتل الكبيرة تحدث نتيجة الزلازل التي تؤدي إلى التميع الصخري (Liquefaction) . ويمكن أن تحدث هذه الانهيارات الكبيرة من الحركات الزلزالية .

العمليات الديناميكية (الحركية) DynamicProcesses

هي العمليات الحركية التي تغير من المعالم الطبيعية والجيولوجية مثل التغير في شكل الشواطئ والألسنة الساحلية الرملية والطمي النهرية حيث أن هذه المظاهر تمثل التوازن الحركي في فترة معينة وربما تؤثر الأعمال الهندسية البسيطة على هذا التوازن

مثل إنشاء سد معين ، لان إنشاء السد تؤثر على شكل الساحل من خلال منعه وصول الترسبات في الأمد البعيد ويؤثر أيضا على الأراضي الزراعية من حيث الترسبات المطلوبة ، وهنا لابد من القول بأن هذه التغيرات لا يمكن ملاحظتها لقصر عمر الإنسان[8] .

تعريف المصطلحات الأساسية Essential Definition

يعاني كل من الجيولوجي والمهندس المدني من اختلاط المعاني المقصودة للمصطلحات المستخدمة ، علما بأن جمعيات ومعاهد ولجان علمية عديدة قامت بحل معضلة المصطلحات المستخدمة ، والمشكلة الجوهرية هي تجذر المصطلحات بحيث لا يمكن تغيرها .

معظم الجيولوجيين يشيرون إلى الرمال (Sands) والغرين (Silt) والأطيان (Clays) كأنها صخور ناعمة وبمرور الزمن تتحول إلى مواد أكثر صلابة وبالتالي تتحول إلى صخور صلبة (طريقة ووجهة نظر الجيولوجيون) ، ومهندسو الأنفاق يعبرون عن الطين الصفيحي (Shale) والحجر الرملي (Sandstone) والحجر الطيني (Mudstone) بأنها صخور ضعيفة يمكن حفرها بسهولة . وفي الهندسة المدنية يتم تقسيم المواد الجيولوجية إلى قسمين :

1- التربة (Soil)

وهي ليست فقط التربة التي يقصدها المهندس الزراعي وهي تحتوي على مواد حبيبية غير مترابطة (Uncemented) مثل الجلاميد (Boulder) ، والحصى الكبيرة (Cobble) والرمل (Sand) والغرين (Silt) ومواد متماسكة مثل الطين(Clay) ، والتربة الحبيبية تتميز بنعومتها وسهولة فصلها ، بينما التربة المتماسكة تتميز بكونها لدنة (plastic) ويمكن أن تغير شكلها وكذلك يمكن إدخالها في القوالب (Moulded) .

2- الصخور Rocks

تم تعريف الصخور من قبل المهندسين بأنها في الأساس أجسام صلبة يمكن تكسيرها ولا يمكن تشكيل قوالب منها وقوتها اكبر من التربة وهذه الصفات تنطبق على الأطيان الجافة .

يظهر من التعريف بأن الفرق واضح بين الصخور والتربة وليس هنالك أي إرباك في المصطلحات ولكن المشاكل تظهر في التطبيقات العملية فمثلا ، عند الحفر للأغراض الهندسية سواء كانت للأسس أو للأنفاق أو لمد الخطوط ... الخ ، فإن المشكلة هنا بوجود وحدة سعر واحدة للصخور وأخرى للتربة سواء كانت هذه الصخور صلبة (مثل الجرانيت Granite) أو صخور هشة (مثل الطفلة Shale أو الحجر الطباشيري Chalk) وكذلك بالنسبة إلى التربة سواء كانت ترسبات طينية أو ترسبات ردمية متداخلة مع الصخور أو ترسبات نهرية هشة جميعها تدخل ضمن طائلة التربة بالنسبة للمهندس الجيوتقني .

وتُعد الصخور التي تعرضت لعمليات التجوية بالنسبة للجيولوجي هي لا تزال صخورا ولكن للمهندس الجيوتقني هي تربة ، وكما أن المختصين بالتربة يعتبرون الصخور الطباشيرية والصخور الطفلة (shale) بأنها جزء من التربة .

مصادر الفصل الأول

1. **Geological Society (2003):** Engineering Geology, Especial Publication, N22 .London. pp. 12-14.
2. **Peng Dunfu (1997)**: The Engineering Condition, 30 Int'l. congress, Wang Sijing &P. Marions (Eds), Vol. 23. pp. 53-58.
3. **John Knill & David Price (2002):** Geology & Construction, 23 Int'l. congress, Vol.18. pp. 4-7.

4. ن. دنكـان ، ترجمـة كنانـة محمـد ثابـت ، محمـد عـلاء الـدين وزهـير رمـو فتـوحي (1980) : الجيولوجيـا الهندسـية وميكانيكيـة الصـخور ، منشـورات جامعـة الموصـل ، العراق ص45 .

5. **David Georg Price (2009):** Engineering Geology Principle & Practice, Edited and Complied by M . H . Freitas . London SW7 2AZ United kingdom, pp.12.
6. **Bolt, B. (1993):** Earthquakes, 3rd ed., New York, W, H . Freeman .

7. علي تهامي إسماعيل (2008) : إمكانية تسييل تربة المرج أثناء الهزة الأرضية ، الندوة العلمية حول الهزة الأرضية (الأسباب والنتائج) ، إدارة التخطيط بالمرج ، ليبيا .

8. **Van Tyne, A. M. (1997):** Subsurface Investigation of the Claredon-Linden structure, Western New York Geological Survey, Open–File Report pp.128-135.

الفصل الثاني
التصنيف الهندسي وخواص المعادن المكونة للصخور

تعريف القشرة الأرضية Earth Crust

هي ذلك الجزء من الأرض الذي نعيش عليها وتحمل القارات بما فيها البحار والمحيطات ويغلّف كتلتها الصلبة ويمتد لعمق عدة كيلومترات من سطحها ويرتفع في بعض المناطق مكونة الجبال الشاهقة ، وينخفض في مناطق أخرى ليكوّن البحار والمحيطات العميقة ويبلغ سمكها(70 كم) في اليابسة واقل من ذلك تحت البحار والمحيطات .

تتكون القشرة الأرضية من ثلاثة أنواع من الصخور وهي ، الصخور النارية وهي الأقدم والصخور الرسوبية التي تتكون بواسطة عوامل التجوية والتعرية لصخور سابقة التكوين ، كما تتكون من الصخور المتحولة من أصل ناري أو رسوبي أو متحول سابق عند تعرضها للضغط أو الحرارة أو كلاهما معا .

وتتميز القشرة الأرضية بالرقة والهشاشة ولذلك تحدث فيها التصدعات التي تقسمها إلى الصفائح في أعماق الأرض ونقط التقاء الصفائح تكون معرضة باستمرار إلى إحداث الهزات الأرضية مثل التقاء الصفيحة الأوراسية (أوربا و آسيا) مع الصفيحة الأفريقية التي تؤدي إلى حدوث الزلازل في الجزائر واليونان وتركيا وليبيا أيضا .

أنواع الصخور Types of the Rock

يمكن تقسيم الصخور وتوضيحها بإيجاز شديد حسب نشأتها إلى ثلاثة أقسام وكما يلي :

1- الصخور النارية Igneous Rock

وتُعد الصخرة الأم التي تكونت نتيجة تصلب وتبلور الصهير (الصخور المنصهرة Magma) إما :

أ- في أعماق سحيقة فتتكون الصخور النارية الجوفية (Plutonic Igneous Rocks) مثل الجرانيت (Granite) والجابرو (Gabbro) .

ب- أو عند أعماق ضحلة فتتكون الصخور تحت السطحية أو على سطح الأرض مباشرة من خلال البراكين فتتكون الصخور البركانية (Volcanic Igneous Rocks) مثل البازلت (Basalt) والرايولايت (Rhyolite) .

الخصائص العامة للصخور النارية

يمكن التعرف على الصخور النارية من خلال الملامح العامة التي تتميز بها هذه الصخور وكما يأتي :

أ- تتواجد الصخور النارية على هيئة كتل لها أشكال مختلفة مثل الباثوليث (Batholith) ، اللاكوليث (laccolith) ، والقواطع الحلقية والمتداخلات النارية .

ب- تتكون الصخور النارية في معظم الأحوال من معادن متبلورة .

ج- تتميز باحتوائها على خامات معدنية .

د- لا تحوي الصخور النارية على المتحجرات (المستحثات أو الحفريات Fossils) .

تصنيف الصخور النارية Classification of Igneous Rocks

يبين الجدول (1) تصنيف الصخور النارية ، علما بأن النسبة المئوية لمعادن (Mg + Fe) في الصخر تؤثر على لون الصخرة فمثلا إذا كانت نسبة (Mg + Fe)

في الصخر اقل من(30 %) فإن لون الصخر يكون فاتح اللون ، بينما إذا كانت النسبة اكبر من (90 %) فإن لون الصخر يكون غامقا[1] .

وتؤثر نسبة تواجد السليكا في الصخر على تصنيفه من حيث الحامضية والمتوسطة والقاعدية وفوق القاعدية ، فمثلا إذا كانت نسبة السليكا اكبر من (65%) فيصنف الصخر على أنه حامضي ، أما إذا كانت النسبة بين (42% – 52%) فيصنف الصخر على أنه قاعدي (ميفي Mafic) وإذا كانت النسبة أقل من (42%) فيصنف الصخر على أنه فوق القاعدي (Ultramafic) .

ولكل صنف من هذه الأصناف الأربعة مكافئين جوفي وبركاني ، حيث الصخور النارية الحامضية مثل الجرانيت (Granite) ومكافئه البركاني الرايوليت (Rhyolite) ، والصخور المتوسطة مثل الدايوريت (Diorite) ومكافئه البركاني التراكيت (Trachyte) ، والصخور القاعدية مثل الجابرو (Gabbro) ومكافئه البركاني البازلت (Basalt) ، والصخور فوق القاعدي مثل الدونايت (Dunite) والبريدوتايت (Peridotite) وليس لها مكافئ بركاني .

جدول 1 يبين تأثير تواجد المعادن في الصخر

تصنيف الصخور النارية	
المعادن الميفية **(Mg + Fe) %**	**المعادن الفلسية الميفية** **% السليكا**
< 30 % فاتح اللون	>65 % حامضية مثل الجرانيت
30–60 % متوسطة غامقة	52–65 % متوسطة الحامضية مثل دايوريت
60–90 % غامقة اللون	42–52 % قاعدية (ميفية) مثل البازلت
> 90 % قاتمة جدا	< 42 % فوق القاعدية مثل الدونايت

اشكال الصخور النارية Shapes of Igneous Rocks

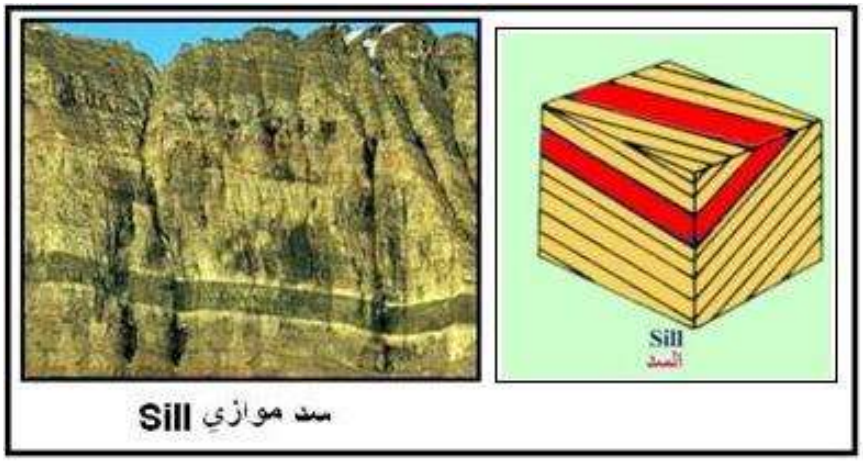
يمكن توضيح أشكال الصخور النارية ومواقعها من خلال الجدول (2) .

جدول 2 يبين أشكال الصخور النارية ومواقعها

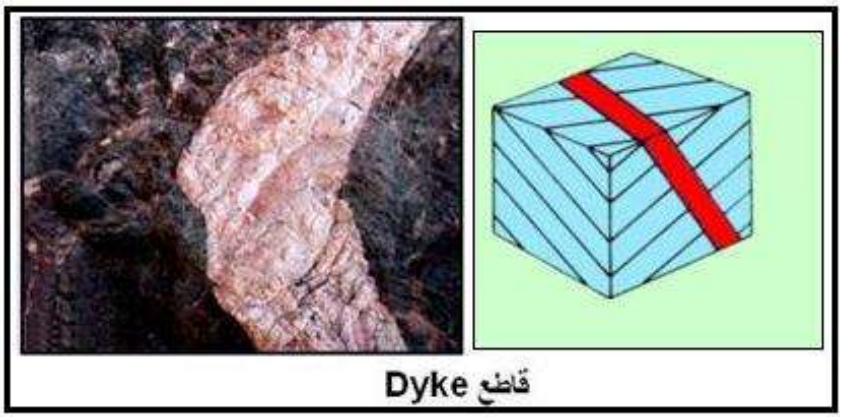
أشكال الصخور النارية	النشأة
السدود	يتكون من اقتحام السائل الصهيري موازيا لأسطح لطبقات
القواطع	ينشأ من اقتحام السائل الصهيري على هيئة ألواح رأسية قاطعة لأسطح لطبقات
الكتل العميقة	كتل ضخمة تشكل جذور سلاسل الجبال و تمتد لمئات الكيلومترات
الدعامات	ينشأ من أجزاء من الكتل العميقة
البراكين	هي الصخور التي تنتج من التبريد السريع للصهير على سطح الأرض وهى صخور ذات نسيج ناعم وهى تنقسم إلى صخور بركانية حمضية ، متوسطة وقاعدية .

وكما يوضح الشكل (5) تكوّن نوع من الصخور النارية مثل السدود .

بينما يوضح الشكل (6) تكوّن نوع آخر من الصخور النارية مثل القواطع (Dykes) .



شكل 5 يبين شكل السدود في الصخور النارية[2]



شكل 6 يبين شكل القاطع في الصخور النارية[3]

التركيب المعدني للصخور النارية

تنقسم المعادن المهمة المكونة للصخور النارية إلى ثلاثة أقسام ، المعادن الأساسية هي التي توجد في الصخور بكميات كبيرة ويتوقف عليها خواص الصخر واسمه وتشمل الفلسبارات (Feldspar) والبيروكسينات (Pyroxen) والامفيبولات (Aphibolite) والميكا (Mica) والكوارتز (Quartz) ، أما المعادن الإضافية والثانوية فتوجد بكميات قليلة وبالتالي لا تؤثر على خواص الصخر مثل الماجنيتايت (Magnetite) والزركون (Zircon) والروتايل (Rotile) وغيرها .

يعرف نسيج الصخر بأنه علاقة حبيبات الصخر أو بلوراته (Crystals) ببعضها وحجم هذه البلورات ، ويعتبر هو العامل الوحيد الذي يوضح ما إذا كان الصخر جوفيا أو تحت سطحي أو بركانيا لما له من علاقة بمعدل تبريد الصهير (Magma) المرتبط بدوره بالأعماق المتباينة التي يتصلب عندها الصهير ، فمثلا توصف الصخور بأنها جوفية إذا كانت بلوراتها خشنة جدا بسبب التبريد البطيء جدا مثل صخور البيجمتايت (Pegmatite)

وبلوراتها قد تصل إلى أمتار وقد تكون بلوراتها خشنة مثل الجرانيت ، وكما توصف الصخور بأنها تحت سطحية إذا كانت بلوراتها متوسطة الخشونة بسبب التبريد البطيء إلى حد ما مثل الدولرايت (Dolerite) وقد توصف بأنها بركانية (Volcanic) إذا كانت بلوراتها دقيقة بسبب التبريد السريع السائد على سطح الأرض .

جدول 3 يبين تأثير تواجد المعادن في الصخر

التركيب المعدني للصخور النارية	نسيج الصخور النارية
معادن التبريد البطيء	حبيبات خشنة جدا
معادن أساسية	حبيبات خشنة أو دقيقة
معادن أضافية	حبيبات متوسطة أو دقيقة
معادن ثانوية	حبيبات دقيقة أو متوسطة

الصخور الرسوبية Sedimentary Rocks

تنشأ الصخور الرسوبية كناتج من عمليات التجوية الميكانيكية والكيميائية والتعرية التي تتعرض لها كل أنواع الصخور سواء النارية أو المتحولة وحتى الصخور الرسوبية القديمة ثم تنقل بواسطة عوامل النقل إلى حوض الترسيب لكي تترسب على هيئة طبقات متعاقبة ، وتختلف فيما بينها من ناحية السمك والتركيب المعدني والتراكيب الأولية والثانوية ، وحجم الحبيبات واللون والمحتوى الحفري بالإضافة إلى صفات أخرى . والصخور الرسوبية هي أكثر أنواع الصخور انتشارا على سطح اليابسة حيث تشكل نحو (80%) من سطح اليابسة وتشكل (5%) من حجم الأرض . ويبلغ متوسط عمق الصخور الرسوبية في القارات حوالي (1800) متر بينما في البحار والمحيطات لا يتجاوز(300 متر) . ويعتقد بأن المواد التي تتكون منها الصخور الرسوبية جاءت من تجوية الصخور سابقة التكوين[4] .

مراحل تكوين الصخور الرسوبية Formation of Sedimentary rocks

تتكون الصخور الرسوبية على عدة مراحل هي :

1- التجوية والتعرية Weathering and Erosion

يمكن تعريف التجوية بأنها استجابة مواد الأرض للبيئة المتغيرة ، وتُعد التجوية من العمليات المهمة في تحطم وتفتت وتحلل الصخور عند أو قرب سطح الأرض وهي نوعان :

أ- التجوية الميكانيكية Mechanical Weathering

وهي تفتت الصخور (Disintegration of the Rock) والمواد إلى قطع اصغر فأصغر بحيث تحتفظ كل قطعة بالخصائص الأصلية للصخرة(الصخور النارية أو المتحولة أو الرسوبية) . وهنالك أربعة عوامل تساعد و تؤدي إلى تقطيع الصخور وهي التمدد الحراري(التغيرات اليومية في درجات الحرارة) ، والتمدد الناتج من تخفيف أو إزالة الحمل على الصخور ، و دسر الصقيع والنشاط الحيوي (الإنسان والحيوانات الحافرة وجذور النباتات) .

ب- التجوية الكيميائية Chemical Weathering

وتشمل التغير في التركيب الكيميائي للصخور ، وهي عمليات معقدة تُغيّر من التركيب المعدني للصخور بفعل العوامل الطبيعية النشطة كيميائيا ، و لهذه العوامل صلة مباشرة بالماء لان وجود الماء يساعد على تحريك الايونات لكي يتفاعل بعضها مع البعض ، حيث تكون التجوية الكيميائية أكثر نشاطا في المناطق الرطبة والدافئة ، وتؤدي زيادة درجات الحرارة في المحاليل إلى تنشيط التفاعلات الكيميائية خاصة في عمليات الأكسدة والتكربن .

2- النقل Transportation

تنتقـل المـواد الـتي تأثـرت بعمليـات التجويـة الميكانيكيـة بواسـطة عوامـل النقـل المختلفة ، مثل المياه الجارية على السطح أو المياه الجوفية ، والرياح ، والجليد الزاحف ، بينما تنتقل نواتج التجوية الكيماوية على شكل محاليل في الماء فقط ، سواء أكان على شكل جريان سطحي أو مياه جوفية .

3- الترسيب Deposition

تترسب المواد التي تحملها عوامل النقل المختلفة في أحواض ترسيب سواء على اليابسة مثل المناطق المنخفضة والوديان أو في البحار والمحيطات . وتتم عملية الترسيب بطريقة ميكانيكية بفعل الجاذبية الأرضية ويحدث ذلك عندما تتغلب قوة المقاومة على القوة الدافعة . أما المواد الذائبة في المحلول المائي فتترسب إما بطريقة كيميائية أو بطرق حيوية وبايوكيميائية (Biochemical) .

4- التصخر وعمليات التحور Lithification and Digenesis

تتعرض الرواسب بعد عملية الترسيب لعمليات ما بعد الترسيب مثل عمليات التحور (Diagenesis) المتمثلة في عمليات فيزيائية وكيمائية وحيوية تسفر عن تراص (Compaction) الرواسب وتلاحمها وتلاصقها (Cementation) وإعادة تبلورها (Recrystallization) .

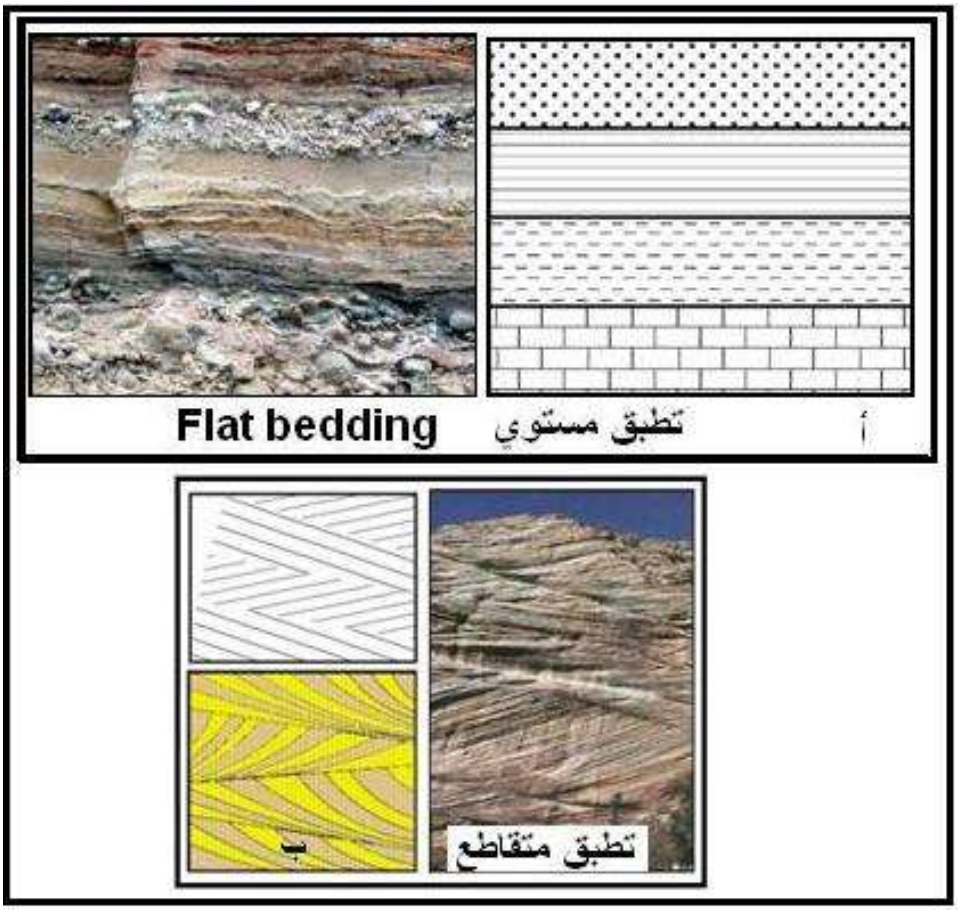
الخصائص العامة للصخور الرسوبية General Features of Sedimentary Rocks

يمكن التعرف على الصخور الرسوبية من خلال الخصائص العامة التالية :

1- **التطبق** : تتواجد الصخور الرسوبية على هيئة طبقات كما في الشكل (7) .

2- **التطبق المتدرج** : تكون الحبيبات الكبيرة في الأسفل ثم تعلوها الأصغر حجما أو العكس .

3- **التطبق المتقاطع** : تقاطع مستويات التطبق مع مستوى الترسيب أي مع اتجاه التيار .



شكل 7 يبين التطبق المستوي (أ) والمتقاطع (ب)

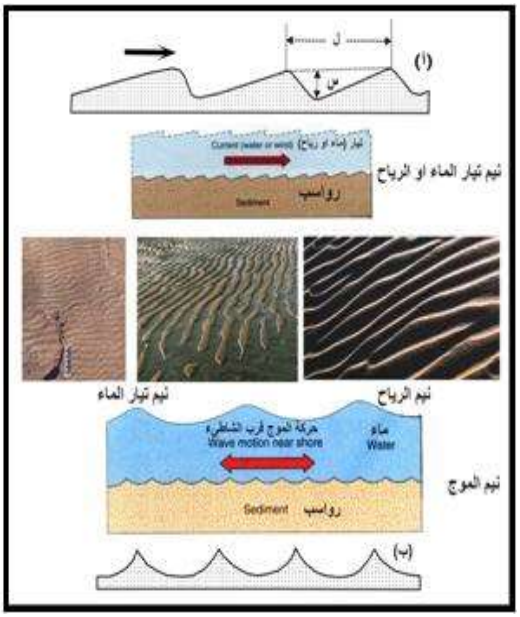
4- تحتوي على المتحجرات (المستحثات أو الحفريات Fossils) كما في الشكل (8) .

5- علامات النيم (Ripple Marks) : وهي تموجات على سطح الرسوبيات نتيجة تعرضها للرياح أو الماء ويمكن ملاحظتها في قيعان المياه (البحار والبحيرات والأنهار) كما في الشكل (9) .

6- لها تراكيب خاصة مثل شقوق الطين (Mud Cracks) الناتجة عن تعرض الرسوبيات الطينية لفترة جفاف كما في الشكل (10) .

7- التصفح (Foliate) : وجود الصخر على شكل رقائق متوازية بسماكة تقل عن 2مم .

شكل 8 أنواع مختلفة للمتحجرات



شكل 9 أنواع مختلفة لعلامات النيم[5]

شكل 10 يبين شقوق الطين

تصنيف الصخور الرسوبية Classification of Sedimentary Rocks

يمكن تصنيف الصخور الرسوبية بالاعتماد على مصادر النشأة وكما يأتي :

1- الصخور الرسوبية الفتاتية Calstic Sedimentary Rocks

تتكون هذه الصخور من التفتت الميكانيكي الناتج من عمليات التجوية والتعرية التي تعرضت لها الصخور الأخرى التي قد تكون نارية أو متحولة أو حتى رسوبية سابقة وبأحجام مختلفة ثم ينقل بفعل المياه أو الهواء أو الجليد إلى أحواض الترسيب في الوديان والبحار والبحيرات والمحيطات ويترسب على هيئة طبقات تعلو الواحدة الأخرى ، وعند استقرار الرواسب في بيئة الترسيب الجديدة تتعرض لعمليات ما بعد الترسيب من تراص وتلاحم بالمواد اللاحمة مثل كربونات الكالسيوم والسيلكا . ويمكن تصنيف الصخور الرسوبية الفتاتية اعتمادا على الحجم الحبيبي كما في الجدول (4) :

جدول 4 تصنيف الصخور الرسوبية الفتاتية حسب الحجم الحبيبي[6]

اسم الفتات الصخري	الحجم الحبيبي (ملم)	التسمية المتعارف عليها
كونجلوميرات خشنة Coarse Conglomerate	256 >	جلمود Boulder
كونجلوميرات متوسط Medium Conglomerate	64-256	حجرة Cobble
كونجلوميرات ناعم Fine Conglomerate	4-64	حصى Pebble
البريشيا Breccias	2-4	حبيبة Granule
حجر رملي Sandstone	1/16-2	رمل Sand
حجر غريني Siltstone	1/256-1/16	غرين Silt
حجر طيني أو طفل Clay stone or Shale	1 / 256 >	طين Clay

2- الصخور الرسوبية الكيميائية Chemically Sedimentary Rocks

تتكون نتيجة ترسيب بعض المركبات الذائبة في المحاليل المائية بعمليات التبخر ، أو نتيجة تغير الوسط الكيميائي مثل :

أ- الصخور الرسوبية الجيرية مثل الحجر الجيري و الدولوميت .

ب- الصخور الرسوبية الملحية (Evaporates) مثل الهالايت أو ملح الطعام (Halite) وتركيبها الكيميائي (NaCl) والجبس (كبريتات الكالسيوم المائية) وتركيبها الكيميائي ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$) والانهدرايت (Anhydrite) وكبريتات الكالسيوم وتركيبها الكيميائي ($CaSO_4$) .

ج- الصخور الرسوبية السليكية (Siliceous Sedimentary Rocks) تتكون من ترسيب مادة السليكا من المحاليل الغروية مثل حجر الصوان (Chert) .

3- الصخور الرسوبية الكيميائية – الميكانيكية التكوين

Chem - Mech. Formation of Sedimentary Rocks

مزيج من مواد كيميائية النشأة (كربونات الكالسيوم) مع مواد ميكانيكية النشأة(الغرين) مثل (المارل) .

4- الصخور الرسوبية العضوية التكوين Organic sedimentary Rocks

هي تراكم بقايا المواد العضوية التي خلفتها الحيوانات أو النباتات التي تعيش في البحار أو اليابسة ، وكذلك عمليات التحلل (تفحم النباتات و تحلل بقايا الهياكل الحيوانية) ، مثل :

أ- الحجر الجيري العضوي (Organic Limestone) أو المرجاني وهي هياكل الحيوانات البحرية المكونة من كربونات الكالسيوم .

ب- الفوسفات (Phosphate) وهي تراكم و تحلل الهياكل الحيوانية البحرية (فوسفات الكالسيوم) .

ج- الفحم (Coal) وهو صخر رسوبي ينتج عن التحلل الجزئي للنباتات بفعل الضغط والحرارة الناتجين من عمليات دفن هذه النباتات أو تفحم النباتات التي تتعرض للدفن السريع فيمنع من تفاعلها مع الأكسجين المحيط بها في الجو وبالتالي يتم الاحتفاظ بالكربون ومن أهم أنواعه البيت (Peat) واللجنيت و (Lignite) والانثراسايت (Anthracite) علما بأن الأخير يحتوي على أعلى نسبة من الكربون .

الصخور المتحولة Metamorphic Rocks

هي الصخور التي تكونت في الأصل من تحول الصخور النارية أو الرسوبية أو الصخور المتحولة القديمة ، و حدث لها تغير في الشكل أو التركيب المعدني أو كليهما وذلك تحت تأثير الضغط العالي أو الحرارة الشديدة أو كلاهما بالإضافة إلى تأثير المحاليل الكيميائية النشطة .

الخصائص العامة للصخور المتحولة General Features of Metamorphic Rocks

يمكن التعرف على الصخور المتحولة من خلال الخصائص العامة التالية :

1- تحمل بعض الخصائص و التراكيب الأصلية قبل التحول مثل التطبق والمتحجرات أي الحفريات (Fossils) .

2- التورق وهو النسيج الذي يميز صخور التحول الناتج من إعادة تشكيل وترتيب المعادن بحيث تكون أكثر توازيا ، وتوجد عدة أنواع من التورق تبعا لنوع المعادن ودرجة التحول .

3- تتواجد في الأماكن النشطة تكتونيا نسبيا .

4- لها أشكال وألوان متعددة .

عوامل التحول Factors of Metamorphism

تحدث عملية التحول للصخور بتأثير مجموعة من العوامل التي قد تعمل بصورة منفردة أو مشتركة معا لينتج عنها صخورا متحولة تختلف صفاتها عن الصخر الام الذي نتج التحول منه ، و توجد أربعة عوامل رئيسية مؤثرة على عمليات التحول وهي كما يلي :

1- الحرارة Temperature

وتعد من أهم عوامل التحول حيث تؤدي زيادة الطاقة الكامنة للمعادن ودرجة عشوائيتها(entropy) ، مما يؤدي إلى حدوث التفاعلات المختلفة بين المعادن نتيجة عدم استقرارها أثناء تعرضها للحرارة لتستقر في النهاية تحت هذه الظروف الجديدة ، ومصدر هذه الحرارة هي :

أ- الأجسام النارية الجوفية أثناء تداخلها في الصخور المحيطة .

ب- الجسم البركاني القريب أو البعيد .

ج- حرارة الجبة (Mantle) الأرضية الناتجة من التحلل الإشعاعي عبر ملايين السنيين .

د- الحرارة القادمة من لب الأرض (Earth Core) المنصهرة .

يتم التعبير عن الحرارة ودرجة الحرارة الأرضية بمصطلح التدرج الحراري الأرضي (Geothermal gradient) أو التدفق الحراري (Heat Flow) ، وتتناسب درجة الحرارة الأرضية طرديا مع العمق ، أي أن كلما ازداد العمق عن سطح الأرض ترتفع درجة الحرارة بحيث تزيد بحدود (2°-3°) لكل (كم عمق) ، ويتغير التدرج الحراري الأرضي من موقع إلى آخر في القشرة الأرضية وكذلك مع مختلف العصور الجيولوجية[7] .

2- الضغط Pressure

يمكن تقسيم تأثير الضغط على عملية التحول إلى قسمين :

أ- تأثير الضغط الناتج من ثقل الصخور المحيطة بالصخرة المتعرضة للتحول والسوائل المتواجدة في مساماتها ، حيث يؤدي هذا النوع من الضغط إلى التغير في حجم الصخور ، ويسمى هذا النوع من الضغط بالضغط الهايدروستاتيكي (Hydrostatic Pressure) أو الضغط المنتظم (Uniform Pressure) .

يتناسب الضغط الناتج من ثقل الصخور طرديا مع العمق (أي الضغط العمودي) شريطة أن تكون كثافة الصخور ثابتة ، ومع زيادة كثافة الصخور وفي الأجزاء العليا من الجبة والأجزاء السفلى من القشرة تتغير العلاقة فمثلا فان الضغط العمودي عند عمق (4كم) هو ضعف الضغط عند عمق (2كم) وذلك عند تساوي كثافة الصخور .

ب- تأثير الضغط الناتج عن حركة الكتل الصخرية مما يؤدي إلى تغير شكل الصخور وتشويهها (Distortion) ، ويسمى هذا النوع من الضغط بالضغط الموجه غير المنتظم (Directed & Non uniform Pressure) .

3- المحاليل الكيميائية الفعالة Activity of Chemical Fluids

يُعـد هـذا العامـل مـن عوامـل التحـول المهمـة ، إذ أن هـذه المحاليـل تقـوم بتنشـيط التفاعلات الكيميائية وتساهم في إعادة تبلور المعادن و إضافة مواد جديدة للصخرة أو إزاحة مواد منها .

وللمـاء دور فعـال في هـذه العمليـات إذ أن وجـود المـاء في الصـخور يزيـد مـن سـرعة التبلور وان بعض التفاعلات الكيميائية لا يمكنها أن تتكامل بدون وجود الماء حتى لو بقيت لفترات زمنية طويلة ، لأنه يعمل كعامل مساعد حتى ولو كانت كميته قليلة جدا .وبالإضافة لهذه المحاليل فإن المواد الطيارة والغازات المترافقة معها يكون لها دور أيضا في عملية التحول ومـن أهمهـا حـامض الهايـدروكلوريك (HCL) وحـامض الكربونيـك (HCO3) وحـامض الهايدروفلوريك (HF) وغيرها .

4- الزمن Time

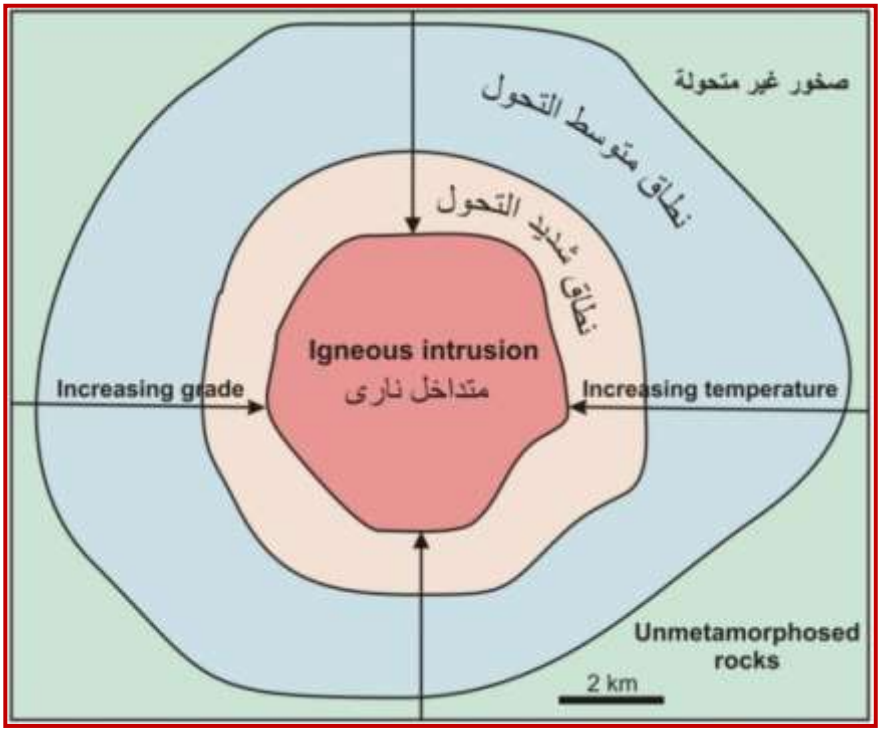
عند تعرض الصخور لعوامل ثابتة من العوامل آنفة الذكر ، يكون للزمن دور مهم في تحول الصـخور ، فمثلا قـد تتحـول الصـخرة الأصلية إلى صـخرة متحولة بفعـل عامـل الحـرارة لوحدها أو بفعل الضغط فقط أو بفعل الحرارة والمحاليل أو بالعوامل مجتمعة ، ومع مرور الزمن وتغير الظروف المحيطة بالصـخور فإنها تتحـول إلى معـادن جديدة أكثر استقرارا مـن المعـادن الأصلية .

أنواع التحول Types of Metamorphism

توجد أربعة أنواع رئيسية للتحول وكما يأتي[7] :

1- التحول الحراري Thermal Metamorphism

وتعد الحرارة العامل الرئيس في هذا النوع من التحول ، وهو يعرف أيضا بالتحول التماسي (Contact metamorphism) لأنه عادة يحدث للصخور التي تكون ملامسة أو محيطة بالمتداخلات النارية كما في الشكل (11) ، ومن أشهر الصخور المتحولة بهذه الطريقة الرخام (Marble) المتحول عن الصخور الجيرية ، والكوارتزيت (Quartzite) المتحولة عن الصخور الرملية وتتميز هذه الصخور بأن نسيجها حبيبي (غير صفائحي) بسبب تأثرها بالحرارة .



شكل 11 يبين أهمية توزيع المواد تحت سطح الأرض[8]

2- التحول التهشمي Cataclastic Metamorphism

يحدث التحول ألتهشمي تحت ضغط موجه كبير قريب من السطح حيث أن درجة الحرارة والضغط الهيدروستاتيكي يكونان منخفضين بالقرب من سطح الأرض وبالتالي يؤدى التحول التهشمي إلى سحق الحبيبات الصخرية وتهشيمها مثل تحول الجرانيت (Granite) إلى (Cataclastic gneissose granite) .

3- التحول الإقليمي Regional Metamorphism

ويـنجم هـذا النـوع مـن التحـول عـن كـل مـن الحـرارة العاليـة ، والضـغط الهيدروستاتيكي ، والضغط الموجه ، وذلك بدرجات متفاوتة . فالعامل الأساسي في التحول الإقليمي يكون الحرارة حينا ، والضغط الهيدروستاتيكي أو الموجه حينا آخر . ويعتبر التحول الإقليمي أكثر أنواع التحول شيوعا في كثير من العصور وفي كل أنواع الصخور ويتواجد على مساحات شاسعة .

وتقسم درجة التحول الإقليمي إلى :

أ- منخفض (Low-grade) مثل تحول كوارتز الحجر الرملي إلى شيست كوارتز ، وتحول الحجر الجيري (Limestone) إلى الرخام (Marble) .

ب- ومتوسـط (Medium-grade) مثـل تحـول كـوارتز الحجـر الرملـي الى كوارتزايـت (Quartzite) .

ج- وعـالي (High grade) وذلـك على أسـاس درجـة الحـرارة والضـغط مثـل تحـول كـوارتز الحجـر الرملـي إلى كوارتزايـت (Quartzite) ، وتحـول الحجـر الطيـني إلى نايـس (Gniss) .

ويساعد التحول الإقليمي على نمو معادن جديدة مسطحة الشكل بحيث تتعامد جوانبها المفلطحة ويتكون ما يعرف بالنسيج الاتجاهي (Directional Fabric) وبذلك يتميز

الصخر المتحول بتركيب شريطي (Banded) يعرف بالتورق (Foliation) أو التركيب الشيستي (Schistose) أو التركيب النيسوزي (Gneissose) مثل صخور الشست والنايس (Schist & Gneiss) .

4- التحول نتيجة الحمل Load Metamorphism

يحدث هذا النوع من التحول في أحواض الترسيب العميقة التي يصل فيها سمك الرواسب إلى عدة آلاف من الأمتار . ويؤدي الضغط الناتج عن سمك الرواسب مع وجود درجات الحرارة العالية المتزايدة مع الأعماق فضلا عن تأثير المحاليل الكيميائية إلى حدوث ما يسمى التحول ألطمري أو التحول بالدفن(Burial Metamorphism) .

التصنيف الهندسي للصخور Engineering Classification of Rocks

المقدمة

لقد تم استخدام خلال الفترة الزمنية الماضية عدة طرق في تصنيف الصخور فمثلا تم تصنيف الصخور من الناحية الجيولوجية اعتمادا على نشأتها إلى الصخور النارية والرسوبية والمتحولة ، كما تم تصنيفها على أساس العصور التي تكونت فيها ، وأخرى طبقا لتراكيبها وصفاتها الجيولوجية ، بينما لم يتم الأخذ بالاعتبار الخواص الطبيعية والميكانيكية للصخور ولهذا لجأ المهندسون إلى تصنيف الصخور هندسيا تبعا لاختلاف سلوكها تحت تأثير الإجهادات ووفق طبيعة المنشآت المقامة عليها .

أولا – تصنيف الصخور لغرض إنشاء الإنفاق

وفي هذا النوع من التصنيف يتم دراسة الصخور من النواحي التالية[9] :

أ- الصخور المهشمة

وهي الصخور التي وقعت تحت تأثير الإجهادات المختلفة مما أدى إلى تهشمها (أي إلى قطع صغيرة وبدون حدوث تغيرات كيميائية لها) كما في الشكل (12) .

ب- الصخور الانسيابية

وهي الصخور التي تحتوي على معادن لها خاصية الانسيابية مثل بعض المعادن الصلصالية .

ج- الصخور الانتفاخية

وهي الصخور التي تحتوي على معادن مثل المونتموريلونايت (Montmorillonite) لها خاصية الانتفاخ في بعض أنواع الصلصال مثل الطين والطفلة (shale) كما في الشكل (13) .

د- الصخور المتماسكة

وهي الصخور التي لم تتأثر بالحركات الأرضية وبالتالي لا تحتوي عل أية فواصل .

شكل 12 يبين الصخور المهشمة

شكل 13 يبين (أ) الطفلة (ب) الصخور المتماسكة

هـ- الصخور الطبقية (Well Bedded Rocks)

وهي الصخور التي تقل قوة تحملها للإجهادات المختلفة عند مستويات التطبق .

و- الصخور المتشققة (Fractured Rocks)

وهي الصخور التي تحتوي على فواصل التحمت مع بعضها بفعل المواد اللاحمة كما في الشكل (14) .

ز- الصخور الكتلية (Blocky Rocks)

وهي الصخور التي تعرضت للحركات الأرضية وحدثت بها بعض الفواصل ولكنها لم تلتحم مرة أخرى وبقيت في حالة الانفصال كما في الشكل (15) .

شكل 14 يبين الصخور المتشققة

شكل 15 يبين الصخور الكتلية[10]

ثانيا : تصنيف الصخور لغرض التعدين

ويشمل هذا التصنيف على النواحي التالية :

أ- الصخور القوية Competent Rocks

وهي الصخور التي لا تحتاج إلى دعائم صناعية لحمايتها في حالة الحفر الرأسي فيها . ويمكن تقسيمها إلى :

1- الصخور النارية المرنة Elastic Igneous Rocks

وتشمل الصخور النارية الكتلية المتجانسة ذات الخواص المتشابهة .

2- الصخور النارية اللدنة Plastic Igneous Rocks

وهي الصخور النارية التي تعاني من خاصية الزحف عند مستويات الإجهاد المنخفضة .

3- الصخور الطبقية Well Bedded Rocks

وهي الصخور الرسوبية المتجانسة ذات الخواص المتشابهة .

ب- الصخور الضعيفة Incompetent Rocks

وتطلق على الصخور التي لا يمكن إجراء عمليات الحفر (الإنفاق) فيها بدون إقامة الدعائم القوية لحمايتها من الانهيار .

ثالثا : تصنيف الصخور تبعا لميكانيكية التشوه

ويشمل هذا النوع من الصخور على :

أ- الصخور شبه المرنة Quasi - Elastic Rocks

وتضم جميع أنواع الصخور القوية التي تتميز بمعاملات المرونة العالية تتراوح بين (6-11 x 10^5 كجم/ سم^2) وكذلك تتميز بقوة تحملها لإجهادات الضغط المحورية والتي تتراوح بين (1000-2000 كجم/سم^2) ، علما بأن العلاقة بين الإجهاد والانفعال (التشوه) تكوَن في هذا النوع من الصخور خطا مستقيما .

ب- الصخور نصف المرنة Semi - Elastic Rocks

وتشمل جميع أنواع الصخور القوية التي تتميز بمعاملات المرونة المتوسطة تتراوح بين (4-7 × 10^5 كجم/ سم^2) ، وتتراوح قوة تحمل هذه الصخور لإجهادات الضغط المحورية بين (500-1000 كجم/ سم^2) .

ج- الصخور غير المرنة Non- Elastic Rocks

وتشمل جميع أنواع الصخور الضعيفة التي لا تزيد معامل مرونتها عن (4 × 10^5 كجم/ سم^2) وتقل قوة تحمل هذه الصخور لإجهادات الضغط المحورية بين (500 كجم/ سم^2) ، ويزداد مقدار التشوه كلما زاد زمن تعرض هذه الصخور للإجهادات . وتعتمد جميع التصنيفات السابقة على التجارب المعملية لتحديد قوة تحملها لإجهادات الضغط المحورية ومعامل المرونة .

خواص المعادن المكونة للصخور Properties of The Rock Forming Minerals

تعريف المواد الصخرية

وهي تتكون من مجاميع من دقائق المعادن مع وجود مسامات وكسور تدعى بالفجوات والتي قد تكون منعزلة ولكنها على الأكثر متصلة وممتلئة بالهواء أو بالماء ويمكن أن

تحتوي قطعة من المواد الصخرية في عينة (تبدو ظاهريا متماسكة) على شقوق دقيقة لا يمكن رؤيتها أحيانا بالعين المجردة .

تعريف المعدن

يعرف المعدن بأنه مادة غير عضوية تتكون في الطبيعة ، ولها تركيب كيماوي ثابت أو متغير في حدود معينة كما أن تركيبها الذري منتظم ويعتمد عليه الشكل البلوري للمعدن . وتعد معادن السليكات أكثر المواد المكونة للقشرة الأرضية انتشارا[11] .

الخواص الطبيعية للمعادن Physical Properties of Minerals

هي مجموعة الصفات التي يمكن دراستها باستخدام اختبارات وأدوات بسيطة تعتمد أساسا على الضوء العادي الساقط عليه والمظهر الذي يبديه السطح الخارجي للمعدن ، إلى جانب قوة تماسك مكوناته وذلك بهدف التعرف على المعدن وتحديد هويته ، وتعد الصفات الفيزيائية (الطبيعية) للمعادن من الأمور المهمة جدا للمهندس لأنها :

أ- تسمح بالتعرف على المعادن المختلفة .

ب- تؤثر الخواص الطبيعية للمعادن على الخواص الميكانيكية والهندسية للمواد الصخرية المكونة لها .

أهم الخواص الطبيعية للمعادن Important Physical Properties of Minerals

1- اللون Color

لا يمكن استعماله دائما لتشخيص المعادن وذلك لاحتمال تغير اللون في حالة احتواء المعدن على بعض الشوائب .

2- البريق Luster

وهو عبارة عن المظهر الذي يبديه سطح المعدن في الضوء المنعكس أو بعبارة أخرى هو مقدار ونوع الضوء المنعكس من سطح المعدن كما في الشكل (16) ، وينقسم البريق إلى قسمين :

أ- بريق فلزى Metallic Luster

وهو البريق الذي تعطيه الفلزات مثل : الجالينا Galena والذهب ومثل هذه المعادن تكون معتمة وثقيلة الوزن[12] .

ب- بريق لا فلزي Non Metallic Luster

وتُظهر المعادن اللافلزية وهى عادة ما تكون فاتحة اللون وتسمح بمرور الضوء خلالها وخصوصا الأحرف الرفيعة ويشمل البريق اللافلزي الأنواع التالية بريق زجاجي (Glassy) مثل الكوارتز (Quartz) والكالسيت (Calcite) ، و بريق ماسي (Adamantine) مثل الماس (Diamond) ، وبريق لؤلؤي (Pearly) مثل التالك (Talc) ، وبريق حريري (Silky) مثل الاسبستوس (Asbestos) ، وبريق أرضى (Earthy) مثل الكاؤولين (Kaolin) كما في الشكل (16) .

3- الشكل The Form

وهو شكل المعدن في الكتلة ويمكن وصف الشكل من خلال (المتبلور وغير المتبلور) .

4- الصلادة Hardness

وهى المقاومة التي يبديها المعدن للخدش وقد اقترح العالم الألماني فريدريك موهس (F. Mohs) مقياسا للصلادة مستخدما عشرة معادن تبدأ بأقل المعادن صلادة وهو التالك

وتنتهي بأكثر المعادن صلادة وهو الماس وهذا المقياس يتدرج من رقم (1) إلى (10) وهى درجات نسبية ، وكما في الجدول (5) .

شكل 16 يبين البريق الفلزي

جدول 5 مقياس موه للصلادة

الدرجة	اسم المعدن		الدرجة	اسم المعدن
1	تلك Talc		6	الأرثوكليز Orthoclase
2	جبس Gypsum		7	كوارتز Quartz
3	كالسيت Calcite		8	التو باز Topaz
4	فلوريت Fluorite		9	كورندم Corundum
5	الأباتيت Apatite		10	الماس Diamond

ولما كانت هذه المعادن ليست متاحة في كل وقت فقد استعيض عنها ببعض الأشياء البسيطة المتاحة حيث يمكن استخدام هذه الأشياء لتعيين الصلادة النسبية للمعدن وكما في الجدول (6) .

جدول 6 يبين استخدام بعض المواد المتاحة لتحديد الصلادة

المادة	درجة الصلادة
الظفر	2.5
وقطعة نقود نحاسية	3,5
قطعة زجاج	5,5
لوح مخدش	6.5
مبرد من الصلب	7-6
المطواة (السكين)	6.5

5- الانفصام (التشقق) Cleavage

وهو قابلية المعدن للانفصام أو التشقق عند أسطح و مستويات معينة عند طرقها طرقا خفيفا حيث ترتبط بالنظام البلوري وكذلك البناء الذرى الداخلي للمعدن حيث ترتبط الذرات برباط ضعيف في هذه المستويات . وتعد هذه الصفة مهمة وحيوية بالنسبة لتحديد الخواص الطبيعية والميكانيكية للمعادن كما تساعد في عملية التعرف عليها ، ويوصف الانفصام تبعا لسهولة حدوثه واكتماله بالصفات التالية :

انفصام كامل ← Perfect

انفصام واضح أو جيد ← Distinct or Good

انفصام غير كامل ← Imperfect

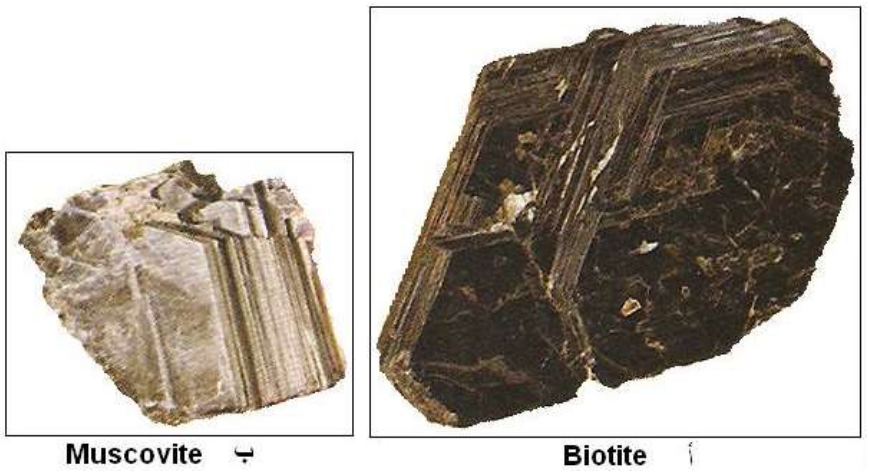
انفصام ضعيف ← Poor

وتعد معادن الميكا والكالسيت والجبس من أشهر المعادن التي لها انفصام كامل كما في الشكل (17) .

6- المخدش Streak

وهو لون المسحوق الناعم الناتج من حك المعدن على سطح خشن أو على لوح المخدش (Streak Plate) وليس من الضروري أن يكون لون المخدش مطابقا للون المعدن فمثلا معدن البايرايت (Pyrite) لونه كالنحاس الأصفر بينما مخدشه أسود . وللمخدش خاصية ثابتة بالنسبة للمعدن الواحد لذلك فإن تعيينه بالنسبة للمعادن ذات الألوان المتغيرة يعتبر هاما جدا للتعرف على تلك المعادن وعلى سبيل المثال فإن مخدش الكوارتز ثابت على الرغم من كثرة ألوان الكوارتز .

كما توجد خواص أخرى ، ربما تكون أقل أهمية هندسيا مثل المكسر ، المغناطيسية ، المذاق ، الملمس ، الرائحة ، الخواص الكهربائية وطريقة التواجد في الطبيعة .



شكل 17 يبين نوع من انواع الانفصام

قابلية المعادن للتغير Susceptibility of Minerals to Alteration

تعتمـد تقيـيم مـدى تغّـير بلـورات المعـادن وحبيبـات البلـورات الـتي تظهـر خـلال وبعـد العمليـات الهندسـية علـى تركيـب المعـادن وعلـى ظـروف توزيـع الجهـد وظـروف البيئـة مثـل التغّـير في درجـات الحـرارة والميـاه الجوفيـة وعلـى فيزيائيـة وكيميائيـة الجـزء الصـلب من المعدن .

يتباين انهيار المعادن بشكل عام تحت درجة ضغط معين ونوع الضغط فمثلا تنهار المعادن تحت ظروف الضغط أحادي المحور (Uniaxial Load) عند درجة ضغط معين بحيث لا يتم السماح للتركيب الداخلي للذرات إعادة ترتيب نفسها ، بينما تحت ظروف الضغط ثلاثي المحور (Try axial Load) مع استخدام الضغط حول العينة قد يتأخر انهيار العينة مع حصول تشويه وزحف قبل الانهيار (Creep Deformation) ناتج من إعادة ترتيب للتركيب الداخلي للذرات ، وقد أثبتت البحوث الدراسية بحصول ذلك من خلال انزلاق على احد المستويات البلورية لقطعة من البلورة فوق قطعة أخرى ، أو بنزوح الايونات المتواجدة بين الخلايا في الشبكة غير المنتظمة لذرات المعدن الخالي من البلورات .

ويمكـن الاسـتفادة مـن هـذه الخاصـية في المعـادن في الأعمـال الهندسـية عنـد أعمـاق كبيرة تحت سطح الأرض حيث تتوفر ظروف إعادة ترتيب التركيب الداخلي للذرات مما تتيح للمعادن وبالتالي للصخور إلى إبداء مقاومة عالية ضد الانهيار خاصة عند إنشاء الأسس والدعامات الساندة .

العوامل المؤثرة على طبيعة المعادن

تؤدي عوامل عديدة أدوارا مختلفة في التأثير على طبيعة وقوة تماسك المعادن ومن هذه العوامل :

1- الحرارة Heat

لكل معدن معامل تمدد معين في اتجاهات متباينة تحت تأثير درجات الحرارة المختلفة ولهذا تُعد التغيرات الحرارية من العوامل المهمة في تفكيك بلورات وحبيبات المعدن ، وإذا تكررت هذه الدورات الحرارية قد يؤدي إلى تجزئة المعدن من خلال الانهيار على مستويات الضعف الموجودة في المعدن مثل التشقق .

2- التأكسد Oxidation

تتأثر المعادن التي تحتوي على عنصر الحديدوز (Ferrous Element) بصورة رئيسية بعملية التأكسد ، علما أن الحديدوز يتأكسد إلى الحديديك ويكسبه اللون البني الأصفر كما في الشكل (18) ، فمثلا عندما يتأكسد البايرايت (Fes_2) ينتج حامض الكبريتيك (H_2SO_4) والذي قد يتفاعل مع معادن أخرى مما يؤدي إلى تفسخها . ويحضر أكثر المواصفات في العالم خاصة في أعمال الخرسانة بأن لا يزيد نسبة وجود الكبريتات لأنها تقلل من عمر الخرسانة .

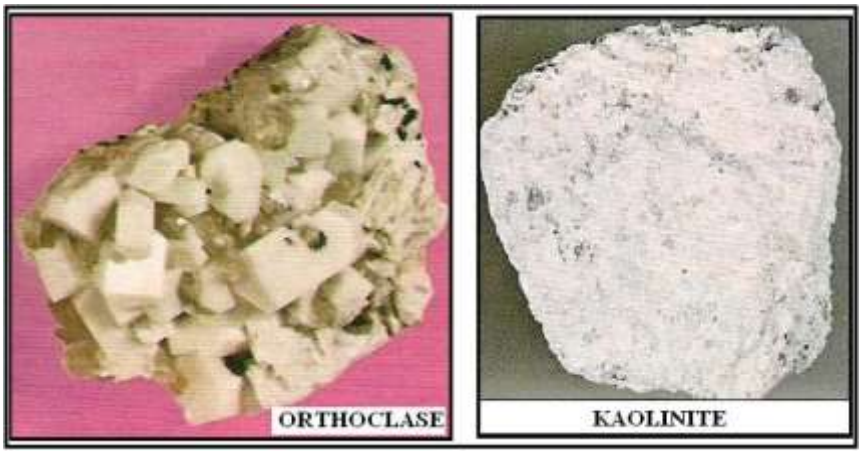
3- التحلل بالماء Hydrolysis

إن احتواء الماء على حامضية (حتى لو كانت ضعيفة) وتفاعله مع بعض المعادن يؤثر وبشكل فعال على تغير صفات هذه المعادن ، فمثلا قد يتغير فلسبار الاورثوكليس (Orthoclase Feldspar) كما في الشكل (19) إلى كاؤولينايت (Kaolinite) أي إلى معدن طيني مع اخذ بنظر الاعتبار بأن سرعة التفاعل تعتمد بدرجة كبيرة على الظروف المناخية كما في المعادلة التالية :

$$2KAL.Si_3O_8 + 2H_2O + CO_2 \rightarrow H_4AL_2Si_2O_9 + SiO_2K_2CO_3$$

فلسبار — كاؤولينايت

شكل 18 معدن البايرايت[13]



شكل 19 يبين معدن اورثوكليس وكاؤولينايت[14]

4- قابلية الذوبان Solubility

من المعروف أن معظم المعادن غير قابلة للذوبان ولكن معدن الكالسيت يعتبر من الاستثناءات حيث يتأثر بالمياه الحامضية ، حيث يتحول الماء بعد امتصاصه لثاني أوكسيد الكاربون (CO_2) إلى حامض مخفف قادر على إذابة كاربونات الكالسيوم ($CaCO_3$) مما يؤدي إلى تشكيل معالم يعرف بالكهوف والمغارات وحفر كارستية (KARST) خاصة في المناطق التي تتكون صخورها من الحجر الجيري (Limestone) ، والمعادلة التالية يبين صيغة التفاعل للماء مع كاربونات الكالسيوم .

$$CaCO_3 + H_2o + CO_2 \rightarrow Ca(HCO_3)_2$$

بيكاربونات الكالسيوم (قابلة للذوبان)

يلعب تركيب المعدن دورا أساسا بالسماح بدخول بعض المواد الدخيلة مثل الحوامض والهواء والغازات من خلال مستويات التشقق والكسور الدقيقة التي تحتويها تركيب المعدن مما يؤدي إلى تسهيل عملية التجوية وتشويه طبيعة المعدن .

مصادر الفصل الثاني

1- ن. دنكان ، ترجمة كنانة محمد ثابت ، محمد علاء الدين وزهير رمو فتوحي (1980) : الجيولوجيا الهندسية وميكانيكية الصخور ، منشورات جامعة الموصل ، العراق .

2- د . محمد احمد عبد الواحد ، شكر علي خليل ألصالحي (2010) : التراكيب الجيولوجية ، منشورات جامعة عمر المختار ، البيضاء ، ليبيا .

3- د . محمد احمد عبد الواحد ، شكر علي خليل ألصالحي (2010) (نفس المصدر السابق) .

4- محمد بن عبد الغني مشرف (1987) : أسس علم الرسوبيات ، عمادة شؤون المكتبات ، جامعة الملك سعود ، الرياض ، المملكة العربية السعودية .

5- د . محمد احمد عبد الواحد ، شكر علي خليل الصالحي (2008) : الخرائط الجيولوجية ، منشورات جامعة عمر المختار ، البيضاء ، ليبيا .

6- تاربوك/ لوتجينز ، ترجمة عمر سليمان حمودة ، البهلول علي اليعقوبي ، مصطفى جمعة سالم (1984) : الأرض مقدمة للجيولوجيا الطبيعية ، مطبوعات الجامعة العلمية المحدودة ، فاليتة ، مالطا .

7- شبكة المعلومات الالكترونية الدولية www.geotechdata.info/geotest .

8- د . محمد احمد عبد الواحد ، شكر علي خليل الصالحي (2010) : التراكيب الجيولوجية ، منشورات جامعة عمر المختار ، البيضاء ، ليبيا .

9- محمود توفيق سالم (1985) : أساسيات الجيولوجيا الهندسية ، دار الكتاب الجامعية ، بيروت لبنان ، ص70-75 .

10- شبكة المعلومات الالكترونية الدولية http://www. arab eng. org/vb .

11- Fred G. Bell (2004) Engineering Geology and construction, Tj International Pad stow . Cornwall . Britain.

12- عدنان باقر النقاش ، محمد يوسف ، عمر حسين شريف (1990) : أساسيات علم الجيولوجيا ، مركز الكتب الأردني . عمان / الأردن .

13- W. R. Hamilton, A . R. Woolley and A. C. Bishop(1980): The Hamlyn Guide to Minerals, Rocks and Fossils, London. New York. Sydney. Toronto. The Hamlyn Publishing Group Limited. London.

14- نفس المصدر السابق .

الفصل الثالث
الخواص الطبيعية والميكانيكية للصخور

المقدمة

يتطلب عند وصف الصخور في الحقل معايير عديدة وربما أن قسم من هذه المعايير لا تهم المهندس المدني ولكنها معايير مهمة بالنسبة للجيولوجي لان المهندس المدني يهتم بالتخمين الكمي للصفات الطبيعية والميكانيكية للمواد ، وان استطلاع الموقع وفحص النماذج يدويا يُعد من الأمور المهمة لبناء فكرة أساسية عن الموقع المراد معرفة سلوكه في العمليات الهندسية حيث لا يمكن تجاهل الاستنتاجات التي تم الحصول عليها من الموقع ، ويمكن القول بأنه ليس من الضروري عند الوصف تحديد نوع الصخرة مباشرة أو كتابة التفاصيل إلا بعد إجراء سلسلة من الاختبارات في المختبر ، لأن المهندس المدني ربما لا يكون على دراية كافية بكافة التفاصيل الجيولوجية ، ويفضل عند وصف المواد الصخرية في الحقل وصف الخواص التالية[1] :

1- اللون Colour

يفضل عند وصف الصخور الكلسية إطلاق تسمية اللون الغامق أو الفاتح بناء على محتوياتها من المعادن فمثلا يطلق اللون الغامق على الصخور الكلسية عندما تكون المواد طينية المظهر أو غير نقية في حين تستخدم اللون الفاتح للمواد الكلسية النقية ، كما أن الحديد والمغنسيوم تكسب الصخور غير الكلسية اللون الغامق مع العلم بأن للألوان الأخرى أهمية تساعد في مقارنة الصخور ، وهنا لابد من الإشارة إلى أن استخدام اللون في الوصف هو للدلالة فقط .

2- النسيج Texture

يمكن وصف المواد الصخرية في الحقل ضمن الصفات التالية :

أ- فتاتي Detritus

ب- مترابط Cemented

ج- متصلب Indurated

د- بلوري Crystalline

3- التركيب البنيوي للمواد Structure of Materials

يستخدم مصطلحات محددة في وصف التراكيب لأنها تعكس الأنسجة المختلفة ضمن المادة الصخرية واحتوائه على الشقوق والكسور والتصدعات ، كما يمكن استخدام الخواص التالية في الوصف[2] :

أ- صفائحي Foliated : تستخدم في المواد الصخرية التي تكون على هيئة صفائح سليمة .

ب- صفائحي متشقق FractureFoliated : يطلق المصطلح في الصخور الصفائحية المتشققة .

ج- متجانس Homogenity : ويستخدم هذا المصطلح حتى في المواد الصخرية التي تكون متجانسة ظاهريا .

د- خطي Lineated : يستخدم هذا المصطلح عندما تكون المواد الصخرية في اتجاهات خطية محددة .

4- التركيب الكيميائي Chemical structure

يُعد معدن الكالسايت (Calcite) من المعادن المهمة في دراسة الخواص الطبيعية والميكانيكية للصخور لقابليته بالذوبان في الحوامض المخففة وتأثره لظروف الإجهاد وكذلك تواجده كمادة رابطة بين حبيبات المعادن مثل الكوارتز(Quartz) .

5- الحجم الحبيبي Grain size

تستخدم مصطلحات خاصة ومتعارف عليها لوصف الحجم الحبيبي والتي لا تعكس اصل المادة وإنما تستخدم للدلالة على حبيبات المادة ومنها :

أ- الحبيبات الخشنة التي تكون واضحة الرؤية وحجم حبيباتها اكبر من (2 ملم) .

ب- الحبيبات المتوسطة الحجم التي تكون واضحة الرؤية وحجم حبيباتها (1.0—2 ملم) .

ج- الحبيبات الناعمة التي لا يمكن رؤيتها بالعين المجردة وحجم حبيباتها اصغر من 1.0 ملم .

أولا – الخواص الطبيعية للصخور

تؤدي الدراسات الحقلية دورا مهما في وصف المواد الصخرية في الموقع ، ولكي تكتمل الصورة بشكل دقيق لابد من إجراء سلسلة من الاختبارات الدالة للحصول على المعلومات النوعية المتكاملة التي تحدد خواص المواد الصخرية وسلوكها في العمليات الهندسية . وفي ما يلي أهم الاختبارات التي تستوجب إجراءها في المختبرات[3] .

1- الوزن النوعي الظاهري Apparent Specific gravity .

2- المسامية Porosity .

3- محتوى الرطوبة Moisture content

4- درجة التشبع Degree of Saturation .

5- عامل الانتفاخ المشبع .

تعريف وزن وحدة الحجوم (كثافة الصخور)

إذا كانت مسامية الصخور قليلة جدا فإن الفرق بين وزن وحدة الحجوم للصخور وهو جاف ووزنه وهو مشبع كليا يكون ضئيلا جدا لدرجة يمكن معها إهماله . أما إذا كان الصخر مغمورا في الماء فإن وزنه يقل ظاهريا عن وزن الجاف نتيجة لقوة دفع الماء له .

وقد لوحظ انه كلما زادت كثافة الصخور قلت مساميتها وانخفضت نسبة امتصاصها للماء . وعموما فإن :

وزن وحدة الحجوم (جاف) = الوزن النوعي الظاهري × كثافة الماء

1- الوزن النوعي الظاهري Apparent Specific gravity

يوجد نوعان من الوزن النوعي الظاهري وكما يلي :

أ- الوزن النوعي الظاهري المشبع Saturation Apparent Specific gravity

هو النسبة بين وزن حجم معين من الصخر(حجم المواد الصلبة + الفراغات) ووزن حجم مساو له من الماء[4] .

ويمكن حساب قيمة الوزن النوعي الظاهري لعينة من الصخر وكما يلي :

1- يتم تجفيف عينة صخرية لمدة (24) ساعة في فرن تبلغ درجة حرارته (105) وبعد التجفيف يتم تعين وزنه وليكن (**و1**) أو(W_1) .

2- تغمر العينة في الماء لمدة (48) ساعة لكي تتشبع بالماء ثم يتم وزن العينة المشبعة بالماء وليكن (**و2**) أو (W_2) .

3- توزن العينة المشبعة بالماء وهي مغمورة بكاملها في الماء وليكن الوزن في هذه الحالة (**و3**) أو (W_3) .

وباستخدام المعادلة التالية يمكن إيجاد الوزن النوعي الظاهري وكما يلي :

الوزن النوعي الظاهري المشبع $= \frac{\text{و}_1}{\text{و}_3 - \text{و}_2}$ (ويفضل أخذ متوسط ثلاث تجارب مختلفة) .

أو $G_b = \frac{W_1}{W_2 - W_3}$ حيث G_b = الوزن النوعي الظاهري .

ب- الوزن النوعي الظاهري الجاف Dry Apparent Specific gravity

يمكن الحصول على قيمة الوزن النوعي الظاهري الجاف للمواد الصخرية من خلال إتباع الخطوات التالية :

1- يتم تجفيف النموذج الصخري لمدة (24) ساعة في فرن تبلغ درجة حرارته (105)° وبعد التجفيف يتم تعين وزنه وليكن **و1** أو (W_1) .

2- إكساء النموذج بالشمع وذلك بغمره في الشمع المنصهر وثم تبريد الطبقة الشمعية .

3- معرفة كثافة الشمع وليكن (**ك**ش أو γ_x) .

4- وزن النموذج وهو مكسو بالشمع وليكن (**و2**) أو (W_2) .

5- حساب وزن الشمع المستخدم وليكن (**و**ش أو W_x) وذلك من المعادلة التالية :

وزن الشمع المستخدم = وزن النموذج وهو مكسو بالشمع – وزن النموذج الجاف

وزن الشمع المستخدم = و2 - و1

6- يوزن النموذج بالشمع وهو مغمورة بكامله في الماء وليكن الوزن في هذه الحالة (**و3**) أو (W_3) .

7- حجم الماء الذي يزيحه النموذج المشمع في الحوض المائي يساوي حجم النموذج المشمع وليكن (**ح**م أو $\mathbf{V_w}$) .

8- حساب حجم النموذج الصخري لوحده وليكن (**ح** أو **V**) حسب المعادلة التالية :

$$\text{ح} = \text{ح}_{\text{م}} - \frac{\text{وزن الشمع}}{\text{كثافة الشمع}} \quad \text{أو} \quad V = V_w + \frac{W_x}{\gamma_x}$$

ح = حجم نموذج الصخرة ، $\text{ح}_{\text{م}}$ = حجم النموذج المشمع (الصخرة + الشمع) .

9- حساب الوزن النوعي الظاهري الجاف لنموذج الصخرة

$$\text{الوزن النوعي الظاهري الجاف لنموذج الصخرة} = \frac{\text{الوزن الجاف للصخرة}}{\text{حجم الصخرة}}$$

أو

G_{b^*} = الوزن النوعي الظاهري الجاف لنموذج الصخرة $G_{b^*} = \frac{W_1}{V}$

ج- الوزن النوعي الحقيقيSpecific gravity

هو النسبة بين وزن حجم معين من المكونات الصلبة للصخر ووزن حجم مساوٍ له من الماء .

2- المسامية الظاهرية Apparent Porosity (n)

هي النسبة بين حجم الفراغات الموجودة في الصخر إلى الحجم الكلي للصخر .

بما أن المسامية هي في الأساس مرتبطة بوجود الفراغات (voids) والمسامات بين الحبيبات ولذلك ؛ فإن عوامل عديدة تؤثر على نسبة المسامية ومنها :

أ- إذا كانت الصخرة تحتوي على حبيبات ذات الحجم الواحد فإن نسبة الفراغات تزداد وبالتالي زيادة في المسامية .

ب- إذا كانت الصخرة تحتوي على حبيبات ذات أحجام متباينة فإن الاجزاء الدقيقة سوف تشغل الفراغات بين الحبيبات الكبيرة مما يؤدي الى تقليل المسامية .

ج- ومن العوامل الأخرى المؤثرة على نسبة المسامية وزيادتها وجود التشققات الدقيقة والفواصل .

د- تزداد المسامية في المواد الصخرية التي لها قابلية الذوبان حيث ينتج عن ذلك تشكيل فجوات نتيجة الذوبان وبالتالي زيادة المسامية .

هـ- درجة الانضغاط .

و- الترابط والصلابة .

نستنتج مما سبق بان مسامية المادة الصخرية هي مقياس لقابلية هذه المادة لخزن السوائل ، ويعبر عن المسامية بالمعادلة الرياضية التالية[5] :

نسبة المسامية الظاهرية $= \frac{\text{و}_2 - \text{و}_1}{\text{ح} \times \text{ث}} \times 100$

حيث :

و1 = وزن العينة الجافة .

و2 = وزن العينة المشبعة بالماء .

(و2 -و1) = وزن حجم الفراغات .

ح = حجم العينة الكلي .

ث = كثافة الماء

أو :

$$n = \frac{V_v}{V_T} \times 100 \qquad (1)$$

$$\because \qquad V_T = V_V + V_S \qquad (2)$$

$$\therefore \quad V_V = V_T - V_S \qquad (3)$$

وبتعويض قيمة V_V من المعادلة (3) في المعادلة (1) .

$$n = \frac{V_T - V_S}{V_T} \times 100$$

حيث : n = المسامية ، V_V = حجم الفراغات ،

V_T = الحجم الكلي للصخر ، V_S = حجم الجزء الصلب .

نسبة الفجوات : هي نسبة حجم الفراغات (void ratio) في المادة الصخرية الى حجم المادة الصلبة .

أي أن $e = \frac{V_V}{V_S}$ حيث (V_V = حجم الفراغات ، V_S= حجم الجزء الصلب) .

ويمكن إيجاد نسبة الفجوات (e) في المادة بدلالة المسامية (n) وفي ما يلي اشتقاق لقانون نسبة الفجوات :

$$\because \quad n = \frac{V_v}{V_T} \qquad (1)$$

$$\because \quad e = \frac{V_V}{V_S} \qquad (2)$$

∵ الحجم الكلي (V_T) للمادةتتكون من (حجم المادة الصلبة V_S + حجم الفراغات V_V)

$$\therefore \quad V_T = V_S + V_V \qquad (3)$$

$$\therefore \quad V_S = V_T - V_V \qquad (4)$$

وبتعويض قيمة (V_S) من المعادلة (4) في المعادلة (2) نحصل على :

$$e = \frac{V_V}{V_T - V_V} \qquad (5)$$

$$\because \quad n = \frac{V_v}{V_T}$$

$$\therefore \quad V_v = n\,V_T \qquad (6)$$

وبتعويض قيمة (V_V) من المعادلة (6) في المعادلة (5) نحصل على :

$$e = \frac{n\,V_T}{V_T - n\,V_T}$$

$\therefore e = \frac{n\,V_T}{V_T(1-n)}$ وبحذف (V_T) من البسط والمقام نحصل على نسبة الفجوات بدلالة المسامية .

$$\therefore \quad e = \frac{n}{(1-n)}$$

وتعتبر المسامية عالية إذا زادت عن (20%) ومتوسطة إذا تراوحت بين (5–20%) ، وصغيرة إذا كانت المسامية أقل من (5%) . والجدول (7) يبين مسامية نماذج من المواد المستخدمة والشائعة .

تُعد مسامية الصخور الرسوبية عالية قياسا بالصخور الأخرى ؛ وذلك لوجود فراغات وفجوات كثيرة خاصة في الصخور الفتاتية ، بينما تقل أو تنعدم الفجوات بين الصخور الرسوبية الكيميائية والصخور النارية لكونها تتكون من بلورات متماسكة ومتشابكة .

جدول 7 يمثل مسامية بعض التكاوين الجيولوجية[6]

المادة	المسامية %
الحصى	2025-
الرمل	255-0
الغرين	5035-
الطين	704-0
البازلت المتشقق	55-0
الحجر الجيري الكارستي	55-0
الحجر الرملي	53-0
الصخور المتبلورة المتشققة	100-
الصخور الصلبة	50-

وتعتمد مسامية الصخور الرسوبية الفتاتية على درجة تجانسها وتكورها وشكل وترتيب حبيباتها وكذلك وجود المادة اللاحمة بين حبيباتها ومدى انضغاطها .

نشأة المسامية Origin of porosity

يرجع أصل تكون المسامية إلى مصدرين رئيسين وكما يلي :

أ- أولية : نشأت أثناء تكون الصخر .

ب- ثانوية : نشأت في مراحل لاحقة بعد تكون الصخر الأصلي وتعرضه لعوامل خارجية وتشمل الشقوق والفواصل إضافة إلى فجوات الإذابة كما في حالة الصخور الجيرية .

أنواع المسامية Type of Porosity

يوجد نوعان رئيسيان من المسامية وكما يلي :

أ- المسامية الكلية : Total Porosity

وهي تشمل جميع الفراغات والفجوات الموجودة في الصخر الأصلي المتصلة وغير المتصلة .

ب- المسامية الفعالة Effective Porosity

وهي النسبة المئوية لحجم الفراغات المتصلة ببعضها البعض فقط .

3- محتوى الرطوبة Moisture Content

تعريف محتوى الرطوبة هي النسبة بين وزن الماء الموجود في فراغات المادة إلى وزن المادة الصلبة الجافة في النموذج ويعبر عنه رياضيا بالمعادلة التالية[7] :

$$W_C = \frac{W_W}{W_S} \times 100 \quad \text{أو} \quad 100 \times \frac{\text{ك}_2 - \text{ك}_1}{\text{ك}_2} = \text{م}$$

طريقة حساب محتوى الرطوبة :

1- وزن النموذج وهي مشبعة بالماء وليكن (و 1 أو W_1) .

2- تجفيف النموذج في الفرن بدرجة حرارة (105 م°) ولمدة (24) ساعة .

3- وزن النموذج بعد التجفيف وليكن (و 2 أو W_2) .

4- إيجاد الفرق بين الوزنين وهو وزن الماء في النموذج ($W_S = W_1 - W_2$) .

5- إيجاد محتوى الرطوبة وليكن (مأو W_C) .

$$W_C = \frac{W_W}{W_S} \times 100 \quad \text{أو} \quad 100 \times \frac{\text{ك}_2 - \text{ك}_1}{\text{ك}_2} = \text{م}$$

درجة الإشباع Degree of Saturation

هي النسبة بين حجم الماء (V_W) الى حجم الفراغات (V_v) في النموذج كما في المعادلة الرياضية التالية : $S = \frac{V_W}{V_v}$ حيث :

S = درجة الإشباع .

V_W = حجم الماء .

V_v = حجم الفراغات .

4- الامتصاص Absorption

ويعرف الامتصاص بأنها النسبة المئوية بين حجم الماء الممتص وحجم عينة الصخر . وعند غمر عينة من الصخر في الماء فإنها لا تمتص كمية كافية من الماء لملء الفجوات ويرجع السبب إلى أن بعض الفجوات التي تحتويه العينة يظل محبوسا فيها جزء من الهواء ، وكما أن بعض الصخور مثل الصلصال يزداد حجمها بامتصاص الماء فتشغل نتيجة لذلك حيزا اكبر مما كانت تشغله وهي جافة وبذلك قد تمنع دخول الماء إلى بعض الفجوات ، وعند اجراء الحسابات لابد من بيان درجة الحرارة ومدة بقاء عينة الصخرة وهي مغمورة في الماء . ويمكن التعبير عن نسبة الامتصاص بالمعادلة الرياضية التالية :

$$\text{نسبة الامتصاص} = \frac{\text{و}_{٢} - \text{و}_{١}}{\text{و}_{١}} \times 100$$

و1 = وزن العينة الجافة .

و2 = وزن العينة المشبعة بالماء .

(و2 - و1) = كمية المياه الممتصة .

ثانيا – الخواص الميكانيكية للصخور

قبل الدخول في تفاصيل الخواص الميكانيكية للصخور لابد من التعرف على بعض المصطلحات المستخدمة في الخواص الميكانيكية للصخور فيما يتعلق بالقوة (**Force**) والإجهاد (**Stress**) والانفعال (**Strain**) ووحداتها وكما يلي :

أولا – وحدات قياس القوة الموجهة والإجهاد والانفعال (الطول والكتلة والزمن)
Differential force, Stress and Strain (Length, mass and Time)

1- وحدات قياس الطول

إن وحدات الطول والكتلة والزمن في النظام المتري (Metric system) هي (المتر والكيلوجرام والثانية) ، وحدة المتر هي الوحدة القياسية لقياس الطول والتي عرفت بأنها عشر مليون المسافة بين خط الاستواء والقطب الشمالي على امتداد خط طول يمر عبر باريس[8] .

والتعريف الحديث للمتر في عام (1983) هو عبارة عن المسافة التي يقطعها الضوء في الفراغ خلال زمن قدره (1/299,792,458) ثانية ويعود هذا إلى سرعة الضوء في الفراغ والتي تساوي بدقة (299,792,458 متر/ثانية) .

2- وحدات قياس الكتلة

وحدة قياس الكتلة هي الكيلو جرام (Kilogram, kg) وتعرف بأنها كتلة سبيكة اسطوانية من معدن البلاتينيوم والراديوم محفوظة في فرنسا وهذه الوحدة تم اعتمادها في عام (1887) ولم يطرأ عليها أي تغيير .

3- وحدات قياس الزمن

وحدة قياس الزمن هي الثانية وتعريفها هي عدد الاهتزازات التي تصدرها ذرة (السيزيوم 133) خلال انتقال الإلكترون بين مستويين معينين . والتي تساوي (9,192,631,770) اهتزازة كاملة في الإشعاع الذي يصدره انتقال الإلكترون بين مستويين .

وبالإضافة إلى الوحدات المعروفة للطول والكتلة والزمن فقد نجد وحدات أخرى مثل الملي ثانية والنانو ثانية وهى مسميات إضافية متعارف عليها تعبر عن أجزاء من الوحدة الأصلية .

القوة (Force)

هي أي مؤثر أو النشاط الذي يؤثر أو يميل للتأثير على أي جسم مادي أو طافٍ ، وهي كمية متجهة (Vector Quantity) لها مقدار (Magnitude) واتجاه (Direction) ، ولهذا يمكن التعبير عن القوة بسهم يتناسب طوله مع شدتها ويبين اتجاهه الاتجاه الذي يعمل فيه هذه القوة ، وعندما تؤثر مجموعة قوى على جسم يمكن جمع هذه القوى لتكوين قوة محصلة لها .

يتكون الغلاف الخارجي للأرض من مواد صلبة وهى الصخور ، تتخللها سوائل (أهمها الماء) والغازات . وتختلف استجابة الصخور لأنواع القوى المختلفة باختلاف نوع الصخر . وتؤثر السوائل والغازات الموجودة في مسام الصخر على سلوكه تجاه القوى التي يتعرض لها . وقد تتباين قوة تحمل الصخر (ذات النوع الواحد) للضغط المسلط عليه في المختبر وذلك لتدخل عدة عوامل :

1- وجود مستويات تطبق أو عدم وجودها .

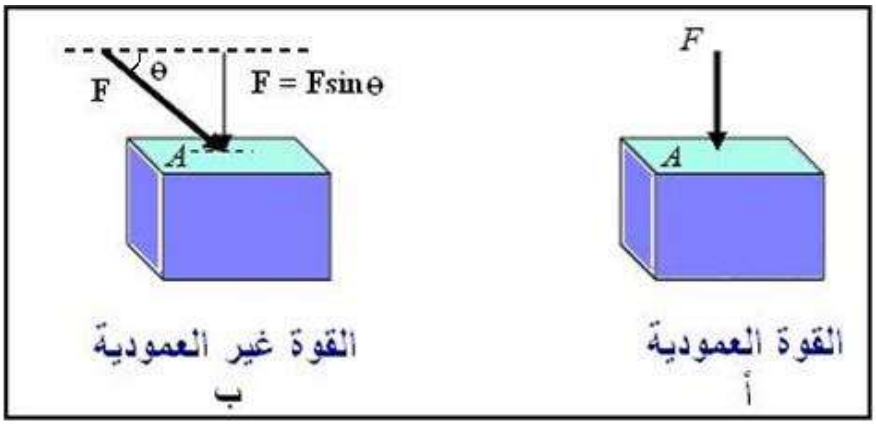
2- التباين في درجة التماسك .

الضغط Pressure

الضغط عند أية نقطة هو القوة المؤثرة على وحدة المساحة لسطح ما ، ويفترض أن يكون عمودية و إن لم تكن عمودية يتم أخذ المركبة العمودية منها وكما في الشكل (20) . ويعرف الضغط رياضيا :

$$\text{الضغط} = \frac{\text{القوة}}{\text{المساحة}} \text{ ، أو } P = F / A$$

حيث المساحة = A ، الضغط = P ، القوة المؤثرة = F .



شكل 20 يبين القوة العمودية ومركبة القوة على سطح الجسم

وبمعرفة الضغط المسلط على مساحة معينة يمكن حساب القوة العمودية من معادلة الضغط (التعبير الرياضي) وذلك من حاصل ضرب الطرفين في الوسطين نحصل على :

$$F = P \bullet A$$

وحدة الضغط في نظام الوحدات الدولي هي (نيوتن / م^2 ، أوN / m^2) أو باسكال ويرمز لها اختصارا بـ (Pa) وتساوي :

$$1\ Pa = 1\ N/m^2$$

ويعبر عن الضغط بوحدات أخرى كما موضح في الفقرة التالية :

الضغط الجوي

هو وزن عمود من الهواء مساحة مقطعه وحدة المساحات بارتفاع يعادل سمك الغلاف الجوي ، ويعرف سلوك الضغط الجوي بأنه مقدار التغير في قيمة الضغط الجوي في مكان ما خلال فترة زمنية محددة متعارف عليها في الأرصاد الجوية .

يبلغ الضغط الجوي (760 ملم زئبق) أو (1.013 بار) أو (101,325 باسكال ، أي وزن عمود من الزئبق مساحته (1 سم^2) وارتفاعه (760 ملم) . وهذا يعادل وزن عمود الهواء الواقع على (1 سم^2) وارتفاعه ارتفاع الغلاف الجوي للأرض فإذا كانت كثافة الزئبق (13,53 جرام / سم^3) ، أمكننا حساب الضغط الجوي كالآتي :

الضغط الجوي = (53.13) × 76 سنتيمتر **=** 1.028 كيلوجرام / سنتيمتر مربع

وإذا أردنا حساب وزن عمود الهواء من الغلاف الجوي الواقع على 1 متر مربع ، نحصل على :

وزن عمود الهواء على م^2 **=** 1.028 كجم × 10000 سم^2 **=** 10280 كجم/م^2 .

الضغط الجوي = 1 جو (1 atm) أو بالتقريب يساوي (1 بار) . يبلغ وزن متر مربع من عمود الهواء عند سطح البحر وارتفاعه سُمك الغلاف الجوي(10) أطنان تقريبا .

وقد تم استبدال هذه الوحدة بوحدة البار لأسباب عملية بحتة ، حيث (1bar= 100000 Pa) ، من الملاحظ أن الفرق بين الوحدتين لا يتعدى حدود (1%) ولا وجود لأي تغييرات ملحوظة بسبب هذا الفرق بين الوحدتين .

ومنذ فترة تم تسمية المللي بار باسم (هيكتو باسكال) حسب تعليمات المنظمة العالمية للأرصاد الجوي كما في الجدول (8) :

1 بار = 1000 مللي بار ،

1 مللي بار = 1 هيكتو باسكال = 100 باسكال

وبصفة عامة فإن الضغط الجوي يتناقص مع الارتفاع و يتغير على سطح الأرض من مكان لآخر . ويبلغ عند سطح البحر (1 atm أو 1.0132 بار) . وكلما زاد الارتفاع عن سطح البحر كلما قل الضغط الجوي والعكس صحيح .

جدول 8 يبين وحدات الضغط[9]

وحدات الضغط				
الوحدة unit	باسكال (Pa)	بار (bar)	ضغط جوي (atm)	ملم زئبق (Torr)
1 باسكال	1 نيوتن /م^2	10^{-5} بار	9.8692×10^{-6}	7.50006×10^{-3}
1 بار	100000	$\equiv 10^6$ داين/سم^2	0.98692	750.06
1 ضغط جوي	101325	1.01325	1≡ ضغط جوي	760
1ملم زئبق	133.322	1.3332×10^{-3}	1.3158×10^{-3}	Torr1 = ملم زئبق

1 باسكال ≡ 1 نيوتن/م^2 ≡ 1 جول/م^3 ≡ 1 كجم/(م^{1}٠ ثانية^2) ≡ 10^{-5} بار ≡ 10.197 × 10^{-6} ضغط جوى

القوة التفاضلية الموجهة Differential Force

تتعرض الصخور لضغوط متباينة من قوى تفاضلية وحسب موقع الصخور ومقدار الضغط ، وتُعد القوى التفاضلية أحد الأسباب الرئيسية في تغير شكل الأجسام كما في الشكل (2) ، ومن هذه القوى :

1- القوة الكابسة Compressive force

تعرف القوة الكابسة بأنها القوة التي تميل إلى كبس الجسم ، ويمكن تمثيل هذه القوة بتعريض الجسم إلى قوتين متقابلتين في الاتجاه ومتجهتين نحو الجسم . ومن أمثلة التراكيب الجيولوجية التي تتكون بواسطة القوة الكابسة الطيات (Folds) الصدوع الزاحفة (Thrust Faults) والصدع المعكوس (Reverse Fault) .

2- قوة الشد Tension force

هي القوة الموجهة التي تحاول كسر أواصر قوة التجاذب بين أجزاء الجسم ويمكن تمثيل الشد بسهمين متجهين بعيدا عن بعضهما البعض وعلى خط واحد . و من أمثلة التراكيب الجيولوجية المصاحبة لقوى الشد الصدوع العادية (Normal Faults) وبعض أنواع من طيات السحب (Drag Folds) وطيات انتشار الصدع (Fault-propagation folds) .

3- القوة المزدوجة Couple force

هي تعرض الجسم لقوتين متوازيتين و متساويتين في المقدار ومتعاكستين في الاتجاه وتعملان في نفس المستوى ولكنهما ليس على خط واحد . وتمثل القوة المزدوجة بسهمين في نفس المستوى وسهمين رأسيين . ومن التراكيب الجيولوجية التي تصاحب القوة المزدوجة صدوع الإزاحة المضربية (Strike-slip Fault) والطيات المصاحبة لها .

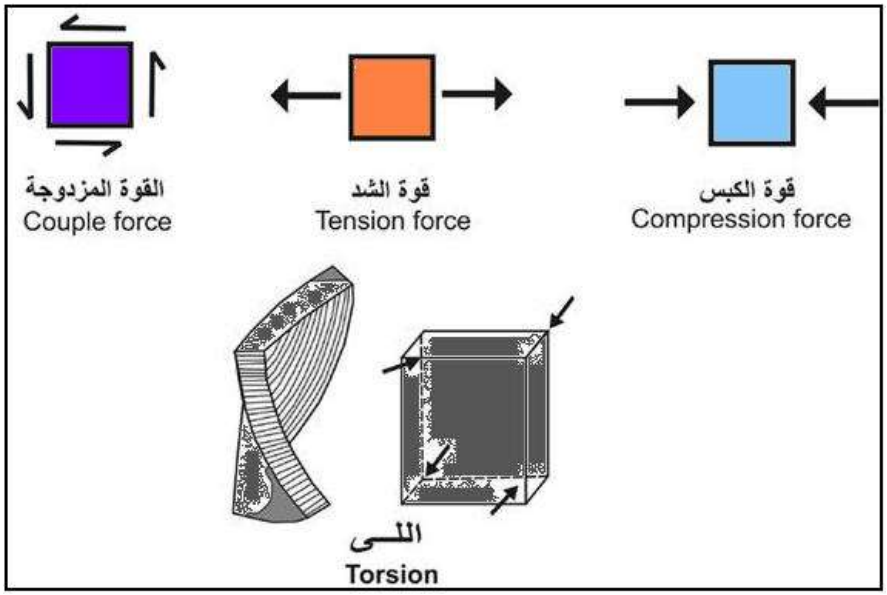
4- قوة اللي Torsion

وهي القوة التي تؤدي إلى دوران الجسم في اتجاهين متضادين . فمثلا يمكن لي لوح من الحديد إذا تعرض ركنين متقابلين من أركان اللوح إلى قوتين تعملان في نفس الاتجاه وتعرض الركنين الآخرين لقوتين تعملان في الاتجاه المضاد كما في الشكل (12) .

الإجهاد والانفعال Strain and Stress

الإجهاد Stress

الضغط أو الإجهاد هو في علم الميكانيكا القوة على وحدة المساحة ووحداته هي وحدات تعريفه أي وحدات القوة مقسومة على وحدات المساحة مثل كيلوجرام/سم^2 (kg/cm^2) ، أو نيوتن/م^2 (N/m^2) ، أو باوند/إنج^2 (lb/in^2) ، وما شابه ذلك من وحدات حسب النظام المستخدم للوحدات .



شكل 21 يوضح أنواع القوة التفاضلية

ينتج الضغط أو الإجهاد من تسليط قوة لجسم ما من سائل أو غاز أو صلب على مساحة معينة من الأبعاد لمادة ما صلبة كانت أم سائلة أم غازية . عموما عندما توجه قوة على جسم ما فإنها تولد ضغطا عليه ، وتعتمد كمية الضغط على عاملين المساحة التي تنتشر عليها وهو الأهم ، وكذلك مقدار القوة المسلطة . ويستعمل الكثير من الجيولوجيين كلمة الإجهاد للتعبير عن القوة الخارجية المؤثرة على الصخور[10] .

الانفعال Strain

هو استجابة الجسم النسبية للإجهاد المؤثر ، أو هو التشوه الذي ينتج عن الإجهاد وهنالك نوعان من الانفعال وكما يأتي :

1- الانفعال الطولي هو التغيير في الطول بالنسبة للطول الأصلي (ΔL) .

2- الانفعال ألحجمي هو التغير في حجم الجسم بالنسبة للحجم الأصلي (ΔV) .

وقد يؤدي الانفعال إلى التغير في الشكل ويطلق عليه التغير الشكلي (Distortion) ، وقد يكون عبارة عن تغير في الحجم ويسمى التغير الحجمي (Dilation or Dilatation) ، يمثل الانفعال عدديا بالاستطالة الحاصلة لوحدة الأطوال من المادة ، ويعبر عنه رياضيا :

الانفعال = الاستطالة / الطول الأصلي

قانون هوك (Hook's law)

يتناسب الانفعال تناسبا طرديا مع الإجهاد المؤثر من بداية التحميل إلى حد معين يسمى بحد المرونة أي أن النسبة بين الإجهاد و الانفعال = مقدارا ثابتا و يسمى ثابت التناسب بمعامل المرونة .

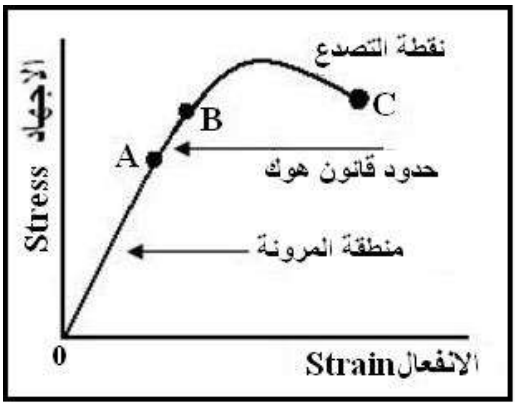
معامل يونج

إذا ثبت سلك من أحد طرفيه وسحب من الطرف الآخر بقوة (F) عمودية على مساحة مقطعه (A_0) وزاد طوله الأصلي(L_0) بمقدار (ΔL) فإن معامل يونج و يرمز له بالرمز (Y) يعرف بأنه النسبة بين الإجهاد و الانفعال . وإذا تعرض جسم متجانس لضغط حابس متزايد ، فإن حجمه يقل دون أن يتغير شكله ، والتغير الحجمي في هذه الحالة سالب . أما إذا تناقص الضغط الحابس ؛ فإن حجم الجسم يزداد ويكون التغير الحجمي موجبا . ولهذا فإنه إذا تعرض جسم من صخر الجرانيت (Granite) وآخر من الجابرو (Gabbro) لهما نفس الحجم لقدر معين من الضغط الحابس فإن الجرانيت يقل حجمه أكثر مما يقل حجم الجابرو .

يحدث التغير الشكلي عندما يتعرض الجسم لقوة تفاضلية . ويختلف شكل قضيب من الصلب بعد تعرضه للشد عنه قبل شده ، فيزداد طوله ويقل قطره . ويقاس الانفعال في هذه الحالة بالزيادة في طول كل وحدة طولية .

المرونة Elasticity

هي خاصية الأجسام التي لها القدرة على الرجوع إلى شكلها وأبعادها الأصلية بعد زوال القوى المؤثرة ، أي عدم بقاء الجسم على الشكل الذي تشكل به أثناء الحمل المؤثر ورجوعه إلى شكله الأصلي . ولنأخذ سلكين أحدهما من الصلب والآخر من الألمونيوم ملفوفين بصورة حلزونية (على شكل زنبرك Spring) فنلاحظ تمدد وتشوه السلكين عند جذبهما بلطف ، وعند إفلاتهما فإن السلك الفولاذي يعود إلى وضعه وشكله الأصليين ، بينما يبقى السلك المصنوع من الألمونيوم على هيئته المشوهة مما يعني أن الفولاذ (الصلب) يمتلك خاصية المرونة على عكس حال الألمونيوم ، علما بأن المرونة هي تحول قابل للانعكاس . ويوضح الشكل (22) ثلاث نطاقات متميزة لتأثير الإجهاد والانفعال على الجسم وكما يأتي :



شكل 22 يبين حدود المرونة

1- نطاق المرونة بين النقطتين (A–0) ويتميز بأن استطالة الجسم تتناسب خطيا مع القوة بحيث يعود لحالته عند زوال المؤثر وعندها نقول بأنه يتبع قانون هوك في المرونة .

2- نطاق المرونة بين النقطتين (B–A) ويتميز بأن استطالة الجسم تتناسب طرديا مع القوة المؤثرة على الجسم إلا انه لا يعود لطوله الأصلي بعد زوال المؤثرة ونقول بأنه تشوه .

3- عند زيادة الإجهاد بدرجة كبيرة في النطاق (C–B) بحيث يتجاوز نقطة التصدع (C) فإن الجسم يتصدع أو ينشطر لقسمين أو أكثر .

إذن تتعرض الصخور إلى ثلاثة أنواع من الإجهادات وهي :

1- إجهادات الضغط وتؤدي إلى انكماش حجم الصخور التي تتعرض لها .

2- إجهادات الشد وتؤدي إلى حدوث تشقق وتصدع في الصخور التي تتعرض لها .

3- إجهادات القص وهي التي ينتج عنها حركة الصخور حركة نسبية في اتجاه تأثير الإجهادات وقد ينتج عنها انهيار لهذه الصخور أو تشوها لدنا حسب كبر أو صغر زاوية الاحتكاك الداخلي على التوالي .

معامل مرونة الصخر Modulus of Elasticity of Rock

إذا تم تسليط ضغط محوري (ض) على عينة اسطوانية الشكل (اقل من الضغط المطلوب لتكسير العينة) فإن طول الاسطوانة يقل بمقدار (Δ ل) ، بينما يزيد قطرها بمقدار (Δ ق) ، وإذا زال تأثير الضغط الواقع على العينة وعادت إلى حالتها وشكلها الأصلي تماما قبل تأثير هذا الضغط فإنه يقال أنها تخضع لقانون (هوك Hock) كما في الشكل (23) .

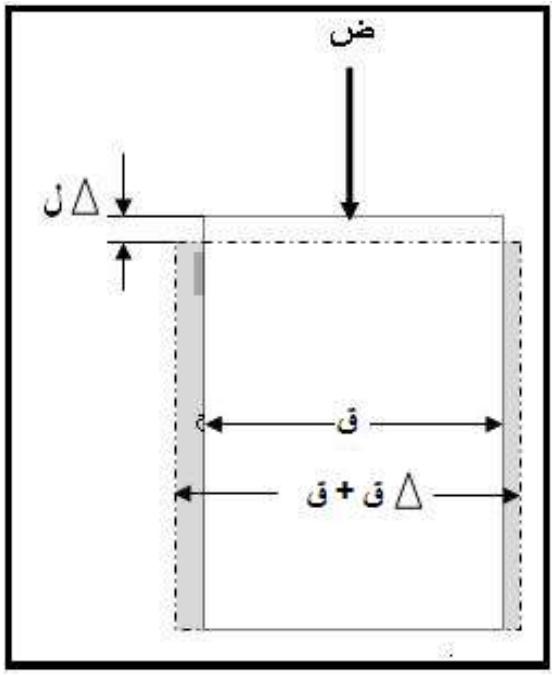
$$\text{معامل المرونة } E = \frac{\text{الاجهاد العمودي } \sigma}{\text{الانفعال العمودي } \varepsilon} = \frac{\text{ض كجم/سم}^2}{\frac{\Delta \text{ل}}{\text{ل}}}$$

وتزداد قيمة المرونة بازدياد قوة مقاومة الصخور لإجهاد الضغط .

نسبة بوسان Poisson's Ratio

هي النسبة بين مقدار الانفعال الجانبي ومقدار الانفعال الطولي :

نسبة بوسان = $\frac{\frac{\Delta ق}{ق}}{\frac{\Delta ل}{ل}}$ = النسبة بين التشوه المستعرض والتشوه الطولي ، وتتراوح قيم نسبة بوسان (μ = 0 --- 0.5) .



شكل 23 يبين معامل المرونة

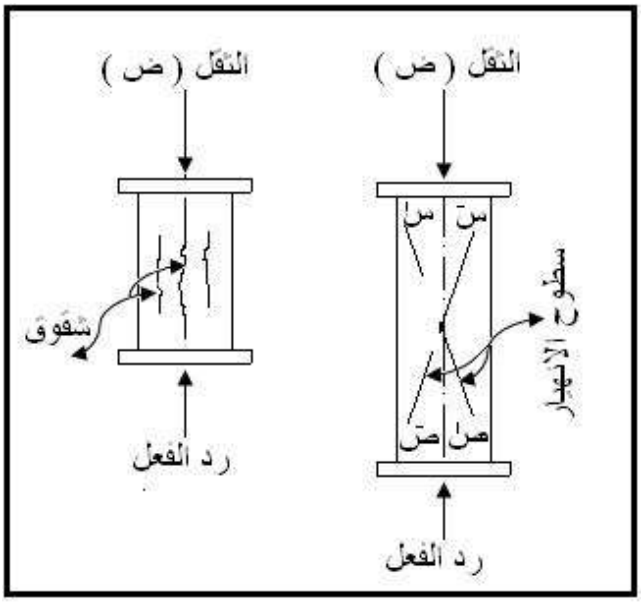
قوة تحمل الصخور Strength of rocks

لكل نوع من أنواع الصخور قوة تحمل لإجهادات المختلفة قبل أن تنهار أو تتصدع .

أولا – قوة تحمل الصخور لإجهادات الضغط Compressive Strength of rocks

تعرف قوة تحمل الصخور لإجهادات الضغط بأنها مقدار الإجهاد اللازم لتكسير عينة من الصخر تحت ضغط حمل محوري غير محاط ، وكما في الشكل (24) .

فإذا فرضنا أن مساحة مقطع العينة (20 سم^2) وتعرض إلى حمل يساوي (9000 كجم) فإن قوة تحمل هذا النوع من الصخور لإجهاد الضغط = $\frac{9000}{20}$ = 450 كجم/سم^2 .



شكل 24 يبين طريقة تعرض الصخور لإجهاد الضغط

تؤثر حبيبات الصخر على قوة تحمل الصخر و كلما كانت دقيقة كلما زادت قوة التحمل فمثلا الصخور الرسوبية تزداد قوة تحملها لإجهاد الضغط إذا كانت المادة اللاحمة من الكوارتز وتقل إذا كانت من الطمي[11] .

وتزداد كذلك قوة التحمل إذا كانت الضغط المسلط عموديا على مستوى التطابق للصخور الرسوبية ويقل في الاتجاهات الأخرى .

ثانيا – قوة تحمل الصخر لإجهاد الشد Tensile Strength

تقل قوة تحمل الصخور لإجهاد الشد كثيرا عن تحملها لإجهاد الضغط ، لذلك يجب عدم استخدام الصخور في المنشآت التي تتعرض لإجهاد الشد الكبيرة وفي حالة الاضطرار يجب تدعيم مثل هذه المنشآت بدعائم مناسبة لتفادي انهيار تحت تأثير هذه الإجهاد .

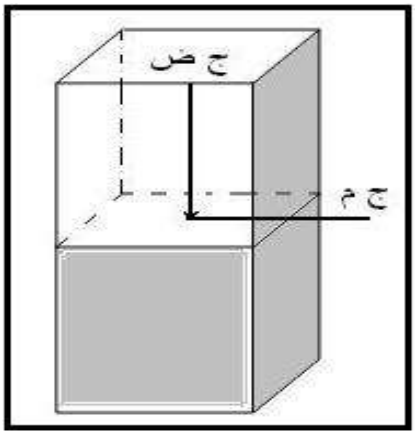
قوة تحمل الصخر لإجهاد الشد = ك × قوة تحمل الصخر لإجهاد الضغط

حيث ك = معامل تتراوح قيمتها بين 0.1 – 0.25

ثالثا – قوة تحمل الصخر لإجهاد القص Shear Strength

يتولد إجهاد مماس القاص الذي يتسبب في جعل الأجزاء العلوية من المادة على وشك الانزلاق تحت تأثير إجهاد الضغط فمثلا لو وضعنا مكعبين احدهما فوق الآخر وتحت تأثير إجهاد الضغط (ج ض أو s) يتولد إجهاد المماس أو القص (ج م أو sh) والذي يتسبب في جعل المكعب العلوي على وشك الانزلاق كما في الشكل (25) في حالة تحقيق المعادلة التالية :

ج م = ج ض × م¯(حيث م¯ هو معامل الاحتكاك)



شكل 25 يبين إجهاد القص

وفي الواقع فإن تأثير إجهاد القص ليس بهذه البساطة لان ما يحدث في الصخور يختلف عن ما يحدث بين المكعبين ، وذلك لوجود قوة الربط بين حبيبات الصخر الداخلية (قوة الاحتكاك) وهذه القوة تمنع كسر الروابط بين الحبيبات ؛ ولذلك فإن الاحتكاك يطلق عليه في حالة الصخور (معامل الاحتكاك الداخلي أو معامل المقاومة للقص) وتعتمد على ظل الزاوية ويساوي هذا المعامل بـ (ظا Ø) حيث Ø هي زاوية المقاومة للقص وبذلك تكون المعادلة :

م = ت + ج ض ظا Ø (ت =قوة التماسك في الصخر)

أو $S = C + \sigma \tan \emptyset$

حيث : S = إجهاد القص

C = قوة التماسك في الصخر

σ = إجهاد الضغط

$\tan \emptyset$ = ظل زاوية القص

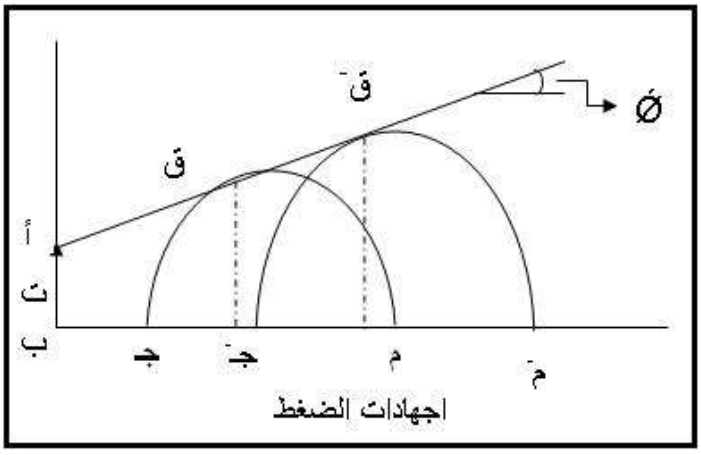
تحديد زاوية مقاومة القص وقوة التماسك

تتغير قيم قوة التماسك (ت) وكذلك زاوية مقاومة القص (Ø) تبعا لتغير إجهاد القص ، ولقد استطاع موهر (Mohr) من إيجاد العلاقة بين الإجهادات العمودية والقاصة وزاوية المقاومة للقص وقوة التماسك بواسطة دوائر تعرف باسمه (Mohr's circles) كما في الشكل (26) .

خطوات رسم دوائر موهر Mohr's circle

1- يتم رسم محورين الرأسي والأفقي بحيث يمثل الرأسي إجهادات القص والأفقي إجهادات الضغط .

أ- ارسم (ب جـ ، ب جـ¯) على المحور الأفقي يمثلان وحدات الضغط الجانبي (كجم /سم^2) لاختبارين متتاليين على العينة[12] .



شكل 26 يبين زاوية مقاومة القص

ب- ارسم (ب م ، ب م¯) على المحور الأفقي يمثلان الأحمال المحورية الحرجة (حمل الكسر) الواقعة على العينة(كجم /سم^2) .

ج- ارسم المماس للدائرتين التي تساوي أقطارها المسافتين (جـ م ، جـ¯ م¯) على التوالي ليقطع محور إجهادات القص في نقطة (جـ) . ومقدار ميل هذا المماس يمثل زاوية المقاومة للقص (Ø) ، علما بان المسافة (ب أ) تمثل قوة التماسك (ت) ، و طول الأعمدة الساقطة من نقط التماس (ق ، ق¯) تمثل قيم الإجهادات القاصة .

الإجهادات المسموح بها

يجب تصميم المنشآت الهندسية بحيث لا تتعرض الصخور التي تقام عليها هذه المنشآت لإجهادات تصل إلى قوة تحملها ؛ بل يجب أن تكون اقل من ذلك بكثير ، وتسمى النسبة بين قوة تحمل الصخر وإجهادات التصميم بمعامل الأمان . ففي حالة الصخور المستخدمة في البناء يتراوح معامل الأمان بين (6 – 10) أما في حالة استخدام الصخور كمادة للتأسيس يزداد معامل الأمان بين (20-30) .

مصادر الفصل الثالث

1. Supine Pens, Jincui Zhang (2007): Engineering Geology For Underground Rocks, Springer Berlin Heidelberg, New York. p3.

2. د. محمد احمد عبد الواحد ، شكر علي خليل الصالحي (2010) : التراكيب الجيولوجية منشورات جامعة عمر المختار ، البيضاء ، ليبيا .

3. Fred G. Bell (2004) Engineering Geology and construction, Tj international Pad stow. Cornwall. Britain.

4. محمود توفيق سالم (1985) : أساسيات الجيولوجيا الهندسية ، دار الكتاب الجامعية ، بيروت لبنان ، ص43 .

5. Tony Waltham (2009) : Foundation of Engineering Geology , published by Taylor & Francis, 270 Madison Avenue, New York.

6. Burnt Mill, Harlow, Essex (1982): Longman illustrated Dictionary of Geology, the principles of Geology Explained and illustrated. Babylon Printing and Publishing House, Beirut, Lebanon.

7. Fred G. Bell (2004) Engineering Geology and construction, Tj International Pad stow. Cornwall. Britain.

8. د . محمد احمد عبد الواحد ، شكر علي خليل ألصالحي (2010) : التراكيب الجيولوجية منشورات جامعة عمر المختار ، البيضاء ، ليبيا .

9. نفس المصدر السابق .

10. D. G. A. Whitten, J. R. V. Brooks (1977): T he Penguin Dictionary of Geology, hazel Watson & Viney Ltd, Aylesbury, Great Britain.

11. ن. دنكان ، ترجمة كنانة محمد ثابت ، محمد علاء الدين وزهير رمو فتوحي (1980) : الجيولوجيا الهندسية وميكانيكية الصخور ، منشورات جامعة الموصل ، العراق .

12. محمود توفيق سالم (1985) : أساسيات الجيولوجيا الهندسية ، دار الكتاب الجامعية ، بيروت لبنان ، ص70–75 .

الفصل الرابع
الخواص الطبيعية والميكانيكية للتربة

الخواص الطبيعية للتربة Physical Properties of Soil

إن العمليات التي تسبب تكسر أو تفتيت الصخور كانت وما زالت تؤثر على الصخور في الوقت الحاضر ، و تعرف نواتج التفتيت التي قد تبقى في مكانها بالتربة المتبقية (Residual Soil) وقد تنتقل إلى مكان آخر وتترسب فيه مكونة التربة المنقولة .

تكوين التربة Formation Soil

تتكون التربة في العادة من مزيج معقد من مواد معدنية غير عضوية وبقايا عضوية متحللة ، وتنشأ من :

1- تفتت وتآكل الصخور بفعل عوامل التجوية المختلفة[1] .

2- يساعد على تكوين التربة المادة الصخرية الأصلية والمناخ وانحدار سطح الأرض والكائنات الحية والزمن .

الأجزاء الرئيسية للتربة

تتميز التربة بثلاث نطاقات (horizons) رئيسية هي :

أ- سطح التربة Topsoil

ويكون غنيا بالمواد والكائنات العضوية .

ب- تحت التربة Subsoil

ويكون مؤكسدا وقد يحتوي على رواسب معدنية .

ج- الصخر الأصلي Bed Rock

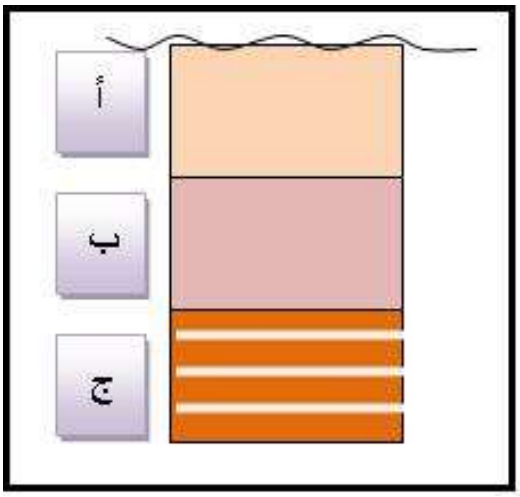
يتكون من مواد صخرية متماسكة أو مفككة تكونت منها التربة كما في الشكل (27) .

مصادر التربة Source of soil

يمكن القول بأن أصل التربة قد يكون :

1. الموضعية أو المتبقية (Residual soil)

وهي التي تكونت في مكانها من نفس الصخر الذي تقع فوقه . وتشبه التربة الموضعية الصخر الاصلي الذي تغطيه في التركيب المعدني والكيميائي ، وتختلف درجة التشابه حسب نوع التأثير الجوي الذي سببها ، كما أن هذا النوع من التربة يكون متدرجا في نسيجه من الناعم إلى الخشن حتى نصل إلى الصخر الأصلي[2] .



شكل 27 يبين الأجزاء الرئيسية للتربة

2. التربة المنقولة Transported soil

وهي التي تكونت في مكان آخر ونقلت إلى المكان الذي توجد فيه حاليا . والتربة المنقولة تختلف في معظم الأحيان عن الصخر الذي تعلوه في تركيبها الكيماوي والمعدني ، ففي بعض الأحيان نجد تربة طينية فوق صخر رملي أو تربة رملية فوق صخر جيري ، كما أنها عادة رديئة الفرز وحبيباتها مستديرة بسبب عامل النقل .

العمليات التي تسبب تفتيت الصخور وتكوين التربة

إن العمليات التي تسبب تكسر أو تفتيت الصخور كانت وما زالت تؤثر على الصخور في الوقت الحاضر واهم هذه العوامل هي التجوية وعوامل النقل مثل الجاذبية الأرضية والرياح والمياه ، وإن نواتج التفتيت قد تبقى في مكانها وعندئذ تعرف **بالتربة المتبقية** أو قد تنقل إلى مكان آخر وتترسب فيه مكونة التربة المنقولة ، ومن هذه العمليات :

1- التجوية Weathering

هنالك نوعان رئيسيان من أنواع التجوية هما :

1- التجوية الفيزيائية (الميكانيكية) Mechanical Weathering

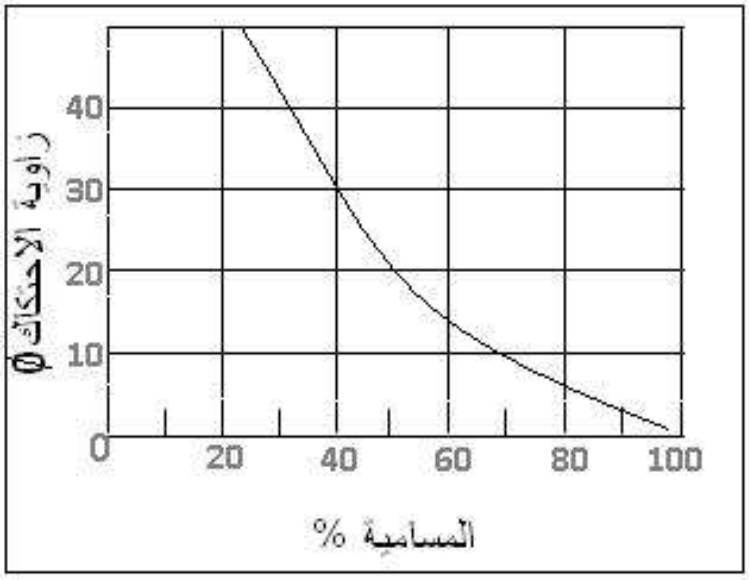
تتأثر الصخور بالتجوية إما ميكانيكيا أو من تأثير التغير في درجات الحرارة وتأثير تجمد المياه وفعل جذور النباتات والحيوانات مما إلى يؤدي تشقق الصخور ومن ثم تفتتها .

2- التجوية الكيميائية ChemicalWeathering

ينتج التجوية الكيميائية من تأثير الماء وثاني أكسيد الكربون والعوامل الجوية الأخرى على الصخور ، نتيجة تفاعل الماء مع (Co_2) مكونة المياه الحامضية التي تؤثر على الصخور القابلة للذوبان مثل الصخور الجيرية[3] .

تؤثر التجوية على خصائص المادة الصخرية حيث يزداد الحجم المسامي ويصاحبه نقصان في الكثافة والمقاومة وكما في الشكل(28) الذي يوضح علاقة المسامية وزاوية الاحتكاك حيث أنه كلما زادت التشققات زادت نسبة المسامية مما يؤدي إلى تقليل المقاومة أي تناقص زاوية الاحتكاك فمثلا نرى بأن نسبة المسامية عندما تكون (30%) نرى بأن زاوية الاحتكاك تصل إلى (40^{o}) ، وعندما تكون نسبة المسامية (100%) نرى بأن زاوية الاحتكاك تصل إلى الصفر .

ومن المهم معرفة أن التغيرات الفيزيائية قد يصاحبها تغيرات كيميائية ومعدنية مهمة . وفي ما يأتي بعض الأمثلة على **سلوك المعادن** عند تعرضها إلى عمليات التجوية :



شكل 28 علاقة المسامية بزاوية الاحتكاك (مقاومة المعدن)

أ- الكوارتز Quartz

يشكل الكوارتز احد المكونات الرئيسية للصخور النارية ويقاوم الكوارتز عمليات التجوية بنوعيها الميكانيكي والكيميائي ، ولو أنه يذوب بصورة بطيئة جدا .

ب- الفلسبار Feldspar

تتأثر معادن الفلسبار بسهولة أكثر بعمليات التجوية الكيميائية مثل اورثوكليس Orthoclase لتكوّن معادن طينية وعلى الأخص معدن الكاولينايت (Kaolinite) .كما في الشكل (29) .

شكل 29 يبين معدن اورثوكليس من مجموعة فلسبار

ج- المعادن السيليكية الغامقة اللون

إن المعادن التي تكون اقل مقاومة لعمليات التجوية هي المعادن السيليكية الغامقة اللون مثل الاوليفين (Olivine) والبيروكسين (Pyroxen) والتي تحتوي على معادن الحديد والمغنيسيوم (Ferromagnesian Minerals) والتي تتحول إلى معادن طينية من مجموعة معادن المونتموريلونايت (Montmorillonite) والإيلايت (illite) .

د- معدن الكالسايت Calcite

يذوب الكالسايت في الماء المشبع بثاني أكسيد الكربون (Co_2) ، ويعد تكوّن الحفر والكهوف والمغارات في الصخور الكلسية من الظواهر الطبيعية الناتجة عن عمليات التجوية المنتشرة في هذه الصخور .

2- الجاذبية الأرضية Gravity

يؤدي التغير في الخواص الفيزيائية للمواد الصخرية المتأثرة بالتجوية إلى حدوث خلل في توازن الكتل الصخرية الموجودة على حافات المنحدرات والتلال أو المناطق المرتفعة وقد تتأثر بدرجة لا تستطيع أن تصمد في مكانها فتبدأ بالزحف إلى أسفل المنحدرات بمساعدة عامل الجاذبية الأرضية .

3- الرياح Wind

إن المواد الناعمة الناتجة من التجوية الميكانيكية والمواد غير المتماسكة أو التي قد تكون غير مغطاة بالأعشاب أو الأشجار أو النباتات تنقلها الرياح كمواد معلقة (suspension materials) بينما تنتقل الحبيبات الخشنة بواسطة القفز أو الزحف ، ومن الجدير بالذكر بأن ذرات الرمل المحمولة بواسطة الرياح تعمل على مهاجمة الشقوق والفواصل في الصخور مما تساعد في توسعها وتعمقها .

4- **المياه water**

تعمل المياه كعامل لتعرية الصخور (Denudation) بالإضافة إلى عامل لنقل المواد الناتجة من تفتت الصخور .

التركيب المعدني للتربة

تتكون التربة من حبيبات صلبة متفاوتة الحجم والتدرج ، وتلعب المحتويات المعدنية للتربة دورا مهما في تحديد خواصها الهندسية ، أن التركيب المعدني للتربة الرملية تتكون من نواتج الصخور الأكثر مقاومة للتجوية الميكانيكية مثل معدن الكوارتز (Quartz) .

وبصورة عامة لا توجد المعادن غير المستقرة (Unstable Minerals) في التربة الرملية ، وقد يحتوي هذا النوع من التربة على كميات من معدن جلوكونايت (Glauconite) بالإضافة إلى المواد العضوية .

يختلف التركيب المعدني للتربة الرملية اختلافا جوهريا عن التركيب المعدني للطين ؛ وذلك لان مصدر الطين من التجوية الكيميائية لمعادن الفلسبار والمعادن السيليكية الغامقة اللون والتي تحتوي على معادن الحديد والمغنيسيوم (Ferromagnesian Minerals) والتي تؤدي إلى إنتاج سيليكات الألمنيوم المائية (Hydrous Aluminium Silicate) والتي تمثل المعادن الطينية ، وتتكون هذه المعادن من طبقات السيليكا والألمنيوم المائي (Hydrated Aluminium) .

العوامل المؤثرة على الخواص الهندسية للطين

في ما يأتي بعض العوامل المهمة المؤثرة على الخواص الهندسية للطين :

1- نوع المعدن الطيني .

2- وجود المواد العضوية و وجود المعادن الطينية مختلطة الطبقات (Mixed Layers) .

3- توفر الايونات الموجبة الشحنة التي يمكن تبادلها ضمن الشبكة الذرية للطبقات .

4- دخـول المـاء في التركيـب الجزيئـي للمعـدن أو عنـدما يحـاط بالسـطوح الخارجيـة لبلـورات المعدن الطيني .

5- احتواء حبيبات المعدن على مسامات مائية .

أولا : أهم المعادن الطينية

إن العوامـل المـؤثرة علـى الخـواص الهندسـية للطـين يمكـن اختصـارها في نـوع المعـدن الطيني المتوفر ، وفي ما يلي أهم المعادن الطينية :

1- الكاؤلينايت Kaolinite

يتكـون معـدن الكاؤلينايـت (Kaolinite) مـن طبقـات متعاقبـة مـن الألمنيـوم المـائي والسليكا ، (silica) ولا يتفكك بسهولة في الماء ، وتوجد أحيانا أنواع غير منتظمة من هذا المعدن تحتوي على الماء بين صفائح الألمنيوم والسليكا[4] .

2- معدن المونتموريلونايت (Montmorillonite)

يحتـوي هـذا المعـدن علـى طبقـات المـاء الجزيئـي الـتي تسـبب حـدوث الانتفـاخ (Swelling) والتمدد (Expansion) وتعتمد استعمالات التربة الغنية بهذا المعدن على هذه الخاصية .

3- الإيلايت (Illite)

ويشبه هـذا المعـدن بمعـدن المونتموريلونايـت (Montmorillonite) مـن حيـث البنـاء الداخلي ويختلف عنه كونه أكثر استقرارا وقابليته للتمدد اقل من معدن المونتموريلونايت .

4- يحتوي الطين بالإضافة إلى المعادن الطينية على

أ- معدن الكالسايت (Calcite) .

ب- معدن السيدرايت (Siderite) .

ج- الكبريتيدات (Sulphites) وأهمها كبريتيدات الحديد المتمثلة بمعدن البايرايت (Pyrite) .

د- الكبريتات التي يشكل الجبس (Gypsum) أو السلنايت (Selenite) .

هـ- كما يحتوي الطين على نسب مختلفة من المواد الكربونية والفوسفاتية وأكاسيد الحديد وبعض الأملاح الذائبة .

ثانيا : المحتوى العضوي Organic Content

فيما يتعلق بالمحتوى العضوي للتربة فإن الزيادة في نسبته تقلل من كثافة التربة وبالتالي تقلل من درجة دمكها الأمر الذي يؤدي إلى ضعفها كتربة الأساس ، وتأثيرها الآخر عند تواجدها في التربة هو تكوين فجوة بسبب تحلل المواد العضوية على مر الزمن وترك مكانها فارغة مما يؤدي إلى ضعف في التربة فيما بعد .

ثالثا : الايونات الموجبةPositives ions

تؤثر الزيادة في الايونات الموجبة الى ضعف الرابطة بين مياه المسام والحبيبات بسبب التنافر وهذا يؤدي إلى ضعف الروابط بين الحبيبات وبالتالي إضعاف التربة هندسيا .

رابعا : دخول الماء في التركيب الجزيئي للمعدن Water entrance

يتوقف دخول الماء في التركيب الجزيئي للمعدن على التركيب الذري للمعدن فمثلا تسمح بعض المعادن باكتساب الماء والبعض الآخر لا يسمح ، وقد تم التطرق على ذلك في فقرة تأثير أنواع المعادن الطينية (معدن المونتموريلونايت) .

خامسا : تأثير المسامية والنفاذية Effect of Porosity & Permeability

من المعلوم بأن الطين عالي المسامية وقليل النفاذية ومعظم مساماته تكون ممتلئة بالماء وممسوكة بقوى الضغط المختلفة بين الحبيبات في الظروف العادية ، ويظهر تأثيرها عند تعرض التربة الطينية لظروف أخرى مثل الاهتزازات الميكانيكية أو الهزات الأرضية فتحدث ما يسمى التسييل والذي يؤدي في النهاية إلى غوص أو ميل المباني المقامة عليه .

أنواع الطين Types of Mud

1- الترسبات النهرية Alluvial

تحتوي الترسبات النهرية (Alluvial) المتكونة حديثا عادة على المعادن الطينية من نوعي الايلايت والكاولينايت مع معادن طينية أخرى مثل الكالسايت (Calcite) والبايرايت (Pyrite) ، وقد تحتوي على مواد كربونية وسيليكية أيضا .

2- إن المعدن الرئيسي في طين لندن (London Clay) هو الايلايت مع قليل من المايكا المتغيرة إلى الكلورايت .

3- يتكون طين اوكسفورد (Oxford Clay) بشكل رئيسي من معدن الايلايت مع نسبة قليلة من المواد الكربونية والبايرايت (Pyrite) والجبس (Gypsium) والسلنايت (Selenite) .

4- يعد معدن الكاولينايت من المعادن الرئيسية في صخور الطفل الطيني (Clay – Shales) مع قليل من معدن المايكا والتي يمكن تمييزها بالعين المجردة .

التدرج الحبيبي للتربة Granular Gradation of soil

يتم تقييم مميزات الحجم الحبيبي للتربة باستخدام المناخل المتنوعة (Sieve analyse) علما بأن هذه المناخل (Sieves) ذات أحجام مختلفة وكل منخل يحمل رقما تدل على

أبعاد فتحات المنخل ولكل مواصفة مجموعة من المناخل أي أن أحجامها تعتمد على نوع المواصفة القياسية وعلى الدولة التي تختار نوع المواصفة القياسية التي تراها مناسبا في المشاريع ، فمثلا توجد مواصفات قياسية عالمية معتمدة ومجربة مثل المواصفات البريطانية (BS) أو المواصفات الأمريكية (AASHTO) والاسم الدارج لهذه المواصفة بين المهندسين (آشتو) ، بالإضافة إلى المواصفات الألمانية وخاصة في الطرق ومواصفات أخرى لا مجال لذكرها هنا [5] .

تتكون التربة من حبيبات صلبة متباينة الحجم والتدرج ، وقد تم وضع نظم محددة لقياس التدرج الحبيبي للتربة لمعرفة الخواص الطبيعية لها . **ويمكن تعريف الحجم الحبيبي للتربة بأنه اكبر بعد طولي للحبيبات المكونة لها .**

ولمعرفة التدرج الحبيبي يتم اخذ عينة من التربة ويجفف في الفرن لمدة (16–24 ساعة) ثم يتم وزن العينة . ثم يتم وضع العينة في مناخل محددة وحسب المواصفة المطلوبة حيث تبدأ المناخل بأكبر حجم لفتحات المنخل (المنخل الاعلى) وتنتهي بأصغر حجم (المنخل الأسفل) وفي نهاية المجموعة (مجموعة المناخل) وعاء (Pan) لتجميع ما تبقى من الحجوم الصغير العابرة من جميع أحجام المناخل واستقرت في الوعاء (Pan) ، كما في الشكل (30) .

التحليل المنخلي Sieve Analysis أو Grain Size Distribution

يتباين احجام المناخل المستخدمة في تحديد الحجم الحبيبي للحصى والرمل والتربة وفي مايأتي انواع من مجموعات المناخل ، حيث يبين الجدول (9) ارقام المناخل ومايقابلها من قطر الفتحات بالمليمترات (النظام المتري) لكل منخل اعتمادا على المواصفات الامريكية القياسية آشتو (AASHTO) .

شكل 30 يبين انواع المناخل

يعد المنخل ذو الرقم (01) وما يعادله بقطر الفتحات (2.0 ملم) من المناخل المميزة والمؤثرة في تصنيف التربة لكونها تعطي الدلائل الاولية في وصف التربة .

جدول 9 يبين ارقام المناخل وما يعادل قطر الفتحات بالمليمترات

Sieve No	Millimeters
4	4.75
10	2.00
20	0.841
40	0.420
70	0.210
100	0.150
200	0.075

أما الجدول (10) يبين قطر فتحات المناخل بالانجات (نظام الميل) وما يقابلها بالمليمترات في النظام المتري وحسب المواصفات القياسية آشتو (AASHTO) .

طريقة تحليل الحجم الحبيبي Procedure of sieve Analysis

1- يتم وضع العينة المجففة في المناخل (sieves) المحددة (وسيتم ذكرها في الفقرة التالية) .
2- يوضع تحت المناخل إناء من نفس الحجم لتجميع التربة الناعمة المارة من المنخل الأصغر حجما . علما بأن جميع المناخل والإناء تتركب فوق بعضها بصورة معشقة .
3- تغطية مجموعة المناخل بغطاء محكم .
4- يتم تحريك المجموعة (باهتزاز) إما باليد لحين مرور ما يمكن مروره من الحبيبات ذات الأقطار الأصغر من كل حجم ، أو يتم استخدام طريقة آلة الهزاز الميكانيكي الكهربائي المعروف بـ (Mechanical Sieve Shaker) لمدة نصف ساعة أو اقل قليلا .

جدول 10 يبين قطر فتحات المناخل ومايعادلها بالمليمترات

Inches sieves	**Millimeters**
4	101.6
3	76.2
2	50.8
1.5	38.1
1.0	25.4
0.75	19
0.5	12.5
0.375	9.5
4	4.75
10	2

5- بعد التوقف من عملية التحريك يتم فتح الغطاء الخارجي ويؤخذ أول منخل ويفرغ محتوياتها ويوزن ويسجل الوزن في جدول خاص معد لهذا الغرض كما في مثال الفقرة التالية .

6- إجراء عملية حسابية بسيط لاستخراج النسبة المئوية للمتبقي من النموذج في المنخل وكذلك للمار من المنخل ، حيث يتم تقسيم وزن النموذج الواقف على المنخل على الوزن الكلي للنموذج ويضرب في (100) لاستخراج النسبة المئوية للحبيبات الواقفة على كل منخل :

$$\text{النسبة المئوية للنموذج المتبقي} = \frac{\text{وزن المتبقي}}{\text{وزن النموذج الكلي}} \times 100$$

7- يتم طرح الناتج في الفقرة (6) من (100 %) ونحصل على النسبة المئوية للحبيبات المارة من الحجم الأول (من المنخل الأول) .

8- وهكذا يتم إجراء العملية الحسابية لكل حجم ويجب الوصول إلى أن يكون الناتج للمتبقي أخيرا مساويا إلى النسبة الأخيرة المتبقية .

مثال

تم تجفيف عينة من التربة تزن (2000غم) واستخدمت المناخل (4 ، 10 ، 70 ، و 200) وما يعادلها (4.75 ملم) و (2.0 ملم) و (0.210 ملم) و (0.75 ملم) كما في الجدول (11) . وقد استخدم الهزاز الآلي لفصل الاحجام المختلفة من الحجم الحبيبي لمكونات التربة وتم الحصول على البيانات التالية : المطلوب تحليل الحجم الحبيبي للتربة .

جدول 11 يبين المناخل المستخدمة في المثال

Sieve No	Millimeters	Weight (g)
4	4.75	450
10	2.00	700
70	0.210	500
200	0.075	250
pan		100

الحل

بعد ايقاف جهاز الهزاز يتم فتح غطاء مجموعة المناخل ويؤخذ المنخل الاول والتي تكون فتحاته اكبر من البقية ، ونرى فيه بأن الحبيبات الصغيرة قد مرت من المنخل الاول وبقيت الحبيبات الكبيرة التي لم تستطيع العبور وفي ما يأتي خطوات الحل :

شكل 31 يبين المنخل رقم 4

1- بما أن وزن محتويات المنخل الاول (رقم 4) هو (450 جم) أي وزن الحبيبات الباقية على المنخل ولم يمر الى المناخل الاخرى ، وحسب القانون فإن نسبتها تكون :

$$\text{النسبة المئوية للحبيبات الواقفة على المنخل الأول} = \frac{\text{وزن المتبقي}}{\text{وزن النموذج الكلي}} \times 100$$

$$\text{النسبة المئوية للحبيبات الواقفة على المنخل (رقم 4)} = \frac{\mathbf{450}}{\mathbf{2000}} \times 100$$

النسبة المئوية للحبيبات الواقفة = 0.225 × 100 = 22.5% .

إذا كانت نسبة الواقف (22.5%) من أصل (100%) فإن نسبة المار يكون كما يلي :

100% – 22.5% = 77.5 % نسبة الحبيبات المارة إلى المناخل الأخرى .

2- بما أن وزن محتويات المنخل الثاني (رقم 10) هو (700 جم) أي وزن الحبيبات الباقية على المنخل ولم يمر الى المناخل الاخرى وحسب القانون فإن نسبتها تكون :

$$\text{النسبة المئوية للحبيبات الواقفة على المنخل الثاني (رقم 10)} = \frac{\mathbf{700}}{\mathbf{2000}} \times 100$$

النسبة المئوية للحبيبات الواقفة = 0.35 × 100 = **35** % .

إذا كانت نسبة الواقف (35%) من أصل (77.5%) فإن نسبة المار إلى المناخل الأخرى يكون كما يلي :

77.5% – 35% = **42.5**%

3- بما أن وزن محتويات المنخل الثالث (رقم 70) هو (500 جم) أي وزن الحبيبات الباقية على المنخل ولم يمر الى المناخل الاخرى وحسب القانون فإن نسبتها تكون :

$$\text{النسبة المئوية للحبيبات الواقفة على المنخل (رقم 70)} = \frac{\mathbf{500}}{\mathbf{2000}} \times 100$$

النسبة المئوية للحبيبات الواقفة = $0.25 \times 100 = \mathbf{25}\%$.

$$\%\mathbf{17.5} = \%25 - \%42.5$$

4- بما أن وزن محتويات المنخل الرابع (رقم 200) هو (250 جم) أي وزن الحبيبات الباقية على المنخل ولم يمر الى المناخل الاخرى وحسب القانون فإن نسبتها تكون :

$$\text{النسبة المئوية للحبيبات الواقفة على المنخل (رقم 200)} = \frac{\mathbf{250}}{\mathbf{2000}} \times 100$$

النسبة المئوية للحبيبات الواقفة = $0.125 \times 100 = \mathbf{12.5}\%$.

إذا كانت نسبة الواقف (12.5%) من أصل (17.5%) فإن نسبة المار إلى الوعاء يكون كما يلي :

$$\%\mathbf{5} = \%12.5 - \%17.5$$

5- بما أن وزن محتويات الوعاء (pan) الباقي في الوعاء هو (100جم) وحسب القانون فإن نسبتها تكون :

$$\text{النسبة المئوية للحبيبات الواقفة على الوعاء (pan)} = \frac{\mathbf{100}}{\mathbf{2000}} \times 100$$

النسبة المئوية للنموذج الباقي في الوعاء = $0.05 \times 100 = \mathbf{5}\%$.

إذا كانت نسبة الباقي في الوعاء (5 %) من أصل (5 %) فإن نسبة المار يكون كما يلي :

5% – 5% = صفر

يتم نقل البيانات الى الجدول المخصص كما في الجدول (12) والتي يتم تحضيره مسبقا .

يتم رسم مخطط المنحي للنموذج على ورقة لوغاريتمية ، والشكل (32) يوضح المنحي الافتراضي لنموذج آخر وليس للمثال اعلاه .

اهم الخطوات المتبعة لعملية فحص التربة

1- تصنيف نوع التربة .

2- تحديد نسبة الرطوبة الطبيعية .

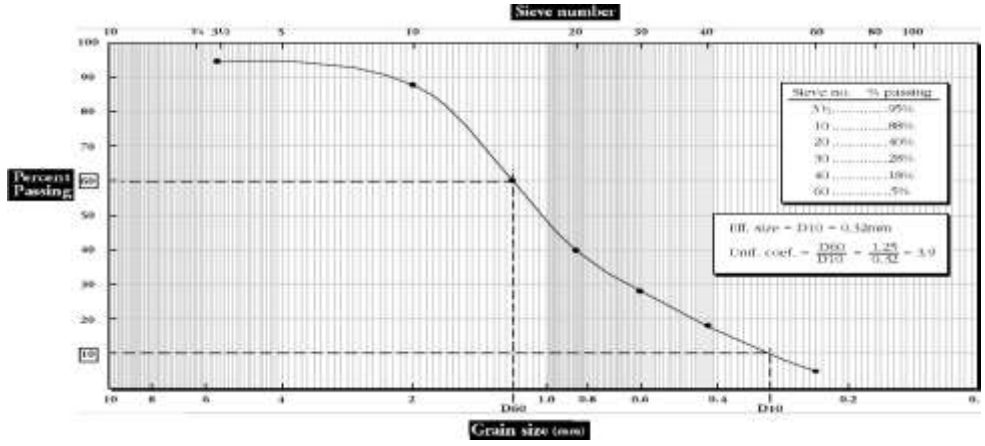
3- تحديد حدود اتربرج (حد السيولة ، حد اللدونة) .

4- تحديد الوحدة الوزنية الجافة للتربة .

5- اختبارات التربة الانتفاخية والإنهيارية .

جدول 12 يبين البيانات التي يتم الحصول عليها من العمليات الحسابية في المثال

رقم المنخل	حجم المنخل(ملم)	وزن الواقف (غم)	نسبة الواقف%	نسبة المار %
4	4.75	450	22.5	77.5
10	2.00	700	35	42.5
70	0.210	500	25	17.5
200	0.075	250	12.5	5
pan		001	5	صفر



شكل 32 يبين المنحي الافتراضي (3)

تساعد الاختبارات أعلاه والمعلومات السابقة المهندسين في تحديد نوعية التربة السطحية ، وتقدير معاملات التربة الضرورية باستخدام معادلات الربط لتصميم الأساسات ومعرفة ما إذا كان هناك مشاكل فنية يستلزم الأمر بحثها والتحري عنها وسيتم شرح الاختبارات المعملية بشيء من التفصيل بعد فقرة الاختبارات الحقلية .

الاختبارات الحقلية Field Tests

تُعد الاختبارات الحقلية من الاعمال المهمة والضرورية للحصول على البيانات من الواقع مباشرة ويتم عمل الاختبارات الحقلية الضرورية حسب نوع التربة والحاجة إلى إعداد هذه الاختبارات ومنها :

1- اختبار الاختراق القياسي (SPT), Standard Penetration Test .
2- اختبار الاختراق الاستاتيكي CPT, Cone Penetration Test .
3- اختبار مقياس الضغط Pressure meter .

4- اختبار القص ألدوراني Test Vane Shear .

5- اختبار مقاومة التربة للقص Borehole Shear Device .

6- اختبار مقياس التمدد الحراري Dilatometer .

7- اختبار تحديد معامل نفاذية التربة Field Permeability.

8- تحديد الوحدة الوزنية الجافة للتربة Weight Dry Unit .

9- اختبار القرص المحمل Plate Bearing Test .

10- اختبار المكافيء الرملي .

11- تصنيف أنواع التربة وكما يلي :

أ- نظام تصنيف التربة الموحد .

ب- نظام آشتو (ASHTO) لتصنيف التربة[6] .

1- اختبار الاختراق القياسي Standard Penetration Test, SPT

يعد هذا الاختبار من الاختبارات المهمة لتحديد مقاومة التربة الرملية أثناء تنفيذ الجسة ، وهو من أسهل الطرق وأفضلها لمعرفة قيمة زاوية الاحتكاك الداخلي وكثافة التربة الرملية . ويتلخص عمل هذا الاختبار في إسقاط مطرقة خاصة وزنها (63.5 كجم) من ارتفاع (760 ملم) على أنبوبة الجهاز لتدخل مسافة (460 ملم) في التربة ، ومن ثم حساب عدد الدقات (N) لاختراق آخر (305 ملم) ، ويتم إيقاف الاختبار في حالة الحصول على (100 دقة) أو (10 دقات) متتالية بدون اختراق ، وفي بعض الأحيان يتم تسجيل عدد الدقات التي يتم الحصول عليها منسوبة إلى (100 ملم) بمعنى أنها عدد الدقات التي اخترقت (100 ملم) . وبالرغم من أن هذا الاختبار قد وضع أساسا للتربة المفككة لصعوبة الحصول على عينات غير مقلقلة للرمل إلا أن هذا الاختبار قد ينفذ في التربة المتماسكة ، ويجب

الحذر عند استخدام نتائجه في هذه الحالة وذلك لعدم دقة النتائج لاحتواء التربة المتماسكة على الماء .

2- اختبار الاختراق الاستاتيكي Cone Penetration Test, CPT

يستخدم هذا الاختبار في جميع أنواع التربة ماعدا التربة الطينية القاسية والركامية ، ويجرى الاختبار بدفع مخروط الجهاز إلى التربة بسرعة (10–20 ملم/دقيقة) وقياس مقاومة رأس المخروط ومقاومة احتكاك جوانب ماسورة مثبتة أعلى المخروط ، وتستخدم نتائج هذا الاختبار في تقدير حمل اعمدة الارتكاز والاحتكاك المستخدم في الأساسات العميقة ، ويمكن أيضا تقدير تحمل التربة وتقدير الهبوط للأساسات ، ويأتي الجهاز في عدة أنواع منها المخروط السيزمي (Seismic) والذي يمكن من خلاله قياس معامل القص الديناميكي .

3- اختبار مقياس الضغط Pressure meter

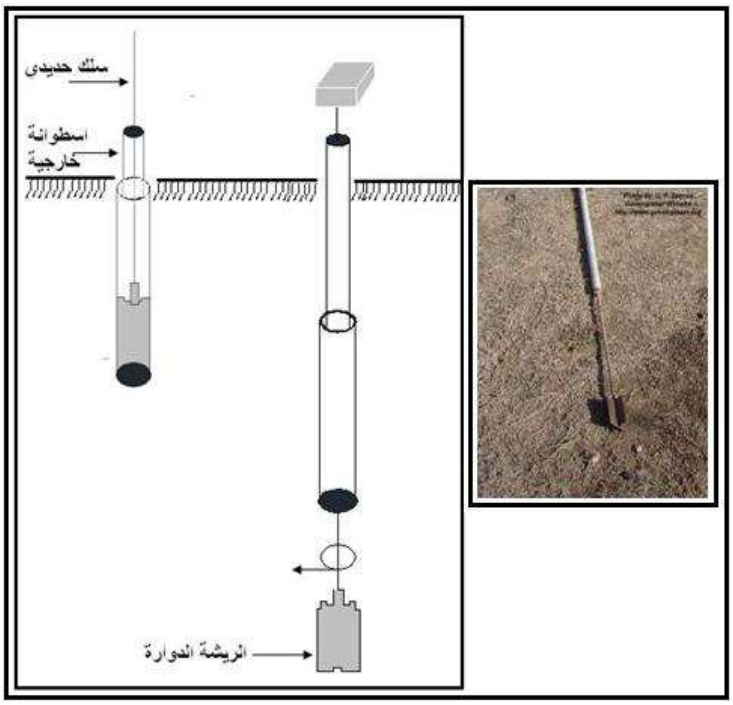
يتكون جهاز مقياس الضغط من جزأين رئيسيين هما : المجس (Probe) وجهاز قياس الضغط الحجمي (Pressure – Volumeter) موصلين بأنبوبة بلاستيكية يمر من خلالها الماء أو الغاز ، ويعمل الجهاز عن طريق تسجيل التغير الحاصل في الضغط والحجم ورسمها في منحنى والتي يمكن من خلالها تحديد الثوابت المرنة للتربة (Elastic Constants) ومعامل القص للتربة (Shear Strength) ويستخدم هذا الاختبار في التربة الناعمة .

4- اختبار القص الدوراني Test Vane Shear

يستخدم هذا الاختبار لتحديد معامل القص للتربة ضعيفة التباين والحساسة والمغمورة بالمياه التي لا يمكن أخذ عينات منها لإجراء الاختبارات المعملية ، ويعمل الجهاز عن طريق قياس عزم اللي (**Torque**) اللازم عند إدخال الريشة الموجودة في مؤخرة الجهاز

(**Vanes**) في التربة حتى ظهور مقاومة في الاختراق ومن ثم تحليل المعلومات المسجلة لتحديد مقاومة التربة للقص كما في الشكل (33) .

وعند دفع الريشة إلى عمق حفرة الاختبار من خلال الضغط على السلك الخارجي المتصل بالريشة يتم خروج الريشة من داخل الجهاز إلى الخارج وثم يتم نصب محرك الدوران الكهربائي في أعلى الجهاز وعند تشغيل الجهاز يتم تدوير الريشة باتجاه عقرب الساعة عشرين مرة مما يؤدي إلى إدخال التربة في القالب الخاص داخل الاسطوانة وثم يتم إيقاف الجهاز عن العمل ويتم تسجيل النتائج .



شكل 33 يبين آلة تحديد معامل القص للتربةفي الحقل

5- اختبار مقاومة التربة للقص Borehole Shear Device

يستخدم الاختبار لجميع أنواع التربة ذات الحبيبات الدقيقة ويتم ذلك بحفر حفرة قطرها (76ملم) رأسية أو أفقية أو مائلة لعمق أكبر من المكان المراد قياس مقاومة التربة فيه ، وبعد ذلك يتم إدخال رأس الجهاز بعناية في الحفرة إلى النقطة المراد قياس مقاومة التربة فيها ، ثم يفتح قسما الجهاز الموجودة في اسطوانة ، ويتم الضغط على السطح عن طريق اسطوانات ، ثم تسحب الأسطوانة ويسجل مقدار السحب والمسافة والضغط والتي منها يتم تقدير مقاومة التربة للقص .

6- اختبار مقياس التمدد الحراري Dilatometer

يتكون جهاز الاختبار من مجس وغشاء مطاطي قابل للتمدد ، وتستخدم فيه أجهزة الاختراق القياسي أو الاستاتيكي لدفع الجهاز في الجسة للأعماق المطلوبة ، ويعمل جهاز الاختبار عن طريق إدخال المجس إلى العمق المطلوب ثم إجراء الاختبار عليه ، ومن ثم زيادة الضغط تدريجيا حتى يمتد الغشاء المطاطي بمقدار (1.1مم) إلى التربة المجاورة ، ثم إنقاص الضغط بمثل ضغط الماء الزائد في التربة (Excess Pore Water Pressure) ثم تكرر العملية على عمق يزيد عن العمق الأول (**150–200**مم) وتسجل المعلومات ، وهكذا حتى يتم الوصول إلى الأعماق المطلوبة . ويعتبر هذا الاختبار سريعا حيث يمكن الوصول إلى عمق (10م) في خلال نصف ساعة من بداية الاختبار ، ويستخدم هذا الاختبار للحصول على جميع معاملات التربة الضرورية .

7- اختبار تحديد نفاذية التربة Field Permeability

يستخدم في هذا الجهاز مقياس الضغط Piezometer لقياس نفاذية التربة عن طريق أنابيب المياه القائمة برفع وخفض الماء من موقع التوازن وأخذ قراءات في فترات متقطعة

لمستوى الماء مع الوقت اللازم للوصول إليه حتى يعود منسوب الماء إلى موقع التوازن الأصلي ، وتحليل هذه المعلومات لاستنتاج معامل النفاذية (K) .

8- اختبار الوحدة الوزنية الجافة للتربة(الكثافة) Dry Unit Weight

تعتبر الوحدة الوزنية الجافة من أهم معاملات التربة التي تستخدم في الحسابات الهندسية للتربة وفي عمليات الدمك والجودة الفنية لها ، وهناك عدة طرق لتحديد قيمة الوحدة الوزنية الجافة في الحقل منها طريقة الرمل والقمع (SandCone) والطريقة النووية (Nuclear) باستخدام الجهاز النووي وغيرها ، وتساوي الوحدة الوزنية الرطبة للتربة وزن التربة على حجمها .

9- اختبار القرص المحمل Plate Bearing Test

يستخدم هذا الجهاز لقياس قدرة تحمل التربة لمواد الرصف والأحمال المارة عليها ، ويستخدم في الاختبار أقراص معدنية مستديرة أقطارها(300 ، 450 ، 600 ، 750 مم) ويتم تحميل هذه الأقراص بواسطة رافعة ميكانيكية أو هيدروليكية ، ويقاس مقدار هبوط الأقراص بمؤشرات من ثلاثة إلى أربعة ، والذي منه يستنتج مقدار الجهد الواقع على التربة أسفل القرص .

10- اختبار تحديد دليل قوة تماسك الصخر Rock Quality Designation, RQD

يمكن معرفة قوة تماسك الصخر ووصف كمية التكسر في الموقع ، وتتلخص الطريقة في حساب أطوال قطع الصخر المستخرجة من الحفر الاختبارية داخل أنبوبة العينة والتي يزيد أطوالها عن (4 بوصة) أو ما يعادل (101.6مم) وقسمته على طول العينة ، وهذه النسبة تمثل المردود من الصخر ، ويمكن وصف الصخور بناء على هذه النسبة وكما في الجدول (13) .

جدول 13 يبين قوة تماسك الصخر[7]

نسبة المردود من الصخر	قوة تماسك الصخر
0 – 25	ضعيف جدا
25-50	ضعيف
50-75	مقبول
75-90	جيد
90-100	جيد جدا

وجميع هذه الاختبارات تزودنا معلومات كافية لتحديد خصائص التربة والبيانات الأخرى المستخدمة في تصميم الأساسات .

طرق أخذ العينات Method of Sampling

أولا – طريقة (الجسات Soil Borings)

يمكن تعريف الجسات بأنها حفر أرضية في الموقع المراد استكشافه بأعماق مختلفة ويمكن من خلالها الحصول على عينات التربة للتعرف على نوعيتها وترتيب الطبقات التحتية ، وفي هذه الطريقة يمكن تنفيذ الحفر إما يدويا أو بواسطة معدات آلية أخرى ، علما بان هنالك عدة طرق للحفر ومن أهمها :

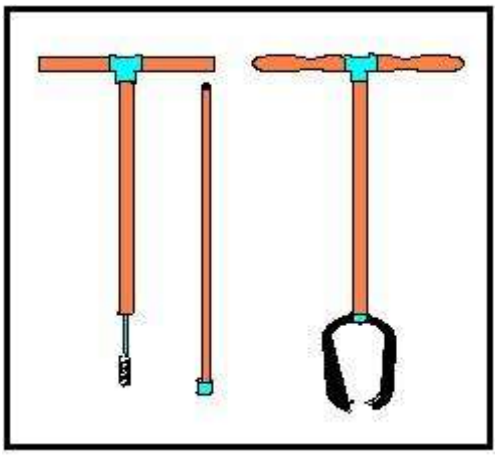
أ– طريقة الحفر المفتوحة Test Pits and Open Cuts

يتم عمل حفر الاختبارات المكشوفة يدويا باستخدام بعض أدوات الحفر اليدوية ، أو آليا بحيث تسمح هذه الحفر برؤية طبقات التربة في وضعها الطبيعي وبشكل واضح ، ويجب أن تكون هذه الحفر متسعة بشكل يمكّن من إجراء الاختبارات فيها بحيث لا يقل عرضها عن (75 سم) . وهذه الحفر تعتبر اقتصادية حتى عمق (3 م) وغير اقتصادية لأعماق أكبر من ذلك أو تحت منسوب المياه الجوفية ، ويمكن بواسطة هذه الحفر عمل الاختبارات

الدقيقة بالاتجاه الأفقي أو الرأسي ، وتؤخذ منها عينات التربة لإجراء الاختبارات عليها ، وتستخدم أيضا لدراسة الشقوق المكشوفة واستكشاف مناطق الصخر الضعيف ، ويلزم أخذ كافة وسائل الحيطة والسلامة لتدعيم جدران الحفر وحمايتها من العوامل الطبيعية حتى يتم الانتهاء من العمل بها وأخذ العينات المطلوبة ، ويجب ردم هذه الحفر وتسويتها ودكها بالطرق الفنية المناسبة .

ب– الحفر بالمثقاب Auger Boring

يتألف المثقاب من آلة مصنوعة من الفولاذ ولها حافة حادة قادرة على حفر التربة ، وهنالك مثقاب يدوي وآلي ويعتبر اقتصاديا حتى عمق (5 م) في التربة اللينة القادرة على الثبات دون انهيار ، أما إذا زاد الحفر عن (**5** م) فيتم الاستعانة بتغليف الحفرة بأنابيب خاصة بذلك ، وتعتبر هذه الطريقة مناسبة في الحفر التمهيدي ، وكذلك في التربة التي بها نسبة كبيرة من الحصى أو الصخرية والشكل (**34**) يوضح الجهاز المستخدم في الحفر .



شكل 34 يبين آلة الحفر اليدوي

ج- الحفر بالطرق Percussion Boring

يستعمل في هذه الطريقة جهاز حفر متنقل يقوم بكسر بنية التربة عبر الطرق المتكرر على آلة الاختراق أو الآسفين للحفر ، ويضاف الماء أثناء العمل لتقليل الاحتكاك وتبريد رأس آلة الطرق ، ويتم رفع ناتج الحفر إلى الخارج على دفعات ، ويمكن من خلال هذه الطريقة الحصول على عينات بواسطة أدوات وأجهزة استخراج العينات في التربة الصخرية .

د- الحفر بطريقة الجرف (الغسل) Wash Boring

يستخدم في هذا النوع من حفر التربة بالطرق بآلة حادة مع دفع الماء تحت الضغط في أنبوب داخلي قابل للدوران في الصعود و النزول خلال أنبوب خارجي ، ويقوم الماء المضغوط بدفع التربة المحفورة إلى الخارج من بين الأنبوب الداخلي والغلاف الخارجي ومن خلال ناتج الحفر يمكن معرفة نوعية التربة الجاري حفرها ، وعند حصول أي تغيير في نوعية ناتج الحفر يتم إيقاف الحفر ويُعد مؤشرا إلى تغيير في نوعية طبقة التربة الجاري حفرها ، ويتم توصيل أنبوبة أخذ العينات بنهاية قضيب الحفر عند أخذ عينة من طبقة التربة الجديدة ، وتستخدم هذه الطريقة في التربة الرملية والطينية .

هـ- الحفر ألدوراني Rotary Boring

يتم الحفر بواسطة آلة القطع (Bit) الدوارة ، وتحمل هذه الآلة بواسطة أنابيب التخريم المجوفة والتي تدار برأس دوار ذي تركيبة ملائمة كما في الشكل (35) ، ويتم ضخ سائل الحفر (الماء أو طين الحفر) بشكل مستمر إلى الحفرة عبر أنابيب التخريم المجوفة من أجل تقليل الاحتكاك وخفض درجة الحرارة الناتجة من الاحتكاك

بالإضافة إلى تسهيل عملية الحفر وكذلك دفع ناتج الحفر إلى الخارج ، وذلك حسب نوعية الأجهزة والتربة التي يتم حفرها ، ويتم أخذ العينات بأجهزة خاصة ، وهنالك طريقتان للحفر الدوراني هما :

1 .الحفر المكشوفة Open Holes

ويتم فيها الحفر بواسطة آلة القطع (Bit) الدوارة التي تحفر التربة الداخلة في مجال قطرها ، وتؤخذ العينات من فترة لأخرى ، وتستخدم هذه الطريقة لجميع أنواع التربة المختلفة بما فيها الصخر اللين .

شكل 35 يبين آلة الحفر الدوراني[8]

2. حفر اللباب الصخري Core Drilling

وهي للحفر بالصخر بحيث يمكن الحصول على العينة الصخرية المستمرة للطبقات على كامل عمق الحفر بواسطة الجهاز نفسه .

و– الحفر باستخدام الحفار المتصل Continuous – Flight Auger

وفي هذه الطريقة يتم إنزال آلة الحفر مع دفع أنبوبة رقيقة لاستخراج التربة لكل عمق (1 م) وبشكل مستمر وهذه الطريقة تعتبر أسهل وأسرع الطرق لأخذ العينات وتستخدم في جميع أنواع التربة .

ثانيا : ردم الحُفر Filling the boreholes

يجب إعادة ردم الحُفر بالتربة الجافة ودكها جيدا بعد الانتهاء من عملية الحفر وأخذ العينات ، أو يتم ردم الحُفر باستخدام الخرسانة العادية أو المونة الأسمنتية ، وذلك حتى لا تكون ممرا للمياه الجوفية أو أية أخطار أخرى .

ثالثا : تحديد عدد وعمق الجسات

1– عدد الجسات Number of boring

تعتمد عدد الجسات وبعدها عن بعضها وحُفر الاختبارات على مساحة الموقع المطلوب دراسته ، وتكون لطبوغرافية وجيولوجية الموقع دورا كبيرا في تحديد الخواص أعلاه وخاصة في المواقع الكبيرة ، وكذلك في المنشآت المطلوب إقامتها عليه وحسب أهميتها واستعمالاتها بالإضافة إلى نوعية التربة نفسها ، حيث إن الهدف من هذه الجسات هو :

أ– الحصول على خواص طبقات التربة .

ب– سماكة وعمق وميل طبقات التربة .

ويمكن تحديد موقع الجسات مبدئيا وكما يلي :

أ- في المساحات الكبيرة يتم تحديد موقع الجسات على بعد (50 م) في كل اتجاه طبقا لشبكة خطوط متعامدة أو حسب ما يتفق عليه .

ب- أما في المشاريع الصغيرة التي لا تتجاوز مساحتها (**5000** م^2) فإنه يمكن تحديد موقع الجسات في كل زاوية من زوايا الموقع إضافة إلى جسة في المنتصف .

ج- في حالة وجود تكهفات في الحجر الجيري أو وجود تشققات فإنه يلزم عمل جسات متقاربة من (**3** م) إلى (**5** م) .

د- أما إذا لم تحقق عدد الجسات ومواقعها الأهداف المرجوة من حيث الحصول على طبقات التربة وسماكاتها وأعماقها وميولها أو إذا أظهرت العينات أن هناك تغيرا في خواص التربة تشير إلى أهمية زيادة أخذ العينات في سبيل الوصول إلى نتائج تتفق مع التغيير الذي تمت ملاحظته ، فإنه يجب إعادة النظر في زيادة عدد الجسات وأعماقها وطرق الاختبارات حسب احتياجات الموقع وتحقيق الأهداف المرجوة منها ، ويوضح الشكل (36) طريقة توزيع الجسات .

2- عمق الجسات

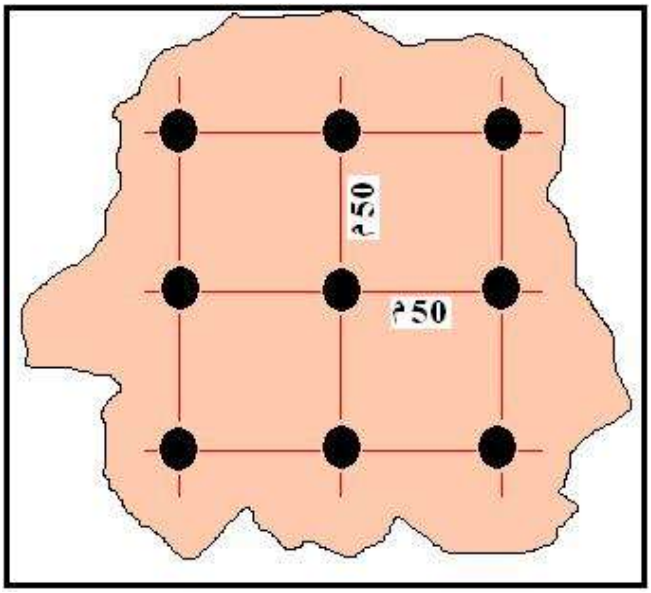
يمكن تعريف عمق الجسات بأنه عمق الحفرة التي يمكن من خلالها كشف طبقات التربة ودراستها من حيث تحملها لأحمال المنشآت المزمع إنشاؤها في الموقع ويتوقف عمق الجسات على :

أ- نوع المنشآت وحجمها وارتفاعها .

ب- شكل المنشآت وأوزانها .

ج- نوع التربة وخواصها الميكانيكية .

د- يجب أن يشمل العمق على طبقات التربة المساعدة على مقاومة أحمال المنشأة بدون حدوث انضغاط شديد لهذه الطبقات ، أو حصول انهيار فيها ناتج عن القص .



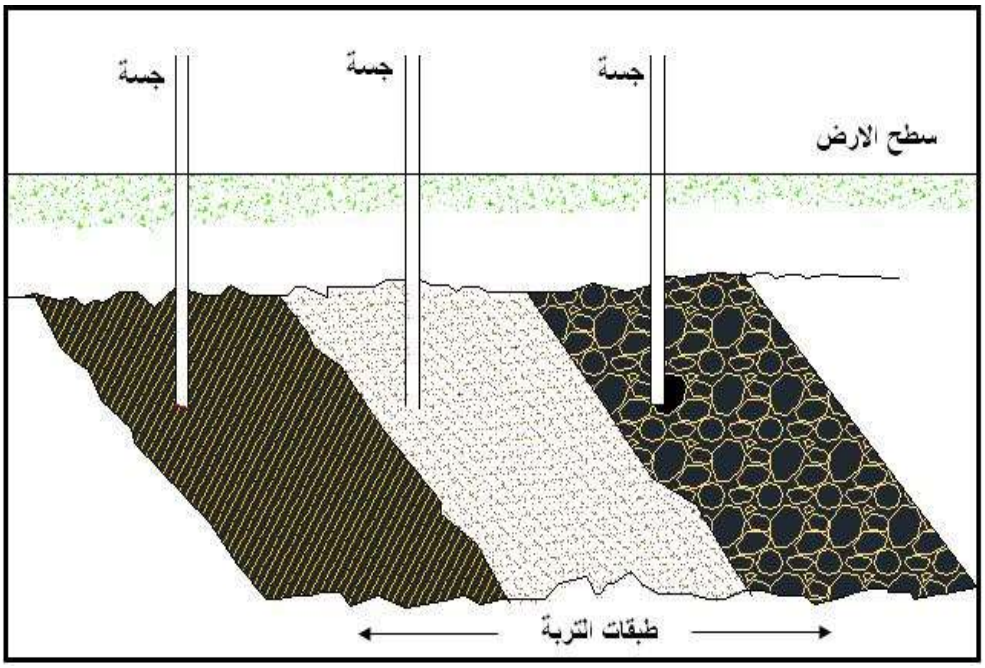
شكل 36 مخطط يدوي يبين طريقة توزيع الجسات على الأرض

وفي الحالات الاعتيادية لا يقل عمق الجسة عن (**10** م) أو **ثلاثة أضعاف عرض** أكبر قاعدة أيهما أكبر ، ولا بد أن تخترق عمق الجسات جميع الطبقات الموجودة سواء كانت مناسبة أو غير المناسبة مثل الردميات وطبقات التربة الضعيفة والعضوية إلى الطبقات المتحجرة والسميكة ، وعند وجود طبقة صلبة أو كثيفة سطحية فإنه يلزم امتداد الجسة إلى عمق أكبر للتأكد من عدم وجود طبقات تحتية تتأثر بالإجهادات ، وعند الوصول إلى الطبقات الصخرية فإنه يجب اختراقها بمسافة (1.5 م – 3 م) أو سمك طبقة الصخر أيهما أكبر في حالة الصخر المتماسك و (6 م) أو سمك طبقة الصخر أيهما أكبر في حالة الصخر اللين ، ويوضح الشكل (11) أهمية أن يكون عمق الجسات مخترقا لطبقات التربة المختلفة كما في الشكل (37) .

رابعا : عينات التربة

1- مواقع استخراج العينات

تستخرج العينة الأولى من سطح الأرض مباشرة ، وتستخرج العينات التالية بمعدل عينة كل متر على الأقل ، وكذلك عند تغير الطبقات ، ويجب على الجيولوجي المشرف أخذ الحيطة والحذر حتى لا يحصل إغفال اكتشاف طبقات من التربة ذات سماكات صغيرة دون أن يسجلها ، كما يجب أن تكون كمية العينات كافية لإجراء الاختبارات المطلوبة .



شكل 37 يبين طريقة توزيع الجسات على الأرض

2– أخذ العينات

يعتبر أخذ العينات من أهم مراحل الأعمال الجيوتقنية ، ولا تقل أهميته عن الاختبارات التي ستجري عليها ، لذا فإنه من الضروري الانتباه عند أخذ العينات وطريقة تحضيرها لتكون عينات ممثلة لطبيعة التربة الأصلية ، ويتم أخذ عينات في التربة المفككة أو شبه المتماسكة من أماكن تخزين التربة (Stockpiles) على النحو التالي :

أ– عينات التربة المفككة Cohesionless Soil Sampling

من الصعب الحصول على عينات متماسكة في التربة المفككة كالتربة الرملية أو التربة التي بها نسبة كبيرة من الركام ، وتؤخذ عينات بحد أدنى من الحركة بواسطة أنابيب أخذ العينات الرقيقة الحواف ، وفي بعض الأحيان يتم أخذ العينات عن طريق تجميد المنطقة المحيطة بالعينة ، ولصعوبة الحصول على عينات جيدة فإنه يجري عادة عمل بعض الاختبارات الحقلية في الموقع ، ويتم أخذ العينات المقلقلة إما يدويا باستخدام أدوات الحفر اليدوية مثل الكريك والمثقاب (Auger) أو آليا باستخدام معدات الحفر الآلية بالأعماق التي يحددها المهندس المشرف ، وذلك لعمل اختبارات الوحدة الوزنية والوزن النوعي للتربة وتصنيف التربة والتحليل الميكانيكي وتحديد نسبة تحمل كاليفورنيا والاختبارات الكيميائية وغيرها في المعمل .

ب– العينات المقلقلة Disturbed Sampling

وهي العينات التي يكون فيها بنية التربة متفككة وخواصها الميكانيكية قد تغيرت أثناء أخذ العينة ، ويمكن أخذها بالطريقة اليدوية . أما في التربة المتماسكة فيمكن أخذها أثناء الحفر بالمثقاب أو بالمثقاب وأنابيب التغليف . أما في الصخر فإنه يمكن أخذ العينات أثناء الحفر بطريقة الإجتراف أو الطرق أو الحفر ألدوراني .

ج- العينات المحتفظة ببنيتها Undisturbed Sampling

وتكون عينات التربة هذه محتفظة ببنيتها وخواصها الأصلية ، ويمكن الحصول عليها في التربة المتماسكة بطريقة القطع باليد للحصول عليها كتلة واحدة أو عن طريق أنبوب استخراج العينات ذي الحافة القاطعة . أما في التربة الصخرية فيتم الحصول عليها بطريقة الحفر ألدوراني حيث يتم الحصول على عينة مستمرة على عمق الحفر بواسطة الجهاز نفسه .

د- عينات التربة من الأكوام وأماكن التخزين Stockpiles Samplin

في حالة وجود التربة على شكل أكوام في أماكن التخزين أو حول أماكن الحفر يجب أخذ العينات بحيث تكون ممثلة للأكوام حيث إن طريقة وضعها على شكل أكوام يساعد على تفرقة حبيبات التربة وتدحرج المواد الخشنة (Coarse Aggregates) إلى أسفل الكومة ، لذلك لابد من أخذ العينات من عدة أماكن متفرقة في الكومة مع ضرورة إزالة الطبقة العلوية من الكومة والتي تعرضت للعوامل الجوية ، أما في حالة أخذ العينات من الحفر والخنادق (Trenches) فيتم أخذ العينات من جانبي الحفرة ومن أسفلها ومن أماكن متفرقة . وعند ملاحظة وجود طبقات مختلفة للتربة فإنه يلزم أخذ عينات ممثلة لكل طبقة على حدة بنفس الطريقة السابقة مع أهمية تسجيل البيانات أولا بأول .

هـ- عينات الصخور Rock Sampling

عند استخراج عينات الصخور يتم استخدام الأجهزة الخاصة باستخراج عينات التربة بعد استبدال أجهزة الحفر بالصخور ، ويستحسن استشارة من له خبرة ومعرفة في جيولوجيا المنطقة وأنواع الصخور الموجودة لتحديد مدى قوة وتحمل الصخر ومدى الحاجة لأخذ عينات منه . وفي الصخور المتماسكة يتم أخذ عينات اسطوانية لإجراء تجارب الضغط عليها ، أما في حالة الصخر اللين والهش فيمكن استخراج العينات بعد حقنها بالإسمنت

لربط أجزاء الصخر مع بعضها ، ويمكن من خلال وضع الأسمنت في الحفر المتجاورة معرفة اتجاه وترتيب التشققات في الطبقات الصخرية .

3– تعبئة العينات the Samples Save

يفضل أن يتم تعبئة العينات في داخل أوعية يحكم إغلاقها مثل الأوعية البلاستيكية أو في أكياس من البلاستيك ، ومن ثم توضع داخل أكياس من النسيج مع الأخذ بنظر الاعتبار بعدم دكها عند إدخالها بالحافظة ، ومن المستحسن إملاء الوعاء بالعينة قدر الإمكان ، وفي حالة كون العينة من العينات المستمرة كعينات الصخور فيتم حفظها في علب ذات تقسيمات بأقطار مناسبة بحيث تحافظ على العينات دون ضغطها[9] .

أما في حالة استخراج العينات التي لها بنية فيجب حماية هذه العينات بطرق مناسبة من الجفاف أو من تغير حجمها أو انزلاقها في الوعاء ، وبالنسبة للعينات المأخوذة من التربة المتماسكة والمقطوعة على هيئة مكعبات ؛ فإنه يمكن أن تغطى العينات جيدا بطبقة أو أكثر من **الشمع** ، وتوضع كل عينة على حدة في غلاف خارجي له نفس أبعادها من الخشب أو ما شابهه لحمايتها أثناء النقل .

4– نقل وتخزين العينات Save & Transport the Samples

يستوجب على الجيولوجي المشرف بأخذ العينات وفي جميع الأحوال القيام بتسجيل البيانات التالية عند أخذ العينات :

أ– المعلومات العامة عن المشروع .

ب– الموقع العام مع إيضاحه على خرائط جيولوجية وطبوغرافية .

ج– رقم الحفرة وأبعادها .

د– تاريخ أخذ العينة وحالة الطقس .

هـ– عدد العينات وأماكن استخراجها .

و– طريقة أخذ العينات .

ز– المساحة أو الكمية التقريبية .

ح– منسوب المياه الجوفية في حالة اكتشافه .

ط– وصف عام للتربة .

ي– أية معلومات أو ملاحظات أخرى يراها من يقوم على أخذ العينات .

ويجب الأخذ بنظر الاعتبار عند نقل وتخزين العينات على ما يلي :

أ– ترقيم العينات والاحتفاظ بكافة البيانات التي تم كتابتها عند أخذ العينة مع وصف مبدئي لها .

ب– فصل العينات الصلبة عن الهشة .

ج– فصل الصخور الرسوبية عن النارية وعن المتحولة .

د– وضع العينات مع الحافظة في أرفف خشبية مخصصة لهذا الغرض ، وذلك للتأكد من وضعها في موضع رأسي وعدم تحركها أثناء النقل ، وتبقى على هذا الوضع حتى يتم استلامها من قبل المسؤول عن المعمل .

هـ– ويجب حماية العينات من أشعة الشمس والحرارة العالية ، وكذلك من التجمد .

و– حماية العينات أثناء النقل من الاهتزازات ومن تحطم حاويات العينات .

ز– يفضل إرسال العينات (قابلة للتفكك) إلى المعمل فور استخراجها وتخزينها في أماكن معتدلة الحرارة .

خامسا : تحديد منسوب المياه الجوفية

معظم المشاكل الفنية التي لها علاقة بالتربة تكون بسبب المياه الجوفية ولهذا يعتبر تحديد منسوب المياه الجوفية من الأعمال المهمة للدراسات الجيوتقنية (Geotechnic) خاصة

إذا كان منسوب المياه في نطاق تنفيذ الأساسات ، ويتم قياس منسوب المياه فور اكتشافها ، ثم تقاس يوميا عند بداية ونهاية يوم العمل وكذلك تقاس قبل ردم مكان الجسة ويتم تسجيل النتائج .

إذا تبين وجود تذبذب في منسوب المياه فإنه يجب معرفة متى وعلى أي عمق يحصل هذا التذبذب وما هي مناسيب الماء في بدايته ونهايته ، ويحدد منسوب المياه الجوفية بالمنسوب الذي يثبت سطح المياه الحر عنده ، ويترك فترة زمنية مناسبة للسماح للمياه بالارتفاع داخل ماسورة الجسة إلى المنسوب الأصلي للمياه الجوفية ، وتكون هذه الفترة عادة (24) ساعة للتربة متوسطة النفاذية ، أما التربة الضعيفة النفاذية كالتربة الطينية فتمتد هذه الفترة إلى عدة أيام أو أسابيع ، ويمكن أيضا تثبيت أنبوبة "بيزوميترية" في ثقب الجسة وملاحظة منسوب المياه الجوفية على فترات زمنية وتسجيل أية تغيرات والتأكد من المنسوب النهائي .

إذا حصل أثناء الحفر أن تم ثقب طبقة تربة حاجزة للمياه وكان أسفلها مخزون ماء طبيعي فلا بد من إعادة وضع هذه الطبقة إلى الوضع الأصلي بعد الانتهاء من عمل الجسات وأخذ العينات .

تؤخذ عينات من المياه الجوفية من أعماق مختلفة لإجراء التحاليل الكيميائية عليها ويفضل إرسال العينات إلى المعمل فور الحصول عليها ، ولا يمكن الاعتماد على العينات التي تم أخذها منذ مدة أطول (أكثر 24 ساعة) ، ويتم حمايتها من الحرارة والبرودة وأشعة الشمس أثناء النقل والتخزين ، وفي حالة وجود منسوب المياه الجوفية مرتفعا ويغطي مستوى الأساسات فلا بد من أن يحتوي تقرير الدراسة على التوصيات اللازمة للطرق الفنية لسحب المياه الجوفية أثناء عملية الحفر للأساسات والبناء وطريقة عزل الأساسات عن المياه .

خطوات الاختبارات المعملية Steps ofthe Laboratory Tests

تُعد الاختبارات المعملية العمود الفقري لمعرفة خصائص المواد وبناء الأفكار حول تحمل مواد الموقع وتأثير المواد المحيطة وتحديد حجم المشروع وكيفية التنفيذ ، ولذلك لابد من توضيح طريقة استخراج وحفظ ونقل العينات والآليات المستخدمة في ذلك ، وإجراء الاختبارات الضرورية حسب نوع التربة والحاجة القائمة لها ومن الاختبارات :

1- تحديد نسبة الرطوبة (Moisture Content) .
2- تحديد حدود اتربرج (Aterberg Test) .
3- التدرج الحبيبي (Granular Sieve Analyses) .
4- الوحدة الوزنية للتربة (Soil unit weight) .
5- الكثافة النسبية (Bulk Density) .
6- الوزن النوعي (Specific Gravity) .
7- اختبار الدمك (Compact Test) .
8- تحديد نسبة تحمل كاليفورينا California Bearing Ratio, (CBR)
9- اختبار القص المباشر (Direct Shear Test) .
10- اختبار الضغط ثلاثي المحاور (Try axial Test) .
11- اختبار الاندماج (Consolidation)
12- تحديد معامل نفاذية التربة (Permeability of the Soil)
13- اختبارات انهيارية أو انتفاخية التربة (Swelling or Settlement Soil) .
14- التحاليل الكيميائية (Chemical analyses) .

أولا : تحضير العينات Sample preparing

يتم تحضير العينات في المختبر على العينات المفككة (غير المحافظة على قوامها) بالطريقة التالية :

1- أخذ عينات لتحديد المحتوى المائي للعينات فور وصولها للمعمل .

2- وزن العينات وتسجيلها حسب الموقع والعمق .

3- تجفيف عينات التربة الواردة من الحقل بإحدى الطريقتين التاليتين :

أ- فردها في الخارج وتعريضها لأشعة الشمس والهواء حتى تجف .

ب- تجفيفها في فرن لا تزيد درجة حرارته عن 60 درجة مئوية .

ج- يتم تفتيت وتجزئة التربة المتحجرة باليد أو بأجهزة خفيفة مخصصة لذلك مع أخذ الحيطة والحذر بعدم الإضرار بالحجم الأصلي ثم تمزج التربة جيدا .

د- يتم تجهيز التربة الممثلة للاختبار وفقا لطريقة تجهيز العينات الموضحة أدناه .

هـ- وضع التربة الممثلة بالمناخل وحسب الأرقام والأحجام المطلوبة وحسب المواصفات القياسية .

ثانيا : طريقة التحضير Procedure of Sample Preparing

يتم تحضير التربة لإجراء الاختبارات المعملية حسب طريقة أخذ العينات إما عينة مفككة غير محافظة على قوامها أو مفككة محافظة على بعض قوامها وكما يلي :

1- عينات مفككة غير محافظة على قوامها

ويتم تحضير كمية التربة اللازمة حسب الطريقتين التاليتين :

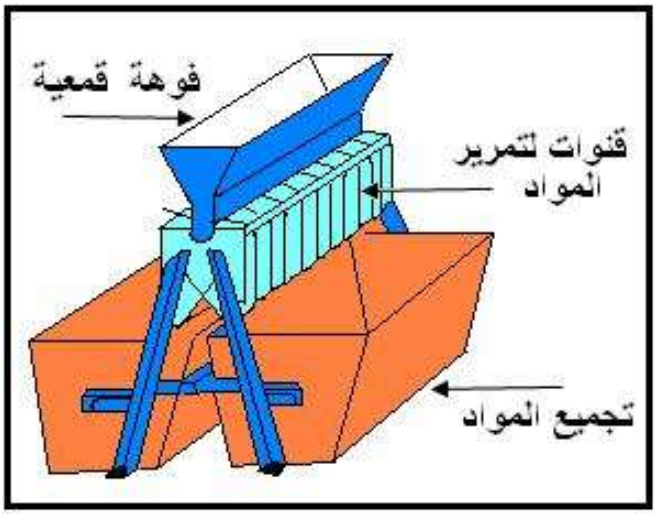
أ- استخدام صندوق التقسيم Riffle Box

وهو عبارة عن جهاز يحتوي على عدد من القنوات المائلة متساوية الفتحات ولا يقل عددها عن 8 قنوات عند استخدام التربة الخشنة أو 12 قناة عند استخدام التربة

الناعمة لتقسيم التربة إلى قسمين متكافئين ، ومزود بصندوقين لتجميع التربة المقسومة وإناء قمعي لتمرير التربة لقنوات التقسيم ، ويوضح الشكل (38) صندوق التقسيم وتتمثل طريقة التجهيز بتمرير التربة من خلال الإناء المخروطي بعد فردها بشكل منتظم وببطء شديد (حتى لا تتطاير حبيبات التربة الناعمة) للحصول على قسمين متكافئين كما في الشكل (38) . وتكرر العملية لأي قسم لحين الوصول إلى الكمية المطلوبة[01] .

ب– طريقة التربيع Quartering

وهي طريقة سهلة وتتمثل في فرد التربة على سطح نظيف ومستوى ، ثم تمزج التربة جيدا وتشكل على شكل كوم مخروطي باستخدام الأدوات اليدوية وتساوى التربة بسماكة منتظمة ، وتقسم إلى أربعة أقسام متساوية تقريبا ، ويستبعد منها القطرين المتقابلين ثم تمزج التربة المتبقية ، وتكرر العملية للحصول على الكمية المطلوبة ، ويوضح الشكل رقم (39) طريقة التربيع .



شكل 38 صندوق تقسيم العينة

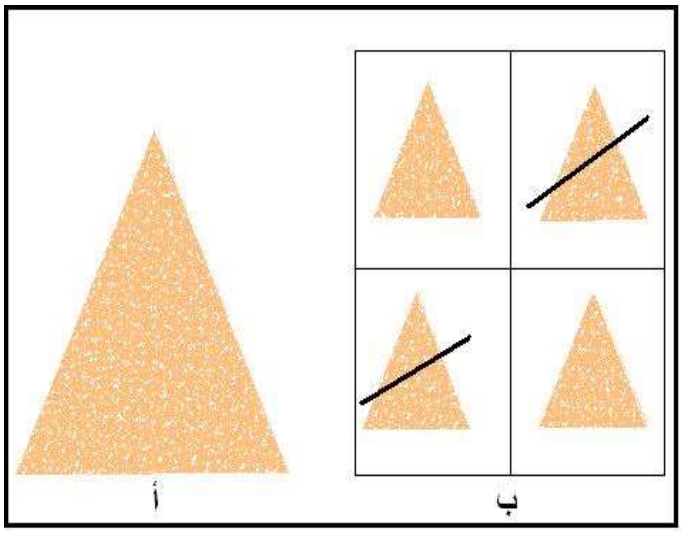
– العينات غير المقلقلة

أما في العينات الغير مقلقلة فيتم تجهيز العينات لإجراء الاختبارات المعملية عليها حسب نوع الاختبارات والمواصفة القياسية المتبعة في ذلك .

ثالثا : الاختبارات Tests

1– تحديد نسبة الرطوبة Water Content

يُعد تحديد نسبة الرطوبة في التربة اللزجة (Cohesive Soils) للنماذج من الاختبارات المهمة ومن المتطلبات الأساسية لتقارير من أجل معرفة كمية الماء التي تحتويها التربة الطبيعية وكذلك لتحديد حد السيولة (Liquid Limit) وحد اللدونة (Plastic Limit) المستخدمة لتصنيف التربة ، وتستخدم أيضا في تحسين خواص التربة ، وقد تم إيضاح طريقة حساب نسبة الرطوبة بالتفصيل في الفصل الثالث .



شكل 39 طريقة تربيع العينة

2– حدود أتربرج Atterberg Limits

قـام العـالم السـويدي " أتربـرج" بتحديـد أربعـة مـن حـدود التماسـك للتربـة اللزجـة وهـي السـيولة واللزوجـة والشـبه صـلبة والصـلبة ، واعتـبر أن الحـد الفاصـل بـين السـيولة واللدونة هو حد السيولة (Liquid Limit) والحد الفاصل بين اللدونة وشبه الصلبة هو حد اللدونـة (Plastic Limit) والحد الفاصـل بين شبـه الصلبـة والصلبـة هـو حـد الانكمـاش (Shrinkage Limit)[11] .

وبعـد اسـتخراج هـذه الحـدود بالاختبـارات الروتينيـة باسـتخدام الأجهـزة المخصصـة لذلك يتم إيجاد معامل اللدونة (Plasticity Index) والذي يستخدم في معرفة تصرف التربة (Soil Behavior) وكذلك في معادلات الربط لقوة تحمل التربة ومعرفة ما إذا كانت التربة انتفاخيـة أو انهياريـه . ويـتم أيضـا تحديـد معامـل السـيولة (Liquidity Index) والـذي مـن خلاله يمكـن الحكـم على ظـاهرة تميع التربة (Liquefaction of Soil) عندما يكـون دليل السيولة لها أكبر من واحد .

وبالإضـافة إلى مـا سـبق تستخدم حـدود (الانكمـاش ، السـيولة و حـد اللدونـة) في تصنيف التربة ومعرفة التغيرات الحجمية للتربة ، وفي ما يأتي شرح لهذه الحدود :

أ– حد الانكماش Shrinkage Limit

ويعريف حد الانكماش هو اقل محتوي مائي يمكن أن يتواجد في التربة بحيث إذا قل عنه لا يحدث أي تغيير في حجم التربة .

ب– حد اللدونة Plastic Limit

ويعرف **حد اللدونة** بأنه المحتوي المائي الذي يمكن من خلاله فتل التربة إلي خيط رفيع قطره (8/1 بوصة) وذلك بعد اخذ (10 جم) من التربة وتكويرها ثم دحرجتها على

سطح مصقول حيث تفقد جزءا من رطوبتها إلى أن يظهر بعض الشقوق في ذلك الخيط عندها يتم حساب محتوي الرطوبة الذي هو يمثل في تلك الحالة **حد اللدونة** .

معامل اللدونة = الفرق الحسابي بين حد اللدونة وحد السيولة

ج– السيولة Liquid Limit

ويمكن شرح طريقة تحديد حد السيولة للتربة من خلال إتباع الخطوات التالية :

1- تؤخذ العينة المارة من منخل رقم 40 حيث لا يجوز تجفيف العينة في الفرن لان ذلك يؤدي الي حدوث تغيير في قيم حدي السيولة واللدونة .

2- يتم وزن عينة التربة 100 جم ويتم وضعه في طبق التجفيف ويضاف قليلا من الماء المقطر ثم يتم التقليب جيدا بواسطة سكينة (spatula) للحصول على عجينة .

شكل 40 يبين جهاز تحديد حد السيولة

3- يتم التأكد من ضبط جهاز كازاجراند (Gaza grand) كما في الشكل (40) وضبط المسافة الرأسية للسقوط المقدرة بحوالي 1 سم مع ضبط مسامير ذراع الحركة إذا كانت الحركة يدوية .

4- يتم نقل جزء من التربة الرطبة إلي الطبق البورسليني الملحق بالجهاز ويفضل ألا يزيد عمق التربة في الطبق عن (1 سم) ويتم تخزين الباقي .

5- يتم تسوية سطح التربة الموجودة في الطبق البورسليني بواسطة السكينة بحيث يكون سطحه موازيا لسطح الصحن .

6- يتم إحداث شق في منتصف العينة (شق طولي) بواسطة آلة إحداث الشق .

7- يتم تشغيل الجهاز (كهربائي أو يدوي حسب توفر النوع) ويتم **تسجيل عدد** الضربات التي تلزم لإحداث التئام الجزأين المفصولين في الصحن .

8- يضاف جزء آخر من المعجون بنفس الرطوبة إلى الصحن وتضاف كمية أخرى من الماء وتعاد العملية ويتم **تسجيل عدد** الضربات التي تلزم لإحداث التئام الجزأين المفصولين في الصحن ونرى في كل مرة تضاف كمية من الماء تقل عدد ضربات الالتئام .

9- يتم تكرار العملية ثلاث إلى أربع مرات .

10- يتم أخذ (10 جرام) من العينة ويتم حساب محتوى الرطوبة مباشرة وبالطرق التي سبق شرحها .

11- يضاف كمية من الماء المقطر إلى العينة الأخيرة ويخلط مرة أخرى وتحسب نسبة الرطوبة من جديد وتعاد التجربة ، ونستنتج أن رطوبة التربة تزيد في كل محاولة وتقل عدد الضربات لغرض الالتئام .

12-يرسم منحني العلاقة على ورق لوغاريتمي بين عدد الضربات والرطوبة ، وتُعد نسبة الرطوبة المقابلة لعدد الضربات 25 تساوي حد السيولة (**Liquid Limit**) .

3- التدرج الحبيبي للتربة Grain Size Distribution

يستخدم اختبار التدرج الحبيبي (الميكانيكي) في تصنيف التربة عن طريق التحليل المنخلي لها (Sieve Analysis) باستخدام المناخل التي تتراوح فتحاتها من (100 مم – 0.075 مم) حسب المواصفات الأمريكية ومقياس الثقل النوعي (Hydrometer) للتربة التي تمر خلال منخل رقم (200) ورسم منحنى التدرج ، ومنه تحديد نسب المواد المكونة للتربة والتي من أهمها نسبة المواد الطينية .

4- الوحدة الوزنية للتربة Unit Weight

يتم إيجاد الوحدة الوزنية للتربة اللزجة في المعمل بطريقة الإزاحة ، وذلك بقطع كتلة من التربة لمقياس معين ووزنها ثم وضعها في إناء لتحديد الحجم ومعرفة كمية الماء المطلوبة لملء الإناء حسب المعادلة التالية :

$$\text{الوحدة الوزنية للتربة} = \frac{\text{وزن عينة التربة}}{\text{حجم الاناء}-\text{حجم الماء المتبقي في الاناء}}$$

وتستخدم الوحدة الوزنية في حساب ضغط حمل التربة (Overburden Pressure) المستخدم في حساب مقدار انضغاط التربة وتحديد الضغط الجانبي للحوائط الاسنادية ومعامل الاحتكاك للأعمدة .

5- الكثافة النسبية Bulk Density

وتسمى أيضا بدليل الكثافة (Relative Index) وتستخدم الكثافة النسبية عادة للتربة المفككة عن طريق تحديد نسبة الفراغات الطبيعية والصغرى والكبرى (Void Ratios) للتربة ولصعوبة تحديد نسبة الفراغات في التربة فإنه يتم حساب الكثافة النسبية كما يلي :

$$\text{الكثافة النسبية} = \frac{(\text{الكثافة القصوى} - (\text{كثافة التربة في الحقل} - \text{الكثافة الصغرى})}{(\text{كثافة التربة في المعمل} - \text{الكثافة الصغرى})(\text{الكثافة القصوى} -}$$

وتستخدم الكثافة النسبية في حساب نسبة الدك ولتقدير قوة تحمل التربة ، كما تستخدم في حساب قوة تميع التربة تحت أحمال الزلازل .

6- الوزن النوعي Specific Gravity

يستخدم الوزن النوعي في حساب نسبة الفراغات في التربة عند معرفة نسبة الرطوبة ووحدة الوزن ، وهذا الاختبار من الاختبارات الصعبة نظرا لتقاربها والتي يمكن الاستعاضة عنه باستخدام القيم الموضحة في الجدول (14) :

جدول 14 الوزن النوعي لأنواع التربة

نوع التربة	الوزن النوعي
ركامية	2.65 – 2.68
رملية	2.65 – 2.68
طمبية	2.62 – 2.68
طينية عضوية	2.58 – 2.65
طينية غير عضوية	2.68 – 2.75
التربة العضوية	أقل من 2

وفي العادة تكون قيمة الوزن النوعي (2.67) للتربة المفككة و (2.70) للتربة الطينية غير عضوية .

7- اختبار الدمك Compaction (Proctor) Test

يتم في اختبار الدمك تحديد العلاقة بين الوحدة الوزنية الجافة للتربة ونسبة الرطوبة ومن ثم تحديد الوحدة الوزنية الجافة العظمى (Maximum Dry Unit Weight) ونسبة الرطوبة القصوى (Optimum Moisture Content) للتربة باستخدام طريقتين حسب اختبار "بروكتر" وذلك من أجل تحديد الطاقة التي تتعرض لها التربة في الدمك في المعمل لتمثيلها على الطبيعة باستخدام أدوات ومعدات الدك المختلفة ، والطريقتين المستخدمتين للدمك هما :

1- اختبار بروكتر القياسي Standard Proctor Test

2- اختبار بروكتر المعدل Modified Proctor Test

ويمثل الجدول (15) الفرق بين الأدوات المستخدمة في الطريقتين :

جدول 15 الادوات المستخدمة في اختبار الدمك

القالب Mould	Standard القياسي		Modified المعدل	
	4" قالب	6" قالب	4" قالب	6" قالب
القطر (ملم)	101.60	152.4	101.60	152.4
الطول (ملم)	116.43	116.43	116.43	116.43
الحجم ($سم^3$)	944	2124	944	2124
وزن المطرقة (نيوتن)	24.5	44.5	24.5	44.5
عدد الضربات	25	56	25	56
عدد الطبقات	3	3	5	5
ارتفاع المطرقة (ملم)	305	305	457	457

8– تحديد نسبة تحميل كاليفورني California Bearing Ratio (CBR)

وهـو قيـاس الحمـل الـلازم لغـرز إبـرة ذات قطـر معـين وبسـرعة في عينـة التربـة بمعرفـة المحتوى المائي والكثافة ، ويعطي الاختبار معلومات عن مدى انتفاخ التربة ومقدار القوة المفقودة للتربة عندما تكون التربة مشبعة بالماء كما تعطي نسبة التحمل لكاليفورنيا تصورا عـن تصـرف التربـة تحـت الإسـفلت (مـواد الأسـاس) ويمكـن عمـل الاختبـار في الحقـل أو في المعمل ، ويوضح الجدول (16) بعض القيم لنسبة التحمل[12] :

ويتم استخدام القيم القياسية الموضحة في الجدول (17) لتحديد مقدار الاختراق القياسي باستخدام وحدات وزنية مختلفة ، وقد أوضحت التجارب أن تكون نسبة الحمل إلى مقدار الاختراق في المرحلة الأولى (2.5ملم) أكبر من المرحلة الثانية (5.0ملم) وفي خلاف ذلك يجب إعادة التجربة .

9– اختبار قوة قص التربة Soil Shear Strength Tests

أ– اختبار قوة القص المباشر Direct Shear

يستخدم هذا الاختبار غالبا للتربة الرملية ، ويحتوي الجهاز على صندوق القص المقسوم إلى قسمين علوي وسفلي لوضع عينة التربة فيه وأداة قياس الأحمال الأفقية وأداة

جدول 16 قيم نسبة تحمل كاليفورنيا

نظام آشتو AASHTO	مجال الاستخدام	تصنيف المواد	نسبة التحمل CBR
A5, A6, A7	الطبقة الأرضية	ضعيفة جدا	0 – 3
A4, A5, A6, A7	الطبقة الأرضية	ضعيفة	3 – 7
A2, A4, A6, A7	تحت الأساس	مقبولة	7 –20
Alb, A5 –2, A3, A6-2	أساس وتحت الأساس	جيدة	20 – 50
Ala, A4-2, A3	أساس	ممتازة	أكبر من 50

جدول 17 يبين مقدار الاختراق القياسي

مقدار الاختراق (ملم)	وحدة الوزن القياسية (ميجا باسكال)
2.5	**6.9**
5.0	**10.3**
7.5	**13.0**
10.0	**16.0**
12.7	**18.0**

أخرى لقياس مقدار الإزاحة ، ويوضح الشكل (41) الجهاز المستخدم في ذلك ، ويتم الاختبار بزيادة الأحمال وتسجيل مقدار الإزاحة . ومن خلال هذه المعلومات يتم حساب مقدار قوة القص (Shear Strength) وزاوية الاحتكاك (Angle of Internal Friction) والتماسك (Cohesion) .

ب– اختبار الضغط غير المقيد Unconfined Compression

يعتبر هذا الاختبار من أسهل وأرخص الاختبارات لتحديد قوة قص التربة ، ويتم وضع عينة التربة الاسطوانية بطول يعادل (2.5) من قطر العينة بجهاز الضغط ، ثم يتم تحميلها بقوة ضغط رأسي ، ويتم تسجيل الضغط والإجهاد الذي تنكسر فيه العينة وهو قوة ضغط التربة (q) ومنه يتم تحديد مقدار التماسك ($C = \frac{q}{2}$) ويستخدم هذا الاختبار للتربة المتماسكة ويوضح الشكل (42) جهاز الاختبار .

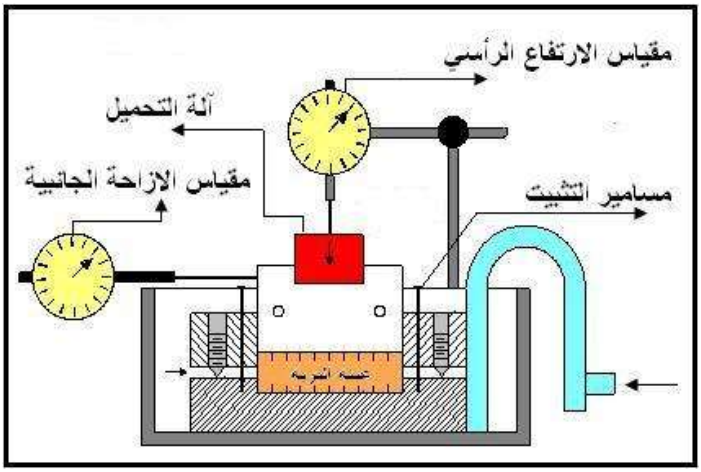
10– اختبار الضغط ثلاثي المحاور Triaxial Compression

يتم عمل هذا الاختبار بطريقة مشابهة لاختبار الضغط غير المقيد ماعدا أن الضغط هنا مقيد عن طريق إدخال العينة في خلية مغلقة ، وتكون النموذج محاطة بغشاء مطاطي ويتم إدخال الهواء أو الماء المضغوط على النموذج ، ثم يتم تحميل النموذج رأسيا حتى ينكسر ، ويسجل مقدار الضغط الرأسي والضغط الجانبي الثابت ، ويتم تكرار الاختبار

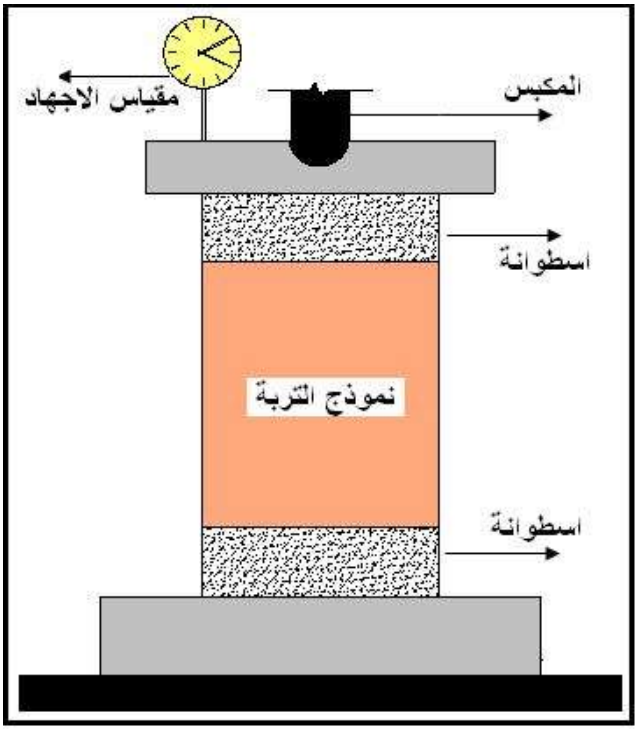
بوضع عينة أخرى وزيادة الضغط الجانبي . ومن نتائج الاختبار يتم رسم دائرة "موهر" ومنها يتم تحديد زاوية الاحتكاك ومقدار تماسك التربة .

11- اختبار الاندماج Consolidation

يهدف الاختبار إلى تحديد مقدار الهبوط والوقت الذي يستغرقه وذلك بوضع عينة التربة في حلقة معدنية ووضع اسطوانة مسامية على أعلى وأسفل الحلقة لتسمح بمرور الماء من خلالها ، ثم توضع في جهاز الاختبار ، ويتم تحميل العينة وتسجيل مقدار الضغط والوقت حتى توقف الهبوط ، وعادة يتم ذلك في خلال (24) ساعة من بداية الاختبار ، ويتم رسم ذلك بيانيا ، وتكرر العملية بمضاعفة الضغط وهكذا حتى يصل الضغط إلى درجة أعلى من الضغط الذي سينتج عن احمال المباني على التربة ، ومن الرسم البياني يتم تحديد معامل الاندماج (Coefficient of Consolidation) الذي يستخدم في تحديد مقدار الهبوط والوقت اللازم للحصول عليه باستخدام معادلات تحديد الهبوط .



شكل 41 جهاز اختبار قوة القص المباشر



الشكل 42 جهاز اختبار الضغط غير المقيد

12- تحديد معامل نفاذية التربة Permeability

ويستخدم في ذلك جهاز النفاذية (Permeability) عن طريق اختبارين هما :

أ- اختبار المستوى الثابت Constant Head Test

ب- اختبار المستوى المتغير Falling Head Test

ومن هذين الاختبارين يتم تحديد معامل النفاذية (k) ، ويمكن استخدام جهاز الاندماج أو جهاز الضغط ثلاثي المحاور لتحديد هذا المعامل أيضا ، ويمكن التأكد من صحة معاملات النفاذية المستخرجة بمقارنتها بالقيم المتعارف عليها لأنواع التربة المختلفة .

13- اختبار انهيارية أو انتفاخية التربة Collapse Test & Swelling

أ- التربة الانتفاخية

يُعد هذا الاختبار من الاختبارات السهلة التي يمكن من خلالها تحديد الانتفاخ الحر (Free-Swell Test) للتربة عن طريق وضع (10 سم^3) من التربة الجافة المارة من خلال منخل رقم (40) ببطء شديد إلى إناء مدرج لـ (100سم^3) وملئه بالماء وملاحظة حجم التربة حتى يثبت ، ويتم تحديد مقدار الانتفاخ بالمعادلة التالية :

$$\text{الانتفاخ الحر}(\%) = \frac{(\text{الحجم المتغير} - \text{الحجم الاصلي})}{\text{الحجم الاصلي}}$$

وتُعد التربة التي لها قيمة الانتفاخ الحر (100٪) أو أكثر من التربة الانتفاخية التي قد تسبب أضرارا للمباني ، وهناك عدة اختبارات معملية يستخدم فيها جهاز الأوديوميتر لمعرفة مقدار ضغط الانتفاخ (Swelling Pressure) وتجري على عينات من التربة محافظة على قوامه ، وهذه الاختبارات مشابهة لاختبارات الاندماج ، وتتمثل في وضع عينات من التربة يبلغ ارتفاعها (20 – 25 ملم) وقطرها من (50 – 100 ملم) في الأوديوميتر ، ويتم تحميل العينة وغمرها بالماء وملاحظة نسبة الانتفاخ . وفي بعض الاختبارات يتم التحكم في حجم العينة بحيث يكون ثابتا ويحدد الضغط الرأسي (ضغط الانتفاخ) الذي عنده يكون التغير في الحجم مساويا لصفر . كما يقاس حجم الانتفاخ عن طريق اختبار تحديد نسبة كاليفورنيا .

ب- التربة الانهيارية

هناك نوعان من الاختبارات المعملية التي يمكن من خلال نتائجهما التعرف على ما إذا كانت التربة انهيارية أم لا وهما :

1- اختبار الانهيار الأحادي Single Odometer Collapse

2- اختبار الانهيار الثنائي Double Odometer Collapse

14- التحاليل الكيميائية Chemical Testing

أ- تحديد نسبة الكبريتات Sulfate Content

وتعد من الاختبارات المهمة في تحديد نسبة الكبريتات المذابة في التربة والمياه الجوفية . تكون الكبريتات الذائبة في الماء والتي تتواجد عادة في التربة على شكل كبريتات الصوديوم (Na_2SO_4) وكبريتات المغنيزيوم ($MgSO_4$) . وتوجد كبريتات الكالسيوم ($CaSO_4$) على شكل جبس (Gypsum) ، ويعبر عن نسبة الكبريتات الموجودة في التربة عادة من خلال إيجاد نسبة ثالث أكسيد الكبريت (Sulphur trioxide) فيها .

وتكمن خطورة الكبريتات الذائبة في المياه الجوفية في مهاجمتها للخرسانة . ويجري التفاعل بين الكبريتات ومركبات الألومينات (Aluminate compounds) الموجودة في الاسمنت مما يتسبب في حدوث تبلور لهذه المركبات يؤدي إلى تمددها ، وتنشأ عنه إجهادات إضافية تتسبب في حدوث تشققات وتفتت . كما أن وجود الكبريتات في التربة التي تحيط بالأنابيب المعدنية المطمورة يؤدي إلى صدأ هذه الأنابيب (Corrosion) ، مما يتسبب في حدوث التسرب (Leakage) .

ويفيد تحديد نسبة الكبريتات في التربة في تقدير حجم الضرر الذي قد ينجم عنها ، وذلك لاتخاذ ما يلزم من احتياطات مضادة ، مثل استخدام الاسمنت من النوع المقاوم للكبريتات (Sulphate resisting cement) .

ب- تحديد نسبة الكلوريدات Chloride Content

يتم عمل اختبار تحديد نسبة كلوريدات الصوديوم والمغنيسيوم والكالسيوم المذابة في التربة .

ج- الأس الهيدروجيني PH

هي سالب لوغاريتم تركيز أيون الهيدروجين في محلول ما ويشير إلى درجة حموضة ذلك المحلول ، ويمكن قياسه عن طريق مؤشر الأس الهيدروجيني .

ويرمز لها بالرمز pH وهي القياس الذي يحدد ما إذا كان السائل حمضا أم قاعديا أم متعادلا . تعتبر السوائل ذات درجة حموضة أقل من (7) أحماض ، أما إذا كانت درجة السوائل أعلى من (7) تعتبر محلولا قلويا أو قاعدية . بينما درجة الحموضة (7) فهي تعتبر متعادلة وهي تساوي حموضة الماء النقي في درجة حرارة (25 مئوية) . ويمكن معرفة درجة حموضة أي محلول باستخدام مؤشر الأس الهيدروجيني . تؤثر الأحماض (Acid) على الخرسانة وتسبب أضررا كبيرة ويعود ذلك إلى أن مونة الاسمنت (Paste) هي قلوية بدرجة كبيرة وبالتالي إذا زاد تركيز الأحماض (PH < 7) يزداد تأثير الأحماض على الخرسانة فيما إذا حدث تغلغل للأحماض داخل الخرسانة من خلال الشقوق (Cracks) ويؤدي ذلك إلى صدأ حديد التسليح وبالتالي سيزداد حجمه مما يولد ضغطا على الغطاء الخرساني (Cover) ومن ثم سقوطه وهذا يؤدي إلى تلف الخرسانة من خلال تفاعله مع مركبات الكالسيوم في الخرسانة .

د- محتوى المواد العضوية

تتنوع المركبات العضوية التي قد توجد في التربة تنوعا كبيرا تبعا لتنوع مصادرها ، فالمواد العضوية في التربة تتشكل من مخلفات الحيوانات والمزارع . وأما تأثير وجود هذه المواد العضوية على سلوك التربة فهو سلبي ويمكن تلخيصه كما يلي :

1. يؤدي إلى انخفاض قيمة قدرة تحمل التربة .
2. يؤدي إلى ازدياد انضغاطية التربة .

3. يؤدي إلى ازدياد احتمالات الانتفاخ (Swelling) والتقلص (Shrinkage) بسبب التغير في محتوى الرطوبة .

مصادر الفصل الرابع

1- عـدنان باقـر النقـاش ، محمـد يوسـف ، عمـر حسـين شـريف (1990) : أساسيات علـم الجيولوجيا ، مركز الكتب الأردني . عمان / الأردن .

2- تاربوك/ لوتجينز ، ترجمة عمر سليمان حمودة ، البهلول علي اليعقوبي ، مصطفى جمعة سـالم (1984) : الأرض مقدمـة للجيولوجيـا الطبيعيـة ، مطبوعـات الجامعـة العلميـة المحدودة ، فاليتة ، مالطا . ص 139 .

3- ن . دنكان ، ترجمة كنانة محمد ثابت ، محمد علاء الدين وزهير رمو فتوحي (1980) : الجيولوجيا الهندسية وميكانيكية الصخور ، منشورات جامعة الموصل ، العراق .

4- محمـد بـن عبـد الغـني مشـرف (1987) : أسـس علـم الرسـوبيات ، عمـادة شـؤون المكتبات ، جامعة الملك سعود ، الرياض ، المملكة العربية السعودية .

5- David Georg Price (2009): Engineering Geology Principle &Practice, Edited and Complied by M . H . Freitas . LondonSW7 2AZ United kingdom, pp134.

6- Van Tyne, A. M. (1997): Subsurface Investigation of the Claredon-Linden structure, Western New York Geological Survey, Open-File Report.

7- www.Faculty.ksy.edu.sa/yousef.

8- www.geotechdata.info/geotest/vane-shear-test.

9- www.geotechdata .info/geotest/vane-shear-test.

10- http://www .arab-eng .org/vb/showthread.php.

11- Supine Pens, Jincui Zhang (2007): Engineering Geology For Underground Rocks, Springer Berlin Heidelberg, New York. p75.

12- Tony Waltham (2009): Foundation of Engineering Geology, published by Taylor & Francis, 270 Madison Avenue, New York.

الفصل الخامس
الميـــــــاه الجوفيـــة

أسـهمت الميـاه طـوال المسـيرة الإنسـانية في ظهـور الحضـارات وتقـدمها لمـا يشـكله المـاء مـن حالـة اسـتقطاب للأفـراد والجماعـات والـتي مهـدت لإقامـة المجتمـع وار سـاء أسسه وإيجاد اللبنة الأولى لقيامه من خلال إقامة التجمعات السكانية بالقرب من الموارد المائيـة الطبيعيـة ، ولم تتوقـف حاجـة الإنسـان للميـاه عنـد الاسـتخدام الشخصـي للمـاء أو التجمع بل تعدته لتشمل كل مجالات الحياة في النقل والزراعة والصناعة وتربية الحيوانات وغيرها .

إن الحضارات العظيمة التي قامت في العراق ومصر مثلا وعلى مر التاريخ الطويل قد اعتمدت على المياه بدرجة كبيرة وخاصة في بناء حضاراتهم على نهري دجلة والفرات في العراق وعلى نهر النيل في مصر .

تغطي المياه ثلاثة أرباع الكرة الأرضية ؛ ولكن بالرغم من ذلك فإن الصالح منها للاستخدام يبقى قليلا ، وتشكل البحار والمحيطات 97% من حجم هذه المياه ، بينما تشكل الطبقات الجليدية 2 % ، ولم يبقى سوى 1% صالح للاستخدام ، وتشمل هذه النسبة الأخيرة الأمطار والمسطحات المائية والتي يحتاجها الإنسان في تلبية حاجاته إلى الشرب والري وفي الكثير منن الصناعات .

تتفاوت كمية المياه المخزونة تحت سطح الأرض من مكان إلى آخر ، وتعتمد على الكميات المتوفرة أصلا وعلى مياه التغذية التي تتسرب إلى باطن الأرض خلال جزيئات التربة أو الفجوات أو الشقوق الموجودة في الصخور والتكاوين الجيولوجية .

تعريف المياه الجوفية Ground Water

هي المياه التي تتجمع سواء في المناطق المشبعة أم غير المشبعة مائيا في خزانات المياه الجوفية الرئيسة تحت سطح الأرض أو في مسامات وشقوق الصخور عبر ازمنة مختلفة أو في الفراغات والشقوق بين الصخور وحبيبات التربة والرمل والحصى[1] ، تنتقل المياه فيها ببطء بينما تنتقل المياه السطحية وتدفق بسرعة اكبر . ويعتمد معدل تدفقها على نوعية ومسامية ونفاذية التربة ، فمثلا تتحرك المياه بسرعة في التربة والصخور ذات النفاذية العالية ، بينما تكون الحركة بطيئة في الطبقات الطينية ذات النفاذية القليلة .

وقد كان من المسلم به مدة طويلة أن مصدر المياه الجوفية هو البحار والمحيطات التي يتحول ماؤها المالح إلى مياه عذبة أو أقل ملوحة نتيجة مسارها الطويل في قنوات وفوهات أرضية تحت تأثير ضربات الأمواج . وقد ثبت أن أصل المياه الجوفية هو المياه السطحية سواء أكانت هذه المياه طبيعية مثل الأمطار والأنهار والبحيرات أم ناتجة من تدخل الإنسان ، مثل المياه المتسربة إلى الأعماق أثناء الري .

حركة المياه الجوفية

تسيل المياه وتندفع إلى الأسفل بفعل الجاذبية مكونة الأنهار والبحيرات ، وجزء من هذه المياه يتسرب إلى باطن الأرض مكونة المياه الجوفية والجزء الآخر يتبخر مع ارتفاع درجة الحرارة بينما يتجه الجزء الباقي نحو البحار والمحيطات بالجريان السطحي .

تعتمد حركة المياه الجوفية وسرعتها بشكل رئيسي على عوامل عديدة منها :

1- نفاذية الصخور التي تعتمد على التركيب الجيولوجي في باطن الأرض .

2- الانحدار أو الميل الهيدروليكي الذي يعتمد على طبوغرافية الأرض .

تخضع دراسة حركة سوائل القشرة الأرضية لقوانين ومقتضيات مختلفة ، ويعود ذلك إلى اختلاف الأوساط تحت القشرة الأرضية ، حيث أن الأوساط التي تتحرك فيها المياه الجوفية هي أوساط مسامية ذات شقوق ، وهي غير متشابهة وغير متجانسة ؛ لذلك فإن نوع الجريان وشكله وسرعته تتغير حسب الوسط .

تكون حركة المياه الجوفية إما مستمرة أو غير مستمرة وتتغير سرعة الجريان مع الزمن ، وتصنف الجريان في نظامين :

1- نظام الجريان ألصفائحي (الجريان المنتظم) .

2- نظام الجريان المضطرب (غير المنتظم) .

إن حركة المياه الجوفية في الوسط المسامي غالبا ما يكون صفائحيا حيث تكون جزيئات السوائل فيه على شكل خطوط متوازية فيما بينها وغير متداخلة وعلى شكل صفائحي ، على خلاف الجريان المضطرب الذي تكون فيه جزيئات السوائل غير منتظمة ومتداخلة وذات سرعة كبيرة ويتغير اتجاهها مع الزمن ولكن متوسط سرعتها يكون ثابتا .

تكون سرعة المياه الجوفية عموما بطيئة في الجريان الصفائحي . وقد وضع العالم هنري دارسي Darcy عام 1856 قانونا يعبّر عن هذا النوع من الجريان ، وغالبا ما تمثل نفاذية الصخور بالملي دارسي لأن الصخور الموجودة في خزانات ماء وبترول غالبا ما تكون لها نفاذية في مدى (5 إلى 500 مللي دارسي) ، وهو جزء بسيط جدا من الدارسي .

إن وحدة قياس ألدارسي أو مللي دارسي هي وحدة قياس لنفاذية التربة . ولا تُعد ألدارسي من ضمن نظام الوحدات الدولية ولكنها تستخدم على نطاق واسع في هندسة البترول والجيولوجيا كسائر الوحدات المستخدمة في قياس نفاذية التربة .

يشمل وحدة الدارسي عددا من وحدات القياس المختلفة فمثلا الوسط ذو نفاذية (1 دارسي) يسمح بسريان قدره (1 سم^3/ثانية) لمائع لزوجته (1 سنتي بواز في الثانية)

تحت (1 ضغط جوي/سم) في مقطع مساحته (1 سم^2) .علما بأن المللي دارسي يساوي (0.001 دارسي) .

يأتي هذا المزيج الغريب من الوحدات من دراسات هنري دارسي عن سريان الماء خلال أعمدة من الرمال . لزوجة الماء (1.0019) سنتي بواز تقريبا في درجة حرارة الغرفة . ولتحويل وحدة الدارسي إلى نظام الوحدات الدولية يتم استخدام التحويل التالي :

واحد دارسي = 9.869233 × 10^{-13} متر^2 أو

واحد دارسي = 0.9869233 ميكرومتر^2 . غالبا ما يقرب هذا الرقم إلى 1 مايكرو متر^2

عندما نقيس النفاذية نعني بقياس قدرة الموائع على السريان بين الصخور (أو أي وسط ذي درجة نفاذية أخرى) والتعبير الرياضي لقانون دارسي هو :

$$v = \frac{\kappa \Delta P}{\mu \Delta x}$$

حيث :

- v : معدل سريان المائع في الوسيط .
- κ : نفاذية الوسيط .
- μ : اللزوجة الديناميكية للمائع .
- ΔP : فرق الضغط .
- Δx : سمك الوسط (فرق الارتفاع)[2] .

وبما أن حركة المياه الجوفية وسرعتها هي أقل بكثير من سرعة المياه السطحية ، إذن نستطيع أن نستنتج بان حركة المياه الجوفية وسرعتها تعتمد اعتمادا كليا على نفاذية الصخور والميل الهيدروليكي كما في الشكل (43) أي أن سرعة المياه الجوفية تتناسب تناسبا طرديا مع نفاذية الصخور والميل الهيدروليكي (الانحدار) ،كما في الشكل (43) وقد تم قياس سرعة

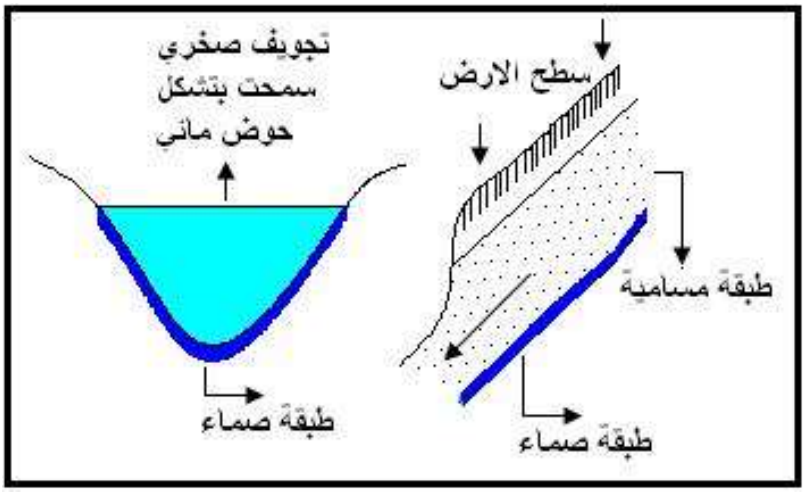
الجريان هذه بواسطة الأجهزة الكهربائية وبواسطة الأنابيب البيزومترية فوجدت أنها لا تزيد عن (35 م) في اليوم خاصة في التربة الخشنة التي ترسبت في قاع الأنهار ، أما في الأراضي ذات الانحدارات الخفيفة ، فإن السرعة لا تتجاوز (3 – 4 م) في اليوم[3] .

مكامن المياه الجوفية Aquifers

تسمى أيضا بالطبقات الحاملة للمياه (Aquifers) أو خزانات المياه الجوفية وهي صخور مسامية منفذة لدرجة تسمح بمرور الماء فيها وخزنه ثم السماح بحركته وخروجه مرة اخرى بكميات اقتصادية وهنا لابد من الإشارة إلى أن الطبقات قد تكون مسامية ولكن غير منفذة مثل الطين الذي يحتوي على مسامية عالية و نفاذيته قريب من الصفر .

أهم مكونات الطبقات الحاملة للمياه

يمكن وصف الطبقات الحاملة للمياه كما يلي :



شكل 43 يبين تأثير الانحدار على سرعة الجريان

1- يُعد الحصى والرمل الموجود في رواسب طبقات الانهار القديمة ورواسب الوديان والسهول الساحلية والرواسب الثلجية هي اكثر المواد الشائعة والتي تشكل طبقات حاملة للمياه الجوفية .

2- الصخور الرسوبية (Sedimentary Rocks) مثل الطفلة (Shale) والحجر الجيري الصلب (Limestone) غير المتشقق وخالٍ من الفواصل تسمح بتشكيل طبقات جيدة حاملة للمياه وهذه الشروط تنطبق على الصخور النارية والمتحولة .

3- الصخور البركانية مثل اللافا والبازلت تشكل خزانات مياه جوفية جيدة إذا احتوت على مسامية متصلة من الحمم البركاني التي تحتوي على الفجوات الناتجة من تطاير الغازات تاركة اماكنها فارغة وبذلك تتكون تجاويف فارغة ، وإذا كانت هذه الفجوات متصلة عندئذٍ تشكل خزانات جيدة للمياه الجوفية ، وفي ما يأتي اهم الخزانات الجوفية :

أ- الخزانات الجوفية الحرة Unconfined Aquifers

تعرف السطح العلوي لهذه الخزانات بمستوى الماء الجوفي ، والطبقة التي تعلو هذا الخط في هذا النوع من الخزانات تكون نفاذة ، مع العلم بأن خط مستوى المياه ليس خطا مستقيما وإنما يتبع طبوغرافية سطح الأرض وتذبذب مستوى الماء بين الارتفاع والانخفاض تبعا لظروف التغذية والاستغلال[4] .

أما القواعد السفلى لهذا الخزان تتكون من طبقة صماء أو شبه صماء ولكن بنافذية أقل من الخزان الجوفي نفسه ، ومن الأمثلة على هذا النوع من الخزانات تلك التي تكثر وجودها في الوديان الطمية والسهول والكثبان الساحلية والرواسب الثلجية .

ب–خزانات المياه الجوفية المقيدة أو الحبيسة Confined Aquifers

هي الخزانات التي تكون المياه فيها متواجدة بين طبقتين من الصخور الصماء أو شبه الصماء في الحدين الأعلى والأسفل مثل تواجد طبقة رملية بين طبقتين من الطين والطفلة أو الحجر الجيري الصلب ، ويتغذى هذا النوع من الخزان عن طريق الرشح (Percolation) لمياه الأمطار .

ج–الخزان شبه المقيد Semi confined

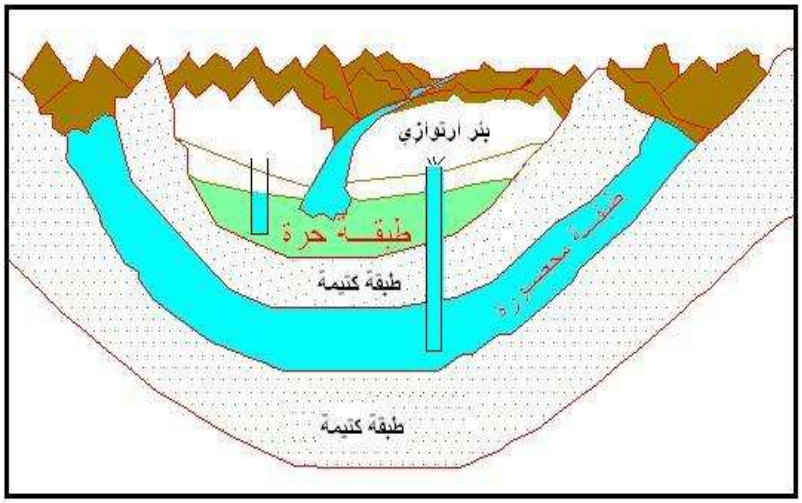
وتتشكل هذا النوع من الخزانات عندما يكون الخزان محصورا بين طبقة أو طبقتين شبه الصماء كما في الشكل (44) .

إذا كانت الطبقات الحابسة صماء تماما من الأعلى والأسفل سميت هذه الطبقات الصماء (Aquiclude) ، أما إذا كانت الطبقات الحابسة من نوع شبه الصماء تسمح بمرور المياه عموديا أو راسيا من والى الخزان الجوفي الشبه المقيد سميت بالطبقة الحابسة شبه الصماء (Aquitard) .

وإذا كانت الطبقات والتكوينات الصخرية التي لا تحتوي على المياه الجوفية على الإطلاق أي أنها لا يمكن أن تختزن أو تمرر المياه من أي اتجاه سميت بالطبقات الصماء الرافضة (Aquifuge) .

مظاهر المياه الجوفية Aspects of Underground Water

على الرغم من انسياب المياه الجوفية إلى أعماق بعيدة في جوف قشرة الأرض وبصور مختلفة وحركتها الدائمة في جوف الصخور تساعدها على الظهور فوق سطح الأرض من خلال الظواهر الجيومورفولوجية ، وفي ما يأتي أهم مظاهر المياه الجوفية :



شكل 44 يبين مكامن المياه الجوفية

أ- الآبار Wells

يمكن تعريف البئر بأنه الثقب الذي يتم حفره في الأرض إلى ما دون مستوى الماء الباطني حيث تتجمع المياه في البئر ثم يتم ضخ المياه بطرق مختلفة ، تكون إنتاجية البئر جيدة إذا كان عمق البئر تصل إلى ما دون مستوى الماء الباطني بقدر كبير ، أما الآبار التي تحفر ولا تخترق مستوى المياه الجوفي فإنها تتعرض الى النضوب حين يحل فصل الجفاف . علما بان مياه الآبار الضحلة تكون ملوثة بسبب عدم تكريرها وتصفيتها طبيعيا خلال الصخور أو الطبقات الأخرى .

ب- الآبار الارتوازية Artesian Well

تُعد من أهم أنواع الآبار ويكون الخزان الذي ينطلق منه البئر الارتوازي محصورا من الأعلى والأسفل بطبقات غير منفذة ؛ ولذلك تكون المياه فيه تحت الضغط كبير ، وعند

حفر أي بئر ضمن هذا الخزان نرى بان المياه تتدفق فوق مستوى منسوب سطح الأرض و ضغطه يكون أعلى من الضغط الجوي .

ج- مياه الينابيع Springs

تتدفق هذه المياه أينما كان مستوى سطح الماء الجوفي أعلى من سطح المناطقة المحيطة بها ويتغير هذا المنسوب وفق تغيير الفصول وهذا يفسر سبب جفاف بعض الينابيع صيفا ، وقد تتكون الينابيع عندما يحجر منسوب المياه الجوفية وتنشأ مثل هذه الحالة عندما تحجر مياه الأمطار النافذة إلى الأسفل بصخر غير منفذ وتتدفق ينابيع هذا النوع في الفصول الرطبة كما في الشكل (45) ، وهى المناطق التي ينخفض سطحها عن مستوى الماء الجوفي في الأرض المحيطة بها ومن ثم يندفع الماء على سطحها تلقائيا .

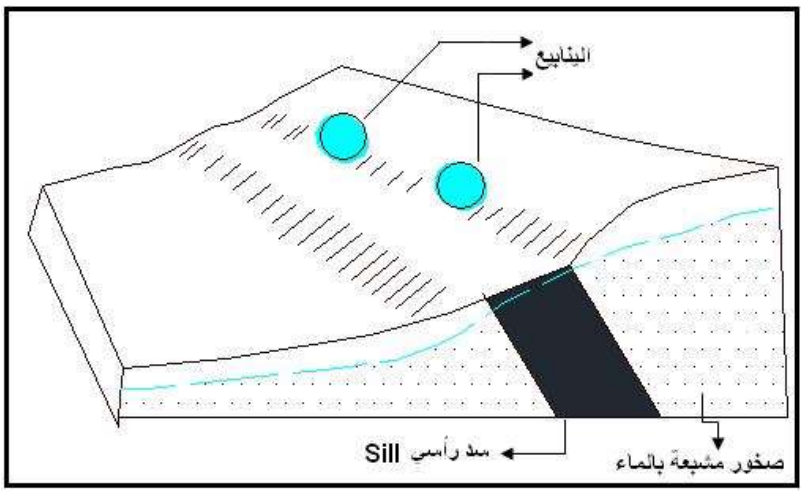
وقد يتدفق الماء غزيرا أو ضئيلا بصورة منتظمة أو متقطعة وعلى فترات ،كما قد يمثل المنابع العليا لبعض الأنهار كما هو الحال في كثير من أنهار لبنان وفى نهر العاصي الذي يبدأ رحلته من ينابيع شمال بعلبك ثم يتجه شمالا إلى أن يلتقي بالبحر المتوسط بعد رحلة طويلة حولي (571 كم) . ومما يساعد على كثرة الينابيع في مواقع معينة أسباب عديدة منها :

1- درجة ميل الطبقات التي تؤدى في بعض المواقع إلى تكوين حافات صخرية صماء في اتجاه ميل الطبقات ومن ثم إلى تجمع المياه أمامها واندفاعها غزيرة إلى السطح .
2- كثرة الشقوق (Cracks) والفواصل (Joints) وتتابع مسامية الصخور مع توفر طبقة صماء لحجر الماء أمامها ورفع منسوبه .
3- وجود القواطع الرأسية (Dykes) من الصخر الناري التي تعمل أيضا على حجز الماء ورفع منسوبه .

د- الينابيع الحارة Geysers

رغم انتشارها في كثير من القارات وفى مختلف العروض ؛ إلا أنها تكثر في المناطق التي ترتفع فيها تيارات الحمل في القشرة الأرضية كما في هاواي وأيسلندة ، وفى مناطق الحدود بين ألواح القشرة الأرضية في مناطق الضعف كما في نيوزيلندا . و مصدر مائها هو ماء المطر الذي يتسرب بعضه تحت سطح الأرض وقد يكون المصدر الصهير نفسه ، أما الحرارة من المكن أن تكون من إذابة بعض الأملاح التي ترفع من درجة حرارته بالإضافة إلى الغازات الكثيفة التي تتصاعد من منطقة الوشاح مما تكون مصدرا ترفع درجة حرارة الماء كثيرا كما في الشكل (45) .

وتتوقف درجة حرارة ماء الينابيع الحارة على مدى العمق الذي تبدأ منه وعلى كمية الأملاح الذائبة فيه ، وبينما يكون بعضها في درجة حرارة الجسم ومما يحتمله الإنسان وقد يتعدى بعضها درجة غليان الماء بكثير . وكثيرا ما يتصاعد مع الماء بعض الرواسب وكربونات

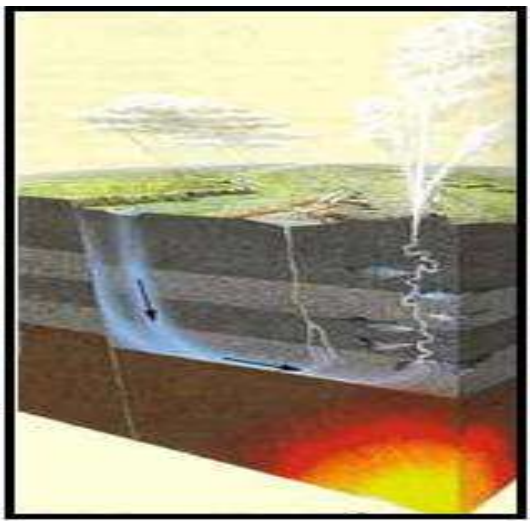


شكل 45 مخطط يبين الينابيع الحارة

الكالسيوم وأملاح الكبريت وغيرها من الأملاح الذائبة .وقد يؤدى تراكمها على السطح بعد جفاف الماء من حولها بسبب التبخر أو التسرب أو انقطاع التدفق ؛ إلى تكوين أشكال مخروطية ذات أحجام مختلفة مكونة صخورا جيرية كما في الشكل (46) .

العوامل المؤثرة في تذبذب مستوى المياه الجوفية

1- **الأمطار** : يتناسب تذبب مستوى المياه الجوفية تناسبا طرديا مع كمية الأمطار الساقطة و المترشحة إلى أعماق الأرض ، فكلما كانت كمية المياه المترشحة إلى باطن الأرض كبيرة كلما ارتفع منسوب المياه الجوفية ، وبطبيعة الحال فإن منسوب المياه الجوفية يرتفع في مواسم المطر ، وينخفض في مواسم الجفاف ، ويحتاج ارتفاع المنسوب إلى مدة زمنية حتى تتمكن المياه المترشحة من الوصول إلى مستوى المياه الجوفية ، وهذا يعتمد على نفاذية الصخور .



شكل 46 يبين مصدر حرارة المياه الساخنة

2- **الجريان السطحي** : تؤثر مياه الأنهار والمياه الجارية على سطح الأرض على منسوب المياه الجوفية وذلك من خلال المياه التي تترشح إلى باطن الأرض وخاصة عند مرور هذه المياه على طبقات صخرية ذات الشقوق والفواصل مما يؤدي إلى رفع منسوب المياه الجوفية .

3- **التبخر والنتح** : يعتمد تأثير التبخر والنتح في مستويات المياه الجوفية على عمق مستوى المياه الجوفية وعلى درجة التبخر ، إذ يكون التبخر و النتح في الطبقات المائية العميقة ضعيفا ويمكن إهمالها ، أما تذبذب مستوى المياه الجوفية في مواسم نمو النباتات إلى الفواقد الناتجة من التبخر النتحي ، وكما تؤثر درجات الحرارة وخاصة في الأيام المشمسة إلى زيادة هبوط مستوى المياه الجوفية بسبب الفاقد من التبخر ، ويصل هذا الهبوط إلى حدّه الأعلى في منتصف ساعات النهار .

4- **الضغط الجوي** : يكون تأثير الضغط الجوي قليلا جدا على مستوى المياه الجوفية في الطبقات المائية الحرة ، أما زيادة الضغط في نطاق التربة فيقلل حجم الهواء مما يؤدي إلى رفع المياه الشعرية ، ومن ثم ارتفاع المستوى المائي ، ويحدث خلاف ذلك حين نقصان الضغط . وقد لوحظ تأثير تغير الضغط في الآبار المحفورة في الطبقات المائية المحصورة حيث يلاحظ هبوط في مستوى المياه الجوفية في آبار المراقبة عند ارتفاع الضغط الجوي .

تأثير المياه الجوفية في تحديد خصائص التربة الهندسية

للوقوف على دور المياه الجوفية وزيادة رطوبة التربة في تحديد خصائص التربة الهندسية ، سوف يتم عرض أحد أنواع التربة وهي التربة الطينية . وتُعد التربة الطينية من أشهر أنواع التربة الهندسية ومن أهم نواتج التجوية بحيث ترتبط حبيبات الطين بروابط جزيئية عالية المتانة حتى انها تصل إلى عدة آلاف من (كجم / سم^3)[8] . فجزيئات الماء المشكلة

لهذا السطح الحساس تكون شديدة الاتصال والى الأعلى من هذا السطح تتوضع المياه ضعيفة الاتصال ثم المياه الحرة التي تملأ المسافات بين جزيئات الطين ولذلك تلعب رطوبة التربة الطينية أهمية كبير في تحديد خصائصها[9] وكما يلي :

1- إذا احتوت على المياه شديدة الاتصال فإن التربة تكون قريبة من صفاتها من الجسم الصلب .

2- عند توفر المياه الضعيفة الاتصال فإن التربة تصبح لينة .

3- وعندما تتوافر المياه الحرة وبكميات كبيرة في هذه التربة فإنها تقودها الى صفات الجسم السائل .

وعموما تكون التربة رطبة فإن حبيباتها لا تخضع فقط لتأثير قوى الغلاف المائي الذي يسعى إلى تباعد الحبيبات عن بعضها ويعمل عكس تأثير قوى الرابطة الجزيئية ، كما تخضع أيضا إلى الرابطة الكهربائية وذلك نتيجة وجود الماء الذي يساعد على تشكل طبقة خارجية مشحونة بشحنات مختلفة فتتباعد فيما بينها بالتنافر[10] .

ومن المعلوم أن بعض الدول ، مثل مصر والعراق نفذت مشروعات عملاقة على مستوى قرى مصر والعراق من خلال حفر مئات الكيلومترات طولا لسحب المياه الجوفية القريبة من السطح وذلك لتخفيض منسوب الرشح من المناطق السكنية ؛ وذلك لحمايتها من الآثار السلبية الناتجة من ارتفاع منسوب المياه الجوفية مثل تصدع المنازل بسبب اختلال الحمل نتيجة انتفاخ بعض معادن الطين من جراء الرطوبة تحت جزء من أجزاء المنزل ؛ مما يؤدي إلى ميل المنزل وبالتالي تصدعه ، ومن المناسب ذكر أن منسوب المياه الجوفية تدخل في تصميم الكود الزلزالي للمناطق المعرضة للهزات الأرضية .

مصادر الفصل الخامس

1- الشـبلاق ، محمـد منصـور ، عمـار عبـد اللطيـف (1998) : الهيـدرولوجيا التطبيقيـة ، جامعة عمر المختار ، البيضاء ، ليبيا .

2- نفس المصدر السابق .

3- محمـود توفيـق سـالم (1985) : أساسـيات الجيولوجيـا الهندسـية ، دار الكتـاب الجامعيـة ، بيروت لبنان ، ص117 .

4- مجيد عبود جاسم الطائي (1989) : الجيولوجيا الهندسية ، منشورات جامعة البصرة ، البصرة ، العراق .

5- ميشيل الجر (1980) : بهجة المعرفة ، موسوعة علمية مصورة ، المجموعة الاولى . الشركة العامة للنشر والإعلان ، طرابلس ، ليبيا .

6- Tony Waltham (2009): Foundation of Engineering Geology, published by Taylor & Francis, 270 Madison Avenue, New York.

7- David Georg Price (2009): Engineering Geology Principle & Practice, Edited and Complied by M. H. Freitas. London SW7 2AZ. United kingdom.

8- Casagrand a. (1984): Classification and Identification of Soil Transaction of the American Society of Civil Engineers, pp113, 901-902.

9- Sembenelli, p. (1988): Stabilization and Drainage In Proceeding of the 5th International Symposium on Landslides, 2, Bonnard, C (ed), Blkema Rotterdam, pp 813-819.

10- Abduljawad, S, N. (1994) : Swelling Behaviour of Calcareous Clay from Eastern Province of Saudi Arabia, Quarterly Journal of Engineering Geology, pp 27, 333-351.

الفصل السادس
التقنيات الحديثة وتحديد المواقع

المقدمة

تُعد نظام جي بي أس (GPS) من الأنظمة المهمة جدا في تحيد المواقع على سطح الأرض وهو اختصارا لنظام تحديد الموقع العالمي (Global Position System) . علما بان المكتبات العربية عموما وجامعتنا بشكل خاص تفتقر إلى الكتب التي تتناول تقنيات (GPS) باللغة العربية سواء كانت من الكتب النظرية أو التطبيقية .

ومن المعروف بأن جميع التقنيات الحديثة تستلزم فهم المبادئ العلمية التي بنيت عليها هذه التقنيات بالإضافة لأساليب تطبيقها عمليا .

ترتبط تقنية (GPS) ارتباطا وثيقا بالأقمار الصناعية حيث يستلم جهاز استقبال (GPS) جميع بياناته من الأقمار الصناعية التي تدور حول الفضاء ، وعند استخدام جهاز (GPS) لابد أن يكون الجهاز في مكان مكشوف للفضاء لكي يكون الجهاز مرئيا من قبل الأقمار وتزويده بالبيانات المطلوبة ، ومن دون الأقمار الصناعية لا يمكن الحصول على أية بيانات من جهاز (GPS) .

التقنيات الحديثة و الأقمار الصناعية

إن التقدم السريع في صناعة التقنيات الحديثة وخاصة بعد منتصف القرن العشرين أدى إلى التفكير في إرسال أجساما معدنية إلى خارج نطاق الغلاف الجوي لكوكب الأرض ، وتم تسمية هذه الأجسام بالأقمار الصناعية (Satallites) ، ومن أمثلة ذلك إطلاق القمر الصناعي الروسي الأول (سبوتيك 1 Sputbik-1) في 4 تشرين الأول (أكتوبر)

سنة 1957 ، ومع استمرار تطور التقنيات في مختلف المجالات ومنها الرادارات الخاصة بتعقب الأقمار ومعرفة موقعه وتطور الحاسبات الآلية وكذلك أنظمة الاتصالات ساهمت في الإسراع بالدخول إلى عصر الفضاء[1] .

يمكن تقسيم الأقمار الصناعية بصفة عامة إلى مجموعات[2] وكما يلي :

1- الأقمار الصناعية لدراسة موار الأرض Earth Resources Satellite : وهي الأقمار الصناعية الخاصة بدراسة الطقس والبحار والاستشعار عن بعد (Remote Sensing) .

2- الأقمار الصناعية الملاحية Navigation Satellite والهدف الرئيسي من الأقمار الصناعية هو تزويد الأجهزة المتصلة بها بالبيانات عن :

أ- الملاحة الجوية والفضائية .

ب- الملاحة البحرية .

ج- الملاحة الأرضية .

شكل 47 يبين الأقمار الصناعية

وتأتي ضمن هذه المجموعة نظم وتقنيات مثل نظام (GPS) ونظام غاليلو (Galileo) ونظام دوبلر (Doppler) ونظام جلوناس (Glonass) .

3- الأقمار الصناعية للاتصالات Communication Satellite : وهي الأقمار التي تساعد في نقل البث الإذاعي والتلفزيوني وتوزيعها على معظم أجزاء سطح الأرض وبذلك يمكن التغلب على مشكلة كروية الأرض التي تعيق عملية النقل المباشر للبيانات .

طريقة تحديد المواقع بالاعتماد على الأقمار الصناعية

لقد توصل العلماء قبل بدء عصر الأقمار الصناعية إلى تحديد المواقع بالاعتماد على الموجات الكهرومغناطيسية (Electromagnetic) أو الراديوية ، واعتمدوا في هذه الطريقة على قياس الزمن الذي تستغرقها الموجة بين محطات الإرسال (Transmitting Satellite) وجهاز الاستقبال في الذهاب و العودة ثم حساب المسافة بدلالة الزمن والسرعة من خلال القانون الرياضي المعروف :

المسافة = الزمن x سرعة الموجة

حيث أن :

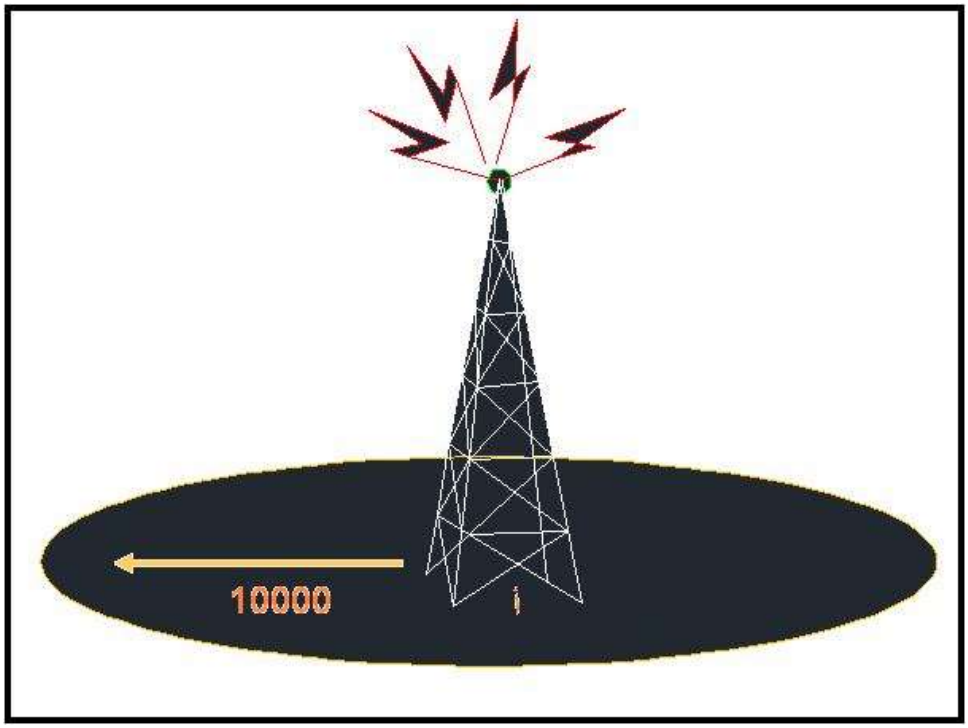
المسافة : هي المسافة بين محطة الإرسال وجهاز الاستقبال .

الزمن : الزمن الذي تستغرقه الموجة في الذهاب والعودة .

السرعة : باعتبار سرعة الموجة تعادل سرعة الضوء وهي (3×10^5 كم / ثانية) .

ويمكن توضيح طريقة تحديد موقعنا على سطح الأرض من خلال الخطوات التالية[3] :

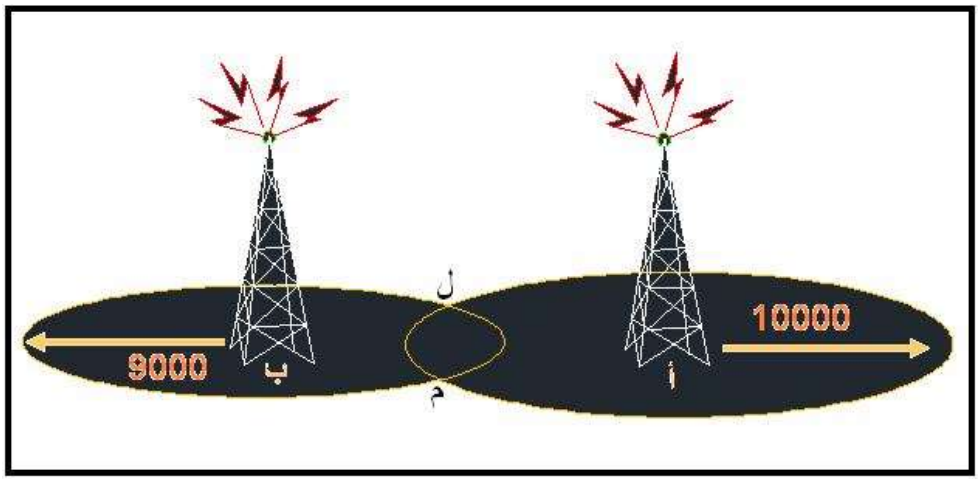
1- نفرض أن محطة الإرسال تبث موجات الراديو من نقطة معلومة (أ) على سطح الأرض ، بينما وحدة الاستقبال (Receiver) لهذه الموجات الراديوية في موقع غير معلوم والمطلوب معرفته . وعند قياس المسافة من خلال القانون الرياضي أعلاه تبين بأن المسافة (10000 م) على سبيل المثال ، أي أن المسافة بين الشخص ومحطة الإرسال (10000 م) وبما أن المحطة تبث الموجات في كل الاتجاهات على شكل دائرة وبذلك يكون الشخص واقفا على محيط دائرة نصف قطرها (10000 م) حول محطة الإرسال (أ) كما في الشكل (48) ، أي إننا لا نستطيع تحديد موقعنا بالضبط .



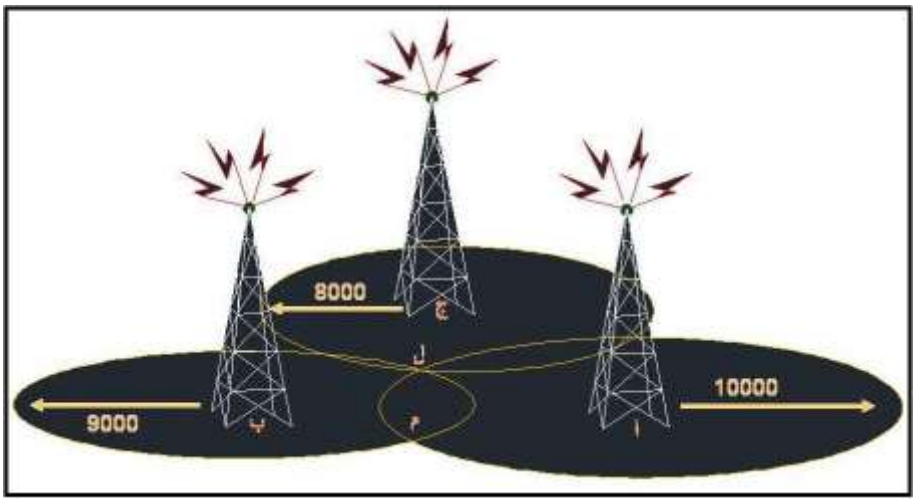
شكل 48 يبين محطة إرسال البث بالراديو

2- يمكن تثبيت محطة إرسال أخرى في نقطة معلومة مثل (ب) على الأرض وبنفس الطريقة السابقة يتم حساب المسافة ولنفرض كانت المساقة (9000 م) وبذلك يكون الشخص واقفا أيضا على محيط دائرة مركزها (ب) ونصف قطرها (9000 م) . ومن خلال الشكل (49) يتبين بأن موقعنا أو موقع أي شخص يكون في إحدى النقطتين (م ، ل) عند تقاطع الدائرتين ، وهذا يعني بأننا أيضا لم نتمكن من تحديد الموقع بالضبط ونحتاج إلى محطة إرسال ثالثة .

3- ولنفرض بأننا قمنا بتثبيت محطة إرسال ثالثة في النقطة (ج) وبنفس القانون الرياضي السابق يتم حساب المسافة ولتكن (8000 م) ، وبذلك يكون الشخص واقفا أيضا على محيط دائرة مركزها (ج) ونصف قطرها (8000 م) . وبتقاطع الدوائر الثلاثة يتم تحديد موقعنا بالضبط كما في الشكل (50) .



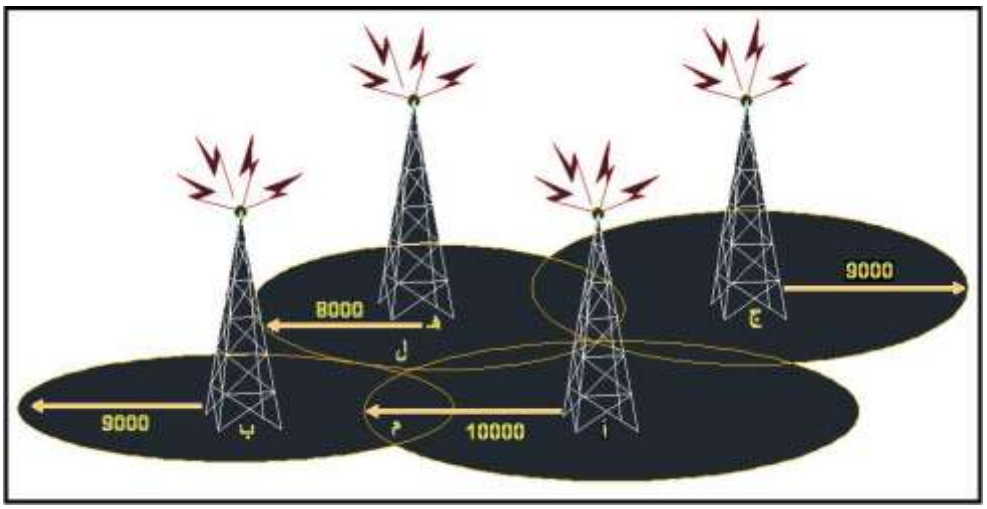
شكل 49 يبين محطتين إرسال البث بالراديو



شكل 50 يبين الموقع المحدد في النقطة (ل) بطريقة البث بالراديو

4- إذا كانت محطات الإرسال ثابتة وجهاز الاستقبال متحرك على الأرض أو البحر فإنه سيستقبل الإشارة من المحطات في كل لحظة ويتم تحديد موقعه بسرعة ، وإذا ما تم إضافة محطة رابعة وخامسة فإن كفاءة تحديد الموقع تكون عالية جدا ، وتسمى هذه الطريقة في تحديد المواقع بنظم الملاحة الراديوية (Radio Navigation System) كما في الشكل (51) .

ومن أمثلة نظم الراديوية لتحديد المواقع نظام (لوران Loran) وهو اختصارا لأسم الملاحة للمساحات الشاسعة (Long Range Navigation) والذي بدأ في الولايات الأمريكية في عام 1950 وكان يهدف أساسا مساعدة السفن في إبحارها[4] . علما بان عيوب هذا النظام هي اقتصارها على مسافة (500 ميل أو 815 كم تقريبا) وبذلك فإن السفن أو طرق المساحة الأرضية التي تبتعد عن محيط هذه المسافة لا تستفيد من النظام .



شكل 51 يبين أربعة محطات إرسال البث بالراديو

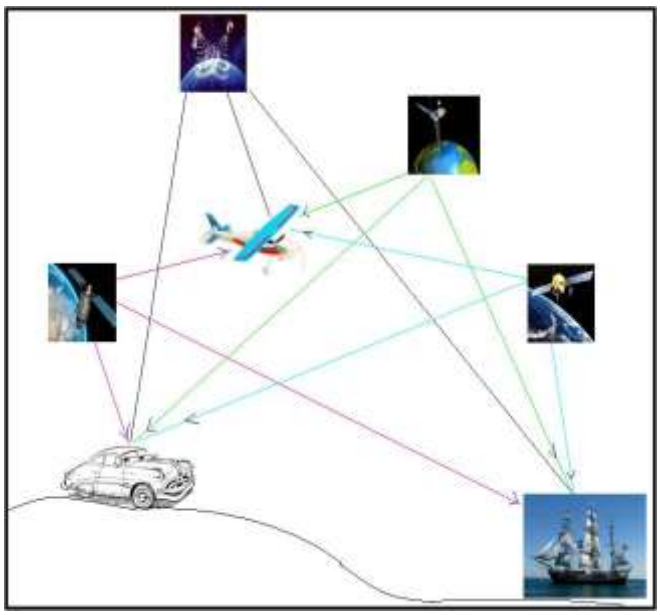
ومع ظهور الأقمار الصناعية تم تطبيق نفس مبدأ الملاحة الراديوية في تطوير ما يعرف باسم الملاحة بالأقمار الصناعية (Satellite Navigation) ، فإذا استبدلنا محطات الإرسال الأرضية في المثال السابق بأقمار صناعية ترسل موجات راديوية يستطيع جهاز الاستقبال أن يتعامل معها ويحسب المسافة بين موقعه وموقع كل قمر صناعي وبذلك يمكن تحديد الموقع الذي يكون فيه جهاز الاستقبال .

إن محطات الإرسال الأرضية في المثال السابق كانت ثابتة ومعلومة المواقع في حين كان المتحرك هو جهاز الاستقبال ، بينما في ظروف الملاحة بالأقمار الصناعية فإن الأقمار غير ثابتة الواقع ومستمرة في الحركة حول الأرض فكيف يمكن التعامل معها ، وللإجابة على السؤال فإن كل قمر صناعي له مدار معلوم ومن أهم واجبات الجهة المسئولة في نظام الأقمار الصناعية أن تراقب كل قمر وتحدد موقعه بكل دقة وفي كل لحظة ؛ أي أن موقع كل قمر صناعي سيكون بمثابة نقطة مرجعية .

وطبقا لهذا المبدأ الاساسي فيمكن اعتبار القمر الصناعي من وجهة نظر المساحية على أنه هدف (Target) عالي الارتفاع بحيث إذا أمكن رصده من ثلاثة نقاط أرضية معلومة الإحداثيات فيمكن تحديد موقع نقطة مجهولة ترصد هذا القمر الصناعي في نفس اللحظة .

استخدام تقنيات GPS في تحديد المواقع

انطلاقا من مبدأ أن تطور المجتمعات في القرن الحادي والعشرين أصبح يقاس بالمتاح للمجتمع من وسائل وخدمات تكنولوجيا المعلومات والاتصالات ، وما وصلت إليه هذه الخدمات من تطور ، وفى سبيل إلقاء الضوء على إحدى التقنيات الجديدة التي تساهم وبشكل فعال في تسهيل عملية :



شكل 52 يبين الملاحة للأهداف المتحركة

1- تحديد إحداثيات أية موقع أو رسم خريطة حدود المباني و المدينة و الشوارع خلال ساعات .

2- تحديد حدود تكوين جيولوجي ، أو تحديد امتداد الصدوع أو الطيات وذلك باستخدام نظام تحديد المواقع العالمي (Global Position System) المرتبط بالأقمار الصناعية والمعروف عالميا باختصار (GPS) كما في الشكل (53) ونظام هذا الجهاز يعتمد بالأساس على الاستفادة من :

أ- خطوط الطول الممتدة من نقطة القطب الشمالي إلى نقطة القطب الجنوبي .

ب- ودوائر العرض الممتدة من حول الكرة الأرضية .

شكل 53 يبين جهاز GPS

أولا : خطوط الطول Meridians (or Longitudes)

هي عبارة عن أنصاف دوائر (وهمية) تصل بين القطب الشمالي والقطب الجنوبي حيث أن كل نصفي دائرة متقابلين يشكلان دائرة عظمى قاطعة خط الاستواء ودوائر العرض الأخرى ، ويكون طول محيطها مساويا إلى طول محيط الأرض[5] ، وتسمى خطوط الطول أحيانا بخط الزوال ، ولقد اعتبر الخط المار بمدينة (غرينتش Greenwich) القريبة من مدينة لندن ، خطا أساسيا في ترقيم الخطوط الباقية ؛ علما بأن خطوط الطول ودوائر العرض ما هي إلا مقدار الزاوية التي تصنعها هذه الخطوط مع مركز الأرض ؛ ولهذا تُعد من إحدى شبكة الإحداثيات العالمية .

ولقد تم ترقيم خط الطول الرئيسي (خط الزوال الرئيسي) بخط الصفر أي أن درجة خط غرينتش (Greenwich)يساوي الصفر .

وقد قسمت الكرة الأرضية إلى (360) خط طول ، بحيث تقع نصفها إلى يمين خط (غرينتش) أي إلى شرقه ؛ والنصف الآخر إلى يساره أي غربه ، وبذلك أصبح لدينا (180) خط طول إلى شرق خط الطول الرئيسي كما في الشكل (54) ، (180) خط طول إلى غرب خط الطول الرئيسي .

وبما أن خط الطول الواحد عبارة عن نصف دائرة (من تعريف خطوط الطول) يحيط بالأرض ، لذا فإنه يمثل نصف محيط الأرض .

∵ محيط الأرض = 2 نق ط ، حيث أن :

نق = نصف قطر الأرض ، علما بأن معدل نصف قطر الأرض = 6370 كم (في النظام المتري) ، أما في النظام غير المتري ؛ فإن نصف قطر الأرض = 3958 ميلا .

ط = النسبة الثابتة = $\frac{22}{7}$ أو (3.14)

∴ طول محيط الأرض = $2 \times 6370 \times \frac{22}{7}$ = 40040 كم (في النظام المتري)

∴ طول محيط الأرض ≅ 40000 كم تقريبا

∵ أن طول خط الطول الواحد أو طول خط الزوال = نصف محيط دائرة عظمى ، فإن طول خط الطول = $\frac{40000}{2}$ = 20000 كم (في النظام المتري) .

ومن تعريف خط الطول يتبين لنا بأنه عبارة عن أنصاف دوائر تصل بين القطبين الشمالي والجنوبي ، إذن تكون المسافة من مركز القطب الشمالي إلى مركز القطب الجنوبي على سطح الأرض مساوية إلى (20000 كم) تقريبا في النظام المتري .

أما في النظام غير المتري (نظام الميل)

1 ميل = 1760 ياردة ، 1 ياردة = 3 قدم ، 1 قدم = 12 انج (بوصة) .

1 ميل =$1760 \times 3 \times 12$ = 63360 بوصة

1 بوصة = 2.54 سم

∴ 1 ميل = 63360×2.54 = 16093.44 سم

∵ 1 كم = 100000 سم

∴1ميل= $\frac{16093.44}{100000}$ = 1.6093 كم

∵ نصف قطر الأرض = 6370 كم

∴ نصف قطر الأرض في نظام الميل = $\frac{6370}{1.6093}$ = 3958.24 ميل .

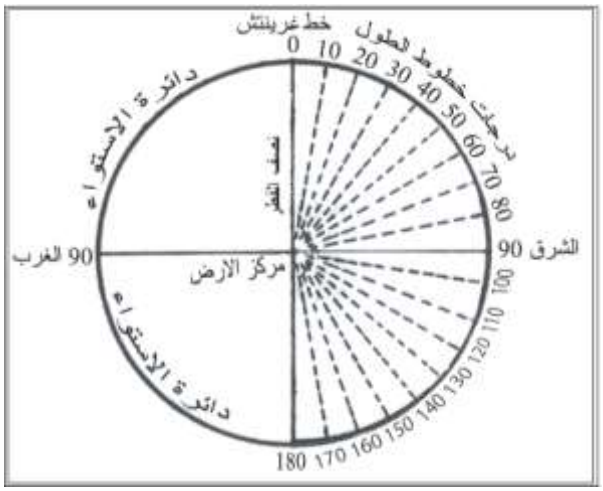
∴ نصف قطر الأرض في نظام الميل ≅ 3958 ميل تقريبا .

∵ محيط الأرض = 2 نق ط

∴ محيط الأرض = 2 × 3958 × $\frac{22}{7}$ = 24878.8 ميل (في نظام الميل) .

∴ طول محيط الأرض ≅ 25000 ميل تقريبا (في نظام الميل) .

∴ نصف المحيط = $\frac{25000}{2}$ = 12500 ميل تقريبا (في نظام الميل) .



شكل 54 يبين درجات خط الطول شرقا (6)

ثانيا : دوائر العرض Parallels (Latitude)

هي دوائر وهمية متوازية فيما بينها ومتعامدة مع خطوط الطول أي أنها متعامدة على محور الأرض القطبي (الخط الواصل بين القطبين الشمالي والجنوبي) وتقع تلك الدوائر بين القطبين الشمالي والجنوبي ، وتمثل الدائرة الاستوائية منتصف الكرة الأرضية والتي تمثل دائرة صفر ثم تنتشر الدوائر باتجاه القطبين ، ويبلغ عددها (90) دائرة شمالا و (90) جنوبا أي مجموعها (180) دائرة عرض أو (180) .

ومثلما تكون المسافة بين خط طول وآخر (111.1 كم) ؛ فإن المسافة بين دائرة عرض وآخر يساوي ايضا (111.1 كم) وقبل تسليط الضوء على هذه التقنية لابد من التطرق إلى الصيغة التي تعمل بها هذه التقنية وبالتفصيل :

طريقة إيجاد إحداثيات المواقع

تحمل معظم الخرائط شبكة من الإحداثيات الخاصة بـ(خطوط الطول ودوائر العرض) والتي من خلالها يمكن إيجاد إحداثيات أية نقطة تقع على نقطة تقاطع درجة خط الطول مع دائرة العرض في تلك النقطة ، وإن إيجاد أي موقع بهذه الطريقة يسمى **بالموقع الفلكي** لذلك الموقع[7] .

ويمكن تشبيه شبكة الإحداثيات لتحديد الموقع باستخدام خطوط الطول ودوائر العرض بالمحاور السينية والصادية (X axis & Y axis) في العمليات الرياضية (الحسابية ولكن باستخدام نظام معين) .

بالإضافة إلى فوائد هذه الخطوط في تحديد المواقع فإنها تمثل في نفس الوقت الاتجاهات الأربعة (الشمال ، الجنوب ، الشرق ، الغرب) ومن فوائدها أيضا إيجاد المسافات على الأرض من الخرائط .

لكل خط طول أو دائرة عرض زاوية ، ولكل زاوية درجة خاصة بها ، وتقاس الزوايا بنظام التقسيم الستيني :

التقدير الستيني (أو التقسيم الستيني)

وتساوي الدائرة فيه (360 درجة) كما هو موضح في الشكل (55) .

∵ دائرة الكرة الأرضية مقسمة إلى أربعة أقسام وكل قسم منها يمثل ربع الدائرة .

∴ ربع الدائرة = 90 درجة

إن أجزاء الدرجة الواحدة هي الدقائق و أجزاء الدقيقة هي الثواني (يمكن تشبيه ذلك بأجزاء الساعة الاعتيادية ، لأن أجزاء الساعة الواحدة هي الدقائق وأجزاء الدقيقة الواحدة هي الثواني) . وإن قيم أجزاء الدرجة الواحدة هي :

1- يرمز للدرجة الرمز (°) .

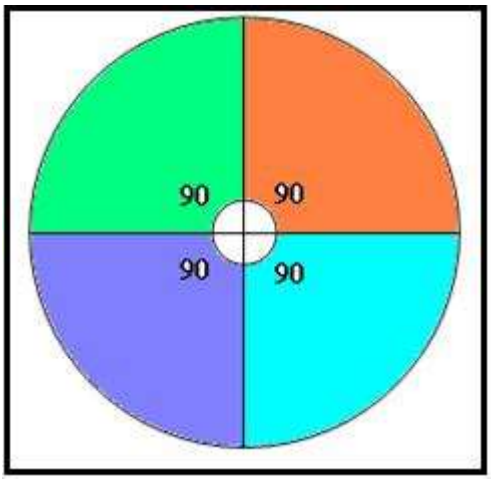
2- يرمز للدقيقة الرمز (′) .

3- يرمز للثانية الرمز (″) .

1 درجة أو (1°) = 60 دقيقة (أو 60′) ، 1 دقيقة أو (1′) = 60 ثانية (أو 60 ″) .

∴ 1 درجة (1°) = 60 × 60 = 3600 ″ (ثانية) .

إن درجات خطوط الطول أو دوائر العرض في التقسيم الستيني تكتب على شكل ($30^{\circ},20^{\circ}$ أو 40° وهكذا) وإذا احتوت الدرجة على الدقائق والثواني ؛ فإن قيمة الزاوية تكتب على هيئة أرقام تحتوي على فاصل بين الدرجة والدقيقة وفاصل بين الدقيقة والثانية وكما في الأمثلة الآتية :



شكل 55 يبين درجة الدائرة الواحدة في التقسيم الستيني

مثال

خط الطول ($15^{\circ}\ 30'\ 50''$) أو ($25^{\circ}\ 55'\ 40''$) .

مع ملاحظة أن الصيغة المكتوبة أعلاه هي الصحيحة ولا يكتب مثلا سبع درجات ونصف الدرجة (7.5 درجة) أو ثماني درجات وربع الدرجة ، لان نصف الدرجة يساوي (30 دقيقة) وعليه تكتب الدرجة ثم يكتب ما تمثله نصف الدرجة ، وكذلك بالنسبة إلى ($8\frac{1}{4}$ درجة) ، لان ربع الدرجة تساوي (15 دقيقة) ولهذا فإن الصيغة الصحيحة في كتاب (7.5 درجة) و ($8\frac{1}{4}$ درجة) هي :

($7^{\circ}\ 30'$) يكتب بدلا عن (7.5 درجة)

($8^{\circ}\ 15'$) يكتب بدلا عن ($8\frac{1}{4}$ درجة)

طريقة قراءة إحداثيات الموقع

يعمل الجهاز بالاتصال المباشر مع الأقمار الاصطناعية التي تخدم شبكة الإحداثيات العالمية وعدد الأقمار التي تخدم هذا النوع من الخدمة (29) قمرا تدور حول الأرض باستمرار ويفضل الحصول على البيانات عندما يكون خمسة من الأقمار في سمت الموقع (فوق الموقع) لكي تكون البيانات دقيقة جدا ، ويمكن مشاهدة موقع الأقمار على شاشة الجهاز كدوائر صغيرة عليها أرقامها ، يسجل الجهاز بعد تشغيله كل نقطة يتم الوقوف عندها وذلك بالضغط على مفتاح تثبيت النقطة وتسميته حسب الرغبة وبذلك يتم تسجيل إحداثيات النقطة وتكون الإحداثيات كما يلي .

مثال : **34" 20' 12°** E (الحرف E مختصر من شرقا East يمثل خط الطول) .

45" 52' 30° N (الحرف N مختصر من شمالا North يمثل دائرة العرض) .

مثال : **34" 20' 12°** E (الحرف E مختصر من شرقا East يمثل خط الطول) .

45" 52' 30° S (الحرف S مختصر من جنوبا South يمثل دائرة العرض) .

مثال : **34" 20' 12°** W (الحرف W مختصر من غربا West يمثل خط الطول) .

45" 52' 30° N (الحرف N مختصر من شمالا North يمثل دائرة العرض) .

مثال : **34" 20' 12°** W (الحرف W مختصر من غربا West يمثل خط الطول) .

45" 52' 30° S (الحرف S مختصر من جنوبا South يمثل دائرة العرض) .

خواص ومميزات GPS **Properties & Characteristics**

1- ∵ طول محيط الأرض ≅ 40000 كم تقريبا وعدد درجات خطوط الطول 360 درجة .

2- ∴ المسافة بين درجة خط طول وآخر = $\frac{40000}{360}$

3- المسافة بين درجة خط طول وآخر = **111.1 كم** (عند الدائرة الاستوائية العظمى) .

4- ∵ 1 درجة = 3600 ″(ثانية) .

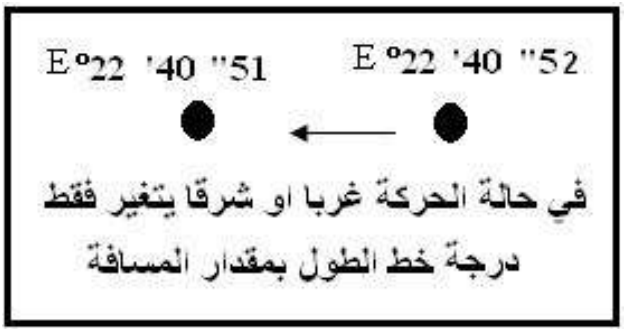
5- ∴ المسافة التي تمثل الثانية الواحدة = $\frac{111.1}{360}$

المسافة التي تمثل الثانية الواحدة = 30.86 مترا = 31 مترا

6- أي أن التغير في مقدار الإحداثي ثانية واحدة سواء كان في درجة خط الطول أو دائرة العرض هذا يعني بأنك قد قطعت مسافة (31 مترا) عن الموقع الأول كما في المثال التالي[8] :

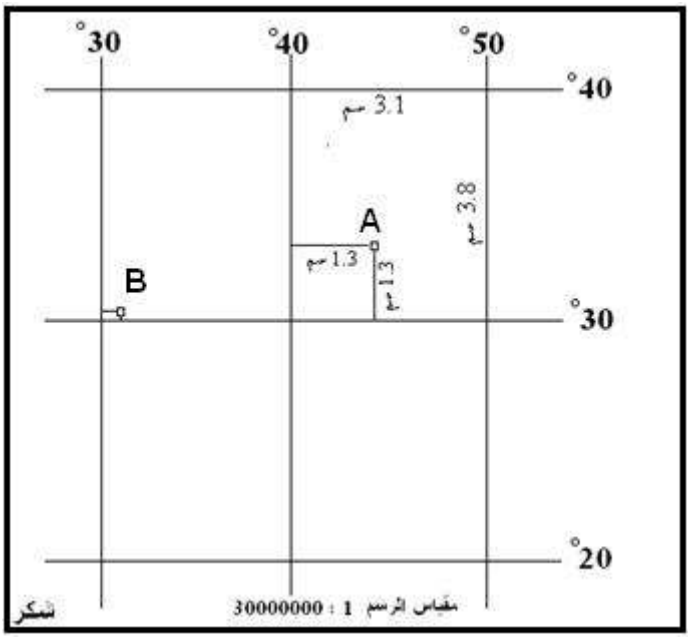
مثال : يتغير الإحداثي الطولي بمقدار ثانية واحدة كلما تحركنا مسافة (31 مترا) شرقا أو غربا وكما يتغير الإحداثي العرضي بمقدار ثانية واحدة كلما تحركنا مسافة (31 مترا) شمالا أو جنوبا كما في الشكل (56) .

7- يُعد خط الطول الرئيسي نقط البداية ودرجته الصفر ، و تزداد درجة خط الطول كلما اتجهنا شرق الخط الرئيسي ابتداء من واحد (1 ، 2 ، 3 ، ... 180 شرقا) ، وكذلك كلما اتجهنا غربا وبنفس الطريقة غربا .



شكل 56 يبين تغير ألإحداثيات

8- امـا بالنسـبة لـدوائر العـرض ، فيُعـد خـط الاسـتواء نقـط البدايـة ودرجتـه الصـفر ، وتـزداد درجـة دوائـر العـرض كلمـا اتجهنـا شمـال خـط الاسـتواء ابتـداء مـن واحـد (1 ، 2 ، 3 ، ... 90 شمـالا) ، وكـذلك كلمـا اتجهنـا جنـوبا وبـنفس الطريقـة كمـا في الشكل (57) .



شكل 57 يبين مخطط لخطوط الطول ودوائر العرض

مصادر الفصل السادس

1- جمعة محمد داود (2010) : مدخل إلى النظام العالمي لتحديد المواقع الجيبياس ، مكة المكرمة ، المملكة العربية السعودية ، ص4 .

2- نفس المصدر السابق ، ص5 .

3- نفس المصدر السابق ، ص6 .

4- نفس المصدر السابق ، ص6 .

5- شكر علي خليل ألصالحي (2006) : علم الخرائط أسس وتطبيقات ، جامعة عمر المختار ، البيضاء ، البيضاء ، ليبيا .

6- نفس المصدر السابق .

7- د. مصطفى الفضالي (2009) : محاضرات جي بي اس بروماركِ ، قسم نظم المعلومات والمساحة ، جامعة القاهرة ، مصر .

8- www.garmin.com
9- www.egyptfishing.com
10- www.aswagcity.com
11- www.ashtech.com/promark

الفصل السابع
الخرائط الكنتورية وتمثيل مظاهر السطح

الخطوط الكنتورية Contour Lines

ترجع بدايات استخدام الخطوط الكنتورية إلى أواسط القرن الثامن عشر ، وتعد من أفضل الطرق في تمثيل معالم سطح الأرض على الخرائط ، ولهذا يمكن القول بأن هذه الطريقة جاءت بمثابة الإسعاف لمصممي الخرائط في التغلب على معظم أوجه النقص التي انتابت طرق تمثيل سطح الأرض ، حيث لا توجد طريقة أخرى أفضل من هذه الطريقة في الوقت الحاضر[1] .

أ- مفهوم الخطوط الكنتورية Definition of contour lines

هي خطوط وهمية توصل النقاط ذات الارتفاعات المتساوية عن مستوى سطح البحر .

وهنالك تعريف آخر للخطوط الكنتورية بأنها خطوط الارتفاع المتساوي حيث يمر خط التساوي من النقاط التي تتساوى فيها قيمة منسوب هذه النقاط ، أي أن قيمة أية نقطة على خط التساوي الواحد متساوية ، فمثلا الارتفاع خمسة أمتار فوق مستوى سطح البحر فهذا يعني بأن النقطة تقع على ارتفاع خمسة أمتار فوق مستوى سطح البحر .

ب- تعريف سطح المرجع Datum surface

هو عبارة عن سطح التسوية الذي تقاس منه جميع الارتفاعات ، وأن هذا السطح هو متوسط منسوب سطح البحر والذي اتفق دوليا ليكون ارتفاعه صفرا . المقصود بمستوى سطح البحر هنا ليس البحر المجاور للظاهرة و إنما المستوى العام للبحار والمحيطات التي تتصل

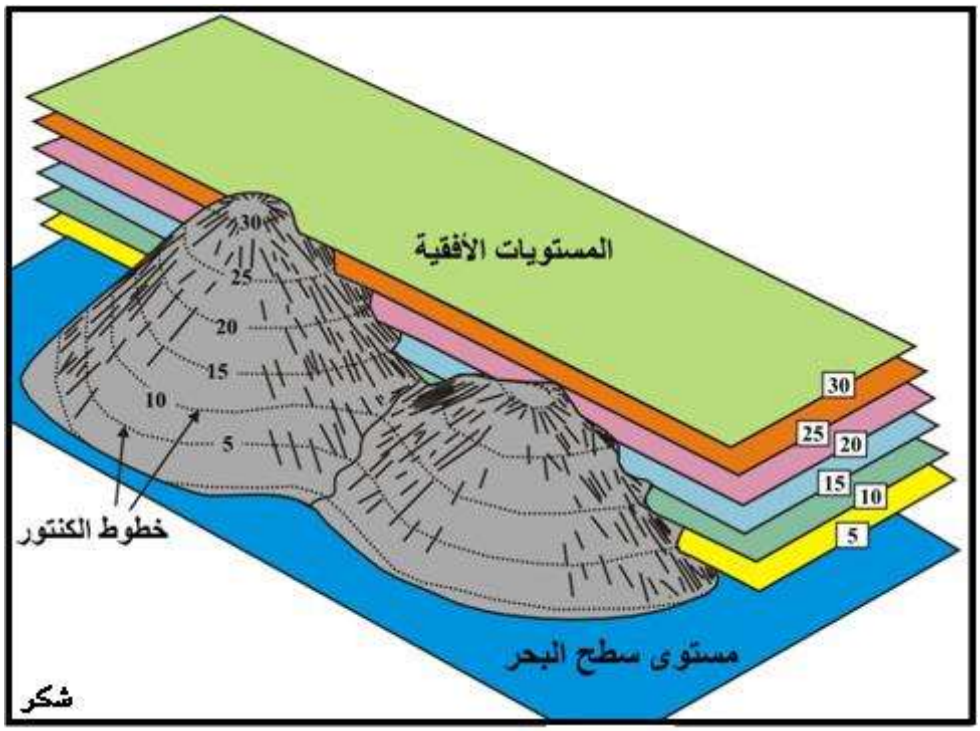
مـع بعضـها فتشـكل منسـوبا واحـدا تقـاس علـى أساسـه كـل الظـواهر في العـالم ارتفاعـا وانخفاضا ، ويمثل هذا المنسوب صفرا[2] ، فإذا كانت الظاهرة فوق المنسوب تكون مرتفعة ، وأقل من المنسوب منخفضة ، حيث توجد بعض البحيرات على منسوب أعلى من مستوى سطح البحر بآلاف الأمتار ، مثل بحيرة نيتي كاكا في أمريكا الجنوبية تقع على ارتفاع حوالي (4000 م) فوق مستوى سطح البحر ، وهناك بحار أخرى دون مستوى سطح البحر مثل البحر الميت يصل إلى حوالي (400م) دون مستوى سطح البحر .

ج- تعريف منسوب النقطة Point elevation

هو البعد الراسي بين أية نقطة على سطح الأرض وبين سطح المرجع (سطح البحر) وتكون قيمة النقطة موجبة إذا كانت فوق مستوى سطح المرجع وسالبة إذا كانت تحته ، علما بأن النقاط ذات المنسوب الصفر هي النقاط الواقعة عند مستوى سطح البحر و كما في الشكل (58) .

د- خصائص الخطوط الكنتورية Characteristics of contour lines

1- لا تتقاطع خطوط الكنتور مع بعضها إلا في الحالات النادرة التي تصل درجة زاويـة الانحـدار إلى (90 °) كمـا أن هـذه الظـواهر الجيومورفولوجيـة نادرة الحدوث[6] .
2- لا تنطبق خطوط الكنتور المختلفة المنسوب إلا في حالة القطع الرأسي .
3- جميع خطوط الكنتور تحمل قيما تدل على منسوب النقاط التي تمر منها .
4- توجد مسافة معينة بين كل خط كنتوري وآخر وكلما تقاربت الخطوط من بعضها دل على شدة الانحدار بينما إذا تباعدت الخطوط دلت على المناطق الأقل انحدارا ، وفي حالة تساوي المسافة بين الخطوط الكنتورية المتجاورة تدل على انتظام ميل السطح .



شكل 58 يبين الخطوط الكنتورية والمستويات الأفقية[3]

5- إذا كانت تضاريس المنطقة تحتوي على مرتفعين بينهما منخفض (وادي) ؛ فإن قيمة الخطوط الكنتورية سوف تتكرر على الجانبين .

6- تتراجع الخطوط الكنتورية نحو منبع المجاري المائية في الاودية الجافة والنهرية وبذلك يمكن الاستدلال على منابع المجاري المائية من خلالها .

7- يكون الفرق بين قيمة خط كنتوري و آخر متجاورا ثابتا ، أي أن الفرق بين قيمة الخط الأول والثاني يساوي الفرق بين قيمة الخط الثاني والثالث .

هـ- مميزات الخطوط الكنتورية Advantages of contour lines

1- من خلال الخطوط الكنتورية يمكن التعرف على طبيعة المنطقة ، فإذا احتوت الخريطة على الخطوط الكنتورية المقفلة فإن تزايد مناسيب الخطوط إلى الداخل تدل على وجود مرتفع في الموقع ، أما إذا كانت المناسيب تتناقص إلى الداخل فإنها تدل على وجود منخفض في الموقع[5] .

2- يمكن تمثيل التضاريس على الخريطة بالأبعاد الثلاثية .

3- يمكن حساب درجة الانحدار ، ومعدل الانحدار ، والنسبة المئوية للانحدار من خلال قيم الخطوط الكنتورية (سوف يتم توضيحه لاحقا) .

4- يمكن رسم القطاعات .

5- تخطيط المشاريع بالاعتماد على الخطوط الكنتورية .

و- طريقة رسم الخطوط الكنتورية Drawing of contour lines

تطورت طرق رسم الخطوط الكنتورية هي الأخرى مع تطور التقنيات الحديثة بالإضافة إلى الطريقة التقليدية المتبعة وكما يلي :

1- استخدام الصور الجوية ، تعد هذه الطريقة من الطرق الحديثة والسريعة في رسم الخطوط الكنتورية وذلك باستخدام الأجهزة المجسمة (Stereo Plotters) للصور الجوية [6] .

2- ترسم الخطوط الكنتورية من واقع نقط الميزانية التي يتم رصدها فعليا على الأرض الطبيعية .

يزداد عدد الخطوط الكنتورية مع زيادة نقط المناسيب أي تتناسب أعداد خطوط الكنتور طرديا مع زيادة عدد نقط المناسيب ولا يشترط مطابقة مناسيب النقط وخط الكنتور

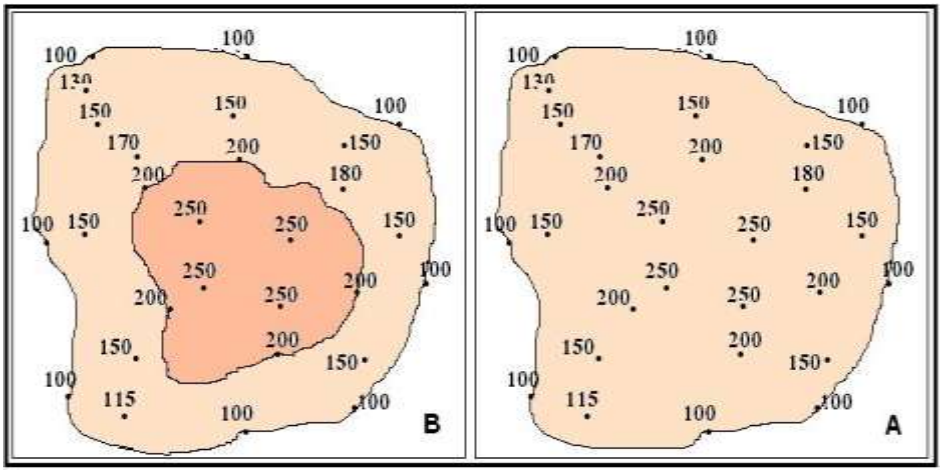
لان النقاط التي يتم تحديدها بالميزانية من قبل المساح يعتمد عددها على قدرة المساح وطبيعة الموقع ، ولذلك يمكن الاكتفاء بعدد من نقط المناسيب التي يتم رصدها فعليا على الأرض الطبيعية .

ويستخدم المساح أجهزة دقيقة في عملية المساحة الأرضية مثل جهاز الثيودولايت الرقمي (Digital Theodolite) وجهاز التسوية الرقمي (Digital Level) وأجهزة رقمية أخرى (Digital) ، ويتم بواسطتها رصد عدد من النقاط المختلفة الارتفاع عن مستوى سطح البحر (مناسيب النقاط المختلفة) . وعند توفر البيانات الضرورية التي تم رصدها في منطقة معينة من الأرض الطبيعية يمكن استخدام طريقتين في رسم الخطوط الكنتور وذلك بالاعتماد على المعطيات وكما يأتي :

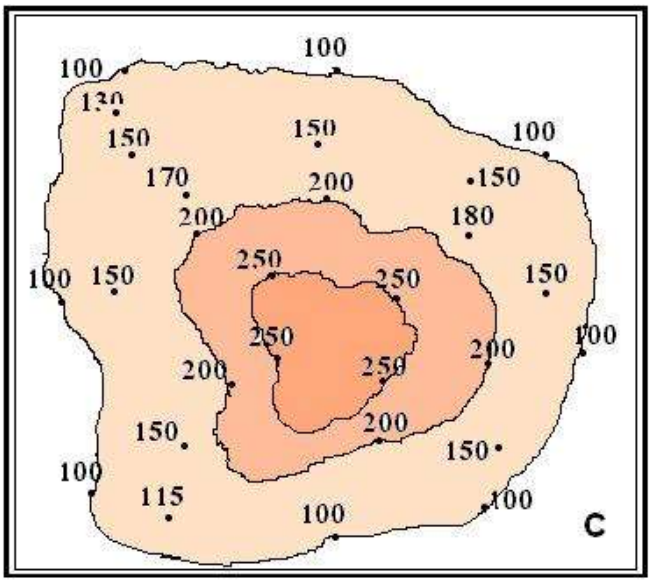
أ- الطريقة المباشرة (توفر البيانات الكافية)

تحتاج هذه الطريقة إلى توفر البيانات الضرورية الكافية لنقط المناسيب وتتم دراستها فإذ اكان معظم المناسيب يصل ارتفاعها إلى (100 م) عندها يتم بتوصيل النقاط التي تحمل قيما (100 متر) ببعضها والتي ستمثل خط الكنتور الأول كما هو موضح في الأشكال (59 –A و 59–B) .

يتم اختيار فاصل ثابت وليكن (50م) ، ثم رسم خط كنتور آخر بفارق (50م) أي يجري البحث عن القيم التي تحمل رقم (150م) ويتم توصيل جميع النقاط التي تحمل قيما (150 م) ، ثم نتابع رسم خطوط الكنتورية الأخرى مثل (200 م ، 250م) كما في الشكل (60) .



شكل 59 يوضح طريقة رسم الخط الكنتوري الأول والثاني



شكل 60 يوضح رسم الخط الكنتوري الثالث

ب– طريقة الإدراج أو الحشو (أي حشو الخطوط)

تعرف هذه الطريقة بالحشو أو الإدراج (Interpolation) أي إدخال الخطوط بالاعتماد على القيمة المتوسطة بين نقط المناسيب التي تم رصدها فعليا على الأرض من قبل المساح[7] .

في كثير من الأحيان لا تتوفر بيانات كافية عن المناسيب (ارتفاع النقطة عن مستوى سطح البحر) والتي تعتمد أساسا على إمكانية المساح في رصدها ، ولغرض رسم الخطوط الكنتورية لإظهار معالم سطح الأرض من تلال ، هضاب ، وديان و جروف ، لابد من إجراء سلسلة من العلميات الحسابية لمعرفة عدد كبير من نقط الارتفاع التي تتوسط البيانات التي تم رصدها مسبقا ، ثم رسم الخطوط الكنتورية التي تمر من نقط الارتفاع المتوسط .

وعلى سبيل المثال فقد أجريت لموقع على سطح الأرض عملية رصد ميزانية بثلاث نقاط (أ ، ب ، ج) وكانت مناسيبها (9 ، 22 ، 31) ، و لكي نتمكن من إدراج الخطوط الكنتورية بين هذه المناسيب و بفارق ثابت (5 أمتارا) وبالتالي تكون الخطوط التي نرغب في رسمها هي (10م ، 15م ، 20م) كما في الشكل (61) نقوم بإتباع الخطوات الآتية :

1- اختيار مقياس رسم مناسب وتحديد مواقع نقط المناسيب والمسافة بينهما وحسب مقياس الرسم .
2- رسم مستقيم بين النقطتين (أ ، ب) ومنسوبيهما (9م ، 22م) .
3- تقسم المسافة على أقسام متساوية بحيث يمثل كل قسم (1م) وحسب الفرق العددي بين قيم النقطتين .

∵ الفرق بين المنسوبين = 13م .

∴ يمكن تقسيم المسافة على (13) قسما و يمثل كل قسم مترا واحدا .

4- تدوين قيم التقسيمات البينية .

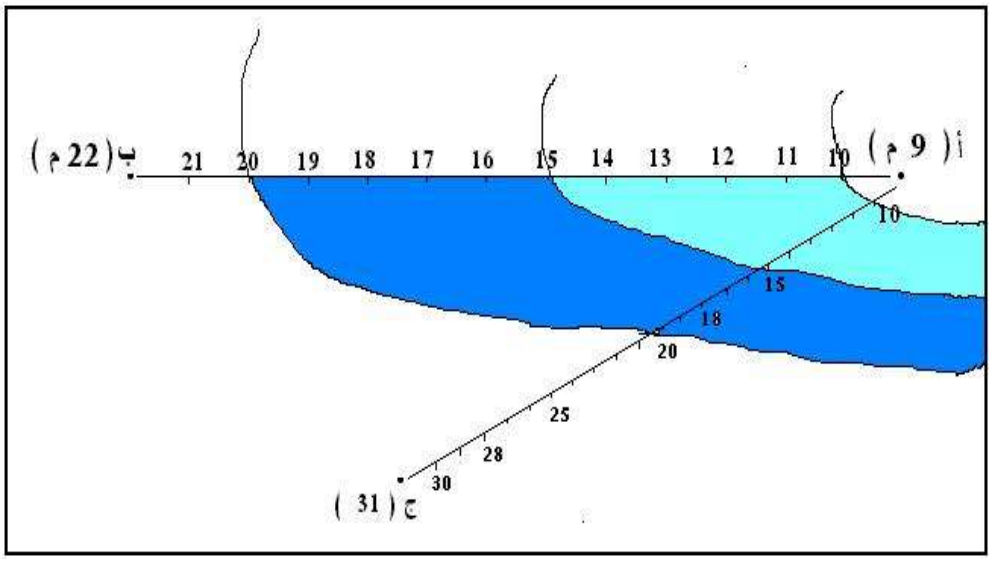
5- رسم مستقيم بين النقطتين (أ ، ج) ومنسوبيهما (9م ، 31م) .

6- تقسم المسافة على أقسام متساوية بحيث يمثل كل قسم (1م) وحسب الفرق العددي بين قيم النقطتين .

∵ الفرق بين المنسوبين=22 م

∴ يتم تقسيم المسافة على (22) قسما و يمثل كل قسم مترا واحدا .

7- تحدد قيم التقسيمات البينية بين النقطتين (أ ، ج) .



شكل 61 رسم الخطوط الكنتورية بطريقة الإدراج (الحشو)

8- بما أن الاختيار هو إدراج الخطوط الكنتورية بفارق (5 متر) ، وكانت الرغبة في رسم الخطوط (10 ، 15 ، 20) ، ثم تحدد مواقع هذه المناسيب على كلا المستقيمين (أب ، أج) .

9- يتم توصيل المنسوب (10م) على المستقيم (أب) مع المنسوب (10م) على المستقيم (أج) وبذلك يتم الحصول على خط كنتور يمثل (10م) ، وتجرى العلمية نفسها على المنسوب (15م) وكذلك على المنسوب (20م) وغيرها .

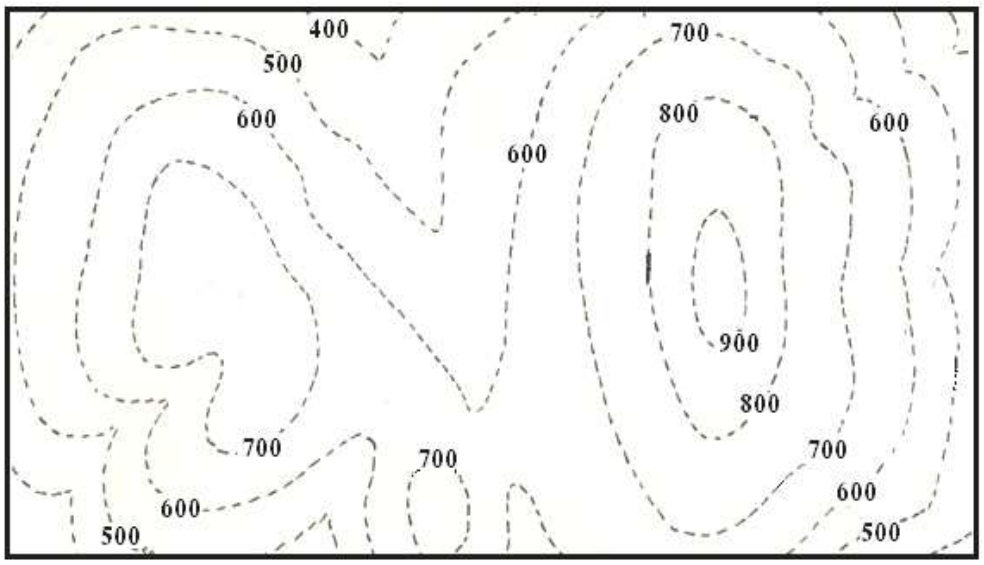
الفاصل الرأسي (الفرق الثابت بين الخطوط الكنتورية)

إن كل خط كنتور يحمل قيما تمثل مناسيب النقاط التي يمر من خلالها ؛ لذلك فإن كل خط كنتور يختلف عن الآخر في المنسوب ، ويسمى الفرق في المنسوب بين خط و آخر بالفاصل الرأسي أو الفاصل الكنتوري (contour interval) ويمثل قيمة ثابتة ، وهو عبارة عن الفرق في الارتفاع الرأسي بين كل خط كنتور وآخر ، بحيث يكون الفرق بين الخط الكنتوري الأول والثاني مساويا إلى الفرق بين الخط الكنتوري الثاني والثالث ، كما هو موضح في الشكل (62) .

يعتمد اختيار الفاصل الكنتوري (الفاصل الرأسي) على مجموعة من العوامل أهمها :

1- الفرق في الارتفاع

تزداد قيمة الفاصل الكنتوري في المناطق التي يكون التباين في الارتفاع كبيرا في المنطقة الأرضية[11] ، وعلى سبيل المثال منطقة جبلية يصل ارتفاعها أكثر من (5000م) قد يكون الفاصل الرأسي (100م أو 150م أو 200م) .



شكل 62 الخريطة الكنتورية (8)

2- درجة الانحدار

يكبر الفاصل الكنتوري كلما زاد انحدار المنطقة التي تمثلها الخطوط الكنتورية أي أن الانحدار يتناسب طرديا مع الفاصل الرأسي ، بالإضافة إلى ذلك فإن الفاصل الرأسي يزداد بازدياد معدل الانحدار (الذي يمثل العلاقة بين الفاصل الرأسي والمسافة الأفقية) ، وقلة المسافة الأفقية بين الخطوط الكنتورية ، وعلى سبيل المثال إذا كان الفاصل الرأسي (100م) والمسافة الأفقية (6000م) فإن :

معدل الانحدار = $\frac{100}{6000} = \frac{1}{60}$ (أي تنحدر الأرض مترا واحدا كلما تقدمنا مسافة (60 مترا) ، أما إذا كان الفاصل الرأسي (100م) و المسافة الأفقية (12000م) .

فإن :

معدل الانحدار = $\frac{100}{12000} = \frac{1}{120}$ أي تنحدر الأرض مترا واحدا كلما تقدمنا مسافة (120 مترا) .

3– مقياس الرسم

أ– يكون الفاصل الكنتوري صغيرا في مقياس الرسم الكبير ، بحيث يمكن تمثيل التضاريس بتفاصيل اكثر دقة .

ب– يكون الفاصل الكنتوري كبيرا في مقياس الرسم الصغير (الخريطة المليونية)،و كذلك إذا كان الفرق بين المناسيب قليلا ، وذلك لتجنب كثافة الخطوط الكنتورية ولتوضيح المعالم الرئيسة .

إن اختيار الفاصل الكنتوري بدقة ليس بالأمر اليسير إذ أن جميع العوامل آنفة الذكر تعمل مشتركة وتتفاعل مع بعضها لتحديد قيمة الفاصل الكنتوري بشكل يتلاءم مع تضاريس المنطقة .

ويمكن تطبيق المعادلة التالية لإيجاد الفاصل الكنتوري ، علما بأن هذه المعادلة تعتمد على العوامل التي نحن بصددها في هذه الفقرة .

$$\text{الفاصل الكنتوري} = \frac{\text{ظا هـ} \times \text{مقام المقياس}}{2\ (\text{ع} - \text{ر})}$$

ظا هـ = أكبر زاوية انحدار

ع = أعلى ارتفاع

ر = أدنى ارتفاع

مثال

خريطة طبوغرافية مقياسها (1 : 300000) ، فيها منطقة جبلية يصل أعلى ارتفاع فيها إلى (1500م) و أدنى ارتفاع (300م) واكبر زاوية انحدار (39°) ، المطلوب إيجاد الفاصل الكنتوري المناسب لرسم الخطوط الكنتورية .

الحل

بتطبيق المعادلة :

$$\text{الفاصل الكنتوري} = \frac{\text{ظا هـ} \times \text{مقام المقياس}}{2\ (\text{ع} - \text{ر})}$$

$$\text{الفاصل الكنتوري} = \frac{\text{ظا } 39 \times 300000}{2\ (1500 - 300)}$$

$$\text{الفاصل الكنتوري} = \frac{300000 \times 0809}{1200 \times 2} = 101$$

بعد التقريب نختار الفاصل الكنتوري = 100

رسم القطاعات التضاريسية

إن القطاع التضاريسي يعكس صورة التضاريس على طول خط القطاع وهو يجمع بين البعد الأفقي والبعد الرأسي ؛ وبمعنى آخر ترجمة الخطوط الكنتورية إلى شكل تضاريس تخطيطي على طول الخط المحدد ، و يمكن أن يكون القطاع طوليا أو مستعرضا[9] .

وللقطاع التضاريسي فوائد عديدة منها :

1- التعرف على الصفات المميزة للتضاريس .
2- معرفة نسب الارتفاع في المنطقة الواحدة .
3- التعرف على أشكال الانحدارات .
4- التعرف على اتجاه الانحدارات .
5- تحليل الخريطة بشكل محسوس ومتكامل .

طريقة رسم القطاع (الطولي والمستعرض)

يمكن رسم القطاع بطريقتين :

أ- **الطريقة المباشرة** : يمكن توضيح هذه الطريقة من خلال الأمثلة الآتية :

مثال

إذا طلب منا رسم قطاع تضاريسي بين النقطتين (أ ، ب) في الشكل (63) الذي يمثل خريطة كنتورية تضاريسية ، نتبع الخطوات الآتية :

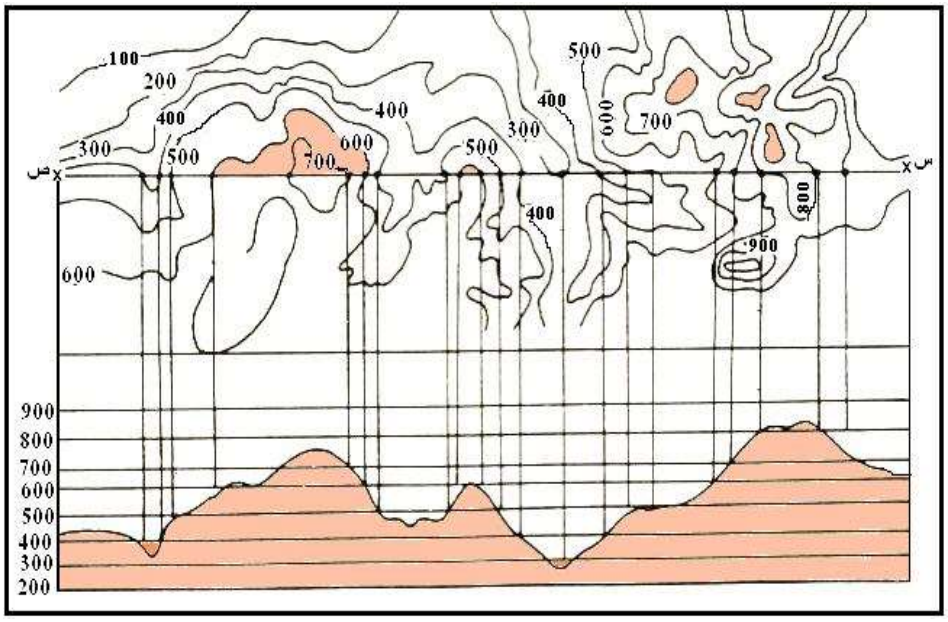
1- رسم خط مستقيم يوصل النقطتين على الخريطة .
2- وضع ورقة أسفل الخريطة مباشرة ويرسم عليها خط موازٍ إلى المستقيم (س ص) .
3- إقامة عمود من النهاية اليسرى للخط المرسوم على الورقة وتقسيمه إلى أقسام متساوية بحيث يكون عدد الأقسام مساويا لعدد قيم الخطوط الكنتورية التي يمر منها الخط (س ص) مع مراعاة عدم تكرار القيمة .
4- إنزال أعمدة باتجاه القطاع من نقاط تقاطع كل خط كنتوري مع المستقيم (س ص) ويدون تحت كل عمود قيمة الخط الكنتوري الذي اسقط منه العمود .

5- يعتـبر العمـود المقسـم في الفقـرة (3) بمثابـة مقيـاس رسـم رأسـي للارتفاعـات وترسـم خطوط " أفقية من المقياس الرأسي .

6- يحدد ارتفاع كل نقطة على خط القاعدة حسب مكانها على المقياس الرأسي ثم يتم توصيل هذه النقاط بخط سلس للحصول على شكل القطاع[10] .

7- يجب كتابة عنوان القطاع .

8- حذف الأعمدة التي تم إنزالها ، فيظهر الشكل المطلوب والذي يمثل طبيعة تضاريس المنطقة .



شكل 63 يبين طريقة رسم القطاع

ب– طريقة استخدام قطعة ورقية

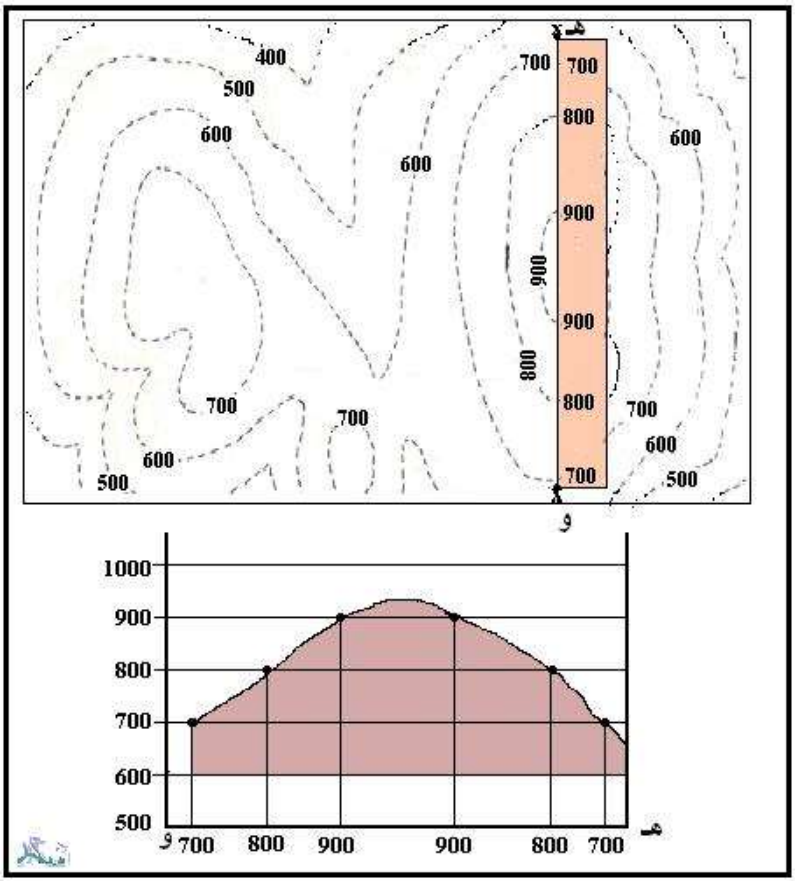
تعد هذه الطريقة من الطرق البسيطة في رسم القطاع الطولي والمستعرض حيث يتم استخدام قصاصة ورقية ومن خلالها يتم نقل القيم الخاصة بنقاط تقاطع المستقيم مع الخطوط الكنتورية ونقل هذه القيم على الورقة المراد رسم القطاع عليها ، ثم إقامة الأعمدة من اسفل خط القاعدة لكي تتقاطع مع الخطوط الأفقية من نفس القيم ومن ثم توصيل النقاط بخط سلس ، ويمكن توضيح الطريقة في المثال التالي :

مثال

يمثل الشكل (64) خريطة كنتورية تضاريسية ، المطلوب رسم القطاع التضاريسي بين النقطتين (هـ ، و) .

خطوات الرسم

1- ترسم خطا مستقيما يوصل بين النقطتين (هـ ، و) على الخريطة .
2- يتم وضع قطعة ورق مستقيمة الحافة على طول المستقيم (هـ و) الذي يمثل خط القطاع .
3- تحديد نقاط تقاطع المستقيم (هـ و) مع الخطوط الكنتورية على قطعة الورق .
4- يتم ترقيم نقاط التقاطع بنفس ارتفاعات الخطوط الكنتورية المارة بالنقاط .
5- يتم الانتقال إلى الورقة المراد رسم القطاع عليها ثم يرسم مستقيم يساوي طول المستقيم (هـ و) ويسمى بخط القاعدة .
6- إقامة عمود بطول مناسب من النهاية اليسرى لخط القاعدة ، ثم يتم اختيار المقياس الرأسي عليه وذلك بتقسيم العمود إلى أقسام متساوية ولتكن (1 سم) بحيث يكون عدد الأقسام مساويا لعدد قيم الخطوط الكنتورية التي يمر منها الخط (هـ و) مع مراعاة عدم تكرار القيمة .



شكل 64 يبين طريقة رسم القطاع باستخدام قطعة ورقية (11)

7- ترقيم المقياس الرأسي ابتداء من اقل قيمة للخطوط الكنتورية وانتهاء بأكبر قيمة وكما هو موضح في الشكل (64) .

8- يتم رسم الخطوط الأفقية من نقاط التقسيم .

9- يوضع قطعة الورق في الفقرة (2) على خط القاعدة ثم يتم نقل البيانات منها إلى خط القطاع بنفس النقاط وارتفاعاتها الكنتورية .

10-إقامة أعمدة من كل نقطة تم تحديدها في الفقرة (9) على خط القطاع .

11-تحديد نقطة تقاطع قيم الأعمدة مع نفس قيم الخطوط الأفقية ثم توصيل هذه النقاط بخط سلس للحصول على شكل القطاع .

12-يجب كتابة عنوان القطاع وحذف القيم المنقولة من قطعة الورق والأعمدة التي تمت إقامتها على خط القطاع ، للحصول على الشكل المطلوب والذي يمثل شكل القطاع للمنطقة .

دليل الخريطة Map Index

تتضمن معظم الخرائط الجيولوجية دليلا للخريطة الذي يمكن من خلاله التعرف على التتابع الطبقي (العمود الإستراتيجرافي Stratigraphic Column) للطبقات الأفقية أو المائلة التي تمثلها الخريطة ابتدأ من الأحدث ونزولا نحو الأقدم شريطة معرفة سمك كل طبقة وحسب الترسيب ، وعادة يرسم دليل الخريطة أسفل الخريطة أو على الجانب الأيمن السفلي[5] .

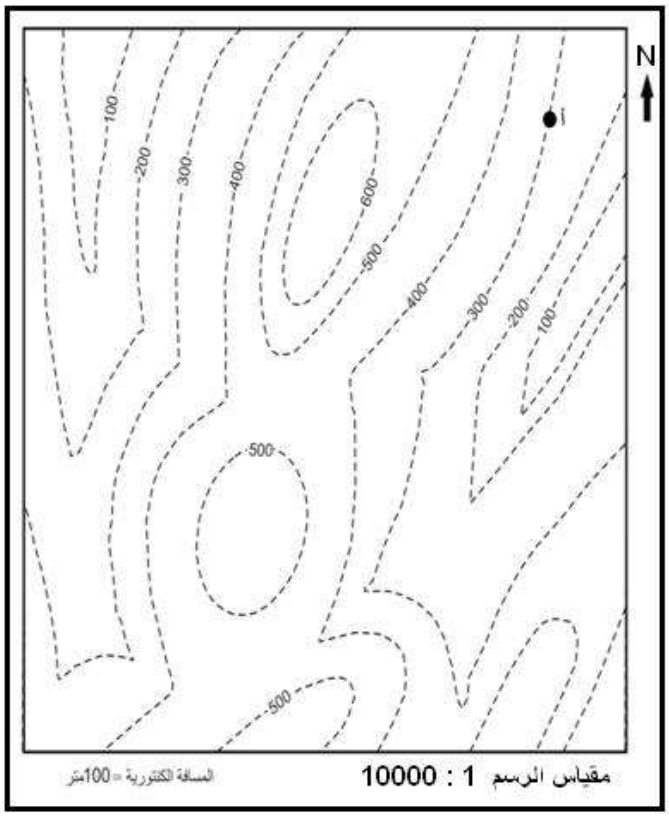
طريقة رسم الدليل الجيولوجي للطبقات

لرسم الدليل الجيولوجي للطبقات يتطلب توفر البيانات الخاصة بسمك كل طبقة أو معرفة مناسيبها (ارتفاعها عن مستوى سطح البحر) ، وعند عدم توفرها فيتم حفر آبار اختباريه ابتداء من نقطة معلومة المنسوب وتسجيل سمك الطبقات أثناء الحفر

واحدة تلو الأخرى وبعد تسجيل جميع البيانات يتم رسم الدليل الجيولوجي للطبقات وكما يأتي :

مثال

في الشكل (65) الذي يمثل خريطة طبوغرافية (خريطة كنتورية) حفر بئر اختباري عند النقطة (أ) حيث يظهر السطح العلوي لطبقة من الحجر الرملي سمكها (200م) ،



شكل 65 يبين خريطة كنتورية يبين خريطة كنتورية

وأسفلها طبقة من الحجر الجيري سمكها (100م) ، وتعلوها طبقة من الطفل سمكها (200م) ، وتوجد فوق طبقة الطفل طبقة أخرى من الرواهص (كونجلوميرات) سمكها (100م) ، المطلوب :

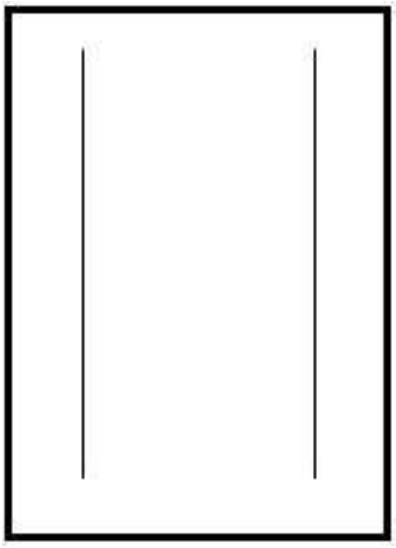
1- رسم الدليل الجيولوجي .

2- رسم جميع مكاشف الطبقات على الخريطة .

يتم رسم الدليل الجيولوجي حسب الخطوات التالية وكما يأتي :

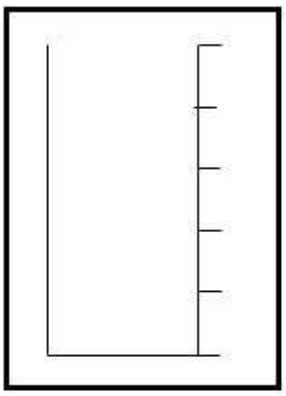
1- رسم خطين متوازيين والمسافة بينهما (2 سم) بجانب الخريطة كما هو موضح في الشكل (66) .

2- اختيار مقياس رسم مناسب وليكن (1 : 10000) وهذا يعني بأن (1سم) على الدليل يمثل (100 م) على الأرض .



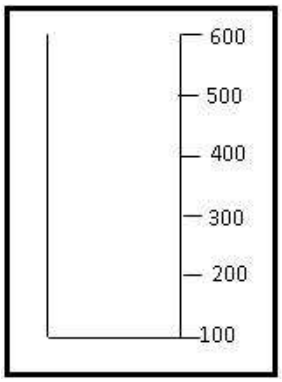
شكل 66 رسم الخطين المتوازيين

3- يتم تقسيم الخطين المتوازيين إلى عدة أقسام وكل قسم ارتفاعه (1سم) على الدليل ويمثل (100 م) على الأرض كما هو موضح في الشكل (67) .



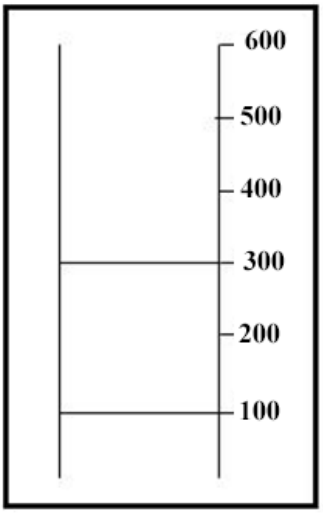
شكل 67 يبين تقسيم الخط العمودي

4- يتم وضع قيم الخطوط الكنتورية على كل قسم من أقسام الخط العمودي كما هو موضح في الشكل (68) .



شكل 68 يبين مقياس الرسم الرأسي للدليل

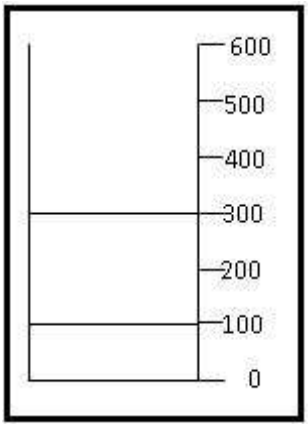
5- بما أن طبقة الحجر الرملي تظهر في النقطة (أ) وهي واقعة على خط كنتور (300م) أي أن منسوبها (300م) ، إذن السطح العلوي يظهر على خط الكنتور (300م) ولهذا يتم تحديد هذا السطح على الدليل الجيولوجي وذلك برسم خط مستقيم عند المنسوب (300م) ، ومن ثم نطرح سمك طبقة الحجر الرملي (200م) من منسوب السطح العلوي للوصول إلى السطح السفلي (300م – 200م = 100م) ونحدد السطح السفلي عند المنسوب (100م) وذلك برسم خط مستقيم عند المنسوب (100م) ، وفي نفس الوقت يعتبر هذا السطح هو السطح العلوي لطبقة الحجر الجيري الواقعة أسفل طبقة الحجر الرملي ، ثم يتم وضع الرمز الخاص لطبقة الحجر الرملي أو تلوين المساحة المحصورة بين السطح العلوي والسفلي لهذه الطبقة كما هو موضح في الشكل (69) .



شكل 69 يبين طريقة تحديد طبقة الحجر الرملي

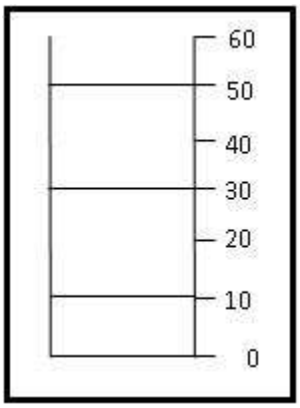
6- بما أن منسوب السطح العلوي لطبقة الحجر الجيري هو (100م) لأنها واقعة مباشرة أسفل طبقة الحجر الرملي وسمكه (100م) ، إذن يتم تحديد السطح السفلي لهذه الطبقة وذلك بطرح سمك الطبقة من منسوب السطح الذي يعلوها (100م – 100م = 0) ، وبذلك نكون قد حددنا السطح العلوي والسفلي لطبقة الحجر الجيري ، وبنفس الطريقة السابقة يتم وضع الرمز الخاص لطبقة الحجر الجيري في المساحة التي يمثلها الطبقة كما هو موضح في الشكل (70) .

7- أما طبقة الطفل (shale) وسمكها (200م) والتي تقع فوق طبقة الحجر الرملي فيكون سطحها السفلي هو السطح العلوي لطبقة الحجر الرملي (أي أن منسوبه 300م) ، أما سطحها العلوي لطبقة الطفل فيتم الوصول إليه بإضافة سمكها إلى هذا المنسوب (300م + 200م = 500م) ، وبهذا نكون قد حددنا السطح العلوي والسفلي لطبقة الطفل ومن ثم يتم وضع الرمز الخاص لها أو تلوين المساحة المحصورة بين السطح العلوي والسفلي كما هو موضح في الشكل (71) .

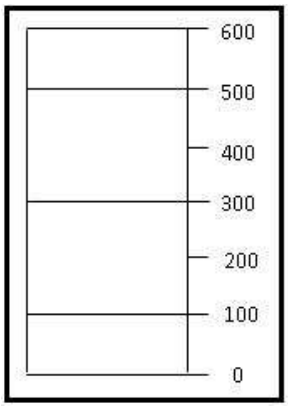


شكل 70 يبين رسم طبقة الحجر الرملي و الجيري

8- أما طبقة الرواهص فهي أعلى طبقة حيث يكون سطحها السفلي هو منسوب السطح العلوي لطبقة الطفل أي (500م) أما سطحها العلوي فيتم بإضافة سمكها إلى هذا المنسوب للوصول إلى السطح العلوي لهذه الطبقة (500م + 100م = 600م) كما هو موضح في الشكل (72) ، وبنفس الطريقة السابقة يتم تحديد حدودها ثم وضع الرمز الخاص للطبقة أو تلوينها .



شكل 71 يبين رسم طبقة الحجر الرملي والجيري والطفل



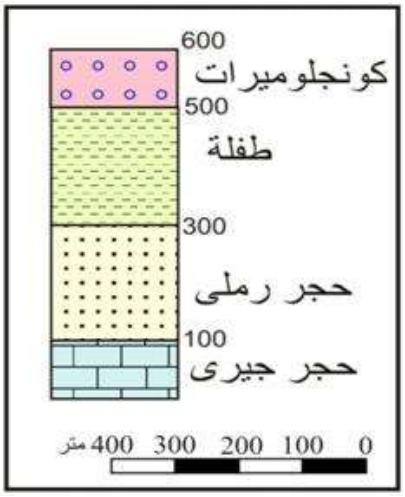
شكل 72 يبين رسم طبقة الحجر الرملي والجيري والطفل وكونجلوميرات

وعند وضع الرمز الخاص للطبقات أو تلوينها يكون الشكل النهائي الدليل في المثال السابق كما هو موضح في الشكل (73) .

ويمكن الاستفادة من الدليل الجيولوجي في تحديد أعماق الطبقات وكذلك معرفة عمق سطح معين لطبقة مدفونة تحت سطح الأرض وممثلة على الخريطة الجيولوجية وربما تكون الطبقة المدفونة إحدى الخامات المعدنية ، عندها يجب معرفة ارتفاع الموقع المطلوب وتحديد عمقه ، وباستخدام الخطوط الكنتورية نستطيع معرفة عمق سطح الطبقة المطلوب الوصول إليها .

تمثيل الطبقات الأفقية على الخريطة

عند تمثيل الطبقات الأفقية على الخرائط الجيولوجية لابد من التأكيد على حقيقة معروفة وهي تساوي قيم مناسيب جميع النقاط الواقعة على السطح العلوي للطبقة وكذلك بالنسبة إلى السطح السفلي للطبقة[5] ، وتتوازى هذه النقاط مع مستوى سطح البحر (أي

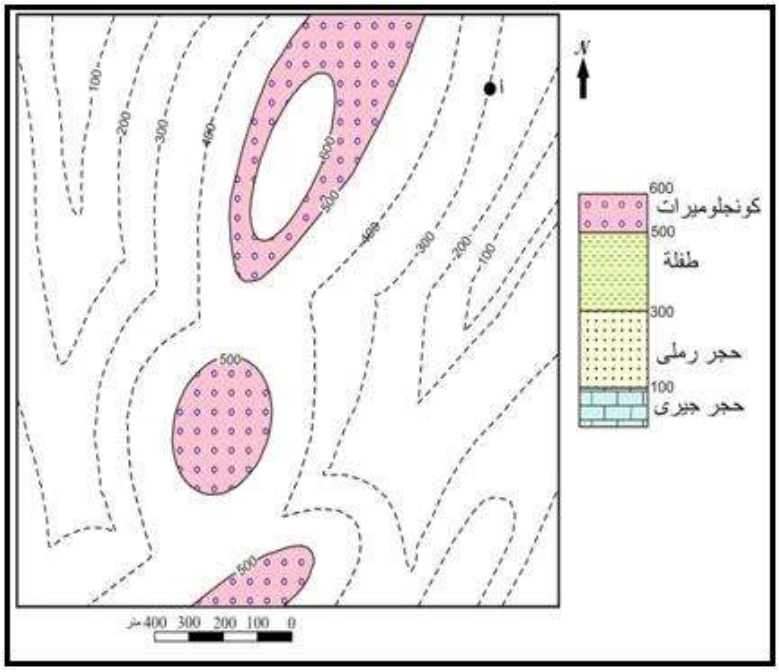


شكل 73 الشكل النهائي للدليل الجيولوجي

أن جميع النقاط على السطحين العلوي والسفلي للطبقة يوازيان مستوى سطح البحر) في حالة الطبقات الأفقية ، ومن جهة أخرى فإن الخطوط الكنتورية في الخرائط الطبوغرافية هي الأخرى موازية لمستوى سطح البحر ، لذا فإن السطح العلوي للطبقة يمكن أن ينطبق على خط كنتوري مساوٍ له في المنسوب ، وكذلك فإن السطح السفلي للطبقة يمكن أن ينطبق على خط كنتوري آخر . وبما أن الفرق بين منسوب السطح العلوي والسفلي يمثل سمك الطبقة ؛ لذا فإن الفرق بين خط الكنتور المنطبق على السطح العلوي و خط الكنتور المنطبق على السطح السفلي يمثل سمك الطبقة[6] .

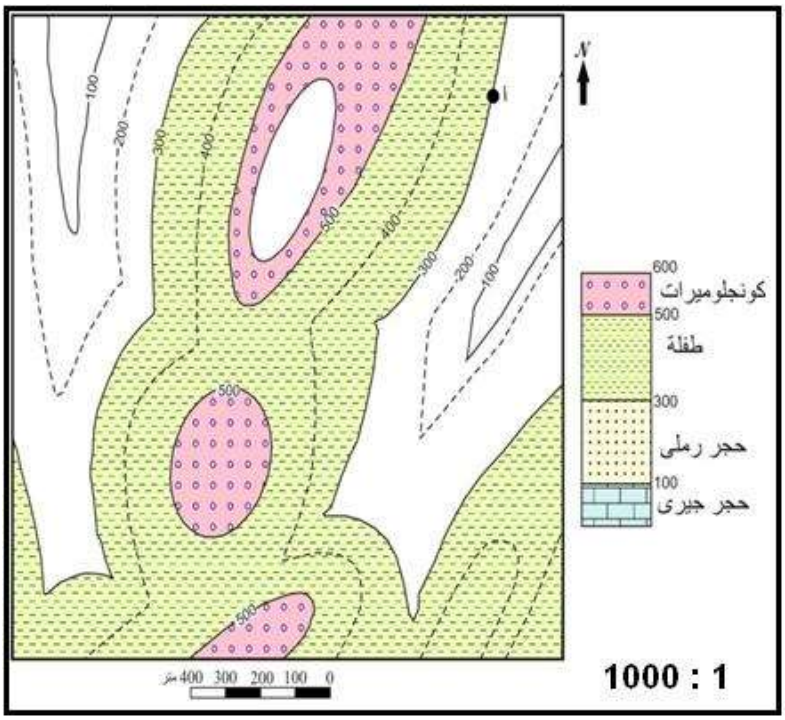
لتمثيل مكاشف الطبقات الأفقية على الخريطة الطبوغرافية في المثال السابق يتم رسم الدليل الجيولوجي أولا (كما سبق توضيحه سابقا) ، ومن الدليل الجيولوجي نرى بأن منسوب خط الكنتور للسطح العلوي لطبقة الرواهص (كونجلوميرات Conglomerate) على ارتفاع (600م) وان هذا السطح سوف ينطبق على خط الكنتور (600م) في حالة الطبقات الأفقية ولهذا نرسم خطا متصلا يمر من جميع نقاط خط الكنتور (600م) ويتم البحث في الخريطة أيضا عن أي خط كنتوري يحمل نفس المنسوب (600م) لجعله خطا متصلا ، وبذلك نكون قد حددنا سطح الطبقة العلوية للكونجلوميرات على الخريطة وكما في الشكل (74) .

ولتحديد السطح السفلي لهذه الطبقة من الضروري تحديد منسوب خط الكنتور الذي يقع عليه السطح السفلي ، وللحصول عليه نطرح سمك طبقة الكونجلوميرات الذي هو (100م) من منسوب السطح العلوي الذي يمثله الخط الكنتوري (600م) وعند تطبيقه رياضيا يكون الناتج (600م – 100م = 500م) ، وبذلك نحصل على منسوب الخط الكنتوري الذي يقع عليه السطح السفلي للطبقة وهو (500م) وعنده نستطيع رسم خط متصل يمر من جميع نقاط خط الكنتور (500م) كما هو موضح في الشكل (75) .



شكل 74 يبين الدليل الجيولوجي وتحديد السطح العلوي لطبقة الكونجلوميرات

وبذلك نكون قد حددنا السطح السفلي لطبقة الكونجلوميرات الذي يعتبر في نفس الوقت الحد الفاصل بين هذه الطبقة وطبقة الطفل التي تقع تحتها ويمكن اعتباره السطح العلوي لطبقة الطفل . ويتم البحث في الخريطة أيضا عن أي خط كنتوري يحمل نفس قيمة المنسوب (500م) لجعله خطا متصلا ،ولتحديد منسوب خط الكنتور الذي يقع عليه السطح السفلي لطبقة الطفل نطرح سمك الطبقة (200م) من منسوب السطح العلوي (500م – 200م = 300 م) وبذلك يتم الحصول على منسوب خط الكنتور الذي يقع عليه السطح السفلي وهو (300م) الذي يمثل في نفس الوقت خط الظاهر للسطح العلوي لطبقة الحجر الرملي التي تقع تحتها .

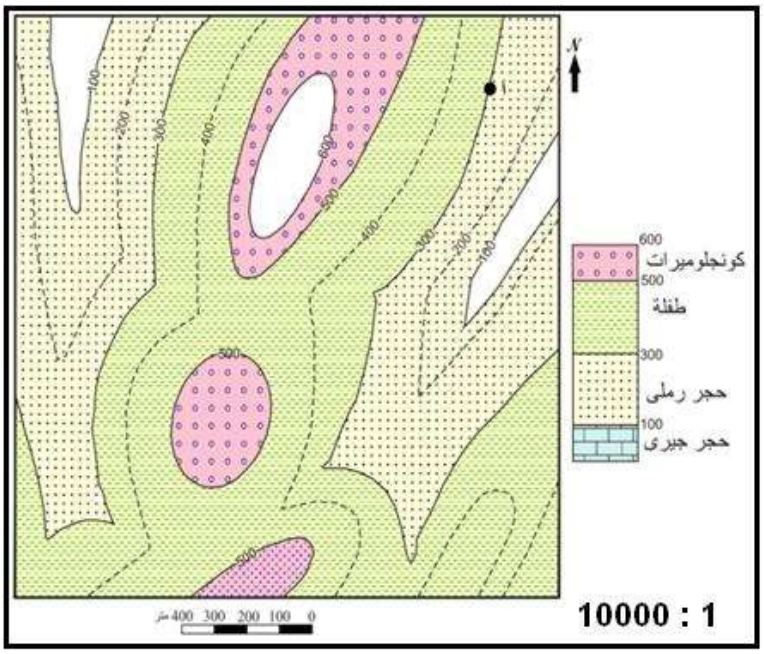


شكل 75 يبين تحديد الطبقة الكونجلوميرات والطفل

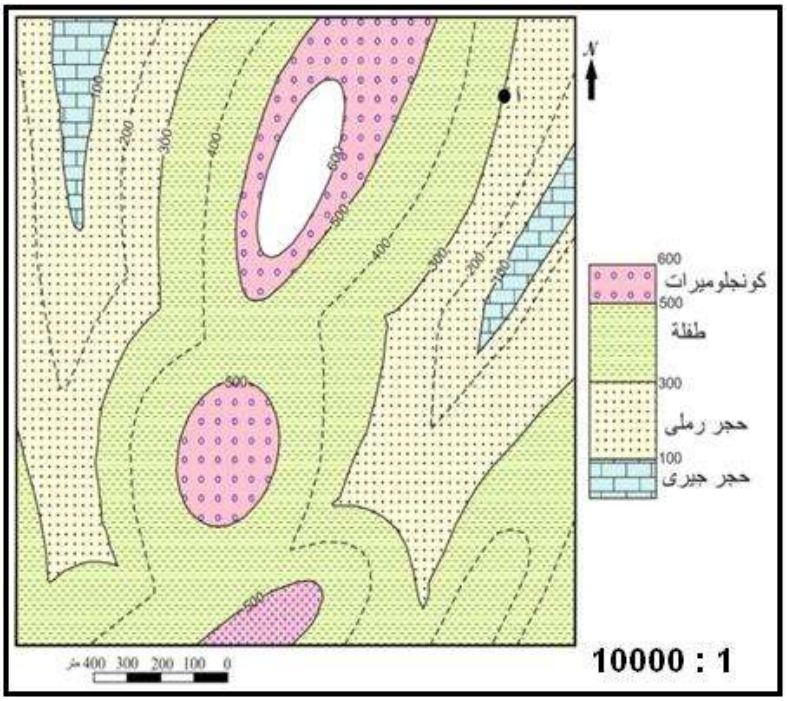
وبما أن السطح العلوي لطبقة الحجر الرملي يظهر عند النقطة (أ) ومنسوبه (300م) فإن هذا السطح سوف ينطبق على خط الكنتور (300م) ؛ ولتحديد منسوب السطح السفلي لهذه الطبقة يتم (بنفس الطريقة السابقة) طرح سمك الطبقة (200م) من منسوب السطح العلوي (300م – 200م = 100 م) ، ونحصل على خط الظاهر من سطح الطبقة السفلي للحجر الرملي وبذلك يكون السطح السفلي للطبقة منطبقا على خط الكنتور (100م) لان منسوبه أصبح معلوما وهو (100م) ولذلك نرسم خطا متصلا يمر من جميع نقاط خط الكنتور (100م) وبذلك نكون قد حددنا سطح الطبقة السفلي للحجر الرملي

وكما هو موضح في الشكل (76) ، وحيث أن هذا السطح هو بمثابة الحد الفاصل بين طبقة الحجر الرملي والحجر الجيري أي أن هذا الخط يمثل أيضا السطح العلوي لطبقة الحجر الجيري .

ولتحديد منسوب خط الكنتور الذي ينطبق عليه السطح السفلي لطبقة الحجر الجيري يتم طرح سمك هذه الطبقة والذي هو (100م) من منسوب الخط الكنتوري (100م) وبذلك نصل إلى منسوب السطح السفلي لطبقة الحجر الجيري ، وبعد إكمال رسم جميع المكاشف يتم تلوين أو وضع الرموز الخاصة المستخدمة والمتعارف عليها من قبل الجيولوجيين لكل طبقة وكما هو موضح في الشكل (77) .



شكل 76 يبين السطح العلوي والسفلي للطبقات عدا طبقة الحجر الجيري



شكل 77 يبين الأسطح العلوية والسفلية للطبقات مع الرموز

مصادر الفصل السابع

1- طه محمد جاد (1984) : تحليل الخريطة الكنتورية ، مكتبة الأنجلو المصرية ، القاهرة ، مصر .

2- علي شكري (1973) : المساحة المستوية والمائية ، الهيئة المصرية للكتاب ، القاهرة .

3- فلاح شاكر اسود (1984) : الخرائط والرسم الجغرافي ، مكتبة الفلاح ، الكويت .

4- Robinson, A .H . (1960): Elements of Cartography, 2nd Ed, New York.

5- John I. Platt (1977): Simple Geological Structures, Thomas Murby & Co.

6- أحمد أحمد مصطفى (1987) : الجغرافية العملية والخرائط ، دار المعرفة الجامعية ، الإسكندرية .

7- فلاح شاكر اسود (1984) : الخرائط والرسم الجغرافي ، مكتبة الفلاح ، الكويت .

8- JohnI. Platt (1977): Elementaryexercises upon maps, Thomas Murby publication of George Allen & Unwin, London.

9- أحمد عبد القادر المهندس (1986) : مبادئ الجيولوجيا العامة ، دار عالم الكتب ، المملكة العربية السعودية ، الرياض .

10- نفس المصدر السابق .

11- JohnI. Platt (1977): Elementaryexercises upon maps, Thomas Murby publication of George Allen & Unwin, London.