كويت جديدة
NEWKUWAIT

وزارة التربية

علم الأرض (الجيولوجيا)

١١

الصف الحادي عشر

الجزء الأوّل

كتاب الطالب

المرحلة الثانوية

الطبعة الثانية

علم الأرض
(الجيولوجيا)

كتاب الطالب

الصفّ الحادي عشر ١١

الجزء الأوّل

المرحلة الثانويّة

اللجنة الإشرافية لدراسة ومواءمة سلسلة كتب العلوم

أ. برّاك مهدي برّاك (رئيسا)

أ. مصطفى محمد مصطفى علي　　أ. فتوح عبد الله طاهر الشمالي

أ. سعاد عبد العزيز الرشود　　أ. تهاني ذعار المطيري

الطبعة الثانية

١٤٤٢ - ١٤٤٣ هـ

٢٠٢١ - ٢٠٢٢ م

حقوق التأليف والطبع والنشر محفوظة لوزارة التربية ـ قطاع البحوث التربوية والمناهج

إدارة تطوير المناهج

الطبعة الأولى ٢٠١٣ - ٢٠١٤ م
الطبعة الثانية ٢٠١٥ - ٢٠١٦ م
٢٠١٨ - ٢٠١٩ م
٢٠١٩ - ٢٠٢٠ م
٢٠٢٠ - ٢٠٢١ م
٢٠٢١ - ٢٠٢٢ م

فريق عمل دراسة ومواءمة كتب العلوم للصف الحادي عشر علمي

أ. عايدة عبدالله شريف العوضي

أ. نادية حبيب رمضان
أ. دلال محمد عبد العالي الرشيدي
أ. ابراهيم عبد النبي المحمد علي
أ. هبة إسماعيل محمد الفودري

دار التَّربَويّون House of Education ش.م.م. وبيرسون إديوكيشن ٢٠١٣

الكتاب كاملًا

شاركنا بتقييم مناهجنا

ذات السلاسل - الكويت
أودع بمكتبة الوزارة تحت رقم (٩٩) بتاريخ ٢٠١٥/٦/١م

حضرة صاحب السمو الشيخ نواف الأحمد الجابر الصباح
أمير دولة الكويت

H.H. Sheikh Nawaf AL-Ahmad Al-Jaber Al-Sabah
The Amir Of The State Of Kuwait

سمو الشيخ مشعل الأحمد الجابر الصباح
ولي عهد دولة الكويت
H.H. Sheikh Meshal AL-Ahmad Al-Jaber Al-Sabah
The Crown Prince Of The State Of Kuwait

مقدمـــة

الحمدلله رب العالمين، والصلاة والسلام على سيد المرسلين، محمد بن عبدالله وصحبه أجمعين.

عندما شرعت وزارة التربية في عملية تطوير المناهج، استندت في ذلك إلى جملة من الأسس والمرتكزات العلمية والفنية والمهنية، حيث راعت متطلبات الدولة وارتباط ذلك بسوق العمل، وحاجات المتعلمين والتطور المعرفي والعلمي، بالإضافة إلى جملة من التحديات التي تمثلت بالتحدي القيمي والاجتماعي والاقتصادي والتكنولوجي وغيرها، وإن كنا ندرك أن هذه الجوانب لها صلة وثيقة بالنظام التعليمي بشكل عام وليس المناهج بشكل خاص.

وما يجب التأكيد عليه، أن المنهج عبارة عن كم الخبرات التربوية والتعليمية التي تُقدم للمتعلم، وهذا يرتبط أيضًا بعمليات التخطط والتنفيذ، والتي في محصلتها النهائية تأتي لتحقيق الأهداف التربوية، وعليه أصبحت عملية بناء المناهج الدراسية من أهم مكونات النظام التعليمي، لأنها تأتي في جانبين مهمين لقياس كفاءة النظام التعليمي، فهي من جهة تمثل أحد المدخلات الأساسية ومقياسًا أو معيارًا من معايير كفاءته من جهة أخرى، عدا أن المناهج تدخل في عملية إنماء شخصية المتعلم في جميع جوانبها الجسمية والعقلية والوجدانية والروحية والاجتماعية.

من جانب آخر، فنحن في قطاع البحوث التربوية والمناهج، عندما نبدأ في عملية تطوير المناهج الدراسية، ننطلق من كل الأسس والمرتكزات التي سبق ذكرها، بل إننا نراها محفزات واقعية تدفعنا لبذل قصارى جهدنا والمضي قدمًا في البحث في المستجدات التربوية سواء في شكل المناهج أم في مضامينها، وهذا ما قام به القطاع خلال السنوات الماضية، حيث البحث عن أفضل ما توصلت إليه عملية صناعة المناهج الدراسية، ومن ثم إعدادها وتأليفها وفق معايير عالمية استعدادًا لتطبيقها في البيئة التعليمية.

ولقد كانت مناهج العلوم والرياضيات من أول المناهج التي بدأنا بها عملية التطوير، إيمانًا بأهميتها وانطلاقًا من أنها ذات صفة عالمية، مع الأخذ بالحسبان خصوصية المجتمع الكويتي وبيئته المحلية. وعندما أدركنا أنها تتضمن جوانب عملية التعلم ونعني بذلك المعرفة والقيم والمهارات، قمنا بدراستها وجعلها تتوافق مع نظام التعليم في دولة الكويت، مركزين ليس فقط على الكتاب المقرر ولكن شمل ذلك طرائق وأساليب التدريس والبيئة التعليمية ودور المتعلم، مؤكدين على أهمية التكامل بين الجوانب العلمية والتطبيقية حتى تكون ذات طبيعة وظيفية مرتبطة بحياة المتعلم.

وفي ضوء ما سبق من معطيات وغيرها من الجوانب ذات الصفة التعليمية والتربوية تم اختيار سلسلة مناهج العلوم والرياضيات التي أكملناها بشكل ووقت مناسبين، ولنحقق نقلة نوعية في مناهج تلك المواد. وهذا كله تزامن مع عملية التقويم والقياس للأثر الذي تركته تلك المناهج، ومن ثم عمليات التعديل التي طرأت أثناء وبعد تنفيذها، مع التأكيد على الاستمرار في القياس المستمر والمتابعة الدائمة حتى تكون مناهجنا أكثر تفاعلية.

د. سعود هلال الحربي

الوكيل المساعد لقطاع البحوث التربوية والمناهج

المحتويات

الجزء الأوّل

الوحدة الأولى: الكون والأرض

الوحدة الثانية: موادّ الأرض (I)

الوحدة الثالثة: موادّ الأرض (II)

الوحدة الرابعة: العمليات التي تغيّر تضاريس الأرض

الجزء الثاني

الوحدة الخامسة: تطوّر الأرض عبر الأزمنة

الوحدة السادسة: الخرائط الجيولوجية

الوحدة السابعة: الجيولوجيا الاقتصادية في الكويت

محتويات الجزء الأوّل

الوحدة الأولى: الكون والأرض	12
الفصل الأول: مقدّمة في علم الأرض (الجيولوجيا)	13
الدرس 1: علم الأرض (الجيولوجيا)	14
مراجعة الفصل الأول	19
الفصل الثاني: نشأة الكون	20
الدرس 1: نشأة الكون	21
الدرس 2: المجرّات ودورة حياة النجم	25
الدرس 3: نشأة المجموعة الشمسية	30
مراجعة الفصل الثاني	34
الوحدة الثانية: موادّ الأرض (I)	36
الفصل الأوّل: المعادن	37
الدرس 1: المعادن	38
الدرس 2: الخواصّ الفيزيائية للمعادن	41
الدرس 3: الخواصّ الكيميائية للمعادن	49
الدرس 4: الشكل البلّوري للمعادن	53
الدرس 5: الأحجار الكريمة	59
مراجعة الفصل الأوّل	63

الوحدة الثالثة: موادّ الأرض (II)	65
الفصل الأول: الصخور النارية	66
الدرس 1: تكوّن الصخور النارية	67
الدرس 2: تركيب الصخور النارية	70
مراجعة الفصل الأوّل	80
الفصل الثاني: الصخور الرسوبية	82
الدرس 1: منشأ الصخور الرسوبية	83
الدرس 2: التراكيب الأوّلية للصخور الرسوبية	90
الدرس 3: بيئات الصخور الرسوبية واستخداماتها	95
مراجعة الفصل الثاني	97
الفصل الثالث: الصخور المتحوّلة	98
الدرس 1: التحوّل	99
الدرس 2: أنسجة الصخور المتحوّلة	102
مراجعة الفصل الثالث	109
الوحدة الرابعة: العمليات التي تغيّر تضاريس الأرض	111
الفصل الأول: التحرّك الكتلي	112
الدرس 1: دور التحرّك الكتلي	113
الدرس 2: العوامل والمحفّزات المتحكّمة بالتحرّك الكتلي	116
الدرس 3: تصنيف عمليات التحرّك الكتلي	119
مراجعة الفصل الأوّل	125

الفصل الأول: مقدّمة في علم الأرض (الجيولوجيا)
- **الدرس الأوّل:** علم الأرض (الجيولوجيا)

الفصل الثاني: نشأة الكون
- **الدرس الأوّل:** نشأة الكون
- **الدرس الثاني:** المجرات ودورة حياة النجم
- **الدرس الثالث:** نشأة المجموعة الشمسية

اكتشف بنفسك

كيف يبدو شكل الأرض حول مدرستك؟
Like Around Your School?

الأدوات المطلوبة:

ورقة، بوصلة

1. أُرسم مربّعًا على ورقة لتمثّل مدرستك.
2. اختر كلمة تصف نوع الأرض قرب مدرستك، مثل "أرض مستوية" أو "أرض ذو مرتفعات" أو "أرض متموجة"، واكتبها إلى جانب المربّع.
3. استخدم بوصلة لتحدد جهة الشمال، واعتمد نقطة الشمال على أن تكون أعلى ورقتك.
4. إذا اتّجهت 1km شمالًا بعيدًا عن مدرستك، ما هو نوع الأرض الذي تجده؟ اختر كلمة تصف هذه الأرض في تلك المنطقة، واكتب هذه الكلمة شمال مربّعك.
5. كرّر الخطوة 4 لمناطق تبعد 1km شرق مدرستك وجنوبها وغربها.

فكّر مليًّا

إنشاء تعريفات عملية

- كيف تصف الأرض في منطقتك بجملة واحدة؟

الفصل الأول

مقدمة في علم الأرض (الجيولوجيا)

يعتمد الإنسان على موادّ الأرض الطبيعية ليلبّي حاجاته الأساسية، ونذكر منها المعادن والصخور والوقود الأحفوري. في هذا الفصل سيتمّ عرض معلومات حول علم الأرض (الجيولوجيا).

دروس الفصل

الدرس الأوّل

- علم الأرض (الجيولوجيا)

الدرس 1

علم الأرض (الجيولوجيا)
Earth Science (Geology)

أهداف الدرس

- يعرّف علم الأرض (الجيولوجيا).
- يحدّد الفرق بين الجيولوجيا الفيزيائية والجيولوجيا التاريخية.
- يذكر الاكتشافات الجيولوجية التاريخية الهامة.
- يفسّر كلّ من نظرية الكوارث Catastrophism ومبدأ الوتيرة الواحدة (الانتظام المستديم) Uniformitarianism.
- يقدّر الزمن الجيولوجي Geological Time لتقدير عمر الأرض.

شكل 1
صورة لجبل قبل البركان (الشكل أ) وبعده (الشكل ب).

- قال أبو هريرة رضي الله عنه: إنّ رسول الله صلّى الله عليه وسلّم قال «لا تقوم الساعة حتّى تعود أرض العرب مروجًا وأنهرًا» رواه مسلم.
- بحسب الحديث النبوي الشريف، كانت المنطقة العربية مليئة بالأنهر والبساتين وستعود إلى ما كانت عليه قبل انتهاء الحياة على الأرض. تُعتبَر منطقة الرقة في دولة الكويت منطقة كانت مليئة بالغابات وذلك بالاستناد إلى وجود بقايا الأشجار المتحجّرة التي تمّ اكتشافها فيها.
- إنّ الأرض دائمة التغيّر. فالبراكين التي تثور في مناطق عديدة تغيّر شكل سطح الأرض (شكل 1)، والزلازل التي تحدث في قاع المحيطات تسبّب أمواج التسونامي وتغمر الأراضي بالمياه. على سبيل المثال، كان وادي الباطن الذي يقع على حدود الكويت الغربية نهرًا ضخمًا في الماضي.
- شهد كوكب الأرض عصورًا جليدية كثيرة كان آخرها منذ عشرة آلاف سنة. ماذا تتوقّع أن يحدث لشكل سطح الأرض خلال السنين القادمة؟

1. علم الأرض (الجيولوجيا) Earth Science
(Geology)

الجيولوجيا كلمة إنكليزية أصلها لاتيني وهي مؤلّفة من كلمتين "Geo" وتعني «الأرض» و"Logos" وتعني «العلم». الجيولوجيا (علم الأرض) هو علم يبحث في كلّ ما يتعلّق بالأرض من حيث نشأتها وعلاقتها بالأجرام السماوية وتركيبها والأحداث التي شهدتها والعوامل الداخلية والخارجية التي لا تزال تؤثّر فيها.

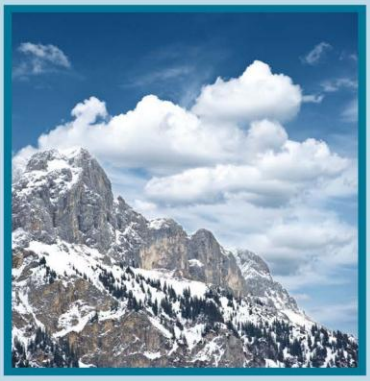
تُقسم الجيولوجيا إلى مجالين كبيرين هما الجيولوجيا الفيزيائية والجيولوجيا التاريخية.

تتناول **الجيولوجيا الفيزيائية Physical Geology** المواد المكوّنة للأرض والعمليات التي تتم تحت سطح الأرض أو على سطحها (شكل 2).

أما **الجيولوجيا التاريخية Historical Geology**، فتسعى إلى وضع ترتيب زمني للتغيرات الفيزيائية والبيولوجية التي حدثت في الأزمنة الجيولوجية الماضية.

منطقيًّا تسبق دراسة الجيولوجيا الفيزيائية دراسَةَ تاريخ الأرض، لأنه علينا إدراك كيف تعمل الأرض أولًا قبل أن نحاول حل لغز الماضي. ينقسم كل من الجيولوجيا الفيزيائية والجيولوجيا التاريخية إلى عدة مجالات من التخصصات.

يوضحُ الجدول (1) قائمة جزئية لمجالات مختلفة في دراسة الجيولوجيا، كما يمثّلُ كل فصل في هذا الكتاب مجالًا أو أكثر من التخصصات في الجيولوجيا.

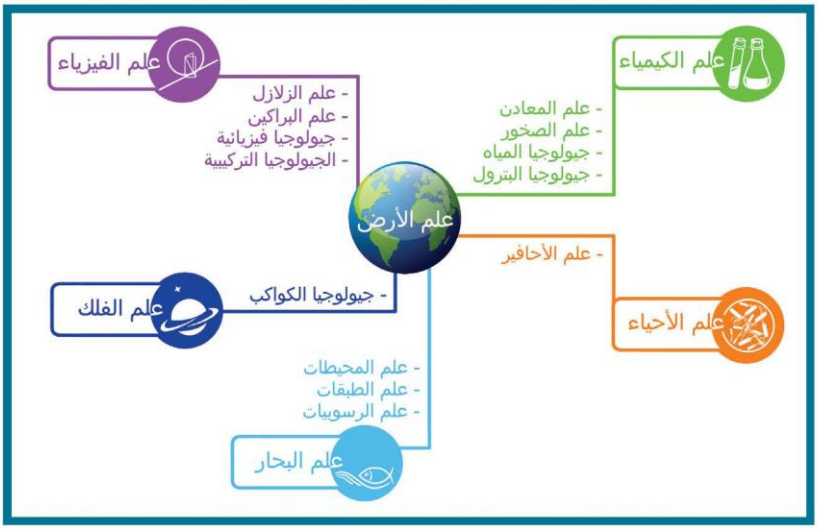


شكل 2
تحوي الصخور معلومات عن العمليات التي أدّت إلى تكونها. يوضح الاكتشاف الكبير للصخور البركانية أنها كانت قديمًا كتلة منصهرة تكوّنت في أعماق الأرض.

علم البلّورات Crystallography	علم المعادن Mineralogy
علم الصخور Petrology	علم الرسوبيات Sedimentology
جيولوجيا النفط Geology Petroleum	جيولوجيا المياه Hydrogeology
علم الجيوكيمياء Geochemistry	علم الجيوفيزياء Geophysics
علم الزلازل Seismology	علم البراكين Volcanology
علم المحيطات Oceanology	الجيومورفولوجيا (علم شكل الأرض) Geomorphology
الجيولوجيا التركيبية Structural Geology	الجيولوجيا الاقتصادية Economic Geology
جيولوجيا التعدين Mining Geology	علم الأحافير Paleontology
جيولوجيا الآثار القديمة Archeological Geology	جيولوجيا الكواكب Planetary Geology
علم المناخ القديم Paleoclimatology	علم وصف الطبقات Stratigraphy

جدول 1
المجالات المختلفة لعلم الأرض

يمثّل فهم الأرض تحديًّا كبيرًا لأن كوكبنا جسم ديناميكي ذو أجزاء متفاعلة عديدة وتاريخ معقد. والأرض منذ نشأتها في تغير دائم، فهي في الحقيقة تتغير أثناء قراءتك هذه الصفحة، وسوف تستمر في التغير في المستقبل المتوقع. وتكون التغيرات أحيانًا سريعة وعنيفة كما يحدث أثناء الانزلاقات الأرضية وثورات البراكين، وغالبًا ما تحدث التغيرات ببطء شديد، بل تكاد تكون غير ملحوظة على مدى الحياة. تتطلب الجيولوجيا فهمًا وتطبيقًا لمبادئ الفيزياء والكيمياء والأحياء. يسعى علم الجيولوجيا إلى توسيع معرفتنا بالعالم الطبيعي وموقعنا فيه. توضّح الخريطة الذهنية التالية علاقة علم الأرض ببعض العلوم الأخرى (شكل 3).



شكل 3
علاقة علم الأرض ببعض العلوم الأخرى

2. مقتطفات تاريخية عن الجيولوجيا
Historical Excerpts about Geology

كانت طبيعة الأرض –موادها وعملياتها– مركز اهتمام دراسة على مدى قرون، وترجع الكتابات عن الأحافير والأحجار الكريمة والزلازل والبراكين إلى اليونانيين منذ أكثر من 2300 عام. لم تخلُ الكتابات والتفسيرات من الخرافات. فقالوا أنّ الأرض عبارة عن قرص مسطّح يحيطه الماء، وأنّ هذا الماء مصدر جميع الموادّ الموجودة على الأرض. ثمّ اعتقد الجميع أنّ الأرض أسطوانية الشكل وأنّ كلّ الكائنات تطوّرت من الأسماك.

ارتكز قسم كبير من العلوم الطبيعية عند اليونانيين على الفلسفة والرؤى. ثمّ جاء العلماء العرب واقتبسوا العلوم منهم مضيفين معلومات كثيرة مبنية على تفسير الظواهر الطبيعية والبحث العلمي.

أدّى العلماء العرب والمسلمون دورًا مهمًّا في مجال علم الأرض، نذكر منهم ابراهيم الفزاري الذي صنع أوّل جهاز استخدمه العرب لتحديد

هل تعلم؟

إنّ العالم جاليليو Galileo 1564–1642م هو أوّل من برهن أنّ الأرض تدور حول محورها من الغرب إلى الشرق.

إنّ العالم أبو الريحان البيروني قاس محيط الأرض ووجد الوزن النوعي لبعض الفلزّات والأحجار الكريمة.

يُذكَر ضمن العلماء المعاصرين الدكتور العربي المسلم فاروق الباز، وهو أحد الجيولوجيين المشاهير في القرن العشرين، عمل مع وكالة ناسا NASA وساعد في اختيار مواقع الهبوط على القمر لبعثات أبوللو، وساهم في تدريب روّاد الفضاء. وقد طوّر نظام استخدام الاستشعار عن بُعد ليُستخدَم في اكتشاف بعض الآثار المصرية.

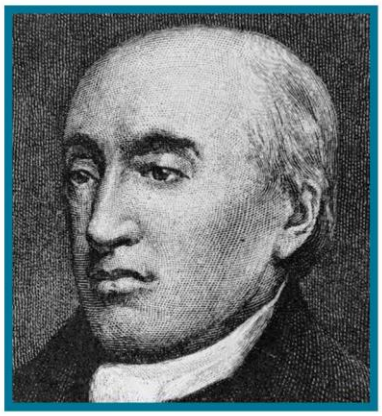
العالم أبو الريحان البيروني

الدكتور فاروق الباز

ارتفاع النجوم والكواكب، وابن سينا الذي كان أوّل من درس المعادن دراسة علمية وكانت له دراسات في علم البحار وكيفية تكوُّن الصخور الرسوبية، وجلال الدين السيوطي الذي أعدّ سجلًّا خاصًّا بالزلازل موضِّحًا تاريخ حدوثها وأشكال الدمار المصاحبة لها، وغيرهم.

خلال القرنين السابع عشر والثامن عشر، أثّرت نظرية **الكوارث Catastrophism** بشكل ملحوظ في فكر الناس حول الأرض. فقد تضمّنت هذه النظرية أنّ المواقع الطبيعية، كالجبال والوديان، قد تشكّلت في البداية بعد وقوع كوارث هائلة، وأنّها نتجت عن عوامل لم يعرفها العلماء حينها.

وفي عام 1795، نشر الفيزيائي الاسكتلندي والمزارع جيمس هاتون (شكل 4) كتابًا عنوانه **"نظرية الأرض Theory of Earth"**. ووضع فيه مبدأ **الوتيرة الواحدة** (الانتظام المستديم) **Uniformitarianism** الذي يُعَدّ المبدأ الأساسي وركيزة الجيولوجيا الحديثة. ينصّ هذا المبدأ على أنّ القوانين الفيزيائية والكيميائية والبيولوجية القائمة الآن كانت هي نفسها في الماضي الجيولوجي. وبمعنى آخر، كلّ ما نلاحظه من قوى وعمليات لتشكُّل كوكبنا الآن لم يتغيّر منذ زمن طويل. لذلك، ومن أجل فهم الصخور القديمة علينا أوّلاً أن نفهم العمليات الحالية ونتائجها، أي أنّ الحاضر هو مفتاح الماضي.



شكل 4
جيمس هاتون (1726 – 1797)، مكتشف الجيولوجيا الحديثة

بالرغم من أنّ هاتون وآخرون قد أدركوا أنّ الزمن الجيولوجي طويل جدًّا، إلّا أنّه لم تتوفّر لديهم أيّ طريقة لتحديد عمر الأرض. وكانت أوّل محاولة لتحديد عمر الأرض عام 1905 باستخدام الطاقة الإشعاعية. فقد استطاع علماء الجيولوجيا تحديد الأزمنة الدقيقة لأحداث تاريخ الأرض بواسطة النظائر المشعّة والأجهزة العلمية الحديثة. فأصبحنا نعرف الآن أنّ الديناصورات قد انقرضَتْ منذ حوالى 65 مليون سنة، وأنّ عمر الأرض الإجمالي يُقدَّر بحوالى 4.5 مليار سنة.

هل تعلم؟

تشير التقديرات إلى أن عمليات التعرية تخفض جبال قارة أمريكا الشمالية بمعدل 3cm تقريبًا كل 1000 عام. بهذا المعدل، يجب أن يمرّ 100 مليون عام على قمة يبلغ ارتفاعها 3000 متر (10.000 قدم) لكي تصبح بمستوى سطح مياه البحار.

تشكل هذه القمة جزءًا من سلسلة جبال أميركا الشمالية.

مراجعة الدرس 1

1. تنقسم الجيولوجيا إلى مجالين كبيرين. اذكر اسمي هذين المجالين وقارن بينهما.
2. اكتب بإيجاز دور اثنين من علماء العرب في علم الأرض (الجيولوجيا) من خلال إجراء بحث على شبكة الإنترنت أو في مكتبة المدرسة.
3. كيف ساهمت الاقتراحات المؤيدة لنظرية الكوارث في تفسير الأحداث الجيولوجية لتحديد عمر الأرض؟
4. صف مبدأ نظرية الانتظام المستديم. وكيف قدّر مؤيّدو هذه الفكرة عمر الأرض؟
5. كم يبلغ عمر الأرض تقريبًا؟ حدّد الطريقة التي استخدمها العلماء لتحديد عمر الأرض؟

أسئلة مراجعة الفصل الأوّل

أولًا: أكمل العبارات التالية بما يناسبها علميًّا.

1. المجالين الرئيسيين للجيولوجيا هما ..... و ..... .
2. يعتبر مبدأ ..... ركيزة علم الأرض في العصر الحاضر.

ثانيًا: اختر الإجابة المناسبة للعبارات التالية:

1. تسعى الجيولوجيا ..... إلى فهم العديد من العمليات التي تحدث تحت و/أو على سطح الأرض.
(الهندسية – الحيوية – التاريخية – الفيزيائية)
2. ينادي مبدأ ..... بأن القوانين الفيزيائية والكيميائية والبيولوجية القائمة الآن كانت هي نفسها قائمة في الماضي الجيولوجي.
(الكوارث – الانتظام المستديم – الانقراض الجماعي – الخلق الخاص)

ثالثًا: اكتب المصطلح العلمي المناسب لكل من التعريفات التالية:

1. قسم من الجيولوجيا يتناول الموادّ المكوّنة للأرض. .....
2. الكثير من الملامح والمظاهر للأرض تم تشكيلها بواسطة كوارث هائلة. .....
3. المبدأ الذي ينادي بأن «الحاضر هو مفتاح الماضي». .....

رابعًا: علل ما يلي:

1. يعتقد الكثيرون أن الأرض ثابتة الملامح وغير متغيرة.
2. منطقيًّا، يجب أن تدرس الجيولوجيا الفيزيائية قبل دراسة تاريخ الأرض.

خامسًا: أسئلة مقالية

1. ما هو الانتظام المستديم؟
2. ارسم خريطة ذهنية توضّح علاقة علم الأرض بعلوم أخرى لم تذكر في الخريطة الذهنية السابقة.

الفصل الثاني

نشأة الكون
Origin of the Universe

يُعرف الكون أنّه مجمل الوجود، بما في ذلك الكواكب والنجوم والمجرّات ومحتويات الفضاء بين المجرّات من مادّة وطاقة. عمر الكون تقريبًا 13.7 مليار عام (بحسب تقدير الفيزيائيين)، وقطر الجزء المرئي من الكون يبلغ حوالى 93 مليار سنة ضوئية على الأقلّ فيما تزال المعلومات حول الجزء غير المرئي مبهمة. أمّا الحقيقة التي اتّفق عليها العلماء بناءً على مشاهداتهم الفلكية هي أنّ الكون يستمرّ في الاتّساع. فمقارنة حجم الأرض بالشمس هي تمامًا كمقارنة حصى صغيرة بكرة سلّة. حاول إذًا مقارنة حجم الشمس بالنسبة إلى المجموعة الشمسية التي تمثّل جزءًا صغيرًا جدًّا من مجرّتنا (درب التبانة) التي تمثّل حجمًا متواضعًا مقارنة بالأحجام الهائلة لملايين المجرّات الأخرى المنتشرة في الكون. هكذا يمكنك تصوّر حجم الكون الذي يسير بنظام محكم قدّره أحكم الحاكمين سبحانه وتعالى، الذي وصف أجزاءً من الكون ونظامها أبلغ وصف عندما قال في محكم التنزيل ﴿ وَٱلْقَمَرَ قَدَّرْنَٰهُ مَنَازِلَ حَتَّىٰ عَادَ كَٱلْعُرْجُونِ ٱلْقَدِيمِ ﴿٣٩﴾ ﴾ [يس:٣٩]

﴿ لَا ٱلشَّمْسُ يَنۢبَغِى لَهَآ أَن تُدْرِكَ ٱلْقَمَرَ وَلَا ٱلَّيْلُ سَابِقُ ٱلنَّهَارِ ۚ وَكُلٌّ فِى فَلَكٍ يَسْبَحُونَ ﴿٤٠﴾ ﴾ [يس:٤٠]

﴿ وَءَايَةٌ لَّهُمُ ٱلْأَرْضُ ٱلْمَيْتَةُ أَحْيَيْنَٰهَا وَأَخْرَجْنَا مِنْهَا حَبًّا فَمِنْهُ يَأْكُلُونَ ﴿٣٣﴾ وَجَعَلْنَا فِيهَا جَنَّٰتٍ مِّن نَّخِيلٍ وَأَعْنَٰبٍ وَفَجَّرْنَا فِيهَا ﴿٥﴾ ﴾ [السجدة:٥]

﴿ تَعْرُجُ ٱلْمَلَٰٓئِكَةُ وَٱلرُّوحُ إِلَيْهِ فِى يَوْمٍ كَانَ مِقْدَارُهُۥ خَمْسِينَ أَلْفَ سَنَةٍ ﴿٤﴾ ﴾ [المعارج:٤]

دروس الفصل

الدرس الأوّل
- نشأة الكون

الدرس الثاني
- المجرات ودورة حياة النجم

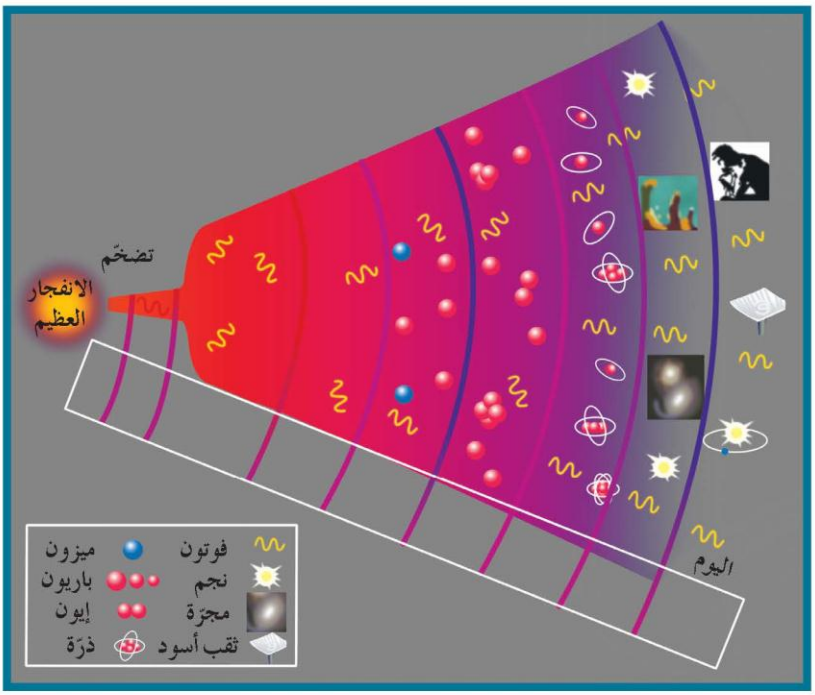
الدرس الثالث
- نشأة المجموعة الشمسية

الدرس 1

نشأة الكون
Origin of the Universe

أهداف الدرس

- يشرح نظرية الانفجار العظيم.
- يعرّف السدم وأنواعها.



شكل 5
نشأة الكون

قال تعالى: ﴿ وَٱلسَّمَآءَ بَنَيۡنَٰهَا بِأَيۡيْدٖ وَإِنَّا لَمُوسِعُونَ ﴿٤٧﴾ ﴾ [الذاريات:٤٧]

أكّد الله في كتابه الكريم عظمة الكون وكبر حجمه، مقارنة بما نراه من عظمة خلق الله سواء في أنفسنا أو فيما حولنا. منذ أن وُجد الإنسان على هذه الأرض وهو يتساءل عن أصل الأشياء وأسباب وكيفية تكوّنها. وقد كان للإنسان العديد من التصوّرات والنظريات في تفسير نشأة هذا الكون الهائل، بعضها يُعدّ أساطير وبعضها الآخر أصبح أفكارًا غير واقعية وبعضها نظريات لم تثبت صحّتها، إلى أن تحدّث عالم الفلك البليجيكي «جورج لو ميتر George Le Maitre" سنة 1927 عن تصوّر له نتيجة ملاحظاته الدقيقة للكون. فوجد أنّ الكون في بدء نشأته كان كتلة غازية عظيمة الكثافة واللمعان والحرارة وسمّاها البيضة الكونية Cosmic Egg.

فقرة إثرائية

الفوتون Photon هو جسيم أوّلي متناهي الصغر مسؤول عن الظاهرة الكهرومغناطيسية، وهو حامل الإشعاع الكهرومغناطيسي لكلّ أطوال الموجات، بما في ذلك أشعّة جامّا، والأشعّة السينية، والضوء فوق البنفسجي، والضوء المنظور، والضوء تحت الأحمر، والميكروويف وموجات الراديو. ويختلف الفوتون عن الكثير من الجسيمات الأوّلية الأخرى بحيث كتلة استقراره معدومة، لذلك، فإنّه يتحرّك في الفراغ بسرعة الضوء.

الميزون Meson هي جسيم أوّلي له شحنة موجبة أو سالبة أو متعادلة. تتّفق الميزونات في أنّ كتلتها 200 مثل كتلة الإلكترون ولها عزم مغزلي يساوي 1. إنّها جسيمات غير مستقرّة، بحيث تبدأ بالتفكّك إلى جسيمات أخفّ في أقلّ من جزء من الثانية بعد تكوينها مباشرة.

الباريون Baryon، اعتُقد وقت اكتشاف الباريون أنّ كتلته هي الأثقل من بين الجسيمات الأوّلية، وأنّه ينتمي إلى عائلة الجسيمات المركّبة التي تحتوي على ثلاث كواركات، على عكس الميزونات التي هي من العائلة نفسها وتحتوي على كوارك واحد وضد كوارك Antiquark. ولكن تبقى الباريونات والميزونات جزءًا من عائلة جسيمات أكبر وهي الهادرونات.

الوحدة الفلكية هي وحدة يُقاس بها بُعد الكواكب عن الشمس وهي تساوي متوسّط المسافة بين الأرض والشمس.

السنة الضوئية هي وحدة قياس تُستخدم للمسافات الكبيرة والبعيدة جدًّا كالمسافة بين الأرض والنجوم. وتُعرف السنة الضوئية بأنّها المسافة التي يقطعها الضوء في سنة واحدة.

ثمّ حصل في هذه الكتلة، بتأثير الضغط الهائل المنبثق من شدّة حرارتها، انفجار عظيم فتّتها وقذفها مع أجزائها في كلّ اتّجاه فتكوّنت الكواكب والنجوم والمجرّات مع مرور الوقت.

ولقد سمّى بعض العلماء هذه النظرية الانفجار العظيم " Big Bang" (شكل 5)، وتُعتبر من أكثر النظريات التي فسرت نشأة الكون ولاقت قبولًا بين الأوساط العلمية، وهي تنص بأن الكون بدأ من حوالى 13,7 مليار سنة، عندما كانت مادّة الكون وطاقته مجتمعتين في بؤرة صغيرة سُمّيت بالذرّة الأمّ أو أيضًا بالبيضة الكونية. وقد امتازت هذه الذرّة بكثافة لانهائية وبدرجة حرارة عظيمة. ثم انفجرت هذه النواة انفجارًا عظيمًا Big Bang، فتناثرت محتوياتها في كلّ اتّجاه. وخلال هذا الانفجار حدث تمدد وطرد للغازات مبتعدة عن المركز بسبب الفارق الضغطي بين قوّة الجذب وتمدّد الغازات.

في عام 1929، أثبت أدوين هابل Edwin Hubble تأييده لنظرية الانفجار العظيم بإعطاء دليل رصدي لها. اكتشف هابل أن المجرات تتباعد وتتراجع بعيدًا في جميع الاتجاهات، وهو ما عُرف لاحقًا باسم قانون هابل استنادًا إلى ظاهرة دوبلر فإن الكون لا يملك اتجاهًا مفضلًا ولا مكانًا مفضلًا لذلك كان استنتاج هابل أن الكون يتوسع بشكل معاكس تمامًا لنظرية أينشتاين عن كون ساكن Static Universe تمامًا.

كما أنه في سنة 1989 أرسلت وكالة الفضاء الأمريكية "NASA" قمرًا صناعيًّا "Cobe Explorer" (شكل 6) والذي قام بعد ثلاث سنوات بإرسال معلومات دقيقة إلى الأرض تؤكد نظرية الانفجار العظيم وسمي هذا الاكتشاف باكتشاف القرن العشرين في ذلك الوقت. وهو ليس بشيء جديد لدينا حيث ذكر في قرآننا الكريم في قوله عز وجل: ﴿ أَوَلَمْ يَرَ ٱلَّذِينَ كَفَرُوٓاْ أَنَّ ٱلسَّمَٰوَٰتِ وَٱلْأَرْضَ كَانَتَا رَتْقًا فَفَتَقْنَٰهُمَاۖ وَجَعَلْنَا مِنَ ٱلْمَآءِ كُلَّ شَىْءٍ حَىٍّۖ أَفَلَا يُؤْمِنُونَ ﴿٣٠﴾ ﴾ [الأنبياء:٣٠]

شكل 6
القمر الصناعي COBE Explorer

هل تعلم؟

يُسمّى هذا التأثير تأثير دوبلر نسبة لدوبلر الذي اكتشف هذه الظاهرة عام 1842 م. ظاهرة دوبلر عبارة عن تغيُّر ظاهري لتردّد الأمواج أو لطولها الموجي عندما تُرصد من قبل مراقب متحرّك بالنسبة للمصدر الموجي. ولكي يستطيع المشاهد رصد التغيّر في الطول الموجي للموجات القادمة إليه من المصدر، عليه البقاء ثابتًا في مكانه. بالتالي، يصبح قادرًا على تحديد ما إذا كان الجسم مقترباً أو مبتعداً. فالانزياح نحو الأحمر يعني زيادة طول موجة الضوء القادمة إلينا طبقًا لظاهرة دوبلر بينما الانزياح الأحمر للضوء يحدث بفعل سرعة المصدر في الابتعاد عنا.

ومن أهمّ تطبيقات ظاهرة دوبلر استخدام عالِم الفلك الأمريكي هابل عام 1929 هذه الظاهرة في رصد النجوم، واكتشف أنّ مجرّة أندروميدا تقع خارج مجرّتنا المعروفة بالطريق اللبني. واستطاع هابل رصد السماء وإيجاد عدّة مجرّات مماثلة بعيدة. فاندهش عندما وجد أنّ كلّ تلك المجرّات تبتعد عنّا بسرعات عظيمة وفي جميع الاتّجاهات. وقد توصّل إلى هذا التفسير عندما وجد أنّ أطياف تلك المجرّات منزاحة بدرجات متفاوتة نحو اللون الأحمر.

بفضل هذا الاكتشاف، عرفنا أنّ الكون يأخذ في الاتّساع. عندها تغيرت نظرة الإنسان للكون إذ اعتُقِد قديمًا أنّ حجم الكون ثابت. ويُعتبَر هذا الاكتشاف من أعظم اكتشافات البشرية في القرن العشرين.

لقد أصبح لدى العلماء في الوقت الحاضر معرفة أفضل عن الكون، بفضل التقدم العلمي والتكنولوجي وتطور التلسكوبات البصرية والراديوية، فلقد أصبح من الممكن التعرف على أن الكون يتألف من ثلاث لبنات أساسية: تتألف اللبنة الأوّلي من السحب الغازية (السدم الغازية) واللبنة الثانية تتكون من الغبار الكوني (السدم الغبارية) واللبنة الثالثة والمهمّة وهي اللبنة الأساسية لبناء الكون وهي النجوم.

السدم Nebulae

هي تجمعات من الغازات والأتربة بعضها قديم التكوين نشأ مع بداية نشأة الكون، ولذلك تحتوي على نسبة عالية من الهيدروجين والهيليوم ولا تحتوي على عناصر ثقيلة. والغالب منها عبارة عن بقايا انفجارات النجوم وما تخلفه من غازات وأتربة وتكون نسبة العناصر الثقيلة في هذه السدم عالية إذ تكونت هذه العناصر من المخلفات النجمية. ومن أشهر أشكال السدم: سديم الحصان أو رأس الفرس Horsehead Nebula، سديم الجبار Orion Nebula، سديم السرطان Crab Nebula وسديم الوردة Rosette Nebula (شكل 7).

شكل 7
أشهر أمثلة السدم Nebulae

فقرة إثرائية

ربط الجيولوجيا بالفيزياء

قانون الكون الثابت لآينشتاين

اعتقد أينشتاين أنّ الكون لا يتمدّد ولا ينكمش، بل هو ساكن وجميع النجوم والسدم فيه ثابتة في أماكنها.

نشاط إثرائي

تمدد الكون The Expansion of the Universe

الأدوات المطلوبة:

بالون، قلم تأشير، مسطرة، شريط ورق مقسّم (يمكن الحصول عليه بقطعه من فرخ رسم بياني)

الخطوات:

- أُنفخ البالون قليلًا ليصبح بحجم قبضة اليد، ثمّ ارسم نقاط على سطح البالون باستخدام قلم التأشير ورقّمها (من 10 إلى 15 دائرة).
- أُحسب المسافات بين النقطة الأولى وباقي النقاط مُقاسة مرّة بالمسطرة ومرّة بشريط الورق.
- أُنفخ البالون أكثر (أربع أو خمس نفخات متوسّطة) ثمّ أغلق الفتحة.
- أُحسب المسافة بين النقطة الأولى وأقرب النقاط إليها باستخدام شريط الورق المقسّم والمسطرة.
- سجّل قياساتك في جدول.
- أُنفخ البالون إلى أقصى حدّ ممكن ثمّ كرّر الخطوتين 2 و4 وسجّل ملاحظاتك في الجدول نفسه.

التحليل والاستنتاج:

تفحّص الصورة وتخيّل أنّ النقاط المرسومة على البالون تمثّل المجرّات المنتشرة في الكون، ثمّ أجِب عن الأسئلة التالية:

- هل تتّسع مساحة النقاط مع زيادة حجم البالون؟
- هل تتباعد النقاط مع تزايد حجم البالون؟
- إذا علمت أنّ التلسكوبات الفضائية أوضحت أنّ المجرّات تتباعد عن مجرّة درب التبّانة وتتمدّد في المساحة، ماذا تستنتج من ذلك بناءً على النشاط الذي أجريته؟

مراجعة الدرس 1

1. ما المقصود بـ:
   - البيضة الكونية؟
   - قانون هابل؟
   - اللبنات الأساسية للكون؟
2. عرّف السديم وميّز بين أشكاله.
3. ما دليلك على اتساع الكون؟

الدرس 2

المجرات ودورة حياة النجم
Galaxies and Star Cycle

أهداف الدرس

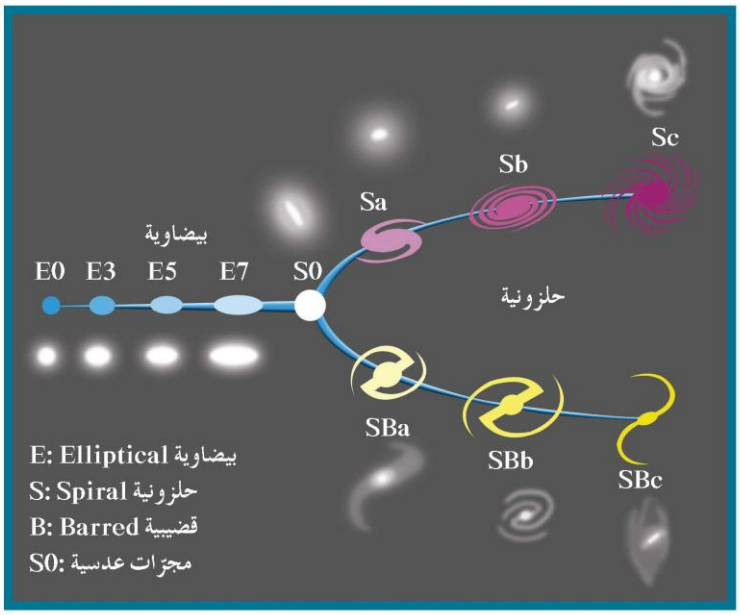
- يفرّق بين المجرة والنجم.
- يصنّف المجرات تبعًا لشكلها.
- يشرح دورة حياة النجم.

شكل 8
إحدى المجرات المنتشرة في الكون

1. المجرات Galaxies

المجرات عبارة عن نظام كوني وحدته النجوم أو الحشود النجمية والسدم التي ترتبط معًا بقوى جذب كونية متبادلة، وهي ليست ثابتة في مكانها بل تدور ككتلة واحدة حول محور وهمي في مركز المجرة مع اختلاف حركة أجزائها الداخلية، وتتحرك في الوقت نفسه في الكون مبتعدة عن بعضها البعض (شكل 8). ويبلغ اتساع المجرات مئات السنين الضوئية وتختلف فيما بينها من حيث الحجم والكتلة وعدد النجوم التي تحويها. ولقد سُميت بحسب أشكالها تبعًا لتصنيفها الذي قام به العالم هابل Hubble (شكل 9)، ومنها:

- المجرات الإهليلجية (بيضاوية)
- المجرات الحلزونية (لولبية)
- المجرات العدسية



شكل 9
تقسيم هابل للمجرات

وأهم مجرة لنا هي مجرة درب التبانة أو الطريق الحليبي Milky Way Galaxy والتي تعتبر الشمس أحد نجومها (شكل 10). وأقرب المجرات لنا هي مجرة المرأة المسلسلة ومجرة سحابتا ماجلّان.

شكل 10
مجرة درب التبانة

1.1 مجرة درب التبانة Milky Way Galaxy

تحوي أكثر من مائتي مليار نجم. ويقدر العلماء قطرها بحوالى 100 ألف سنة ضوئية، وتحوي الكثير من التجمعات الضوئية، بما فيها المجموعة الشمسية، والتي ينتمي إليها كوكبنا كوكب الأرض، وتقع المجموعة الشمسية في أحد أذرع المجرّة الذي يسمّى ذراع الجبار Orion Arm.

2. النجوم ودورة حياتها Stars and Star Cycle

النجم هو جرم سماوي يشع ضوء وحرارة ذاتيًّا، تنتشر النجوم في المجرات وهي من المكونات الأساسية لها، ومن أقرب الأمثلة لنا الشمس. كما أن للإنسان دورة حياة تبدأ بميلاده وتنتهي بموته، فإن للنجوم أيضًا دورة حياة تبدأ بمولدها وتنتهي بموتها، وقد يستغرق الأمر ملايين السنين حتى يكمل النجم دورة حياته. يمر النجم أثناء دورة حياته بأربع مراحل هي مرحلة النجم الأوّلي ومرحلة البلوغ ومرحلة الشيخوخة (العملاق الأحمر) ومرحلة الموت. وتتشابه النجوم في المراحل الثلاث الأولى في حين تعتمد مرحلة الموت على حجم النجم.

1.2 دورة حياة النجم Star Cycle

نشاط: أنواع النجوم

معلومة أساسية: تنتج طاقة النجم الحرارية والإشعاعية عن اندماج ذرات وأيونات الهيدروجين لتكون ذرات أثقل هي الهليوم. يسمى هذا التفاعل الاندماج النووي.

الأدوات: قطعة سلك صلب، ماسك، موقد بنزن

الطريقة: امسك قطعة السلك بالماسك. لاحظ السلك. إنّه غير مشعّ. سخّن طرف السلك على موقد بنزن في المختبر.

1. ماذا حدث للون طرف السلك عندما بدأ يسخن؟
2. عندما استمر التسخين لمدّة أطول، ماذا أصبح لون إشعاع السلك؟
3. إلى أيّ لون تحوّل عندما قارب طرف السلك على الانصهار؟

استنتج: ضع خطًّا تحت الإجابة الصحيحة.

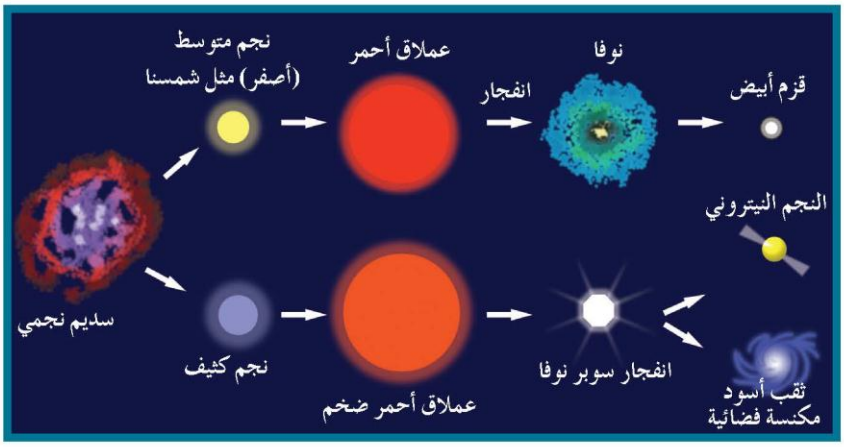
1. السلك قبل تسخينه في النشاط السابق يمثل (نجم، كوكب).
2. ماذا يحدث لو زادت معدلات اندماج ذرات الهيدروجين؟ (ترتفع درجة حرارة النجم ويتحول من الأحمر إلى الأصفر أو من الأصفر إلى الأبيض – ترتفع درجة حرارة النجم ويتحول من الأبيض إلى الأصفر أو من الأصفر إلى الأحمر).
3. ماذا يحدث لو تحول كل الهيدروجين إلى هليوم؟ (يتوقف الإشعاع نهائيا – تندمج ذرات الهليوم لتعطي ذرات أثقل وتنطلق طاقة أكبر)

1.1.2 مرحلة النجم الأوّلي

ينشأ النجم الأوّلي نتيجة انكماش سديم بارد جدًّا من الغازات والغبار المنتشر في الفضاء تحت تأثير الجذب الذاتي لهذه المكونات، بحيث يتكون هذا السديم في معظمه من غاز الهيدروجين وهو من أخفّ العناصر. تبدأ هذه الكتلة بالدوران حول مركزها وتتسارع دقائق السديم نحو مركز الكتلة، فتصطدم ببعضها ما يؤدي إلى تسخينها لتصل إلى درجة حرارة عالية جدًّا. عندما تصل درجة الحرارة إلى 15 مليون درجة مئوية، يبدأ الاندماج النووي بين أنوية الهيدروجين فيتكوّن الهيليوم في مركز الكتلة، وتنطلق طاقة حرارية جبارة نتيجة التفاعل النووي تعمل على توهج الكتلة الغازية، وهذا ما يُسمّى النجم الأوّلي ويكون غالبًا مائلًا للاحمرار.

هل تعلم؟

الشِّعْرَى اليَمَانِيّة Sirius هي من أسطع النجوم في السماء ليلًا ورابع ألمع جرم في السماء بعد الشمس والقمر وكوكب الزهرة، وهي نَيِّر كوكبة الكلب الأكبر. صنّف الفلكيون الشعرى اليمانية على أنّها نجم ثنائي، لأنها في الواقع عبارة عن نجمين مترافقين، هما: الشعرى اليمانية (أ) وتبلغ كتلتها 2,1 ضعف كتلة الشمس، والشعرى اليمانية (ب) وهي قزم أبيض. ويقع هذا الثنائي النجمي على خط واحد مع الكلب الأكبر - بيتا والكلب الأكبر - جاما في كوكبة الكلب الأكبر. تبعد الشعرى اليمانية 8.6 سنة ضوئية عن الأرض، وهي بذلك أحد أقرب النجوم من الأرض وألمعها في السماء. يطلق عليه أهل البحر اسم "التير" ويسمّيه أهل البادية في منطقة نجد في الجزيرة العربية "المرزم" وهو النجم الوحيد، باستثناء الشمس، الذي ذُكر اسمه صريحاً في القرآن الكريم: ﴿وَأَنَّهُۥ هُوَ رَبُّ ٱلشِّعۡرَىٰ ﴿٤٩﴾﴾ [النجم:٤٩]. الشعرى الشامية Prokyon أو α Canis Minoris هو أكثر نجوم كوكبة الكلب الأصغر تألّقًا وهو مُدرج على قائمة أشدّ النجوم سطوعًا. كان معروفًا جدًّا عند المصريين القدماء الذين سمّوه "إمي خت سوبدت". يبلغ بُعده عنّا نحو 4.11 سنة ضوئية، إذًا هو من أقرب النجوم إلينا وهو يشرق في السماء قبل ظهور الشعرى اليمانية. تتألّف الشعرى الشامية، من نجمين هما: الشعرى الشامية (أ) وهو نجم أبيض مصفرّ، وقرينه الشعرى الشامية (ب) وهو قزم أبيض.



شكل 11
دورة حياة النجوم

2.1.2 مرحلة البلوغ

سرعان ما تزداد كتلة النجم الأوّلي، التي تتجمع على مقدار ما في السديم، معتمدةً على المادة. ثم تستقر كتلة النجم ليصل إلى مرحلة البلوغ ويُسمى عندها النجم البالغ ويكون عادة أصفر اللون مثل شمسنا. أما إذا كانت كتلة النجم كبيرة فيعطي نوعًا آخر في البلوغ هو النجم الكثيف كما في الشكل (11).

3.1.2 مرحلة الشيخوخة (العملاق الأحمر)

يستمر النجم بالتوهج مع استمرار التفاعلات النووية فتتغلب قوة الإشعاع على قوة الجذب نحو المركز فيتمدد وتقل حرارته نسبيًّا فيكبر في الحجم ويتحول إلى اللون الأحمر مكونًا العملاق الأحمر. وإذا كانت الكتلة الأصلية كثيفة يتكون العملاق الأحمر الضخم Red supergiant.

4.1.2 مرحلة الموت

تستمرّ عملية التمدد نتيجة الإشعاع حتّى تبلغ مداها وينفجر النجم (في ما يُسمّى ظاهرة النوفا) (شكل 11) لتبرد أجزاؤه المتناثرة على شكل سديم تاركًا القلب المشع كنجم صغير أبيض يُسمى القزم الأبيض.

يتميز النجم الكثيف بكتلة كبيرة لذا يكون الانفجار مروعًا وهو ما يُسمى سوبر نوفا (شكل 12). الكتلة المتبقية تكون أكبر من الأقزام البيض حيث تتمركز المواد الثقيلة الناتجة من اندماج ذرات الهليوم في مركز الكتلة مكونة كتلة ذات قوة جذب جبارة تُسمى الثقوب السوداء. وتتميز هذه الأخيرة بجاذبية عالية جدًّا لدرجة أنّها قادرة على جذب فوتونات الضوء، لذا تبدو كمساحات غير مضيئة في الفضاء تجذب كل ما يقترب منها، فسمّاها البعض المكانس الفضائية.

فقرة إثرائية

بعد نفاذ الوقود الذرّي في النجم، أي عنصر الهيدروجين، تتغلّب قوى الجذب في النجم على قوى التشتّت، وتصبّ مناطقه الغازية الخارجية في الداخل، وتزيد كثافة النجم تدريجيًّا بتزايد انكماش الذرّات داخله تحت تأثير الجاذبية. فيفقد النجم الحرارة بشكل متزايد إلى أن تبتلع فيه نوى الذرّات الإلكترونات المحيطة بها، فيُصبح هذا الأخير عبارة عن نواة واحدة عظيمة الكبر. وبامتصاص البروتونات للإلكترونات، تتحوّل بالتفاعل النووي إلى نيوترونات، وتصبح كلّ تلك المادّة الغريبة مادّة النيوترونات، لذا يُسمّى النجم النيوتروني.

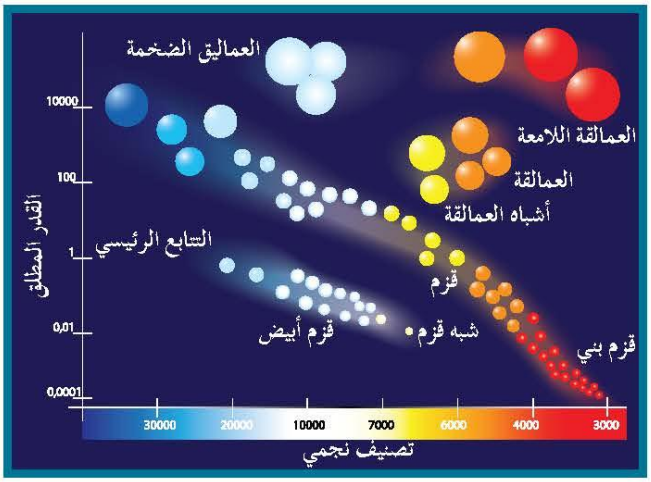
يحدث هذا التحول للنجوم عندما تكون كتلتها بين 1,44 و3 كتلة شمسية. أمّا إذا كانت كتلة النجم أكبر من ذلك، فإنّ النجم يتحوّل في آخر عمره إلى ثقب أسود.

شكل 12
انفجار نجمي (سوبر نوفا)

إثراء علمي

يُعتبر مخطط هيرتسبرنغ – راسل (شكل 13) أداة أساسية في دراسة أنواع النجوم وتطوّرها. تقع معظم النجوم ضمن نطاق يبدأ من قمة اليسار (تكون النجوم فيه ساخنة وساطعة) وصولًا إلى قاع اليمين (تكون النجوم فيه باردة، ومظلمة)، بينما تقع الاقزام البيضاء تحتها. يُعرَف هذا النطاق بالرئيسية المتتالية. على سبيل المثال، تقع المتغيرات القيفاوية فوق المتتالية، أمّا الشمس فتحتل في الوسط. عندما تتفتّت السحب التي تُكوِّن النجوم إلى شظايا، تتقلّص تحت تأثير قوى الجاذبية وتسخن، ثمّ تشعّ الحرارة. ويستمرّ ارتفاع درجة الحرارة إلى حدّ يكفي لبدء التفاعلات النووية، بحيث يتحرّك النجم خلالها نحو المتتالية الرئيسية حيث يستقرّ في موضع يعتمد على كتلته وحرارته.

ويبقى النجم معظم حياته في ذلك الموضع، فيولّد الطاقة بتحويل الهيدروجين إلى هيليوم (كالشمس تماما). ولكن بعد استنزافه لمعظم وقوده الهيدروجيني، يبدأ بالابتعاد عن المتتاليه الرئيسية متحوّلا إلى عملاق أحمر. ولكن ماذا يحدث بعد ذلك؟ يُعتقد أنّ النجم يتسارع عبر مراحل وقودية مختلفة مولدًا أنواعًا عديدة من العناصر الثقيلة إلى أن يصل إلى حالة عدم الاستقرار فينفجر مشكّلًا نجمًا مستعرًا (متجدّدًا) أو نجمًا متجدّدًا أعظم.



شكل 13
مخطّط هرتزبرج - راسل

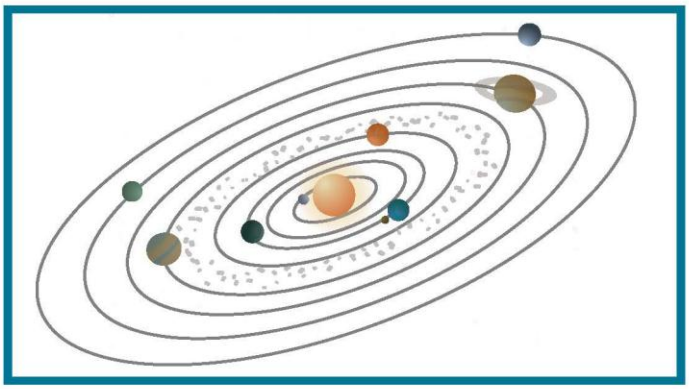
مراجعة الدرس 2

1. ما المقصود بـ:
   (أ) المجرة؟ (ب) النجم؟ (جـ) السديم؟ (د) الثقوب السوداء؟
2. ما الفرق بين:
   (أ) المجرة والنجم؟ (ب) النوفا والسوبر نوفا؟
   (جـ) النجم الأصفر والنجم العملاق الأحمر؟
3. أُرسم رسمًا تخطيطيًّا يوضح تقسيم هابل للمجرات.
4. اِشرح:
   (أ) دورة حياة النجم. (ب) مصدر طاقة النجم.
   (جـ) عدم إصدار الثقوب السوداء للضوء.
5. عندما يسخن النجم جدًّا، فإنه يتمدد بفعل الحرارة الزائدة. ماذا يحدث إذا تفوقت طاقة الإشعاع والتمدد على معدل تكاثف الهيدروجين والهليوم نحو مركز النجم؟

نشأة المجموعة الشمسية
Origin of the Solar System

أهداف الدرس

- يشرح كيف تكونت المجموعة الشمسية.
- يشرح تطور الأرض.
- يوضّح تمايز مكوّنات الأرض.



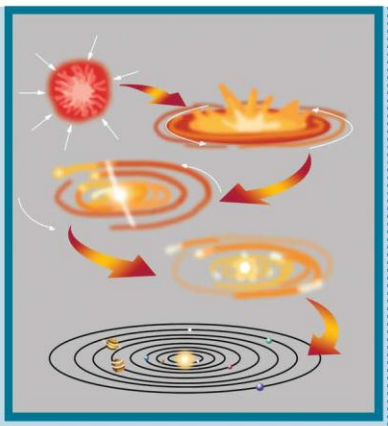
شكل 14
المجموعة الشمسية

1. كيف تكونت المجموعة الشمسية؟

لا توجد نظرية ثابتة ومؤكدة تفسر تكون المجموعة الشمسية ولكن من استقراء الدلالات التي تُلاحَظ في الكون، يمكن تفسير كيفية تكون المجموعة الشمسية بشكل تقريبي.

ومن بين الكثير من التصورات هو التصور الذي اقترحه الفلكي جيرارد كويبر Gerard Kuiper (شكل 16) والذي يوضّحه الشكل (15) أن المجموعة الشمسية تكوّنت من بين سحابات الغاز والغبار الكوني المتناثر في ذراع المجرة الأم (درب التبانة). وتم شرح النظرية التي سميت بنظرية سحابة الغبار كالتالي:

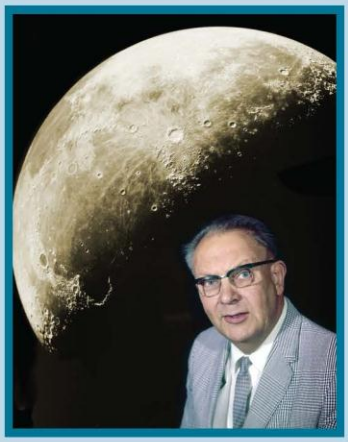
- تدور سحابة باردة غير منتظمة الشكل وهائلة الحجم من الغبار الكوني والغازات بحيث يمثل الهيدروجين والهيليوم الجزء الأكبر منها في حركة عشوائية.
- أدى الضغط الناتج عن أشعة النجوم المنتشرة في الكون حول السحابة إلى تحرك مكوناتها ببطء ودورانها في اتجاه واحد حول نفسها لتكون شكل قرص مفلطح.
- نتيجة لقوة تجاذب الجزيئات واختلاف سرعتها داخل القرص تكونت دوامات صغيرة وانكمشت كل دوامة مكونة نواة كوكب مستقل فيما بعد.



شكل 15
مراحل المجموعة الشمسية

نشاط

إفحص صورة المجموعة الشمسية وابحث في شبكة الإنترنت عن اسم الحزام الذي يتميّز بتراكم الكويكبات فيها وأين يقع تحديدًا؟



شكل 16
جيرارد كويبر

- الجزء الأكبر من مادة السحابة الضخمة انجذبت إلى مركزها مكونة شكل الشمس الأوّلي.
- أخذت أنوية الكواكب في تنظيم حركتها الداخلية، وأخذت تنكمش بحيث أصبحت المواد الثقيلة تتجه إلى مركزها، وفي الوقت ذاته أدى الضغط الناتج عن تجاذب الجزيئات في نواة الشمس واصطدامها مع بعضها إلى تولد الحرارة داخلها مع ارتفاع درجة الحرارة تدريجيًّا.
- بدأت التفاعلات النووية في نواة الشمس، وبدأ الإشعاع في تنقية الأجواء المحيطة بأنوية الكواكب من الغازات الخفيفة بخاصة القريبة من الشمس. وهكذا تكونت المجموعة الشمسية.

2. تطور الأرض المبكر

كيف تطورت الأرض من كتلة صخرية إلى كوكب حي فيه قارات ومحيطات وغلاف جوي؟ حدث ذلك نتيجة عملية التمايز Differentiation وهي تحول الأرض من كتلة تتكون من مواد مختلطة مع بعضها البعض (متجانسة) إلى جسم مقسم من الداخل إلى أغلفة متحدة المركز تختلف عن بعضها فيزيائيًّا وكيميائيًّا.

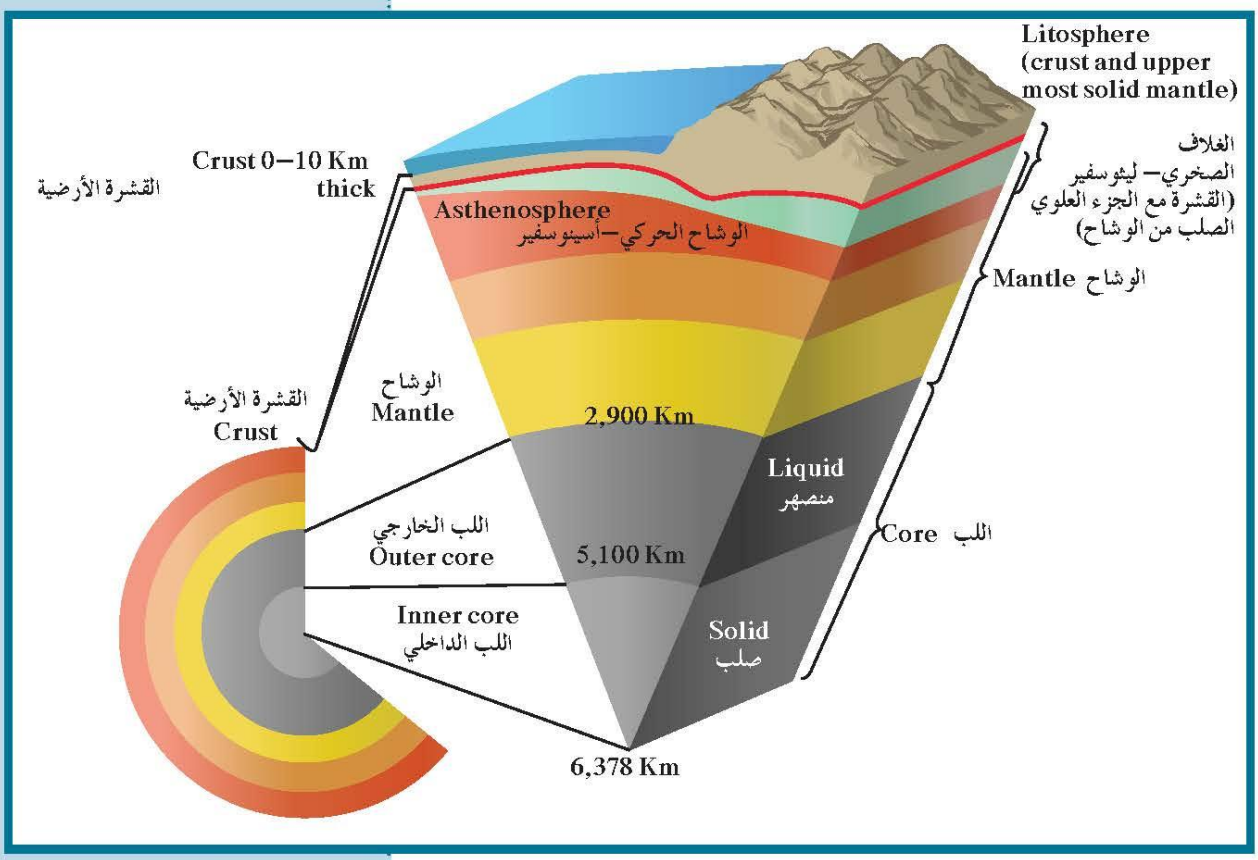
إن الأرض في بداية تكونها كانت باردة وصلبة ولا يوجد حولها غلاف غازي أو مائي، وبدأت بعدها الحرارة تزداد داخلها، ويعود ذلك إلى أسباب عديدة هي:

- تساقط الأجسام الصغيرة من سحابة الغبار على سطحها وارتطامها بشدة.
- تحلل العناصر المشعة في باطن الأرض وتحولها تلقائيًّا إلى عناصر أخرى تطلق كميات كبيرة من الجسيمات والطاقة الحرارية، مثل عناصر اليورانيوم والثوريوم اللذين يتحولان إلى رصاص.
- احتكاك مواد الأرض بعضها ببعض في أثناء دوران الأرض حول محورها.
- تكون الأكاسيد والتفاعلات الكيميائية المختلفة داخل الأرض.

3. تمايز مكوّنات الأرض

بدأت الأرض بالانصهار نتيجة العوامل التي سبق ذكرها، كما بدأت بعملية التمايز (شكل 17) حيث صعدت المواد المنصهرة الأقل كثافة ناحية السطح مكونة القشرة الأرضية. هذه المواد غنية بالسيليكا والألومنيوم والصوديوم والبوتاسيوم (وما تزال الصخور الموجودة عند سطح الأرض غنية بتلك المواد). بينما غاصت المواد المنصهرة الأكثر كثافة مثل الحديد المنصهر إلى مركز الأرض مكونة لب الأرض.

تفصلهما طبقة أكبر سمكًا متوسطة الكثافة هي طبقة الوشاح، أي أن كثافة مواد الأرض تزداد كلما اتجهنا نحو مركز الأرض.



شكل 17
القطاع الداخلي في الأرض

4. تطور الغلاف الغازي

تكون الغلاف الغازي الأوّلي للأرض نتيجة تصاعد الغازات والمواد الطيارة من تصدعات القشرة الأرضية وثوران البراكين، وكانت تشمل أساسًا بخار الماء، وثاني أكسيد الكربون، والميثان. يلي ذلك تكثف بخار الماء ليكون السحب، وبدأت الأمطار الغزيرة الجارفة تملأ المناطق المنخفضة مكونة المحيطات الأوّلية التي كانت مياهها عذبة وبدأت ملوحتها تزيد بالتدريج نتيجة إذابة الماء الجاري للأملاح والمعادن الموجودة في قشرة الأرض بعد تفككها في عمليات التجوية وصبها في المحيطات.

ومنذ حوالى 3,5 مليار سنة بدأت البكتيريا الخضراء المزرقة Cyanobacteria بالقيام بعمليات البناء الضوئي ومن ثم إطلاق الأكسجين في الماء. بمجرد ازدياد عدد الكائنات المنتجة للأكسجين، بدأ الأكسجين بالتراكم في الغلاف الجوي.

مراجعة الدرس 3

1. ما دور كل من أشعة النجوم المنتشرة في الكون وقوى التجاذب في تكوين المجموعة الشمسية؟
2. اِشرح تكوّن أغلفة الأرض.
3. اِشرح تطور الغلاف الغازي.
4. اِشرح زيادة الحرارة داخل الأرض بعد تكونها.

فقرة إثرائية

القشرة والليثوسفير والأسثينوسفير

الجزء العلوي للأرض يتكون من القشرة. والقشرة يمكن تمييزها إلى نوعين هما القشرة القارّية والقشرة المحيطية. تبطّن القشرة لأسفل طبقة كثيفة (100كم) صلبة سيماتية التركيب، مكوّنة أساسًا من صخور البريدوتيت Peridotite ويعتبرها العلماء أعلى جزء من الوشاح. تُسمّى هذه الطبقة الليثوسفير. تلي الليثوسفير مرحلة (200كم) منصهرة من الوشاح تتميز بنشاط تيّارات الحمل المسؤولة عن الحركات التكتونية والأنشطة البركانية للأرض، إنّها الأسثينوسفير. أمّا باقي الوشاح، فهو صلب وتزداد كثافة مادّته تدريجيًّا كلّما تعمّقنا في الأرض.

أسئلة مراجعة الفصل الثاني

أولًا: إختر الإجابة المناسبة.

1. يمكن تصنيف شمسنا على أنها: ..... .

(أ) كوكب (ب) مجرة

(جـ) سديم (د) نجم

2. السديم ..... .

(أ) هو كتلة غاز وغبار كوني. (ب) يتكوّن من مجموعة نجوم.

(جـ) هو جرم سماوي دائري. (د) هو جسم صلب غير مشع.

3. المجرة هي ..... .

(أ) جسم غازي مشع مثل شمسنا.

(ب) نظام كوني وحدته النجوم أو الحشود النجمية والسدم.

(جـ) جسم غير مشع مكون من غازات وغبار كوني.

(د) أحد مكونات المجموعات الشمسية.

4. النوفا أو السوبرنوفا مصطلح يعبر عن ..... .

(أ) دوران السديم حول نفسه. (ب) دوران الكواكب حول الشمس.

(جـ) انفجار كوكب. (د) انفجار نجم.

5. من 3,5 مليار سنة ساهمت البكتيريا في ..... .

(أ) انتاج ثاني أكسيد كربون في الغلاف الغازي.

(ب) انتاج أكسجين الغلاف الغازي والمائي.

(جـ) تسميد صخور القشرة الأرضية.

(د) تجوية صخور القشرة الأرضية.

6. أدى الانفجار العظيم إلى نشأة ..... .

(أ) السدم (ب) الكون

(جـ) النجوم (د) النجوم الحمراء العملاقة

ثانيًا: فسّر.

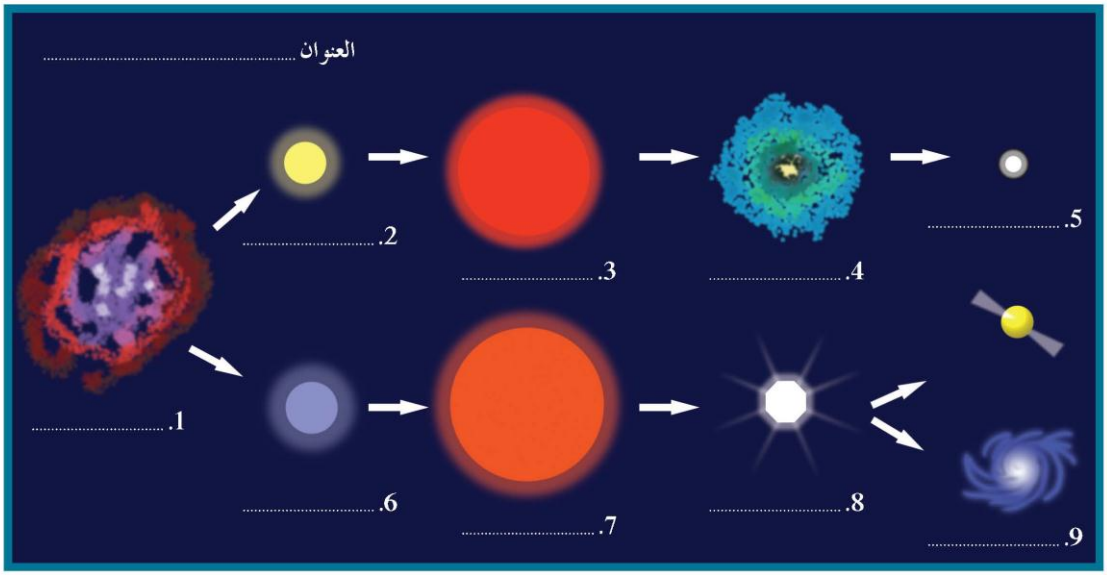
1. تكون الغلاف الغازي للأرض.
2. تكون الغلاف المائي للأرض.
3. تكون الثقوب السوداء.
4. حدوث ظاهرة النوفا.

ثالثًا: اِشرح.

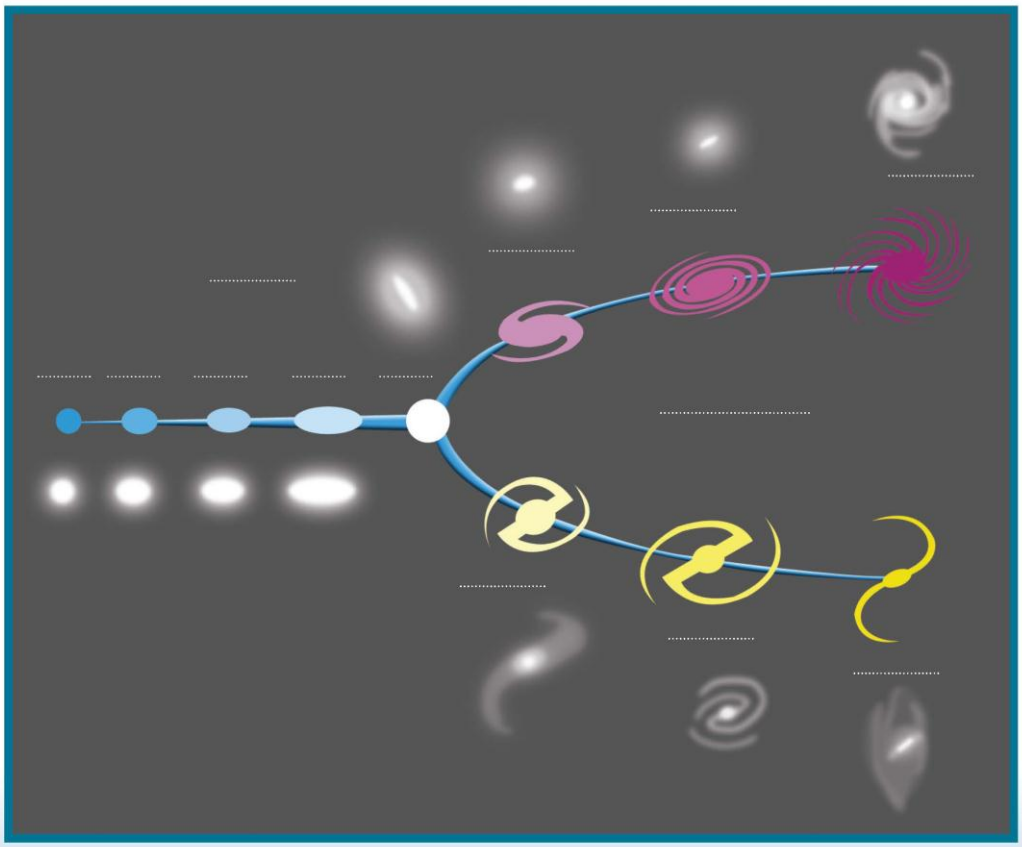
1. تكون المجموعة الشمسية.
2. الانفجار العظيم في تكون الكون.

رابعًا: أُذكر ماذا يمثل الرسم واستكمل بياناته.

1.



2.



الفصل الأوّل: المعادن
- **الدرس الأوّل:** تكوين المعادن
- **الدرس الثاني:** الخواصّ الفيزيائية للمعادن
- **الدرس الثالث:** الخواصّ الكيميائية للمعادن
- **الدرس الرابع:** الشكل البلّوري للمعادن
- **الدرس الخامس:** الأحجار الكريمة

تتلألأ الآلاف من بلوّرات الكالسيت في مغارة جعيتا.

اكتشف بنفسك

تنمية حديقة بلّورية **Growing a Crystal Garden**

تأخذ المعادن أشكالًا وألوانًا متنوعة ومبهرة، من المكعبات الدقيقة للهاليت (ملح الطعام) إلى كتل من بلّورات الكالسيت الموضحة في الصورة، إلى الياقوت الثمين. في هذا المشروع، سوف تقوم بتنمية مجموعة من البلورات لتكتشف كيف تتكون أشكال بلورية مختلفة من مواد كيميائية متنوعة.

الهدف:

تصميم حديقة بلورية وتنميتها:

لتنفيذ هذا المشروع بنجاح يجب أن:
- تصمم موقعًا ثلاثي الأبعاد كأساس لحديقة تنمو فيها البلّورات.
- تجهز اثنين على الأقل من محاليل إنماء البلّورات. (إبحث على الإنترنت وناقش المعلّم.)
- تلاحظ أشكال البلّورات المتنامية ومعدلاتها وتسجّلها.
- تتبع إرشادات السلامة.

الخطوات:
- إبدأ بتحديد المواد التي ستستخدمها لتكون موقع الحديقة.
- يحدِّد معلمك مواد متنوعة، ويصف أنواع محاليل النمو البلّوري التي يمكن استخدامها. (إبحث على الإنترنت وناقش المعلّم.)
- صمِّم موقع حديقتك البلّورية وجهِّزه، ثم أضف المحاليل.
- لاحِظ نمو البلورات وسجل ملاحظتك.
- أُعرض حديقتك البلّورية المكتملة على الفصل.
- صِف خطوات العمل وملاحظاتك وما توصلت إليه من نتائج.

الفصل الأول

تُعدّ القشرة الأرضية والمحيطات مصدرًا لتنوع كبير من المعادن المفيدة والأساسية. يستخدم معظم الناس العديد من المعادن الأساسية مثل الكوارتز في صناعة الساعات، والنحاس في الأسلاك الكهربائية والذهب والفضة في المجوهرات. إلّا أنّ البعض لا يعلم أن قلم الرصاص يحتوي على معدن الجرافيت Graphite ذي الملمس الدهني، وأن مسحوقًا للجلد يُصنَع من معدن التلك Talc. في الحقيقة، إن كلّ منتج مُصنَّع يحتوي على مواد تم استخراجها من المعادن.

الجرافيت

التلك

دروس الفصل

الدرس الأوّل
- المعادن

الدرس الثاني
- الخواصّ الفيزيائية للمعادن

الدرس الثالث
- الخواصّ الكيميائية للمعادن

الدرس الرابع
- الشكل البلّوري للمعادن

الدرس الخامس
- الأحجار الكريمة

الدرس 1

المعادن
Minerals

أهداف الدرس

- يمثّل مكوّنات القشرة الأرضية بمخطّط سهمي.
- يعرّف كلّ من الموادّ المتبلّرة وأشباه المعادن.
- يعدّد خواصّ المعدن.
- يميّز بين المعادن وغيرها من الموادّ.

شكل 18 شكل 19

يُظهر الشكلان (18) و (19) الفحم الحجري ومعدن الكوارتز على التوالي.

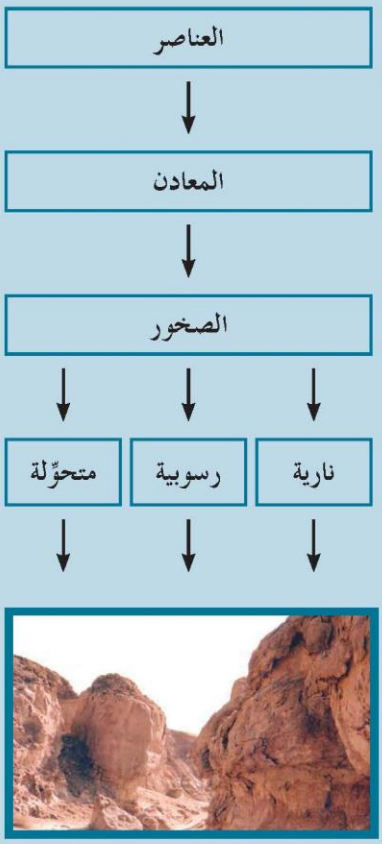
انظر إلى الشكلين (18 و 19). ترى إلى اليمين عيّنة من الفحم الحجري وإلى اليسار بلّورات الكوارتز. المادّتان صلبتان وتشكّلتا تحت سطح الأرض، إلّا أن مادّة واحدة فقط تُعتبر معدنًا. لتحديد أيّ من المادتين هي معدن، يجب أن تطّلع على خواصّ المعادن.

الوحدات البنائية للقشرة الأرضية
The Building Blocks of the Earth's Crust

تعلّمت سابقًا أنّ الصخور بأنواعها الثلاثة (نارية ورسوبية ومتحوّلة) هي الوحدة البنائية للقشرة الأرضية (شكل 20)، وهي تتكوّن من بلّورات أو حبيبات صغيرة تُسمّى معادن. تكون المعادن مركّبات كيميائية كمعدن الماجنيتيت (أكسيد الحديد الأسود) Fe_3O_4 (شكل 21)، أو عناصر منفردة أحيانًا كمعدن الكبريت S (شكل 22). لكلّ معدن تركيبه وخواصّه الفيزيائية الخاصّة به، وقد تكون الحبيبات أو البلّورات مجهرية أو مرئية بالعين المجرّدة.

شكل 21
معدن الماجنيتيت

شكل 22
معدن الكبريت



شكل 20
يُظهر هذا المخطّط علاقة القشرة الأرضية بمكوّناتها مثل الموضّحة في صورة مرتفعات جال الزور في دولة الكويت.

يعرف علماء الجيولوجيا **المعدن** على أنه مادة صلبة غير عضوية تكوّنت بصورة طبيعية ولها نظام بلّوري مميّز وتركيب كيميائي محدّد. لهذا تصنف مواد الارض كمعادن عندما تتميز بالخواصّ التالية:

1. طبيعيًّا Naturally

يتكوّن المعدن من خلال عمليات جيولوجية طبيعية، وبالتالي لا يعتبر الماس Diamond أو الياقوت Ruby الصناعيان، بالإضافة إلى أنواع متعددة من المواد المفيدة بمثابة معادن.

شكل 23
الثلج

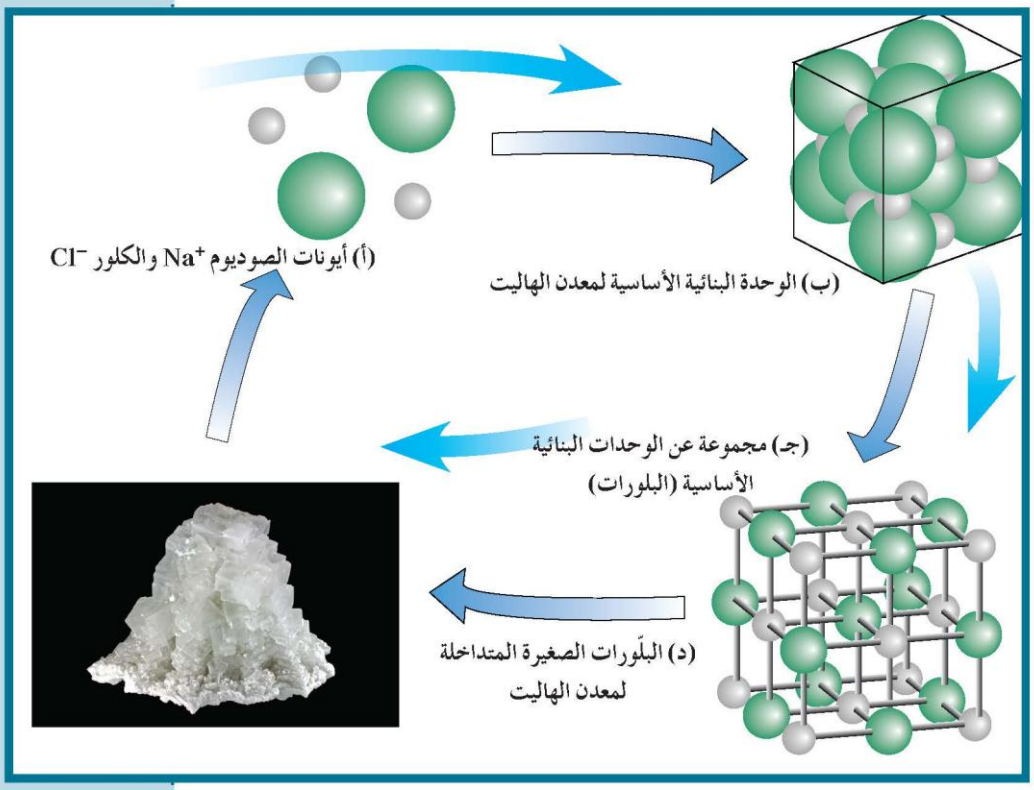
2. صلبة Solid

لكي تعتبر المادة معدنًا يجب أن تكون صلبة عند درجات حرارة سطح الأرض. لذلك، يعتبر الثلج المتساقط Snow Crystal (شكل 23) معدنًا خلافًا للماء السائل، علمًا أنّ البَرَد Hail (شكل 24) لا يُعتَبَر معدنًا. فسّر.

شكل 24
البَرَد

3. ذات نظام بلّوري Crystal Structure

المعادن موادّ بلّورية، وهذا يعني أن ذرّاتها مرتبة في شكل هندسي منتظم ومتكرّر في الأبعاد الثلاثة مكوّنًا **الوحدة البنائية** والتي تُعرَف بأنّها أصغر جزء في البلّورة ولها صفات البلّورة الكاملة نفسها.



شكل 25
شكل توضيحي للترتيب المنتظم لأيونات الصوديوم والكلور في معدن الهاليت Halite. ترتيب الأيونات في شكل وحدات بنائية أساسية ذات شكل مكعبي، يجعل البلوّرات مكعبة منتظمة الشكل.

4. ذات تركيب كيميائي محدد
Well–defined Chemical Composition

غالبية المعادن هي مركّبات كيميائية متكوّنة من عنصرين أو أكثر، وقد يتكون القليل منها، مثل الذهب والفضة، من عنصر واحد. إن معدن الكوارتز الشائع يتكوّن دائمًا من ذرتين من الأكسجين (O) لكل ذرة سيليكون (Si) أي بتركيب كيميائي يعرف بالصيغة (SiO_2). على أي حال، من الشائع لأيونات العناصر التي لها الحجم نفسه والشحنات الكهربائية نفسها، أن يحلّ أحدها محلّ الآخَر إحلالًا جزئيًّا. نتيجة لذلك، قد يختلف التركيبُ الكيميائيّ لمعدنٍ ما بين عينة وأخرى.

5. غير عضوية
Inorganic

تعتبر المواد الصُّلبة المُتَبَلورة غيرُ العضوية، كمِلْح الطعام (الهاليت) (شكل 25) مثلًا، والموجودة بشكل طبيعي في الأرض، معادن. من ناحية أخرى، لا تعتبر المركّباتِ العضوية معادن. فالسُّكر مادة صلبة متبلّرة مِثل المِلح، ويُستخرج من قصب السّكر أو الشمندر السكري، وهو مثال شائع للمركّب العضوي.

أشباه المعادن
Mineraloids

بعض المركّبات موجودة في الطبيعة ولكن لا ينطبق عليها تعريف المعدن، فهي تفتقر إلى التركيب الكيميائي المحدَّد أو الشكل البلّوري أو كليهما، كالأوبال Opal (شكل 26) (الذي له تركيب كيميائي ثابت ولكن غير متبلور).

شكل 26
مادّة الأوبال

مراجعة الدرس 1

1. ضع قائمة بخمس خواصّ لمادة من موادّ الأرض تُعتبر معدنًا.
2. لماذا يُعتبر الثلج المتساقط معدنًا ولا يُعتبَرُ البَرَدُ معدنًا؟
3. **علِّل:** لا يُعتبَر الألومنيوم معدنًا.

إثراء علمي

الإحلال الجزئي

يحدث الإحلال الجزئي عندما يتحوّل معدن ذو مكوّنات معيّنة إلى معدن آخر ذي المكوّنات نفسها بفعل التفاعل الكيميائي، ويحافظ على شكله البلوري الأصلي. ومن المعادن التي يحدث لها إحلالًا جزئيًّا نذكر الجالينا التي تتحوّل إلى أنجليزيت، والكالسيت الذي يتحوّل إلى جبس، والفلوريت الذي يتحوّل إلى كوارتز (كما هو موضّح في الشكل أدناه).

مهارة التمييز

بعد أن تعرَّفت الخواصّ التي تميّز المعادن، حدِّد أيًّا من الموادّ التالية تُعتبَر معدنًا: النفط، الزجاج، الميكا، البلاستيك، الذهب، الفحم الحجري، الألومنيوم، الحديد، الكهرمان (الصمغ العربي)، الزئبق، الجبس. علِّل إجابتك.

الدرس 2

الخواصّ الفيزيائية للمعادن
Physical Properties of Minerals

أهداف الدرس

- يميّز بين الخواصّ الفيزيائية المختلفة للمعدن.
- يعدّد الخواصّ الفيزيائية للمعادن.

شكل 27
أيُّ هذين المعدنين جرافيت Graphite وأيّهما ألماس Diamond؟

تملك بعض المعادن، كالألماس والجرافيت (شكل 27)، التركيب الكيميائي نفسه. تتكوّن هذه المعادن من عنصر الكربون C لكنّها تختلف في ما بينها في كلّ الخواصّ الأخرى. لذلك، يجب دراسة الخواصّ الفيزيائية والبلّورية بالإضافة إلى الخواصّ الكيميائية لتعرُّف المعدن بشكل دقيق. يوضّح الجدول (2) في الهامش بعض المعادن التي لها التركيب الكيميائي نفسه وخواصّ فيزيائية مختلفة.

خواصّ المعادن Mineral Properties

لكل معدن نظام بلّوري محدَّد وتركيب كيميائي يُعطيانه مجموعة فريدة من الخواصّ الفيزيائية والكيميائية المشتركة بين كلِّ عيِّنات هذا المعدن. فعلى سبيل المثال، كلُّ عيِّنات معدن الفلوريت Fluorite (شكل 28) لها الصَّلادة والكثافة نفسها وتتكسَّر بالنمط نفسه. ولتعرّف أنواع المعادن، يمكننا استخدام الخواصّ الفيزيائية لمعدن ما، والتي يمكن تحديدُها من خلال الملاحظة أو بإجراء اختبار بسيط. ونعدّد منها: الخواصّ الفيزيائية، وهي الأكثر استخدامًا مثل الخواصّ البصرية، والخواصّ التماسكية، بالإضافة إلى خواصّ أخرى مثل الطعم والمغناطيسية.

أضِف إلى معلوماتك

اسم المعدن	التركيب الكيميائي
الكالسيت	$CaCO_3$
الأراجونيت	
البيريت	FeS_2
الماركزيت	
الكوارتز	SiO_2
الكريستوباليت	
الترديميت	
الأرثوكليز	$KAlSi_3O_8$
الميكروكلين	
السانيدين	

جدول 2
مجموعة من المعادن المتشابهة في التركيب الكيميائي.

شكل 28
بلّورات الفلوريت Fluorite

1. الخواصّ البَصريَّة Optical Properties

الخواصّ البصرية الأكثر استخدامًا لتحديد أنواع المعادن هي:

1.1 اللون Color

بالرغم من أن اللون عامة هو أحد الخواصّ الأكثر وضوحًا لأيّ معدن، إلّا أنه يُعتَبر خاصية مميزة للقليل من المعادن فقط مثل الكبريت والمالاكيت (الشكلان 29 و 30). فبعضُ الشوائبِ الطفيفة في معدن الكوارتز الشائع، تعطيه على سبيل المثال درجات متعدِّدة من الألوان. يحتوي معدن الكوارتز البنفسجي Amethyst (شكل 31 إلى اليمين) مثلًا على أكاسيد المنجنيز، فيما يحتوي معدن الكوارتز الوردي Rose Quartz على أكاسيد الحديد والتيتانيوم (شكل 31 إلى اليسار). لذا استخدام اللون كوسيلة لتحديد المعادن عادة ما يكون غير دقيق.

شكل 31
معدن الكوارتز البنفسجي Amethyst ومعدن الكوارتز الوردي Rose Quartz

2.1 المخدش Streak

بالرغم من أن لونَ العينةِ لا يفيد دائمًا في تحديد المعادن، إلاّ أن المخدش (لون مسحوق المعدن) غالبًا ما يُستخدم للتمييز بين المعادن. يمكن الحصولُ على المخدش من خلال حَكّ المعدن على قطعةٍ من خزف صيني غير مَصْقول أو **لوح المخدش Streak Plate**، ثم ملاحظةِ لون مسحوق المعدن التي خلّفه وراءه (شكل 32). يمكن أن يتنوَّعَ لون المعدن الواحد من عينة إلى أخرى، بخلاف المخدش الذي لا يتنوع. قد يُساعِدَ المخدش أيضًا على التمييز بين المعادن ذات البريق الفِلِزّيّ التي لها مخدش كثيف وداكنٌ والمعادن ذاتِ البريق اللافلزيّ التي لها مخدش باهت اللون.

إذا كان المعدن صلدًا ولا يُخدَش بلوح المخدش، يُطحَن طحنًا كاملًا لمعرفة لون المسحوق الذي ينتج عنه.

هل تعلم؟

اسم "بلّورة" مشتقّ من اليونانية (*Krystallos*) ويعني "ثلج"، وتمّ تطبيقه على بلّورات الكوارتز. فقد اعتقد اليونانيون القدماء أن الكوارتز كان ماء وتبلور بسبب الضغط المرتفع في باطن الأرض.

شكل 29
معدن الكبريت

شكل 30
معدن المالاكيت

شكل 32
بالرغم من أن لون المعدن لا يفيد دائمًا في تحديد نوع المعدن، إلاّ أن المخدش، وهو لون مسحوق المعدن، غالبًا ما يكون مفيدًا للغاية.

3.1 اللّمعان (البريق) Luster

تُعرَف شدّة الضوء المُنعكِس أو نوعيتُهُ من على سطح أيِّ معدن "باللمعان" أي البريق. فالمعادن التي لها مَظْهرُ الفلزات Metals ، بغَضِّ النظر عن اللون ، تتّصف ببريق فلزيّ Metalic Luster مثل معدن الجالينا Galena (شكل 33). تكوّن بعضُ المعادن الفلزية مثل الهيماتيت Hematite (شكل 34) طبقةً خارجية باهتة أو تَفقِد اللمعانَ عند تعرُّضها للهواء الجويِّ ، وكونها لا تملك لمعان العينات ذات الأسطحِ حديثة الكسر ، فهي تتصف ببريق شِبْهَ فِلِزّيّ Submetalic Luster.

لمعظم المعادن بريق لافلزّي Non Metallic Luster (شكل 35) مثل البريق الزجاجي Vitreous كالكوارتز والكلسيت، والبريق الألماسي Adamantine كالألماس، والبريق الأرضي (الترابي) Dull Earthy كالكاولينيت، والبريق اللؤلؤي Pearly كالتلك والميكا، والبريق الحريري Silky كالجبس الليفي، والبريق الصمغي (راتنجي) Resinous كالكبريت.

شكل 35
البريق اللافلزيّ للمعادن

4.1 الشفافية Transparency

القدرة على إنفاذ الضوء هي خاصية بصرية أخرى تُستخدَم لتعرُّف المعادن. فعندما لا يَنفذ أي ضوء، يوصَف المعدن بأنه غير شفاف أو معتم Opaque مثل معدن التلك Talc (شكل 36).

شكل 33
معدن الجالينا Galena

شكل 34
معدن الهيماتيت Hematite

شكل 36
معدن التلك Talc

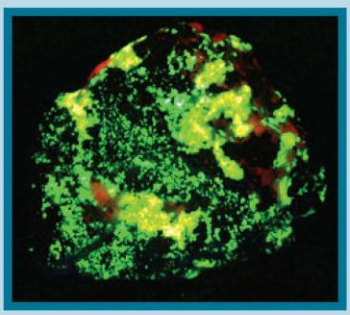
أمّا عندما ينفذ ضوء وتُرى صورة غير واضحة من خلال معدنٍ، فيوصف بأنه نصف شفاف Translucent مثل معدني الجبس والميكا (شكل 37). وعند نفاذ الضوء ورؤية الصورة واضحة من خلال العينة، يوصف المعدن بأنه شفاف Transparent مثل بعض المعادن النقية كالكوارتز والكالسيت (شكل 38).

شكل 38
معدن الكالسيت Calcite

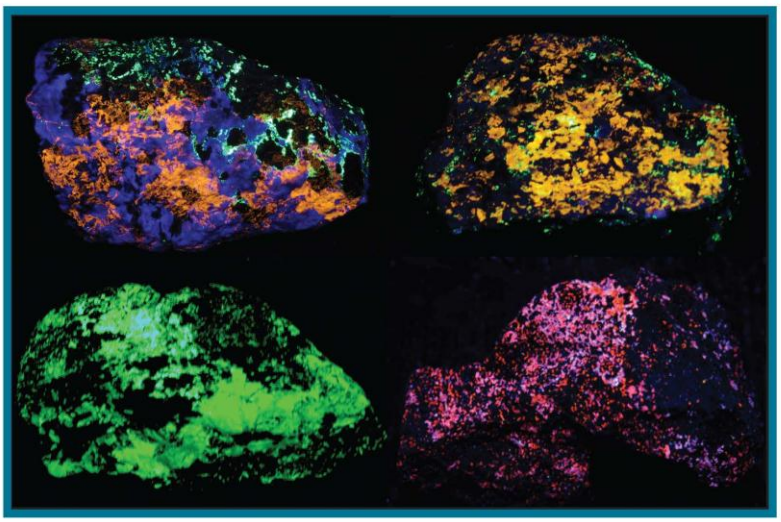
شكل 37
معدن الجبس ومعدن الميكا

5.1 التضوّء Luminescence

يوصف المعدن بأنّه متضوّء (أي يصدر ضوءًا) عندما يحوّل أشكال الطاقة المختلفة، مثل الحرارة أو الأشعّة فوق البنفسجية أو الأشعّة السينية، إلى ضوء يختلف عن لونه الأصلي (شكل 39). يختلف لون التضوّء عن لون المعدن الأصلي بحيث تكون ألوان التضوّء باهرة وساطعة دائمًا. يعطي معدن الكالسيت Calcite اللون الأحمر الباهر عند تعرّضه للأشعّة فوق البنفسجية، فيما يعطي معدن الويليميت Willemite (شكل 40) اللون الأخضر الساطع. تُسمّى عملية إنتاج ألوان التضوّء أثناء التعرّض للمؤثّر التفلّر Fluorescence. وإذا استمرّ لون التضوّء بعد زوال المؤثّر فتسمّى العملية التفسفر Phosphorescence. وقد لوحظت خاصية التفسفر عندما كانت تظهر بعض المعادن المعرّضة لأشعّة الشمس بألوان جذّابة بعد نقلها إلى غرفة مُعتِمة. تساعد خاصّية التضوّء على اكتشاف المعادن المتفلّرة داخل المناجم والكهوف، وذلك باستخدام مصابيح خاصّة.



شكل 40
معدن الويليميت



شكل 39
بعض المعادن المتضوّءة

2. الخواصّ التماسكية Cohesive Properties

ترتبِط سهولة تكسُّر المعادن أو تَشوُّهِها تحت تأثير الإجهاد بنوع الروابطِ الكيميائية التي تجمع الذرّات أو الأيونات معًا. لتعرّف الخواصّ التماسكية، يستخدم الجيولوجيون بعضها مثل:

1.2 المتانة Tenacity

يَصِف مصطلحُ متانَة المعدن مقاومتَهُ للكسر أو التشوُّه. فالمعادنُ ذات الروابط الأيونية Ionically Bonded مثل الفلوريت Fluorite والهاليت Halite، تميل إلى أن تكون هشَّةً وتتكسَّر فتتحوّل إلى قِطَع صغيرة عند الطرقْ. بالمقابل، المعادنُ ذات الروابط الفلزية Metallic Bonds مثل النُّحاس الخام Native Copper تكون لينة أو تُطرَق بسهولة فتتحول إلى أشكال مختلفة. ويمكن لبعض المعادن مثل الجبس Gypsum والتَّلْك Talc أن تُقطَع إلى رَقاقاتٍ دقيقة توصَف بانها قابلة للقَطْع. ويكون البعضُ الآخَر مثل الميكا Micas مرنًا، فيثنى ثم يعود إلى شكله الأصليّ بعد إزالة الضغط (الإجهاد) عنه.

2.2 الصّلادة Hardness

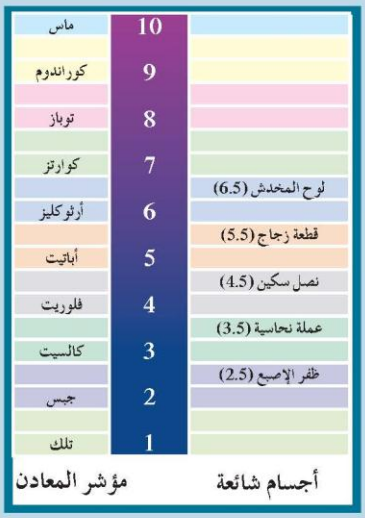
إحدى الخواصّ الأكثر تمييزًا وإفادة هي الصّلادة، وهي مقياسُ مقاومة المعدن للتآكل أو الخَدْش. تُحدِّد هذه الخاصة بحكّ معدن غير معروف الصَّلادة بمعدن آخر معروف الصَّلادة أو العكس. ويمكن الحصولُ على رقم الصّلادة باستخدام مقياس مُوهس للصَّلادة Mohs Scale، وهو عبارة عن ترتيب نسبي، أي سلَّم يتكوَّن من عَشَرةِ معادن مرتَّبة من رقم 1 (الأقلّ صلادة) إلى رقم 10 (الأكثر صلادة) كما هو مبيَّن في الشكل (41).
وتعتمد صلادة المعدن على نوع الروابط الكيميائية ووجود مجموعة الهيدروكسيل (OH) أو الماء (H_2O) في تركيب المعدن الكيميائي.

3.2 الانفصام (التشقّق) Cleavage

هو قابلية المعدن للتشقّق والانفصام إلى مستويات محدّدة ومنتظمة عند تعرّضه لضغط معيّن، بحيث تكون اتّجاهات الضغط متوازية أو على امتداد أسطح مستوية تُسمّى مستويات الانفصام أو مستويات الضعف في المعدن Planes of weakness (شكل 42).
تختلف أنواع الانفصام وفقًا لقوّة تماسك جزيئات المعدن، بحيث يتناسب الانفصام عكسيًّا مع قوّة الرابطة الكيميائية. فكلّما كانت الرابطة قوية، كان الانفصام أقلّ والعكس صحيح. انظر إلى اتّجاهات التشقّق في الجدول التالي. بعض المعادن، كالكوارتز، لا يحتوي على مستويات انفصام بسبب قوّة تماسك جزيئاته.

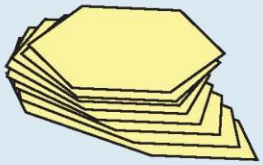
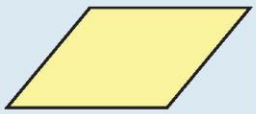
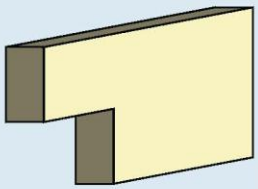
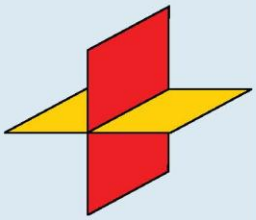
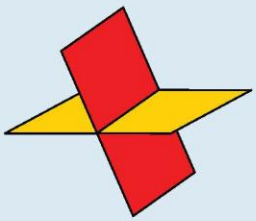
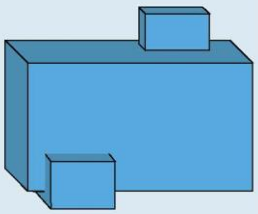
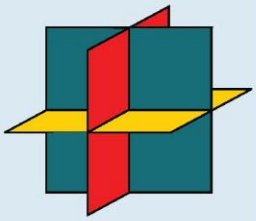
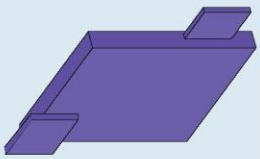
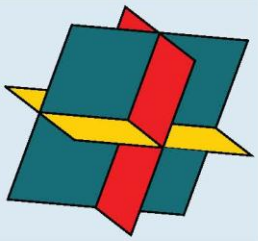
هل تعلم؟

يُعتبَر الألماس أكثر المعادن صلادة، لكنّه من المعادن متوسّطة المتانة وهو قابل للكسر. أمّا معدن اليشب الأخضر Jade، فهو من المعادن متوسّطة الصّلادة ولكنّه ذو متانة عالية ولا ينكسر بسهولة.



شكل 41
مقياس موهس للصّلادة النسبية

شكل 42
تم إنتاجُ الصَّفائح الرفيعة المبيّنة أعلاه من خلال انفصام بلّورة الميكا باتجاه التوازي مع سطح انفصامه التام.

عدد اتجاهات الانفصام	رسم مبسَّط	اتجاهات الانفصام	العينة
اتّجاه واحد			مسكوفيت (ميكا بيضاء)
اتّجاهان بزاوية 90°			فلسبار
اتّجاهان بزاوية لا تُساوي 90°			هورنبلند
ثلاثة اتّجاهات بزاوية 90°			هاليت
ثلاثة اتّجاهات بزاوية لا تساوي 90°			كالسيت

جدول 3
الاتِّجاهات الشّائعة للانفصام لبعض المعادن

4.2 المَكْسَر Fracture

هو شكل السطح الذي ينتج عن كسر المعدن في اتّجاه غير أسطح الانفصام. عندما تنكسر المعادن، ينتج عنها أشكال مختلفة: محارية المَكْسَر (شكل 43) مثل معدن الكوارتز، وغير مستوي مثل معدن البيريت، والمَكْسَر الليفي مثل معدن الأسبستوس (شكل 44).

شكل 43
المَكْسَر المحاري في معدن الكوارتز

شكل 44
المكسر الليفي في معدن الأسبستوس
Asbestos

5.2 الكثافة والوزن النوعي
Density and Specific Gravity

الكثافةُ خاصيّة هامة للمادة تُعرّف بأنها كتلةُ وحدةِ الحجم، ويتم التعبير عنها عادة بالجرامات لكل سنتيمتر مكعّب. يَستخدِم علماءُ المعادن مقياسًا مرتبطًا بها هو الوزن النوعي Specific Gravity لوصف كثافة المعادن. يُمثِّل الوزن النوعي نسبةَ وزنِ المعدن إلى وزنِ حجمٍ مساوٍ له من الماء عند درجة حرارة 4°، وهو عدد بدون وحدات قياس. معظمُ المعادنِ الشائعة المكوِّنة للصخور لها وزن نوعي يتراوح بين 2 و3. فعلى سبيل المثال، الكوارتز ذو وزن نوعي 2.65. بالمقابل، بعضُ المعادن مثل البيريت، والنُّحاس، والماجنتيت ذو وزن نوعي يزيد عن ضعف الوزن النوعي للكوارتز. يبلغ الوزن النوعي للجالينا، وهو أحد مصادر الرصاص، 7.5 تقريبًا.

3. خواصّ أخرى للمعادِن
Other Properties of Minerals

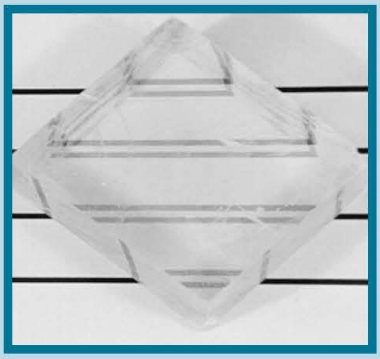
بالإضافة إلى الخواصّ التي ذُكِرت، يمكن التعرُّف على بعض المعادن عن طريق خواصَّ مميزةٍ أخرى. فعلى سبيل المثال، يمكن تمييز معدن الهاليت بسرعة عن طريق التذوُّق (الطعم)، أمّا التلك والجرافيت فلهما مَلْمَسٌ مُميَّز؛ فالتلكُ له مَلْمَسٌ صابوني، أمّا الجرافيت فله ملمسٌ دهنيّ. وإضافةً إلى ذلك، يتميّز بعض المعادن برائحة مميّزة عند حكّها، كرائحة الثوم من معدن الأرسينوبيريت ورائحة الكبريت من معدن البيريت. والقليلُ من المعادن مثل الماجنتيت لها محتوًى حديديّ عالٍ، ويمكن تأثّره بالمغناطيس.

تكامل العلوم؟

تؤثّر نسبة وجود العناصر الكيميائية على قيمة الوزن النوعي للمعادن. فالوزن النوعي لمعدن الأوليفين الذي يحتوي على فلزّ الحديد أقلّ من الوزن النوعي لمعدن الماجنيتيت (خام الحديد)، لأنّ الوزن الذرّي لعنصر السيليكون، وهو أحد العناصر المكوِّنة لمعدن الأوليفين، أقلّ من الوزن الذرّي للحديد الموجود بنسبة كبيرة في معدن الماجنيتيت.
هل الوزن النوعي للأوليفين الذي يحتوي على الحديد يساوي الوزن النوعي للأوليفين الذي يحتوي على المغنيسيوم؟

وبالإضافة إلى ذلك، فإن بعضَ المعادن ذو خواصّ بصريَّةٍ خاصة. وعلى سبيل المثال، عندما توضَع قطعةٌ شفافة من الكالسيت على مادةٍ مطبوعة، تظهر الحُروفَ مرتين، وتُعرَف هذه الخاصة البصريّة بالانكسار المُزدَوِج Double Refraction (شكل 45).

يملك بعض المعادن خواصّ كهربائية. فمعدن الكوارتز مثلًا، تتولّد على بلّوراته شحنات كهربائية عند تعرُّضه للضغط، لذلك يُستخدَم في صناعة الساعات. أمّا معدن التورمالين، فتتولّد على أطراف بلّوراته شحنات كهربائية عند تعرُّضه للحرارة، لذلك يُستخدَم في قياس درجات الحرارة المرتفعة جدًّا.



شكل 45
مثال على الانكسار المُزدَوِج عبر معدن الكالسيت.

مراجعة الدرس 2

1. لماذا يصعب تحديدُ معدنٍ ما من خلال خاصيّة اللون؟
2. إذا وجدتَ معدنًا زجاجيَّ المظهر أثناء البحث عن الصخور وتأمَلْ أن يكونَ ماسًا، فما الاختبارُ البسيط الذي قد يُساعِدك في تحديد نوعه؟

الجيولوجيا والصناعة

عند تعرّض بلّورة الكوارتز لمجال كهربائي، تتذبذب وتهتزّ بتردّد محدَّد يتميّز بالانتظام والدقّة. تُعرَف هذه الظاهرة بالبيزوكهربائية التي ساعدت الباحثين في صناعة أجهزة حسّاسة كثيرة، أهمّها الساعات المُصمَّمة لقياس الوقت بدقّة عالية.

الخواصّ الكيميائية للمعادن
Chemical Properties of Minerals

أهداف الدرس

- يصنِّف المعادن على أساس التركيب الكيميائي.
- يقارن بين أنواع المعادن السيليكاتية.

شكل 46
يُستخدَم معدن الكالسيت في تصنيع الإسمنت.

تمّت تسميةُ 4 000 معدن تقريبًا، ويتمُّ التعرّف على العديدُ من المعادن الجديدة كل عام. تدخل بعض المعادن في تركيب معظم الصخور المكوِّنة للقشرة الأرضية، ويُشار إليها غالبًا بالمعادن المكوِّنة للصخور Rock Forming Minerals.

يُستخدم العديد من المعادن الأخرى على نِطاقٍ كبير في تصنيع المُنتَجات التي يستخدمها مجتمعنا الحديث، وتُسمّى "المعادن الاقتصادية" "Economic Minerals". تجدر الإشارة إلى أن المعادنَ المكوِّنة للصخور والمعادنَ الاقتصادية ليستا مجموعتين منفصلتين. فعلى سبيل المثال، معدنُ الكالسيت Calcite الذي يُعتَبر المكوِّن الأساسي للحجر الجيري الرُّسوبي، له استخداماتٌ متعدِّدة بما فيها تصنيع الأسمنت Cement (شكل 46).

التركيب الكيميائي للمعادن
Chemical Composition of Minerals

تتكوّن معادن القشرة الأرضية من ثمانية عناصر بنسبة أكثر من 98% وفق الترتيب التنازلي التالي: الأكسجين O، السيليكون Si، الألومنيوم Al، الحديد Fe، الكالسيوم Ca، الصوديوم Na، البوتاسيوم K، المغنيسيوم Mg. تكوّن هذه العناصر المعادن الأكثر انتشارًا في القشرة الأرضية، والتي صُنِّفت في مجموعتين كبيرتين هما المعادن اللاسيليكاتية Non-Silicates والمعادن السيليكاتية Silicates.

1. المعادن اللاسيليكاتية Non–Silicates

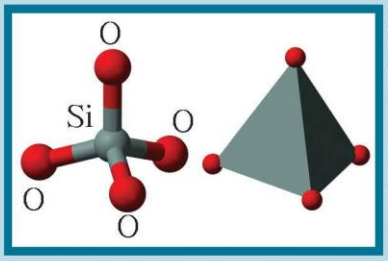
تُقسم المعادن وفق تركيبها الكيميائي إلى معادن عنصرية مثل الذهب والكبريت والجرافيت، ومعادن مركّبة مثل الكربونات والهاليدات والأكاسيد والكبريتيدات والكبريتات والفوسفات. أُنظر إلى الجدول (4) التالي:

المجموعة المعدنية		اسم المعدن	الصيغة الكيميائية	بعض الاستخدامات الاقتصادية
المعادن العنصرية Native Elements	المعادن العنصرية الفلزّية	الذهب الفضّة البلاتين	Au Ag Pt	◆ صناعة المجوهرات والتجارة ◆ صناعة المجوهرات والعملات النقدية والتصوير ◆ مادّة محفّزة في الكيمياء، السبائك، طبّ الأسنان
	المعادن العنصرية اللافلزّية	الجرافيت الألماس الكبريت	C C S	◆ صناعة أقلام الرصاص والطلاء والأقطاب الكهربائية ◆ حجر كريم، مادّة كاشطة (الصنفرة) ◆ صناعة أعواد الثقاب ومخصّبات التربة والأدوية
الكربونات Carbonates (CO_3^{2-})		الكالسيت الدولوميت	$CaCO_3$ $CaMg(CO_3)_2$	◆ صناعة الورق والعدسات الخاصّة والأصباغ ◆ صناعة الإسمنت ومخصّبات التربة ومستحضرات التجميل
الهاليدات Halides (F^-, Br^-, Cl^-)		الهاليت الفلوريت السيلفايت	NaCl CaF_2 KCl	◆ حفظ الطعام ودبغ الجلود وصناعة الصابون ◆ صناعة الصلب والزجاج والعدسات والسيراميك ◆ صناعة مخصّبات التربة والتصوير الضوئي
الأكسيدات Oxides (O_2^{2-})		الهيماتيت الماجنيتيت الكورانـدوم الثلج (الجليد)	Fe_2O_3 Fe_3O_4 Al_2O_3 H_2O	◆ خام لعنصر الحديد، صناعة الأصباغ ◆ خام لعنصر الحديد، صناعة المغناطيس ◆ حجر كريم، مادّة كاشطة (الصنفرة) ◆ التبريد
الكبريتيدات Sulfides (S^{2-})		الجالينا البيريت الكالكوبيريت السينابار	PbS FeS_2 $CuFeS_2$ HgS	◆ خام لعنصر الرصاص، صناعة السبائك غير الحديدية ◆ إنتاج حمض الكبريتيك، خام لعنصر الحديد ◆ خام لعنصر النحاس ◆ خام الزئبق
الكبريتات Sulphates (SO_4^{2-})		الجبس الأنهيدريت	$CaSO_4 . 2H_2O$ $CaSO_4$	◆ حفر الآبار، صناعة العوازل الحرارية ومعجون الأسنان ◆ صناعة البلاط، مصدر الكبريت، صناعة ورق الجدران
الفوسفات Phosphates $(PO_4)^{3-}$		الأباتيت	$Ca_5FCl(PO_4)_3$	◆ صناعة الأسمدة الزراعية

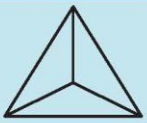
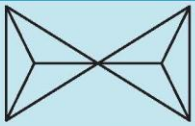
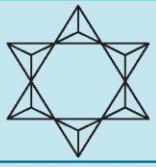
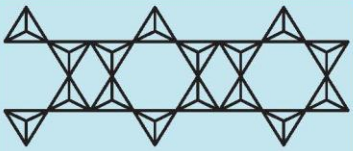
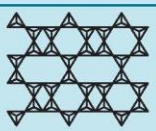
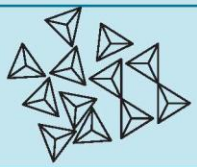
جدول 4
تقسيم المعادن وفق تركيبها الكيميائي

2. المعادن السيليكاتية Silicates

المعادن السيليكاتية هي من أهمّ المجموعات المعدنية وأكثرها انتشارًا في الطبيعة، وهي تحتوي بشكل أساسي على عنصري الأكسجين والسيليكون (شكل 47) بالإضافة إلى عنصر أو أكثر من العناصر الأخرى الموجودة في القشرة الأرضية. أُنظر الجدول (5) التالي:



شكل 47
التركيب البنائي لجميع المعادن السيليكاتية

نوع المعادن السيليكاتية	اسم المعدن	شكل رباعيات الأوجه السيليكاتية	الصلادة	ترتيب رباعيات الأوجه السيليكاتية
منفردة Tetrahedra	أوليفين جارنت	منفصلة وغير مرتبطة مع بعضها بعضًا	7.5–6	
مزدوجة Sorosilicates	ميليلايت أبيدوت	على شكل أزواج	7–5	
حلقية Ring Silicates	بيريل تورمالين	ثلاثة أو أربعة أو ستة رباعيات الأوجه السيليكاتية مرتَّبة على شكل دائري	8–7	
سلسالية Single Chain Silicates (أحادية السلاسل)	مجموعة البيروكسين مثل معدن الأوجيت	مرتَّبة على شكل سلاسل مستقيمة	6–5	
مزدوجة السلاسل Double Chain Silicates	مجموعة الأمفيبول مثل معدن الهورنبلند	سلسلتان مرتبطتان تحتويان على الماء	6–5	
صفائحية Sheet Silicates	ميكا (البيوتيت، المسكوفيت)	صفائحية	3–1	
هيكلية ثلاثية الأبعاد Framework Silicates	معادن الفلسبار الكوارتز	ترتيب شبكي ثلاثي الأبعاد	7–6	

جدول 5
أنواع المعادن السيليكانية

مراجعة الدرس 3

1. ما الفرق بين المعادن السيليكاتية والمعادن اللاسيليكاتية؟
2. لبناء مبنًى ما يتمّ استخدام الإسمنت. إبحث على شبكة الإنترنت أو في مكتبة المدرسة عن مصدر هذه المادة.
3. إرجع إلى الجدول (3) ثمّ سمِّ المعادن اللاسيليكاتية المُستخدمة في صناعة المخصّبات الزراعية وأقلام الرصاص.
4. أُذكر خمسة من العناصر المكوِّنة لمعادن القشرة الأرضية.

الدرس 4

الشكل البلوري للمعادن
Crystal Form of Minerals

أهداف الدرس

- يقارن بين المادّة المتبلّرة وغير المتبلّرة.
- يصف أجزاء الشكل الخارجي للبلّورة.
- يحدّد عناصر التماثل البلّوري.

شكل 48
مادّة متبلّرة

عندما تتوفّر الظروف الملائمة لذرّات أو أيونات مادّة ما أثناء تكوُّنها، بحيث تترتّب في الأبعاد الثلاثة، ينتج عنها شكل هندسي منتظم. تُسمّى هذه الأخيرة المادّة المتبلّرة (شكل 48). ما الفرق بين المادّة المتبلّرة والمادّة غير المتبلّرة؟ انظر إلى (شكل 49) الموضّح في الهامش.

تتكوّن بلّورات المعادن في الطبيعة نتيجة عمليات تبلور معيّنة. البلّورة عبارة عن جسم صلب متجانس تحدّه من الخارج أسطح مستوية تكوّنت بفعل عوامل طبيعية تحت ظروف مناسبة من الضغط والحرارة. سوف ندرس الشكل البلوري للمعادن من حيث البناء الداخلي للبلّورات، والخواص الخارجية للبلورات، والتماثل أو التناسق البلّوري كما هو موضّح في خريطة المفاهيم الواردة في الصفحة التالية.

المادّة غير المتبلّرة	المادّة المتبلّرة
↓	↓
لا يوجد ترتيب هندسي للذرّات أو الأيونات	يوجد ترتيب هندسي للذرّات أو الأيونات
↓	↓
لا يوجد تركيب شبكي أو وحدة بنائية	يوجد تركيب شبكي ووحدة بنائية
↓	↓
لا تتكوّن بلّورة (لا يوجد مستوى انفصام لكن يوجد مَكْسَر)	تتكوّن بلّورة (يوجد في معظمها انفصام ومَكْسَر)

شكل 49
مخطّط يوضّح الفرق بين المادّة المتبلّرة والمادّة غير المتبلّرة.

الشكل البلّوري للمعدن

البناء الداخلي للبلّورات

- الترتيب الفراغي للذرّات أو الأيونات المكوّنة للبلّورة
- طبيعة الروابط الكيميائية

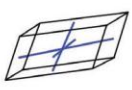
التماثل أو التناسق البلّوري

- محور التماثل
- مستوى التماثل
- مركز التماثل

الخواصّ الخارجية للبلّورات

- **الأوجه البلّورية:**
  - كاملة الأوجه
  - ناقصة الأوجه
  - عديمة الأوجه
- أحرف البلّورة
- الزاوية بين الوجهية
- الزاوية المجسَّمة

النظم البلّورية

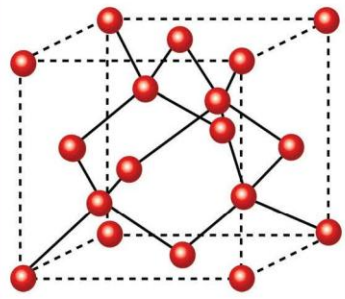
- المكعّبي
- الرباعي
- المعين القائم
- السداسي
- أحادي الميل
- ثلاثي الميل 

1. البناء الداخلي للبلّورات

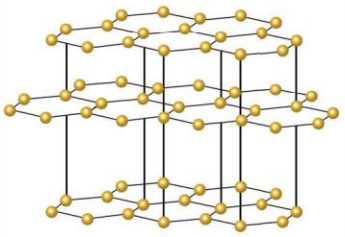
يعبر عنه بطريقة ترتيب الذرّات أو الأيونات التي تتكوّن منها بلّورات المعدن، وهي تعتمد على عوامل عديدة من أهمّها:

1.1. الترتيب الفراغي

يحدث الترتيب الفراغي للذرّات أو الأيونات أو المجموعات الأيونية في الأبعاد الثلاثة بطريقة تجعل كلّ ذرّة أو أيون في البلّورة لها الظروف نفسها المحيطة بالذرّات أو الأيونات الأخرى، ما يكوّن تركيب يُسمّى التركيب الشبكي الفراغي (شكل 50). يمثل هذا التركيب تكرارًا لوحدات صغيرة جدًّا تُعرَف كلّ واحدة منها باسم الوحدة البنائية (أصغر جزء من البلّورة). تختلف الوحدات البنائية في بلّورات المعادن المختلفة وقد صنّفها العالِم برافيه إلى 14 نمطًا.



تركيب الألماس



تركيب الجرافيت

شكل 50
التركيب الشبكي لمعدني
الألماس والجرافيت

1.2. طبيعة الروابط الكيميائية بين الذرّات أو الأيونات وقوّتها

هذه الروابط تحدّد صفات المعادن الفيزيائية كما في الجدول (6) التالي:

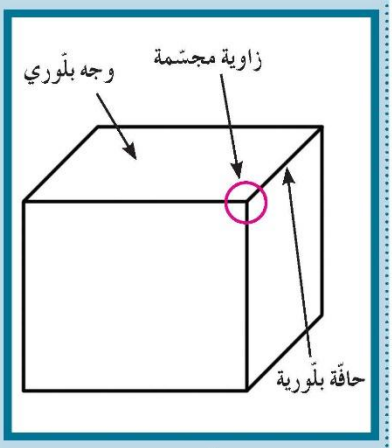
وجه المقارنة	التساهمية	الأيونية	الفلزّية	فان ديرفال
تعريف الرابطة الكيميائية	مساهمة زوج أو أكثر من الإلكترونات بين الذرّات (لافلزّ + لافلزّ)	تنشأ بين ذرّتين تختلفان في المقدرة على كسب الإلكترونات أو فقدانها (فلزّ + لا فلزّ)	الذرّات الفلزّية تميل إلى فقدان الإلكترونات الموجودة في مستوياتها الخارجية (فلزّ + فلزّ)	قوى جذب ضعيفة مختلفة على أسطح متعادلة كهربائيًّا في المعدن
الصلادة	عالية	متوسّطة	منخفضة	منخفضة جدًّا
الوزن النوعي	متوسّط	متوسّط	عالي	منخفض
درجة الانصهار	عالية جدًّا	عالية نسبيًّا	متغيّرة	منخفضة
توصيل الحرارة والكهرباء	غير موصلة	رديئة ولكن محاليلها توصل التيّار الكهربائي	جيّدة	غير موصلة
المتانة	هشّة	هشّة	متوسّطة وقابلة للطرق والسحب (لدنة)	ليّنة
أمثلة	الكوارتز، الألماس	الهاليت، الفلوريت	النحاس، الفضّة، الذهب	الجرافيت

جدول 6
طبيعة الروابط الكيميائية

2. الخواص الخارجية للبلّورات

1.2 الأوجه البلّورية

هي الأسطح أو المستويات التي تحدّ البلّورة من الخارج والتي تعيّن شكلها الهندسي المنتظم وتعبّر عن التركيب الذرّي الداخلي للبلّورة. وبما أنّ الترتيب الذرّي الداخلي في بلّورات المعدن الواحد ثابت، فلا بدّ أن تكون الأوجه البلّورية ثابتة ومميّزة لبلّورات هذا المعدن. وتتوقّف طبيعة الأوجه البلّورية على الظروف الطبيعية والكيميائية السائدة أثناء نموّ البلّورة.



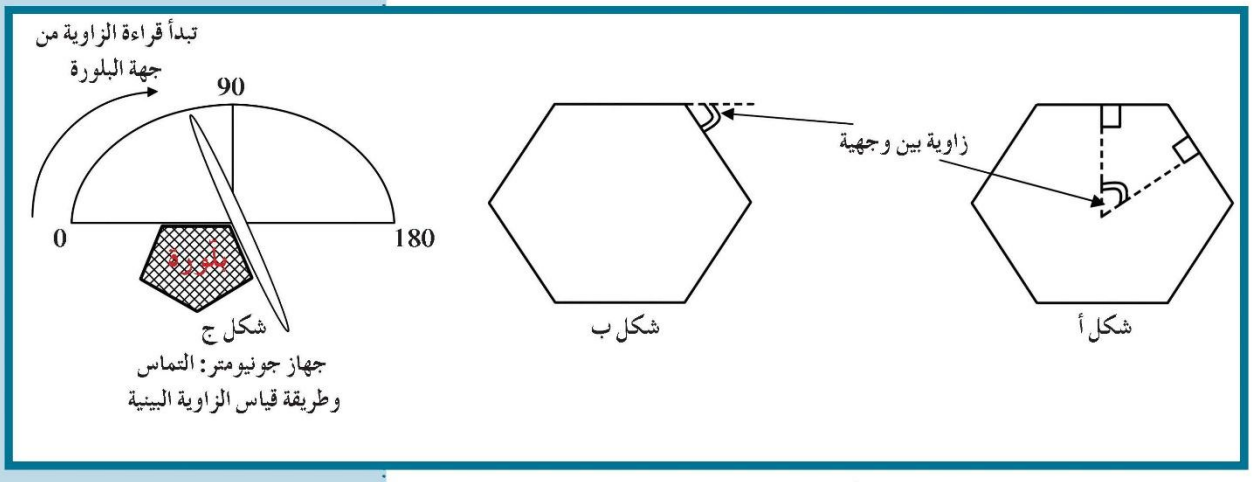
شكل 51
حافّة البلّورة ووجهها

2.2 حوافّ البلورة Edges

تنتج عن تلاقي وجهين بلّورين متجاورين (شكل 51).

3.2 الزاوية بين الوجهية Interfacial angle

هي الزاوية المحصورة بين العمودين المقامين على وجهين بلّوريين متجاورين (شكل 52–أ) والتي تُقدَّر بقيمة الزاوية المُكمِّلة للزاوية المحصورة بين الوجهين المتجاورين (شكل 52 – ب). ويمكن قياس قيمتها عن طريق جهاز جونيوميتر التماس (شكل 52 – ج)، وتكون قيمة الزاوية بين الوجهية ثابتة في بلّورات المعدن الواحد مهما اختلفت أحجامها.



شكل 52
زاوية بين وجهية

4.2 الزاوية المُجسَّمة Solid angle

هي الزاوية الناتجة عن تلاقي أكثر من وجهين في البلّورة (شكل 51).

التماثل أو التناسق البلّوري

التعريف

الترتيب المنظَّم للأوجه والحوافّ والزوايا المُجسَّمة في البلّورة.

أهمّيته

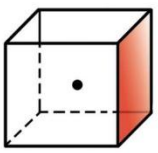
تُستخدَم درجة التماثل لتصنيف المعادن إلى فصائل بلّورية وفقًا لبناء البلّورات.

تختلف درجة التماثل باختلاف المعادن لكنّها تبقى ثابتة في بلّورات المعدن الواحد.

عناصر التماثل

مركز التماثل

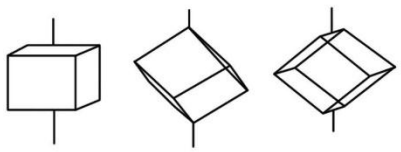
نقطة وهمية مركزية في البلّورة تترتّب حولها الأوجه البلّورية والحوافّ والزوايا في ازدواج، وفي أوضاع متماثلة في اتّجاهين متضادّين وعلى مسافتين متساويتين من هذه النقطة.



محور التماثل الدوراني الرأسي

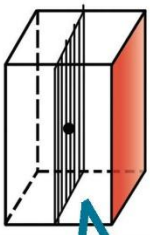
خطّ وهمي يمرّ بمركز البلّورة وتدور حوله البلّورة بشرط أن يتكرّر ظهور سطح أو حافّة أو زاوية مُجسَّمة مرّتين أو أكثر خلال دورة كاملة (360 درجة).

- **ثنائي**: تكرار الأوضاع المتشابهة مرّتين في الدورة الكاملة (يُعاد الوضع نفسه كلّ 180 درجة.)
- **ثلاثي**: تكرار الأوضاع المتشابهة ثلاث مرّات في الدورة الكاملة (يُعاد الوضع نفسه كلّ 120 درجة.)
- **رباعي**: تكرار الأوضاع المتشابهة أربع مرّات في الدورة الكاملة (يُعاد الوضع نفسه كلّ 90 درجة.)
- **سداسي**: تكرار الأوضاع المتشابهة ستّ مرّات في الدورة الكاملة (يُعاد الوضع نفسه كلّ 60 درجة.)

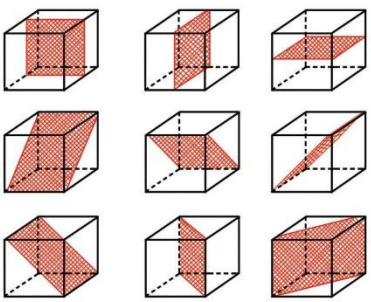


مستوى التماثل

مستوى يقسم البلّورة إلى نصفين متساويين ومتشابهين بحيث يكون أحد النصفين صورة مرآة للنصف الآخر.



بلّورات لها أكثر من مستوى تماثل مثل معدن الهاليت (9 مستويات تماثل).



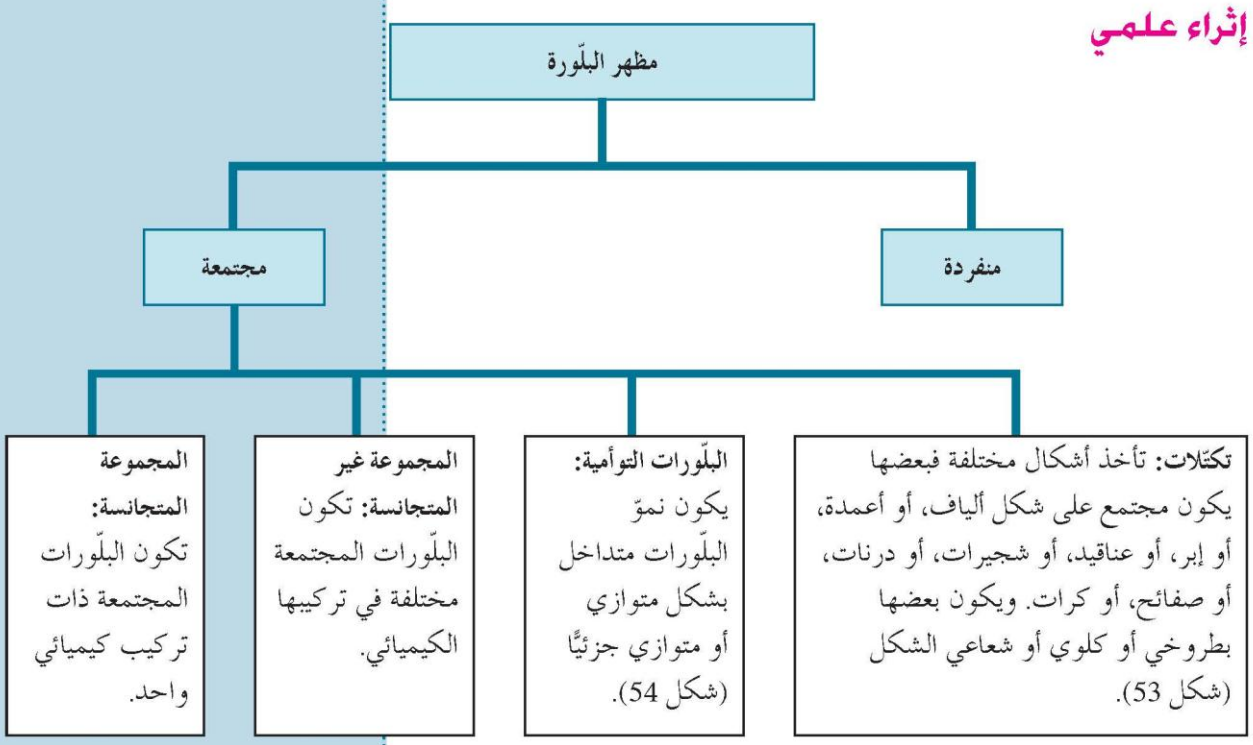
بلّورات ليس لها مستوى تماثل مثل معدن الألبيت ومعدن الأوكسينيت.

3. مظهر البلّورة Crystal Habit

تختلف أحجام البلّورات وأشكالها بناءً على عدّة عوامل، منها:

- نوع المحلول
- معدّل التبريد
- مكان حدوث التبلّر
- درجة نقاوة المحلول

إثراء علمي



شكل 53
أنواع التكتلات

شكل 54
بلورات توأمية

مراجعة الدرس 4

1. ما الفرق بين الزاوية بين الوجهية والزاوية المجسّمة في البلّورة.
2. ما المقصود ببلّورة المعدن؟
3. عدِّد النظم البلّورية.

الدرس 5

الأحجار الكريمة
Gemstones

أهداف الدرس

- يفرّق بين مفهوم الأحجار الكريمة والنفيسة.
- يشرح طرق تصنيع الأحجار الكريمة المقلَّدة.
- يصمّم خريطة ذهنية لمفاهيم الأحجار الكريمة.

شكل 55
أحجار كريمة

اهتمّت الحضارات القديمة ببريق المعادن والأحجار الكريمة. وقد ازداد اهتمام الإنسان بالأحجار الكريمة منذ العصر الحجري حتّى أيّاما هذه. على سبيل المثال، تُظهر الرسومات الباقية في معابد الفراعنة منذ 5000 سنة التقدّم في علم المعادن، فقد استخدموا الذهب والفيروز والأزورد (لابيس لازولي) والمالاكيت في صناعة الحلي.

وقد تمّ ذكر الأحجار الكريمة في القرآن الكريم بحيث شبّهت الحور العين بالياقوت والمرجان "كأنّهن الياقوت والمرجان – سورة الرحمن". وقد ميّز العرب، ومن بينهم يعقوب الكندي الذي يُعتبر من أقدم خبراء العرب في هذا المجال، بين الأنواع الخالصة والمقلَّدة. وقد ألّف العرب ما يزيد عن خمسين كتابًا حول المجوهرات ومنافع الأحجار.

1. المعادن النفيسة والأحجار الكريمة
Precious Minerals and Gemstones

يوجد حوالى 3000 معدن في الطبيعة معترف بها علميًّا، منها 100 مُصنَّفة كأحجار كريمة، و13 مُصنَّفة كأحجار ثمينة تؤثّر بشكل كبير في إقتصاد بعض الدول. تُقيَّم الأحجار الكريمة تجاريًّا على أساس أربعة مقاييس: الصفاء، اللون، القطع، القيراط. تكون صلادة هذه الأحجار عالية ومتينة بما يكفي لصقلها وقطعها إلى مجوهرات، لذلك لا بد من تعرُّف خواصّ الحجر الكريم مثل مستويات التشقّق ونوع المَكْسَر حتى يتمّ قطعها بشكل مناسب.

وعلى الرغم من أنّ الذهب والفضّة والبلاتين هي أيضًا معادن عالية القيمة مثل الأحجار الكريمة، إلّا أنّها لا تُعتبَر أحجار كريمة بل تُصنَّف كمعادن نفيسة بسبب سهولة تشكيلها وصياغتها.

1.1. أنواع الأحجار الكريمة Types of Gemstones

1. **أحجار ثمينة:** وهي أغلى الأنواع تتميّز بصلادة عالية، شديدة التحمّل، لها ألوان معيّنة جذّابة، ولها بريق متألّق جذّاب مثل الألماس Diamond والياقوت الأحمر Ruby والياقوت الأزرق Sapphire (شكل 56).
2. **أحجار شبه كريمة:** هذه المعادن ليست بالقيمة التجارية لقلّة صلادتها أو لشفافيتها أو لوفرتها. تُستخدم هذه الأحجار للزينة والنحت والتصنيع ومنها الملاكيت Malachite والجيد Jade (شكل 57) والأزوريت Azurite والفلسبار والأباتيت.

شكل 57
الجيد Jade حجر شبه كريم.

3. **أحجار كريمة عضوية:** هي نواتج عمليات عضوية مثل النباتات والحيوانات مثل الكهرمان Amber (مادة صمغية من إفرازات الأشجار الصنوبرية)، المرجان Coral (الهيكل الحجري للكائنات البحرية)، العاج Ivory (أسنان وأنياب بعض الحيوانات)، اللؤلؤ Pearls (شكل 58) (حبات من كربونات الكالسيوم تنتج من المحار)، الكهرمان الأسود Jet (أحد أنواع الفحم الحجري يولّد شحنات كهربائية عند حكّه). وعلى الرغم من أن تعريف المعدن لا ينطبق على هذه المجموعة من الأحجار بسبب أصلها العضوي، إلّا أنّها تُعتبر من المجوهرات وذات قيمة اقتصادية.

شكل 58
اللؤلؤ Pearl شكل من أشكال الأحجار الكريمة العضوية.

شكل 56
شكل من أشكال بلّورة الياقوت الأزرق Sapphire بعد تقطيعها

هل تعلم؟

يُستخدم القيراط كوحدة قياس لكتل الأحجار الكريمة والألماس واللؤلؤ. تعني كلمة "قيراط" المشتقّة من اليونانية ثمرة الخروب وذلك لأن بذور الخروب كانت تُستخدم لقياس كتل الذهب والأشياء الثمينة. يساوي الجرام الواحد 5 قراريط.

2.1. الأحجار الكريمة الصناعية المقلَّدة

Synthetic Gemstones

تمّ تصنيع بعض الأحجار الكريمة في المصانع لها التركيب الكيميائي والتركيب البلّوري والخواصّ الفيزيائية للحجر الكريم نفسها بحيث لا يمكن التمييز بينها إلا بقياس شكلها ونوع الشوائب فيها واستخدام العدسات المكبِّرة أو المجاهر لمشاهدة بعض الصفات الداخلية لها (معدن الكوراندوم الطبيعي يحتوي على خطوط نموّ داخلية منحنية، لكن الكوراندوم المصنَّع فالخطوط فيه مستقيمة).

شكل 59
الياقوت الصناعي

إثراء علمي

طرق صناعة الأحجار الكريمة المقلَّدة

1. **الالتحام باللهب :** يُصنَع الياقوت الصناعي (شكل 59) بوضع البودرة الخام في الفرن. فتنصهر وهي تسقط من خلال لهب تبلغ حرارته أكثر من 2000 درجة مئوية. تلتحم هذه النقاط السائلة مع بعضها على قاعدة وتتبلور. وعند سحب القاعدة، تتكوّن بلّورة مستطيلة طويلة تُسمّى كرة، ثمّ يتمّ تقطيعها لأشكال متعدّدة.

شكل 60
شكل من أشكال بلّورة الزمرّد بعد تصنيعه.

2. **الإذابة والتدفّق :** استُخدِمت لصناعة حجر الزمرّد، بحيث يتمّ إذابة مسحوق الزمرّد وخلطه مع مادّة مذيبة عند درجة حرارة عالية جدًّا ولمدّة طويلة، ثمّ تُترَك لتبرد ببطء شديد جدًّا (شكل 60).
3. **المجوهرات المقلّدة (المزيّفة) :** هي أحجار لها شكل الأحجار الكريمة الطبيعية ولكن تختلف في خواصّها الكيميائية والفيزيائية، ومن طرق صناعتها نذكر ما يلي :

- **التقليد :** تُستخدَم مادّة الزجاج بدلًا من الأحجار الكريمة الطبيعية لتقليد المجوهرات، بحيث يقطع الزجاج ويُشكَّل كالحجر الأصلي. ويتمّ تقليد الأوبال باستخدام مادّة البوليسترين التي لها خاصّية تغيُّر الألوان مثل الأوبال (شكل 61). أمّا لتقليد الألماس، فيتمّ استخدام المعادن مثل الزيركون والزفير (الياقوت الأزرق) والكوارتز حيث يُقطَع بطريقة قطع الألماس نفسها ولكنّه يختلف في الصلادة واللمعان.

شكل 61
أوبال مقلَّد

- **ازدواج الحجر الكريم :** تتم هذه العملية بعدّة طرق لجعل الحجر الكريم أكبر حجمًا وبالتالي أثمن. توضَع طبقة رقيقة من الحجر الكريم على قطعة من الزجاج الشفّاف عديمة اللون (شكل 62) فيكسب الزجاج لون الحجر نفسه، أو تُلصَق قطعتين صغيرتين من الحجر الكريم الأصلي على مادّة ملوّنة، وتُلصَق قطعتين إحداهما علوية أصلية والأخرى سفلية مُصنَّعة، ثم تُقطَع وتُصقَل.

شكل 62
لصق طبقة من الحجر الكريم على طبقة من الزجاج

- **التلوين :** تتلوّن بعض المعادن باستخدام أشعّة دقيقة معيّنة أو عندما تتعرّض لحرارة شديدة. على سبيل المثال، عندما يتعرّض معدن الأوبال الشفّاف إلى إشعّة ما أو حرارة يتحوّل لونه إلى الأزرق مثل حجر الزبرجد الأزرق المخضّر. ويُضاف إلى العقيق الذي يتميّز بمسامية عالية أصباغ معيّنة تزيد من قيمتها الإقتصادية.

تنظيف الأحجار الكريمة والمعادن النفيسة

يتأثر بريق الحجر الكريم ولمعانه سلبًا بالأحماض وبالعوامل الخارجية مثل الغبار والرطوبة. لذلك، يجب تنظيفها باستمرار بالماء المقطّر ومسحها بقماش جافّ ناعم (يفضل عدم استخدام الماء العادي لأنّه يحتوي على نسبة من المعادن المذابة التي تسبّب ضررًا بالحجر الكريم).

مراجعة الدرس 5

1. ما هي الصفات الطبيعية التي تجعل المعدن حجرًا كريمًا؟
2. قارِن بين أنواع الأحجار الكريمة.
3. كيف تميّز الأحجار الكريمة عن تلك المقلَّدة صناعيًّا؟

نشاط

نمو شجرة بلّورية

المواد والأدوات المطلوبة
ورق مقوّى، مادّة مبيّضة، محلول الأمونيا، ماء، ملح الطعام، ملوّنات غذائية، ملعقة، وعاء زجاجي، مقصّ، نظّارات واقية

خطوات العمل

1. أُرسم شجرة على الورق المقوّى وقصّها.
3. زيّن الشجرة بالملوّنات الغذائية.
3. ضَع ملعقة من الماء في الوعاء ثمّ أضف ملعقة من ملح الطعام وملعقة من المادّة المبيّضة. ضَع نصف ملعقة من محلول الأمونيا.
4. أُمزج الخليط جيّدًا ثمّ ضَع شجرتك في الوعاء.
5. ماذا تتوقّع أن يحدث بعد فترة من إضافة متغيّر (الماء)؟
6. إبحث عن متغيّرين آخرين غير الماء. ماذا تتوقّع أن يحدث عند التغيّر فيهما؟

أسئلة الفصل الأوّل

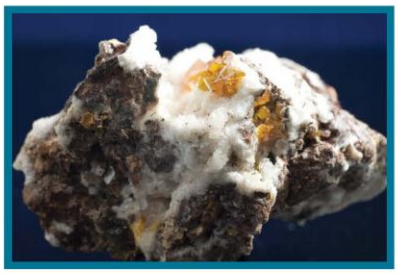
أولًا: اختر الإجابة المناسبة للعبارات التالية:

1. إلى أي من المجموعات التالية تنتمي معظم المعادن في القشرة الأرضية؟
   (أ) الأوكسيدات **(ب)** الكربونات
   (جـ) الكبريتات **(د)** السيليكات
2. عندما تتكسر معادن عديدة على طول مسطحات محاذية، يُقال إنها ذات:
   (أ) كثافة نوعية **(ب)** انشقاق **(جـ)** روابط تساهمية **(د)** مكسر
3. الوحدة البنائية الأساسية لجميع المعادن السيليكاتية هي:
   (أ) صفيحة سيليكونية **(ب)** جزيء ثاني أكسيد السيليكون
   (جـ) رباعي الأوجه السيليكوني **(د)** سلسلة مزدوجة سيليكاتية

ثانيًا: تحقق من فهمك

1. لماذا لا يعتبر المعدن المحتوي على عنصر الألومنيوم بالضرورة خامًا للألومنيوم؟
2. ربما قد تتفاجئ عندما تعرف أن الماس وقلم الرصاص يتكونان من مادة الكربون نفسها. كلاهما معدن ولكن أحدهما يعتبر المعدن الأكثر صلادة فيما يعتبر الآخر لينًا جدًّا لدرجة أنه يُخدش بظفر الإصبع. ما الذي يتحكم بهذه الفروقات؟
3. الكهرمان "حجر" كريم يستخدم في صناعة المجوهرات. يتكون عندما تتصلب المادة الصمغية السائلة لأشجار الصنوبر مثلًا وتتحول إلى "حجر". هل يعتبر الكهرمان معدنًا؟ اشرح إجابتك.

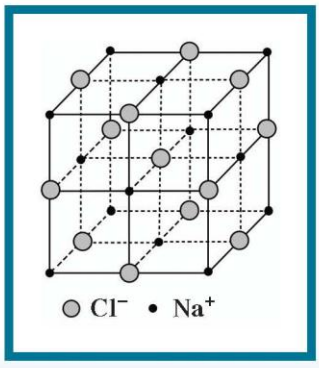
ثالثًا: تطبيق المهارات



استخدم الصور الفوتوغرافية للإجابة عن الأسئلة التالية:

لقد وجدت عينة لمعدن ولفنيت (مولبيدات الرصاص) ذي درجة صلادة 3 تقريبًا وفق مقياس موهس للصلادة وكثافة $6.8g/cm^3$. يحتوي المعدن على الأكسجين وفلزي الرصاص والمولبدينيوم المعدنيين.

1. **الملاحظة:** صف لون معدن الولفنيت ولمعانه وشكل بلوراته.
2. **الاستدلال:** هل تكوّن معدن الولفنيت ببطء أم بسرعة؟ اشرح إجابتك.
3. **الاستنتاج:** هل معدن الولفنيت صلب بدرجة تكفي لاستخدامه كحجر كريم؟ لأي غرض قد تستخدم هذه البلورات؟ وضّح إجابتك.



4. بالعودة إلى التركيب الشبكي لمعدن الهاليت الوارد في الشكل المرفق، حدِّد الوحدة البنائية له برسم حدودها في الأبعاد الثلاثة.
5. حدّد صفة فيزيائية واحدة لكل من المعادن الثلاثة التالية: الهاليت، الكوارتز، الكالسيت.

رابعًا: الربط بين الرياضيات والجيولوجيا

1. وجَدَ عالمُ جيولوجيا معدنًا غير معروف أثناء العمل في منتزه وطني. يحمل عالم الجيولوجيا صندوقًا يحتوي على مطرقة جيولوجية، ومدية جيب، وعدسة يدوية، وقطعة من الخزف، وقطعة نقود معدنية. صف في فقرة كيف يمكن لعالم الجيولوجيا استخدامُ هذه الأشياء لتحديد بعض خواصّ المعدن.

خامسًا: قارِن

1. إملأ الجدول التالي بحسب المطلوب:

وجه المقارنة	الرابطة الأيونية	الرابطة التساهمية	الرابطة الفلزّية	رابطة فان ديرفال
صفات المعدن التي ترتبط ذرّاته بهذه الرابطة				

الفصل الأوّل: الصخور النارية
- **الدرس الأوّل:** تكوّن الصخور النارية
- **الدرس الثاني:** تركيب الصخور النارية

الفصل الثاني: الصخور الرسوبية
- **الدرس الأوّل:** منشأ الصخور الرسوبية
- **الدرس الثاني:** التراكيب الأوّلية للصخور الرسوبية
- **الدرس الثالث:** بيئات الصخور الرسوبية واستخداماتها

الفصل الثالث: الصخور المتحولة
- **الدرس الأوّل:** التحوّل
- **الدرس الثاني:** أنسجة الصخور المتحوّلة

اكتشف بنفسك

تصنيف الصخور

Classification of Rocks

أي صخر، سواء أكان حصًى أم كتل على قمّة جبل، يروي قصّة معيّنة. فالصخور في مجتمعك مثلًا، تروي جزءًا من قصّة القشرة الأرضية. سوف تتعلّم في هذا الفصل كيفيّة تشكّل ثلاثة أنواع من الصخور.

الهدف

- تعرُّف أسماء الصخور.
- وصف العيّنات وصفًا صحيحًا.
- تصنيف الصخور إلى أنواع وأقسام.

حلِّل واستنتج

اِفحص ثلاث عيّنات من صخور الرمل والجرانيت والنيس الموجودة في متحف المدرسة ثمّ قارن بينها.

1. أُذكر عدد المعادن التي يتكوّن منها الصخر (أحادي المعدن أو عديد المعادن).
2. أيّ صخر متبلّر وأيّه محبَّب؟
3. أيّ الصخور يتوزّع فيها المعادن عشوائيًّا وأيّها ينتظم فيها المعادن في صفوف؟
4. أيّ الصخور يحتوي على مسام وأيّها مصمت؟

الفصل الأوّل

الصخور النارية
Igneous Rocks

تشكل الصخور النارية والصخور المتحولة المشتقة من أصل ناري حوالى 95% من القشرة الأرضية. كما يتكون الوشاح الذي يكون أكثر من 82% من حجم الأرض، من مادّة صخرية نارية. لذا، يمكن وصف الغلاف الصخري على أنها كتلة ضخمة من الصخور النارية تغطيها طبقة خارجية رقيقة من الصخور الرسوبية.

بالتالي، علينا أن نتعرف على الصخور النارية لكي نفهم تكوين كوكب الأرض وتركيبه.

دروس الفصل

الدرس الأوّل
- تكوّن الصخور النارية

الدرس الثاني
- تركيب الصخور النارية

الدرس 1

تكوّن الصخور النارية
Formation of Igneous Rock

أهداف الدرس

- يعرّف الصهارة كمصدر للصخور النارية.
- يصف أنواع مختلفة من الأنسجة الصخرية النارية.

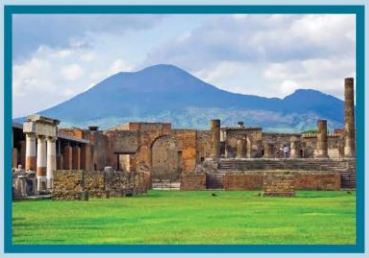
شكل 63
الحمم البركانية (اللافا) البازلتية السائلة المتدفقة على منحدرات بركان كيلاويا "Kilauea" في جزر هاواي.

1. كيفية تكوُّن الصخور النارية
Formation of Igneous Rocks

تتكون الصخور النارية Igneous Rocks عندما تبرد المادّة المنصهرة وتتصلب. وتسمى المادة الأم للصخور النارية الصهارة Magma، وتتكون عبر الانصهار الجزئي للصخور Rocks Partial Melting. يحدث الانصهار الجزئي عند مستويات مختلفة داخل القشرة الأرضية، والوشاح العلوي عند أعماق قد تصل إلى 250 كيلومترًا (حوالى 150 ميلًا). بمجرد تكونها، تتصاعد كتلة الصهارة نحو السطح كونها أقل كثافة من الصخور المحيطة بها. تندفع الموادّ المنصهرة من حين إلى آخر مسببة ثورانًا بركانيًّا مذهلاً. الصهارة التي تصل إلى سطح الأرض تسمى "اللافا" Lava أو الحمم البركانية. يحدث قذف متفجر للصهارة من فوهة البركان أحيانًا، مسببًا ثورانًا بركانيًّا مدمرًا. ومع ذلك، ليس كل ثوران بركاني عنيفًا؛ فبراكين عديدة تُطلق سيلًا من اللافا أو الحمم البركانية المائعة والهادئة (شكل 63).

هل تعلم؟

أثناء الثوران المدمر لبركان فيزوفيوز vesuvius في عام 79 بعد الميلاد، دُفنت مدينة بومبي (قرب نابولي، إيطاليا) بالكامل تحت أمتار عديدة من صخر البيوميس (الحجر الخفاف) والرماد البركاني. مرت قرون، وظهرت مدن جديدة حول بركان فيزوفيوز. بعد العام 1595، وأثناء تنفيذ أحد المشاريع الإنشائية، ظهرت بقايا مدينة بومبي. اليوم، يجوب آلاف السائحين بين بقايا محال، حانات، وفيلات مدينة بومبي الأثرية المكتشفة بالحفر.

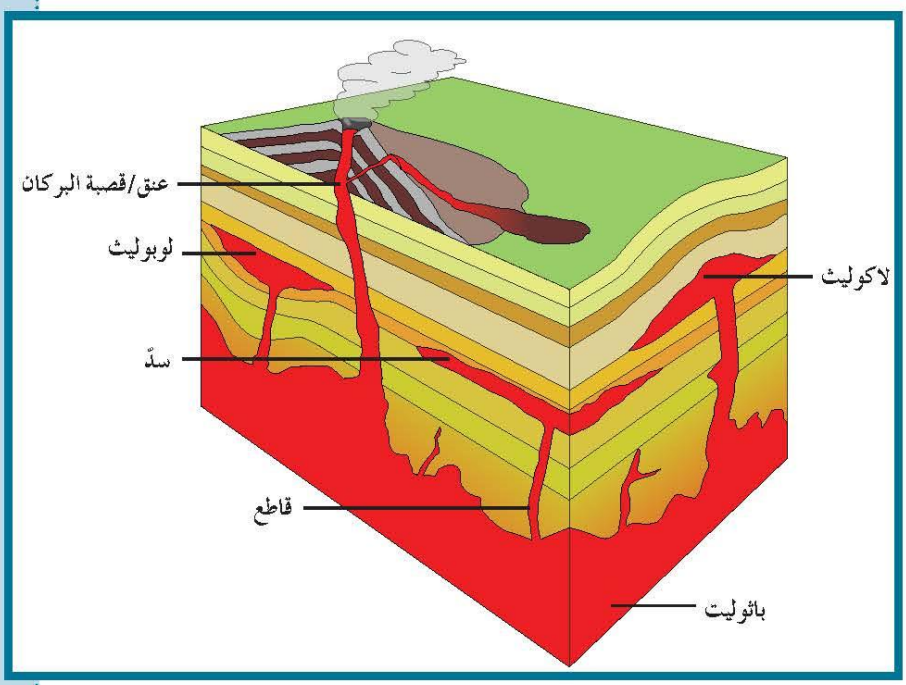


تُصنف الصخور النارية التي تتكون عندما تتصلب المادّة المنصهرة عند السطح كصخور بركانية أو طفحية Extrusive or Volcanic Rocks. كما أنّ الصهارة التي تفقد القدرة على الحركة قبل بلوغها إلى السطح، تتبلور في الأعماق، وتسمّى صخورًا متداخلة أو جوفية Intrusive or Plutonic Rocks (نسبة إلى بلوتو، إله أحد الآلهة في الأساطير الكلاسيكية). لا يمكن رؤية الصخور النارية المتداخلة عند السطح إلا عبر عوامل التعرية.

2. أشكال الصخور النارية في الطبيعة

Shapes of Igneous Rocks in Nature

تتّخذ كتل الصخور النارية الجوفية أشكالًا مختلفة وفقًا للشكل الذي تصلّبت عليه في باطن الأرض أو على سطحها، نذكر منها الباثوليت Batholtits (شكل 64) والقاطع Dikes والسدّ Sill واللاكوليث Laccoliths والكتل التي تشبه اللوبوليث Lopoliths (شكل 64)، بالإضافة إلى انسيابات الحمم البركانية التي تتّخذ أشكالًا مختلفة على سطح الأرض. صِف أشكال الصخور النارية في الطبيعة.



شكل 64
أشكال صخور النارية في الطبيعة.

مراجعة الدرس 1

1. ما هي الصهارة؟
2. كيف تختلف اللافا (الحمم البركانية) عن الصهارة؟

تركيب الصخور النارية
Igneous Compositions

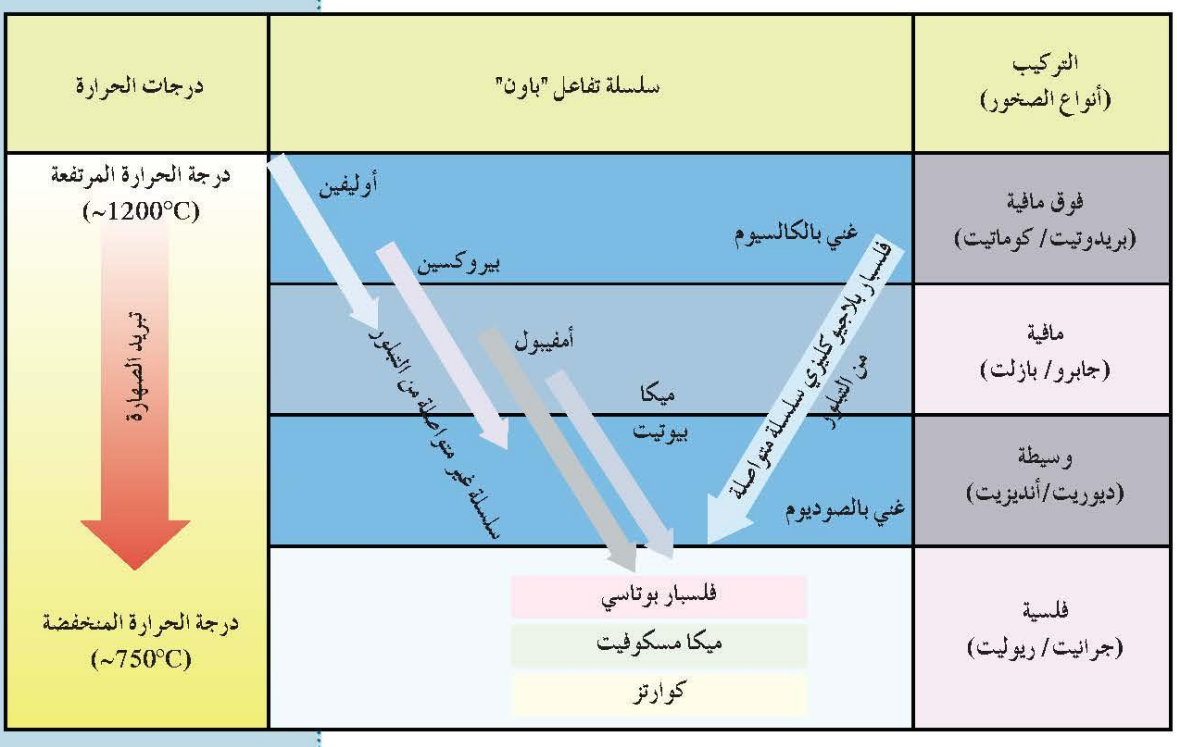
أهداف الدرس

- يتعرف التركيبات المختلفة للصخور النارية.
- يحدد محتوى السيليكا كمؤشر للتركيب.
- يفسر كيف تتكون الصهارة خلال سلسلة تفاعل بوين.
- يصف دور الصخور النارية كأسمدة.

1. سلسلة "باون" التفاعلية وتركيب الصخور النارية
Bowen's Reaction Series And the Composition of Igneous Rocks

بعد إجراء سلسلة من التجارب المخبرية عام 1928 ، فسّر العالم "باون" وزملاؤه أنّ المعادن تميل إلى التبلور بحسب درجات تجمّد المادّة المنصهرة مبيّنًا إمكانية الحصول على صخور فلسية ومافية من نوع واحد من الماجما الأم.

يوضّح الشكل (65) تفاعلات "باون" التي تتكوّن من جزئين.



شكل 65

سلسلة تفاعل "باون" التي تتبلور فيها المعادن من الصهارة. قارن هذا الشكل بالتركيب المعدني لفئات الصخور. لاحظ أن كل فئة تتكون من المعادن التي تتبلور ضمن مدى درجة الحرارة نفسه.

2.1 التتابع التفاعلي المتواصل (السلسلة المتواصلة)

Continuous Series

يُظهر هذا التتابع طريقة تكوُّن معادن البلاجيوكليز مثل معدن البيتونايت Bytonite. تتشكّل هذه المعادن الغنية بالكالسيوم في بداية السلسلة على درجات حرارة مرتفعة إلى أن تبلغ درجات حرارة منخفضة في نهاية السلسلة وتتكوّن معادن البلاجيوكليز الغنية بالصوديوم، ومنها معدن الألبيت Albite.

2.1 التتابع التفاعلي المنقطع (السلسلة غير المتواصلة)

Discontinuous Series

يتضمّن هذا التتابع المعادن الغنية بعنصري الحديد والمغنيسيوم. يبدأ التفاعل بتبلور معدن الأوّليفين Olivine، ثم تتكوّن معادن البيروكسين ومعادن الأمفيبول ويليها معدن الميكا (البيوتيت). تُسمّى هذه السلسلة سلسلة غير متواصلة بسبب اختلاف المعادن من حيث تركيبها الكيميائي والبلّوري وخواصّها الفيزيائية على عكس مجموعة التتابع التفاعلي المتواصل. أمّا ما يتبقّى من الصهير بعد تبلور معدني الألبيت والبيوتيت فيكون أغنى من المادّة المنصهرة الأمّ بالسيليكات، ما يؤدّي إلى تكوُّن معادن الفلسبار البوتاسي ثم المسكوفيت وأخيرًا الكوارتز.

إذًا، تتدرّج الصخور الناتجة عن تبلور المعادن من الصخور فوق المافية الغنية بعنصري الحديد والمغنيسيوم إلى الصخور الفلسية الغنية بالمعادن السيليكاتية.

2.السيليكات الداكنة والسيليكات الفاتحة

Dark Silicates and Light Silicates

عندما تبرد الصهارة وتتصلب، تتحد هذه العناصر ببعضها البعض لتكون مجموعتين رئيستين من المعادن السيليكاتية. السيليكات الداكنة Dark Silicates وهي السيليكات الغنية بالحديد و/أو الماغنسيوم ذات المحتوى الضئيل نسبيًا من السيليكا. ومن المعادن السيليكاتية الداكنة الشائعة في القشرة الأرضية: الأوّليفين، البيروكسين، الأمفيبول والميكا السوداء (البيوتيت). السيليكات الفاتحة Light Silicates وهي السيليكات الخالية من الحديد والمغنسيوم وتحتوي على كميات كبيرة من البوتاسيوم، الصوديوم والكالسيوم عوضًا عن الحديد والماغنسيوم. وهي مجموعة أغنى بالسيليكا من السيليكات الداكنة.

تشمل السيليكات الفاتحة على الكوارتز، الميكا البيضاء (المسكوفيت)، والمجموعة المعدنية الأكثر وفرة، وهي الفلسبارات التي تكون أكثر من 40% من معظم الصخور النارية.

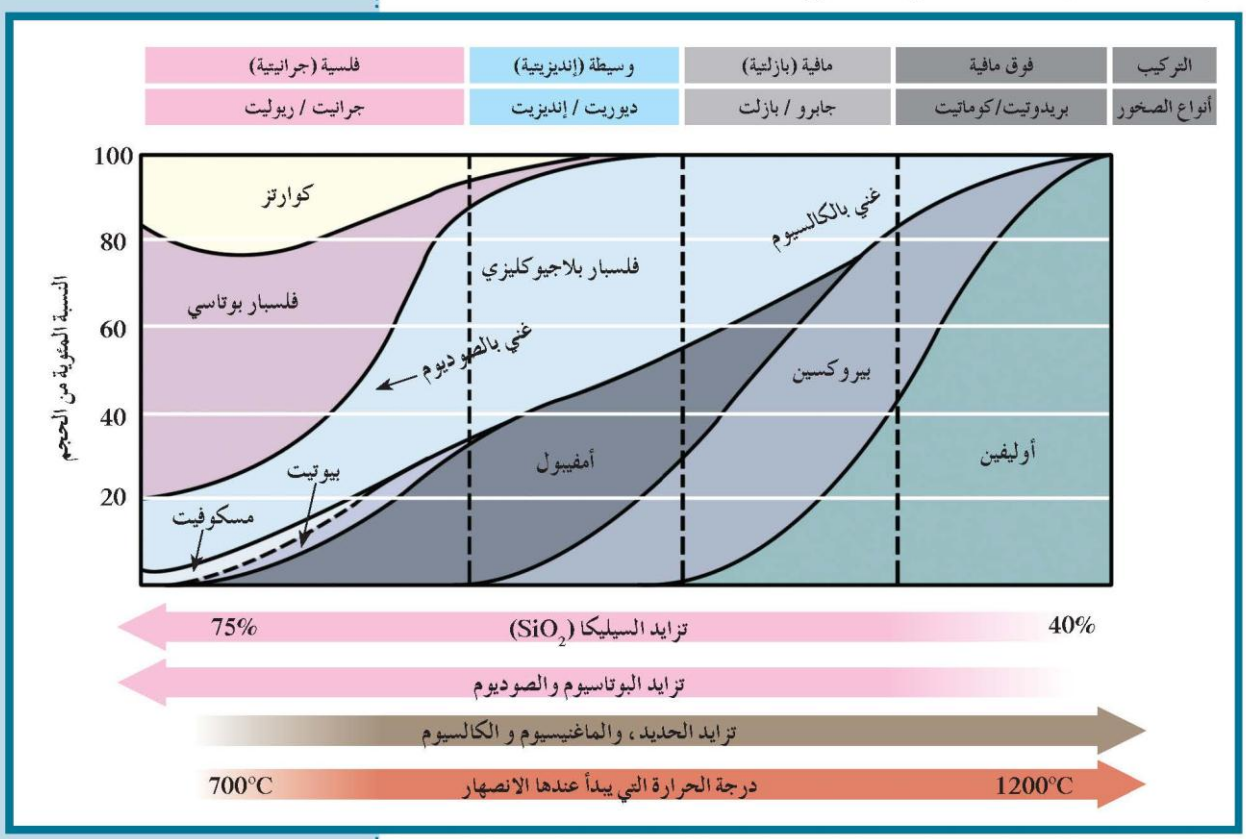
3. التراكيب الجرانيتية (الفلسية) مقابل التراكيب البازلتية (المافية)

Granitic (Felsic) Versus Basaltic (Mafic) Compositions

لاحظ أنه يوجد عند أحد جانبي شكل (30) نوعان من الصخور التي تتكون بالكامل تقريبًا من المعادن السيليكاتية فاتحة اللون مثل الكوارتز والفلسبار. الصخور النارية التي يسود فيها هذان المعدنان لها تركيب جرانيتي Granitic Composition. يصف الجيولوجيون أيضًا الصخور الجرانيتية بأنها فلسية Felsic. بالإضافة إلى الكوارتز والفلسبار، تحتوي معظم الصخور الجرانيتية على حوالى 10% من المعادن السيليكاتية داكنة اللون، وهي عادة ما تكون البيوتيت والأمفيبول. والصخور الجرانيتية غنية بالسيليكا (حوالى 70%) وهي المكونات الرئيسية للقشرة القارية. إن الصخور التي تحتوي على وفرة من المعادن السيليكاتية داكنة اللون والفلسبار البلاجيوكليزي الغني بالكالسيوم لها تركيب بازلتي Basaltic Composition (شكل 66).

يصف الجيولوجيون الصخور التي تحتوي على نسبة عالية من الحديد والمغنسيوم بالصخور المافية (البازلتية) Mafic (basaltic). الصخور المافية داكنة اللون بسبب احتوائها على الحديد، ذات كثافة أكبر من كثافة الصخور الجرانيتية. تكوّن الصخور البازلتية قاع المحيط وكذلك العديد من الجزر البركانية الواقعة داخل الأحواض. كما يكوّن البازلت سيولًا حممية بركانية (لافا) واسعة على القارات.

شكل 66
المعادن في الصخور النارية الشائعة والصهارة التي تنشأ منها.



4. المجموعات التركيبية الأخرى
Other Composition Groups

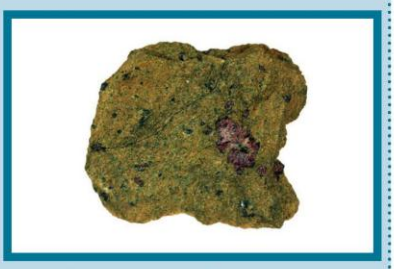
إنّ تركيب الصخور الواقعة بين الصخور البازلتية والجرانيتية يجعلها وسيطة أو أنديزيتية، وقد عرفت بهذا الاسم نسبة إلى الصخور البركانية (أنديزيت).

تحتوي هذه الصخور الوسيطة (الأنديزيتية) Intermediate (Andesitic) على 25% من المعادن السيليكاتية الداكنة على الأقل، وبصورة رئيسية الأمفيبول والبيروكسين والبيوتيت مع معادن غالبة من الفلسبارات البلاجيوكليزية.

تترافق هذه المجموعة من الصخور النارية بالنشاط البركاني الذي ينحصر عند حواف القارات.

تعد مجموعة البريدوتيت الشكل (67) من الصخور النارية المهمة التي غالبًا ما تحتوي على الأوّليفين والبيروكسين. يتكون البريدوتيت من المعادن ذات الحديد والمغنسيوم بصورة كاملة تقريبًا ويشار إلى تركيبها الكيميائي بالفوق مافي Ultramafic (جدول 7).

على الرغم من ندرة الصخور فوق المافية على سطح الأرض، يعتبر البريدوتيت المكون الأساسي في طبقة الوشاح العلوي.



شكل 67
صخرة البريدوتيت

جدول 7
تصنيف المجموعات الرئيسية للصخور النارية وفقًا للتركيب المعدني والنسيج.

التركيب الكيميائي		فوق مافية	مافية (بازلتية)	وسيطة (أنديزيتية)	فلسية (جرانيتية)
المعادن الغالبة		أوليفين بيروكسين	بيروكسين فلسبار بلاجيوكيزي غني بالكالسيوم	أمفيبول، فلسبار بلاجيوكليزي غني بالصوديوم والكالسيوم	كوارتز، فلسبار بوتاسي، فلسبار بلاجيوكيزي غني بالصوديوم
المعادن الملحقة		فلسبار بلاجيوكليزي غني بالكالسيوم	أمفيبول أوليفين	بيروكسين بيوتيت	أمفيبول مسكوفيت بيوتيت
النسيج	خشن الحبيبات	بريدوتيت	جابرو	ديوريت	جرانيت
	دقيق الحبيبات	كوماتيت (نادر)	بازلت	أنديزيت	ريوليت
	بورفيري	غير شائع	النسيج البوريفيري يسبق الأسماء المذكورة أعلاه عند توفر بلورات كبيرة.		
	زجاجي	الأوبسيديان			
	إسفنجي	بيومس			
	فتاتي	صخر فتاتي (فتات أصغر من 2mm) بريشيا بركانية (فتات أكبر من 2mm)			
لون الصخر (نسبة (%) للمعادن الداكنة)		0% إلى 25%	25% إلى 45%	45% إلى 85%	85% إلى 100%

5. نسيج الصخور النارية Igneous Rocks Texture

يستخدم مصطلح النسيج Texture للصخر الناري في وصف المظهر العام للصخر بالاستناد إلى الحجم والشكل وترتيب بلّوراته المتشابكة. والنسيج خاصية مميزة مهمة لأنه يكشف تفاصيل كثيرة عن البيئة التي تكوَّن فيها الصخر وعن مصدره.

1.5 العوامل المؤثرة في حجم البَلُّورات Factors Affecting Crystal Size

تساهم ثلاثة عوامل في تكوين أنسجة الصخور النارية:

1. معدل تبريد الصهارة
2. كمية السيليكا الموجودة
3. كمية الغازات الذائبة في الصهارة

إن معدل التبريد هو العامل السائد. فكلما فقدت كتلة الصهارة الحرارة إلى ما يحيط بها، فإن قدرة أيوناتها على الحركة تنخفض.

إن كتلة الصهارة الضخمة المتواجدة عند عمق كبير سوف تبرد خلال فترة زمنية قد تصل إلى عشرات أو مئات الآلاف من السنين. في البداية، يتكون عدد صغير نسبيًا من الأنوية البلورية. يسمح التبريد البطيء للأيونات بأن تنتقل دون قيود حتى ترتبط في النهاية بأحد التراكيب البلّورية المتواجدة، وبالتالي، يعزز التبريد البطيء نمو بلّورات أقل وبحجم أكبر.

من ناحية أخرى، يحدث التبريد السريع عند تدفق الحمم البركانية (اللافا) الرقيقة فيعزّز نموّ بلّورات أكثر وبحجم أصغر.

عندما تتجمّد المواد المنصهرة بسرعة كبيرة جدًّا، قد لا يكون هناك وقتٌ كافٍ للأيونات كي تنتظم في شبكة بلورية. عندئذ، يشار إليها بصخور الزجاج Glassy Rocks مثل الأوبسيديان (شكل 68).

شكل 68
الأوبسيديان أحد أنواع صخور الزجاج.

هل تعلم؟

لا يزال الناس يصنعون الزجاج بالطريقة نفسها تقريبًا منذ 2000 عام. تتضمن العملية انصهار مواد أرضية معينة وتبريد الصهير السائل بسرعة قبل أن يتاح الوقت للذرات لتكوين تركيب بلّوري منتظم. هذه هي الطريقة نفسها التي ينتج من خلالها الزجاج الطبيعي الذي يسمى الأوبسيديان، والمكون من اللافا (الحمم البركانية). ومن الممكن إنتاجه من مواد متنوعة، لكن معظم الزجاج التجاري ينتج عن رمل الكوارتز وكميات قليلة من معادن الكربونات.

2.5 أنواع أنسجة الصخور النارية

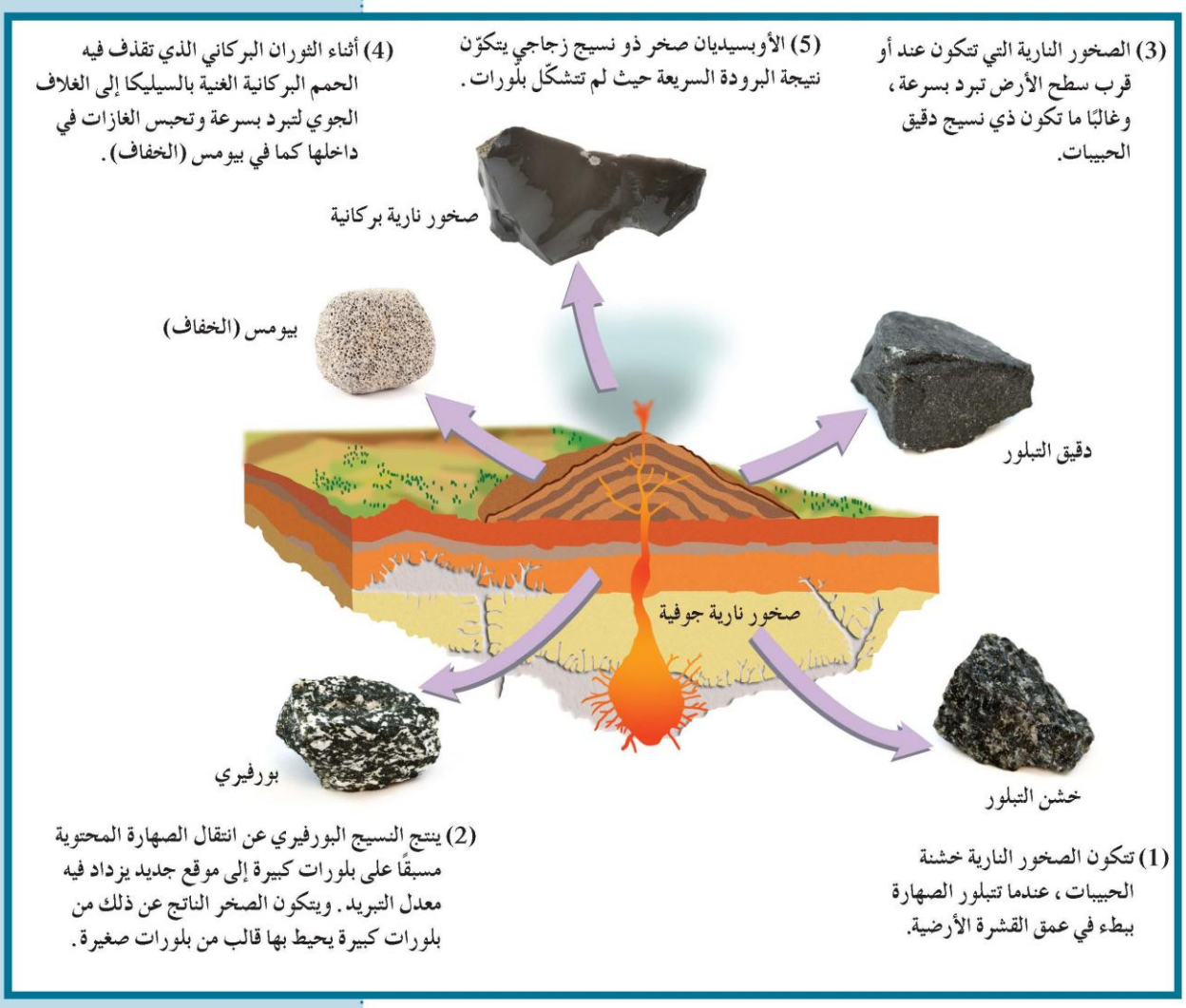
Types of Igneous Textures

(أ) النسيج دقيق التبلور (دقيق الحبيبات)

Aphanitic (Fine – Grained) Texture

للصخورالنارية التي تتكون على السطح أو ككتل صغيرة داخل القشرة السطحية حيث يكون التبريد سريعًا نسبيًّا، نسيج دقيق جدًّا من الحبيبات يسمّى النسيج دقيق التبلور Aphanitic texture.

بالتحديد، فالبلورات التي تكوّن الصخور دقيقة التبلور صغيرة جدًّا بحيث يمكن تمييز المعادن الموجودة في الصخر بواسطة المجهر فحسب (شكل 69– (3)).



شكل 69
أنواع أنسجة صخور نارية

(ب) النسيج خشن التبلّور (خشن الحبيبات)
Phaneritic (Coarse – Grained) Texture

تتكون الصخور النارية ذات نسيج خشن الحبيبات، أي النسيج خشن التبلور Phaneritic texture، عندما تتصلب كتل كبيرة من الصهارة ببطء بعيدًا عن السطح. تتكون هذه الصخور خشنة الحبيبات من بلّورات كبيرة ومتساوية في الحجم تقريبًا، تسمح بالتعرف على المعادن بدون استخدام المجهر (شكل 69– (1)). تنشأ الصخور خشنة التبلور، كالجرانيت والجابرو (شكل 70)، عميقًا داخل القشرة الأرضية، ولا تظهر عند سطح الأرض إلا عندما تزيل عوامل التعرية الصخور التي تعلوها.

(جـ) النسيج البورفيري
Porphyritic Texture

قد تتطلب كتلة الصهارة الكبيرة العميقة جدًا عشرات إلى مئات الألوف من الأعوام لكي تتصلب. إذا قامت الصهارة المحتوية على بعض البلوّرات الكبيرة بالثوران عند السطح، فإن جزء اللافا السائل المتبقي سيبرد بسرعة نسبيًّا. لذا يتكون صخر يحتوي على بلّورات كبيرة تحيط بها بلورات صغيرة، وهذا هو النسيج البورفيريّ Porphyritic texture (شكل 69– (2)). يشار إلى البلورات الكبيرة في هذا الصخر على أنها بلورات بارزة Phenocrysts، في حين تسمى البلورات الأصغر حجمًا الكتلة السفلية Groundmass. ويُسمّى الصخر ذو النسيج المثيل صخر بورفيري Porphyry.

(د) النسيج الزجاجي
Glassy Texture

خلال بعض الثورانات البركانية، تُقذَف الحمم إلى الغلاف الجوي حيث تبرد بسرعة، فيكون صخورًا ذات نسيج زجاجي Glassy Texture. الأوبسيديان، نوع شائع من الزجاج الطبيعي، مشابه في المظهر لقطعة من الزجاج الداكن المصنّع. وقد اعتبر الأوبسيديان مادة مهمة بفضل مكسره المحاري الممتاز ذي الحافة الحادة القاطعة الصلبة (شكل 71).

الجيولوجيا والطب

اليوم، تستخدم المشارط المصنوعة من الأوبسيديان في إجراء العمليات الجراحية الدقيقة لأنها تُخلّف ندوبًا أقل بكثير من المشارط المصنوعة من الصلب.

شكل 70
الجابرو Gabrro نوعان من الصخور خشنة التبلور

شكل 71
الأوبسيديان Obsidian زجاج طبيعي استخدمه الأمريكيون الأصليون (الهنود الحمر) لصنع رؤوس الأسهم والأدوات القاطعة.

تتواجد في بعض الأماكن حمم بركانية (اللافا) مكونة من الأوبسيديان يبلغ سُمكها بضع مئات من الأقدام. بالتالي، فإن التبريد السريع ليس الآلية الوحيدة لتكون النسيج الزجاجي (إبحَث).

بشكل عام الصهارة ذات المحتوى العالي من السيليكا تميل إلى تكوين سلسلة تراكيب طويلة قبل أن يكتمل التبلور.

بالتالي، تعيق هذه التراكيب النقل الأيوني وتزيد من لزوجة الصهارة.

قد تطفح الصهارة الجرانيتية الغنية بالسيليكا ككتلة لزجة جدًّا وتتصلب في النهاية لتكون الأوبسيديان. بالمقابل، فإن الصهارة البازلتية ذات المحتوى المنخفض من السيليكا تكون صهارة سائلة للغاية، وهي عادة ما تولد بالتبريد صخورًا دقيقة الحبيبات. مع ذلك، قد يبرد سطح الحمم البركانية بسرعة تكفي لتكوين قشرة زجاجية رقيقة. علاوة على ذلك، تولّد براكين هاواي Hawaiian أحيانًا ينابيع تقذف الحمم البركانية البازلتية لعشرات الأمتار في الهواء. وقد يولد مثل هذا النشاط جدائل من الزجاج البركاني تسمى شعر بيلي Pele's Hair (شكل 72) نسبةً إلى آلهة لبراكين هاواي.

شكل 72
ولّد بركان كوكو Koko في هاواي شعر بيلي Pele's Hair.

(هـ) النسيج الإسفنجي والفقاعي Vesicular Texture

يتضح في العديد من الصخور دقيقة التبلور وجود فجوات خلّفتها الفقاعات الغازية التي تسربت مع تصلب اللافا. تتصف هذه الصخور بنسيج إسفنجي أو فقاعي Vesicular Texture وتتكون هذه الصخور في المنطقة العلوية للحمم البركانية المتدفقة اللافا (شكل 73).

شكل 73
السكوريا Scoria والبيومس Pumice عبارة عن صخرتين بركانيتين يظهر فيهما النسيج الإسفنجي. الفجوات عبارة عن فراغات صغيرة حدثت عن طريق هروب الفقاعات الغازية.

(و) النسيج الفتاتي الناري Pyroclastic (fragmental) texture

تتكون بعض الصخور البركانية من دمج وتصلّب الفتات الصخري الذي يقذفه الثوران البركاني الشديد. قد تكون الجسيمات المقذوفة عبارة عن رماد دقيق، نطاف منصهرة أو كتل حجرية كبيرة ذات زوايا منتزعة من جدران فوهة البركان أثناء الثوران. الصخور النارية المتكونة من هذا الفتات الصخري ذات نسيج فتاتيّ Pyroclastic or Fragmental Texture (شكل 74).

تُسمى أحد الأنواع الشائعة للصخور النارية الفتاتية "الطفة الملتحمة Welded Tuff وغالبًا يبدو نسيجها شبيهًا بالصخور الرسوبية أكثر من الصخور النارية.

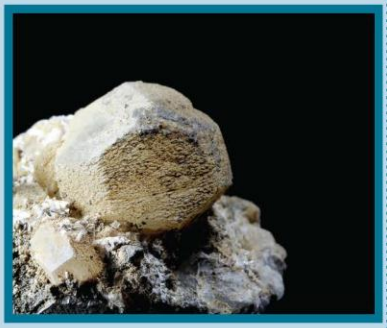
شكل 74
تتكون الصخور ذات النسيج الفتاتي مثل صخر الطفة نتيجة دمج الفتات الصخري الذي قذف أثناء الثوران البركاني العنيف.

(ز) النسيج البجماتيتي Pegmatitic Texture

قد تتكون استثنائيًّا صخورٌ خشنة الحبيبات تسمى البجماتيتات Pegmatities، من بلورات متشابكة ذات قطر يزيد عن سنتيمتر واحد، وتتميز بنسيج بجماتيتيٍّ Pegmatitic Texture. تتواجد معظم البجماتيتات عند حواف كتل الصخور الجوفية الكبيرة على صورة كتل صغيرة، أو عروق رقيقة تمتد إلى الصخر المجاور.

تتكون الصخور البجماتيتية في المراحل المتأخرة من التبلور عندما يكوّن الماء والمواد المتطايرة الأخرى، مثل الكلور والفلور والكبريت، نسبةً مئويّة عالية غير عادية من الصهير. لذا، فالبلورات الكبيرة غير الاعتيادية المتكونة في البجماتيتات هي نتيجة البيئة السائلة التي تعزز التبلور.

تركيب معظم الصخور البجماتيتية مشابه لتركيب الجرانيت. لذا، تحتوي هذه الصخور على بلّورات كبيرة من الكوارتز والفلسبار والمسكوفيت. كما قد يحتوي بعضها على كميات كبيرة من المعادن القيمة والنادرة نسبيًا.



شكل 75
صخرة البجماتيت Pegmatite

6. محتوى السيليكا كمؤشر للتركيب الكيميائي
Silica Content as an Indicator of Composition

إن محتوى السيليكا SiO_2 هو إحدى السمات المهمة للتركيب الكيميائي في الصخور النارية. تذكر أن السيليكون والأكسجين هما العنصرين الأكثر وفرة في الصخور النارية.

نموذجيًّا، يتراوح محتوى السيليكا في الصخور القشرية ما بين أقل من 45% في الصخور فوق المافية وأكثر من 70% في الصخور الجرانيتية (جدول 6)، وإذ تحتوي الصخور منخفضة السيليكا نسبيًّا على كميات كبيرة من الحديد والمغنيسيوم والكالسيوم. بالمقابل، تحتوي الصخور عالية السيليكا على كميات صغيرة جدًّا من تلك العناصر، ولكنها غنية بالصوديوم والبوتاسيوم. بالتالي، يمكن استنتاج التركيب الكيميائي لإحدى الصخور النارية مباشرة من خلال محتواها من السيليكا.

7. علاقة ألوان الصخور النارية بوزنها النوعي

Relation Between the Colors of Igneous Rocks and Their Specific Gravity

تُقسم الصخور النارية إلى مجموعتين هما مجموعة الفلسبار ومجموعة الأوجَيْت. تؤثّر هاتان المجموعتان في اختلاف ألوان الصخور النارية. فصخور مجموعة الفلسبار تتميّز بوفرة السيليكا وندرة المعادن التي تحتوي على الحديد والمغنيسيوم، ما يجعل وزنها النوعي خفيفًا ولونها فاتحًا. أمّا صخور مجموعة الأوجَيْت فتتميّز بنسبة مرتفعة من المعادن الغنيّة بالحديد والمغنيسيوم وبندرة السيليكا، ما يجعلها داكنة اللون من حيث المظهر وثقيلة من حيث وزنها النوعي (شكل 76).

شكل 76
تختلف صخرة البازلت Basalt داكنة اللون عن صخرة الريوليت Rhyolite فاتحة اللون.

مراجعة الدرس 2

1. ما الفرق بين التركيب الجرانيتي والتركيب البازلتي في الصخور النارية؟
2. ما الذي يجعل بعض الصهارة الجرانيتية لزجة وبعضها الآخر أكثر سيولة؟
3. اذكر المفهوم الرئيسي الذي بيّنه "باون" وزملاؤه في المختبر.
4. كيف يؤثر معدل التبريد في عملية التبلور؟
5. ما العاملان الآخران المؤثران في عملية التبلور إضافة إلى معدل التبريد؟
6. عدِّد الفوارق بين النسيج دقيق التبلور والنسيج خشن التبلور؟
7. ما الذي يجعل للصخور النارية نسيجًا زجاجيًّا؟
8. لماذا تكون البلّورات في البجماتيتات كبيرة جدًّا ؟

أسئلة مراجعة الفصل الأوّل

أولًا: اختر الإجابة المناسبة للعبارات التالية:

1. نسيج الصخر الناري هو وصف الحجم والشكل و .....
(أ) اللون (ب) التركيب الكيميائي (جـ) الكثافة (د) ترتيب بلوراته

2. أول معدن يتبلور في الصهارة البازلتية هو .....
(أ) البيروكسين (ب) الأوّليفين (جـ) الكوارتز (د) الميكا

3. تفتقر الصخور فوق المافية إلى .....
(أ) المعادن داكنة اللون (ب) حديد ومغنسيوم
(جـ) الهورنبلند والأوجيت (د) المعادن فاتحة اللون

ثانيًا: تحقق من فهمك

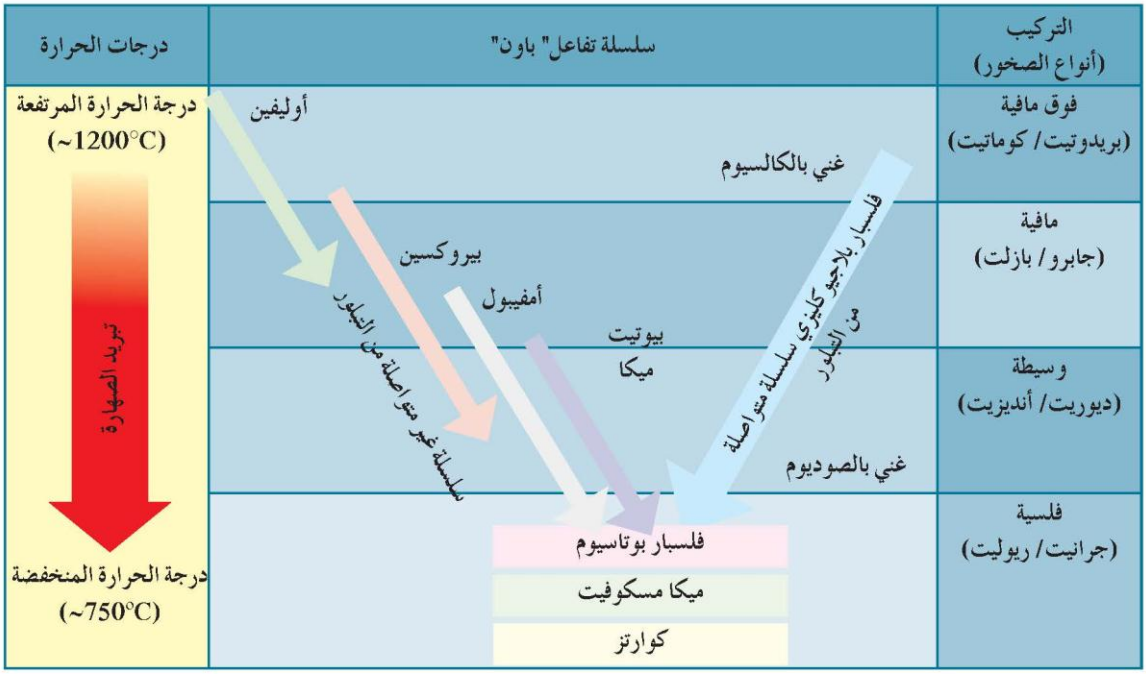
1. قارِن بين الأنسجة الموضّحة في الجدول التالي:

نوع النسيج	وجه المقارنة	كيفية التكوين	مثال	رسم تخطيطي لشكل النسيج
النسيج البورفيري				
النسيج الفقّاعي				
النسيج الزجاجي				
النسيج الخشن				

2. البيوميس صخر ناري يطفو فوق سطح الماء. فسر سبب حدوث ذلك.
3. استخدم الإنسان القديم في العصر الحجري الصخور كأدوات. اذكر اسم صخرٍ ناريّ استخدم كأداة وعلّل إجابتك.
4. وضّح سبب استخدام الصخور النارية مثل الجرانيت، والجابرو، والبازلت في العديد من المباني القديمة.

ثالثًا: تطبيق المهارات

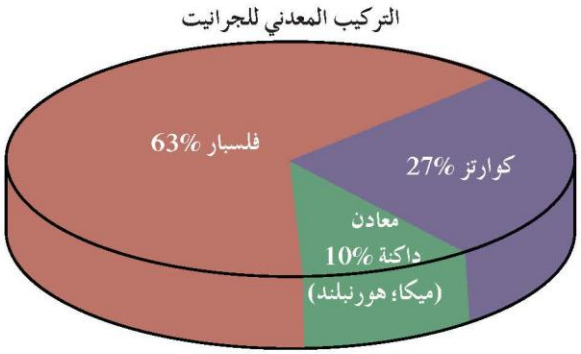
ماذا يحدث عمومًا على صعيد التركيب كلما اتجه التبلور إلى أسفل في سلسلة تفاعل "باون"؟



رابعًا: الربط بين الجيولوجيا والرياضيات

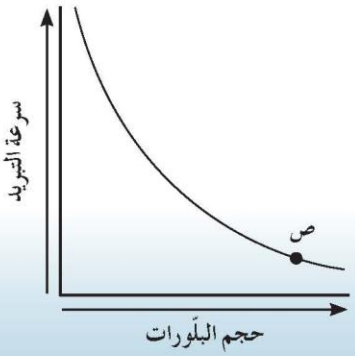
تحليل بيانات

خليط معدني: الجرانيت عبارة عن خليط من المعادن فاتحة اللون مثل الفلسبار، والكوارتز، والمعادن داكنة اللون مثل الهورنبلند والميكا. لكن قد يختلف الجرانيت في التركيب المعدني ما يؤثر في لونه ونسيجه.



ادرس الشكل الدائري، ثم أجب عن الأسئلة التالية:

1. **قراءة الأشكال البيانية:** ما المعدن الأكثر وفرة في الجرانيت؟ ما النسبة المئوية للمعادن الداكنة في الجرانيت؟
2. **الحساب:** إذا زادت نسبة الكوارتز عن 35% وبقيت كمية المعادن داكنة اللون ذاتها، فما النسبة المئوية للفلسبار في الجرانيت؟
3. **التوقع:** كيف سيتغير لون الجرانيت إذا كان يحتوي على فلسبار أقل من الميكا (البيوتيت) والهورنبلند؟



من خلال العلاقة البيانية، حدِّد اسم الصخر الممثَّل بالنقطة (ص) على الرسم البياني. هل هو البيومس أو الجابرو أو البازلت أو الأوبسيديان؟

الفصل الثاني

الصخور الرسوبية
Sedimentary Rocks

إن تجوية الصخور القديمة هي منشأ الصخور الرسوبية، بحيث تزيل الجاذبية وعوامل التعرية نواتج التجوية وتحملها إلى موقع جديد حيث تترسب. يزداد تفتت الجسيمات عادة أثناء مرحلة النقل.
بعد الترسيب، تتحول هذه المادة التي تسمى الرواسب بعد تماسكها إلى صخر.

دروس الفصل

الدرس الأوّل
- منشأ الصخور الرسوبية

الدرس الثاني
- التراكيب الأوّلية للصخور الرسوبية

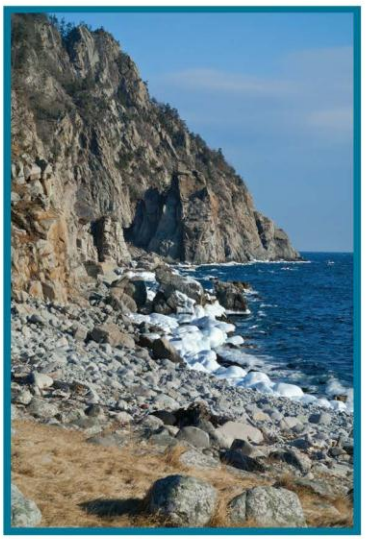
الدرس الثالث
- بيئات الصخور الرسوبية واستخداماتها

الدرس 1

منشأ الصخور الرسوبية
Origin of Sedimentary Rocks

أهداف الدرس

- يصف كيف تتكون الصخور الرسوبية.
- يحدد الأنواع الثلاثة من الصخور الرسوبية.
- يميز بين الصخور الرسوبية الفتاتية، والكيميائية، والعضوية.



شكل 77
تفتّت العديد من القوى المختلفة هذا الجرف الصخري فتحوّله إلى رواسب.

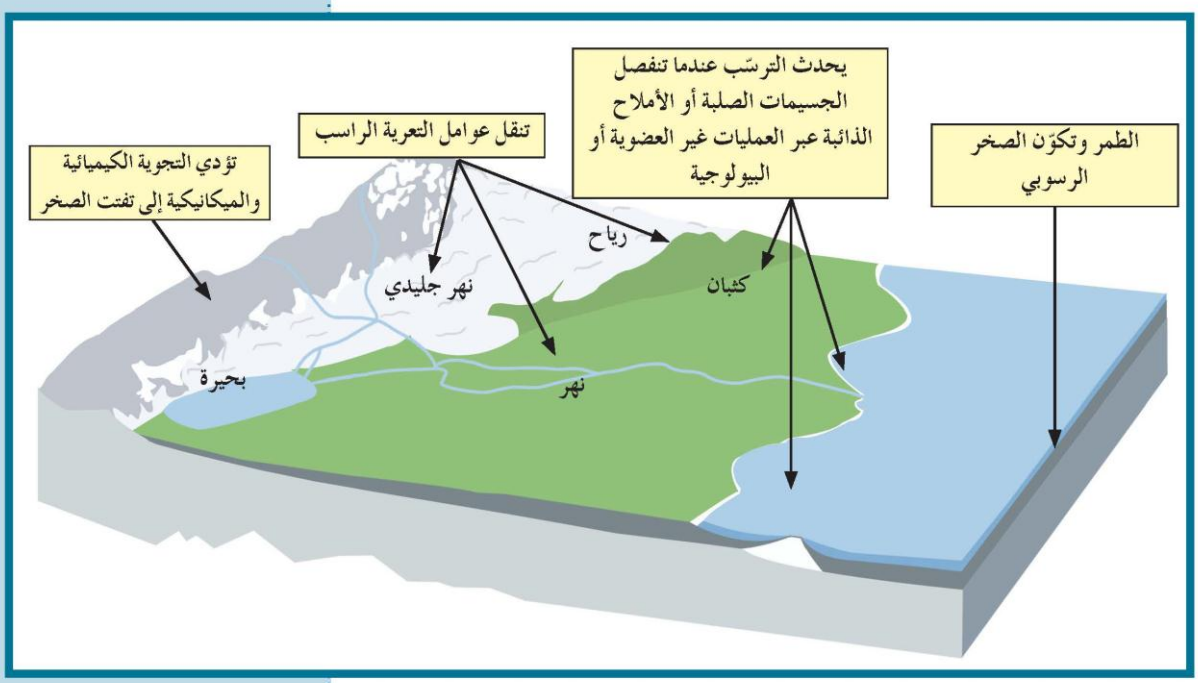
تصوَّر أنك عند شاطئ ممتد على طول جرف صخري شاهق. ويوجد بالقرب من قاعدة الجرف جلمود (صخر ضخم)، وحجارة، وحصى. البعض منها كبير بحجم قبضة اليد وذي حواف حادة، تفتَّتَ حديثًا من الجرف. أما البعض الآخر، فلا يتعدى حجم النقود المعدنية الصغيرة وله حواف مستديرة، بفعل الأمواج.

تتحرك قدماك عبر حبيبات الرمل بالغة الصغر. وحيث يلتقي الماء بالشاطئ، تلاحظ أصدافًا وأعشابًا بحرية. وإذا استطعت أن ترى القاع، ستكتشف الغرين والطين مكوِّنين طميًا سميكًا. هذه بعض من المواد متعددة الأشكال التي تكون الصخور الرسوبية (شكل 77).

1. منشأ الصخور الرسوبية

Origins of Sedimentary Rocks

- تبدأ العملية بالتجوية، وهي تتضمن التفتت الفيزيائي والانحلال الكيميائي للصخور النارية، والمتحولة، والرسوبية الموجودة من قبل. تولد التجوية مجموعة متنوعة من المواد، تشمل الجُسيمات الصلبة، ومتعددة الأشكال والأملاح الذائبة. هذه هي المواد الخام للصخور الرسوبية.
- تُنقل المكونات الذائبة والجسيمات الصلبة بعيدًا بفعل عوامل التعرية المختلفة.
- يحدث ترسيب الجسيمات الصلبة عندما تنخفض سرعة الرياح والتيارات المائية وينصهر الجليد.
- وتترسّب المواد الذائبة من المحلول عندما تسبب التغيرات الكيميائية أو الحرارية تبلور المواد وترسُّبَها، أو عندما تمتص الكائنات الحيّة المواد الذائبة لتبني أصدافها.
- فيما يستمر الترسّب، تُدفن الرواسب القديمة تحت الطبقات الحديثة، وتتحول تدريجيًّا إلى صخر رسوبي (تحجّر) بفعل التراص والسمنتة Cementation.



شكل 78
يلخص هذا الشكل التخطيطي جزءًا من دورة الصخور المتعلّق بتكوّن الصخور الرسوبية. العمليات الأساسية المعنيّة هي: التجوية، والنقل، والترسّب.

1.1 أنواع الصخور الرسوبية

Types of Sedimentary Rocks

تُصنَّف الصخور الرسوبية إلى ثلاثة أنواع بحسب طرق تكونها.

النوع الأول: المواد التي تنشأ ويتم نقلها كجسيمات صلبة ناجمة عن كل من التجوية الميكانيكية والكيميائية معًا. تُسمى هذه الرواسب "فتاتية"، وتسمى الصخور الرسوبية التي تتكوّن منها **الصخور الرسوبية الميكانيكية (الفتاتية)** **Mechanical sedimentary rocks (Derital)**.

النوع الثاني: المواد الذائبة الناتجة بكمية كبيرة عن التجوية الكيميائية عندما تترسب هذه الأملاح من المحلول بفعل أي من العمليات غير العضوية أو البيولوجية، يطلق عل هذه المواد مصطلح "الرواسب الكيميائية"، وتسمى الصخور الرسوبية التي تتكون منها **الصخور الرسوبية الكيميائية** **Chemical sedimentary rocks**.

النوع الثالث: **الصخور الرسوبية العضوية** **Organic Sedimentary Rocks**، والمثال الأساسي عنها هو الفحم الحجري. فهذا الصخر الأسود القابل للاشتعال يتكون من كربون عضوي ناتج عن بقايا النباتات التي ماتت وتجمعت عند قعر المستنقعات. أجزاء وقِطَع المواد النباتية غير المتحللة التي تكون "الرواسب" في الفحم الحجري لا تشبه نواتج التجوية التي تكون الصخور الرسوبية الفتاتية والكيميائية.

2. الصخور الرسوبية الميكانيكية (الفتاتية)

Mechanical Sedimentary Rocks (Detrital)

على الرغم من التنوع الهائل للمعادن والفتات الصخري الموجود في الصخور الفتاتية، فالمكونان الرئيسان لمعظم الصخور الرسوبية من هذه الفئة هما المعادن الطينية والكوارتز. المعادن الطينية هي المنتج الأكثر وفرة إثر التجوية الكيميائية لمعادن السيليكات، بخاصة الفلسبار. والمعدن الآخر الشائع هو الكوارتز، هو متوفر بكثرة لأنه متين ومقاوم جدًّا للتجوية الكيميائية.

المعادن الشائعة الأخرى في الصخور الفتاتية هي الفلسبارات والميكا. يشير وجودها في الصخور الرسوبية إلى أن التعرية والترسّب كانا سريعين بدرجة كافية لحفظ بعض المعادن الأولية من الصخر الأصلي قبل أن تتحلّل إلى عناصرها الرئيسية.

حجم الحبيبات هو المعيار الأوّلي للتمييز بين الصخور الرسوبية الفتاتية. يبيّن الجدول (7) الفئات المختلفة لحجم الحبيبات المكونة للصخور الفتاتية.

نشاط

صنع نموذج الصخور الرسوبية

المواد والأدوات المطلوبة

تراب، أحافير، حصى، ماء، ملح، ملاعق، محارم ورقية، جص، مواد ذات درجة صلابة معروفة، لوحة المخدش

خطوات العمل

1. اعصف ذهنك مع زملائك حول كيفية صنع نماذج لصخور رسوبيّة. قد تجمع موادّ طبيعيّة من خارج مدرستك أو من جوار مسكنك. بالطبع لا يتوجب عليك أن تستخدم جميع موادّ القائمة، وقد ترغب أيضًا في استخدام موادّ أخرى.
2. **تحذير:** ارتد نظارات الأمان. ابدأ بالتحضير للنشاط بالموادّ المحددة لصنع النماذج الصخرية. كيف ستكوّن الطبقات؟ هل نماذجك ستحاكي الضّغوط التي أدت إلى التحام الحبيبات والقطع الصغيرة على هيئة صخر؟ هل تحتوي الطبقات الصخرية على أحافير؟
3. سجّل الخطوات التي ستتبعها لإعداد نماذج الصّخور الفتاتية والعضويّة والكيميائيّة.
4. قارن نماذجك بنماذج من زملائك.

فالتيارات المائية أو الهوائية تفرز الحبيبات بحسب الحجم، فكلما كان التيار أقوى، كان حجم الحبيبات التي ينقلها أكبر. فالحصى، على سبيل المثال، يتم نقله بفعل الأنهار الجارفة وبفعل الانزلاقات الأرضية والأنهر الجليدية. أما الرمل، فيتطلّب نقله طاقة أقل. لذا يشيع وجود مثل تلك الرواسب في الكثبان الرملية التي تحركها الرياح وفي بعض الرواسب النهرية والشواطئ.

الصخور الرسوبية الفتاتية الشائعة، بحسب تزايد حجم الحبيبات، هي الطين الصفحي، والحجر الرملي، والكونجلوميرات، والبريشيا. انظر الجدول (8).

نشاط

ما الفرق بين الكونجلوميرات والبريشيا؟ إبحث.

تصنيف الصخور الفتاتية بحسب حجم الحبيبات

مدى الحجم (ملم)	اسم الحبيبات	الاسم الشائع للراسب	الصخر الفتاتي
أكثر من 256	جلمود صخري Boulder	حصى Gravel	جلمود صخري Boulder
من 64 إلى 256	حجر أملس Cobble	حصى Gravel	الكونجلوميرات والبريشيا Conglomerate and Breccia
من 4 إلى 64	حصاة Pebble		
من 2 إلى 4	حبيبة Granule		
من 1/16 إلى 2	رمل Sand	رمل Sand	حجر رملي Sandstone
من 1/256 إلى 1/16	غَرِين Silt	طين Mud	حجر الغَرِين، طين صفحي، حجر طيني Siltstone, Shale or Mudstone
أقل من 1/256	طمي Clay		

جدول 8
تصنيف الصخور الفتاتية بحسب حجم الحبيبات

3. الصخور الرسوبية الكيميائية
Chemical Sedimentary Rocks

تتكوّن الصخور الرسوبية الكيميائية نتيجة ترسُّب المعادن المذابة في المحاليل الكيميائية بواسطة عمليات كيميائية مثل عملية التبخير والترسُّب من المحاليل المُشبعة، ويكون المعدن الذي يترسّب أوّلًا هو الأقلّ ذوبانًا. ونذكر من الصخور الكيميائية:

1.3 الصخور الكربوناتية Carbonate Rocks

تتكوّن الصخور الكربوناتية نتيجة ترسُّب كربونات الكالسيوم من المحاليل الكلسية المحتوية على كربونات الكالسيوم الذائبة. يؤدّي هذا الترسُّب إلى تصاعد غاز ثاني أكسيد الكربون (CO_2)، فتترسّب كربونات الكالسيوم على شكل (أراجونيت Aragonite) لتتحوّل بعدها إلى الكالسيت (Calcite) الأكثر ثباتًا. ومن أهمّ أنواع هذه الصخور:

الحجر الجيري Limestone:
يتكوّن من ترسُّب مادة كربونات الكالسيوم المذابة من المحاليل ويشمل أنواعًا مختلفة، منها:

الترافرتين Travertine: حجر جيري ينتج من ترشح المياه الغنية بالكالسيوم حول الفوارات والينابيع الحارة ويتميّز بدرجة مسامية عالية (شكل 79).

الحجر الجيري البطروخي Oolitic Limestone: يتكون هذا الحجر من حبيبات كروية صغيرة جدًّا ناتجة عن تفاعلات كيميائية تحدث في مياه البحار والمحيطات. تؤدّي هذه التفاعلات إلى ترسُّب كربونات الكالسيوم على شكل طبقات رقيقة حول نواة رقيقة (قد تكون حبيبة رمل وفتات صدفة حيوان). يظهر هذا الترسيب على شكل كرات صغيرة يتماسك بعضها مع بعض بمادة لاحمة غالبًا ما تكون كلسية، فيشبه شكل بيض السمك (البطارخ) (شكل 80).

الدولوميت Dolomite: تتكون من كربونات الكالسيوم والمغنيسيوم. يشبه الدولوميت الحجر الجيري، لكنّه أثقل وأكثر صلادة ولا تتفاعل بسرعة مع حمض الهيدروكلوريك المخفَّف مثل الحجر الجيري (شكل 81).

وقد تتشكّل الصخور الرسوبية الكربوناتية على هيئة صواعد وهوابط.

الهوابط والصواعد Stalactites and Stalagmites: تتّخذ الهوابط شكل أعمدة مخروطية تتدلّى من سقف الكهوف، فيما ترتفع الصواعد على أرضيتها نتيجة ترسُّب كربونات الكالسيوم $CaCO_3$ من محاليل بيكربونات الكالسيوم الكلسية التي تفقد محتواها من الماء وغاز ثاني أكسيد الكربون (شكل 82).

شكل 79
الترافرتين

شكل 80
الحجر الجيري البطروخي

شكل 81
الدولوميت

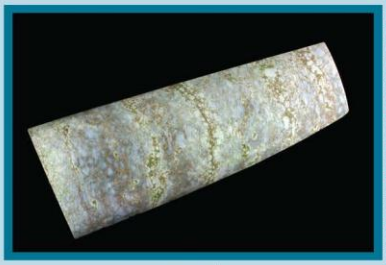
شكل 82
الهوابط والصواعد

2.3 المتبخرات Evaporites

تحتوي مياه البحار والبحيرات المالحة على كميات كبيرة من الأملاح الذائبة، حيث يزداد تركيزها نتيجة للتبخر فتترسب كما هو الحال على شواطئ الخليج في الكويت، ومن هذه الصخور:

- **الجبس Gypsum ($CaSO_4 . 2H_2O$):** كبريتات الكالسيوم المائية (شكل 83) هي الصخور الأولى التي تتكون من معادن الجبس.
- **الأنهيدريت Anhydrite ($CaSO_4$):** يلي الأنهيدريت صخر الجبس في التكوين والترسيب من مياه البحر وهو يشبه الجبس في التركيب الكيميائي. علّل قلّة صلادة الجبس عن الأنهيدريت (شكل 84).
- **الملح Salt (NaCl):** يوجد على شكل طبقات سميكة جدًّا وبلوراته واضحة وهو يلي الجبس والأنهيدريت في التبلور (شكل 85).

شكل 83
الجبس



شكل 84
الأنهيدريت

شكل 85
الملح

3.3 الصخور السليسية Siliceous Rocks

- على الرغم من أن السيليكا تعتبر من المواد شحيحة الذوبان في الماء، إلا أنه ينتج صخور عن ترسيب السيليكا من المحاليل مثل: الفلنت Flint (الصوان) (شكل 86) والشيرت Chert يتكونان بصفة رئيسية من السيليكا عديمة التبلور، ويتواجدان على شكل عقد أو درنات أو طبقات.

شكل 86
الفلنت

4. الصخور الرسوبية العضوية Organic Sedimentary Rocks

تتألّف هذه المجموعة من الصخور الناتجة عن تراكم بقايا الحيوانات والنباتات المختلفة، نذكر منها:

- **الحجر الجيري العضوي Organic Limestone:** يتكون بفعل نشاط الكائنات الحية وتراكم بقاياها كالعظام والقواقع (شكل 87).

شكل 87
الحجر الجيري العضوي

شكل 88
الحجر الجيري المرجاني

- **الحجر الجيري المرجاني Coral Limestone:** ناتج عن تراكم هياكل المرجان (شكل 88).
- **حجر الطباشير Chalk:** صخر لين ناصع البياض قليل الصلادة وهو مكون من أجزاء دقيقة للغاية من هياكل حيوانات بحرية وحيدة الخلية (شكل 89).

شكل 89
حجر الطباشير

- **الكوكينا Coquina:** يتكون من كسرات الأصداف التي تجمعت بواسطة مادة لاحمة (شكل 90).

شكل 90
الكوكينا

شكل 91
صخر الفوسفات

- **صخر الفوسفات Phosphatic Rock:** ينتج عن تراكم هياكل وعظام الحيوانات الفقارية (شكل 91).
- **الجوانو Guano:** وهو صخر فوسفاتي ناتج عن تراكم بقايا روث الطيور البحرية.

مراجعة الدرس 1

1. عدِّد باختصار الفئات الثلاث للصخور الرسوبية وميّز بينها.
2. ما المعادن الأكثر انتشارًا في الصخور الرسوبية الفتاتية؟ لماذا تتوافر هذه المعادن بكميات كبيرة؟
3. اذكر اسم صخرين رسوبيين كيميائيين.

الدرس 2

التراكيب الأولية للصخور الرسوبية
Primary Structures of the Sedimentary Rocks

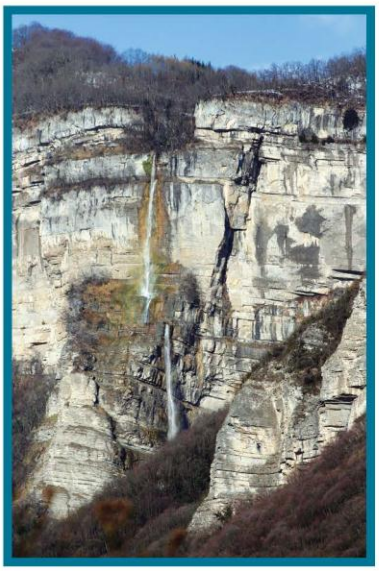
أهداف الدرس

- يحدد التراكيب الأوّلية للصخور الرسوبية المختلفة: الطبقات – علامات النيم – التشققات الطينية.
- يصف كيف تتكون الطبقات الرسوبية.
- يفرق بين التطبق المتقاطع والتطبق المتدرج.
- يفرق بين علامات النيم التيارية وعلامات النيم التذبذبية.
- يفسر كيف تتكون التشققات الطينية.

التراكيب الرسوبية Sedimentary Structures

بالإضافة إلى تنوّع حجم الحبيبات، والتركيب المعدني، والنسيج، تظهر الصخور الرسوبية تنوعًا في التراكيب. وتوفر التراكيب الرسوبية معلومات إضافية مهمة لتفسير تاريخ الأرض، وتعكس الظروف المختلفة التي ترسبت فيها كل طبقة، (شكل 92).

تتكون الصخور الرسوبية على شكل طبقات فوق بعضها من الرواسب المتراكمة في بيئات ترسيبية متنوعة من الأقدم إلى الأحدث. تختلف هذه الطبقات عن بعضها بعضًا في التركيب الكيميائي والمعدني أو من حيث نسيجها أو درجة صلادتها وتماسكها. فتُعرَف الطبقة بالسمك الصخري المتجانس الذي تتميّز بسطحين محدّدين ومتوازيين تقريبًا. يتراوح سمك الطبقات ما بين مليمترات قليلة ومئات الأمتار.



شكل 92
توضح هذه المجموعة من الصخور السطحية المتكونة من الطبقات الرسوبية خصائص تميّز هذه المجموعة الصخرية.

1. مستويات التطبق Bedding Planes

هي عبارة عن المستويات الفاصلة بين الطبقات، وقد يشكّل التغير في حجم الحبيبات أو تركيب الصخور المترسبة، مستوياتِ التَطَبُّق. وقد يؤدي أيضًا وقف الترسيب المؤقت إلى التطبق، لأن الفرص لتكوُّن المادة المترسبة نفسها من جديد تكون ضئيلة. يُمثّل كل مستوى تَطبُّقٍ نهاية حقبة الترسيب وبداية حقبة أخرى.

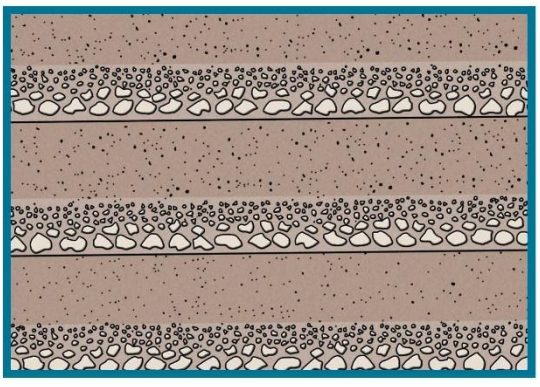
(أ) التطبق الكاذب (المتقاطع) Cross–Bedding

في بعض حالات التطبق الكاذب تبدو الطبقات على شكل رقائق مائلة بالنسبة إلى مستويات التطبق الرئيسة بين الطبقات. علِّل تواجد التطبق الكاذب في الكثبان الرملية (شكل 93).

شكل 93
التطبق الكاذب

(ب) التطبق المتدرج Graded Beds

في حالة التطبق المتدرج يتغير حجم الحبيبات داخل الطبقة الرسوبية الواحدة تدريجيًّا من الخشن عند أسفل الطبقة إلى الدقيق الناعم في أعلاها. والطبقات المتدرجة هي أكثر ما يميز الترسيب السريع من الماء المحتوي على رواسب ذات أحجام متنوعة. عندما يفقد تيار الماء الطاقة بسرعة، تترسب الحبيبات الأكبر أولًا، وتتبعها الحبيبات الأصغر فالأكثر صغرًا، على التوالي (شكل 94).

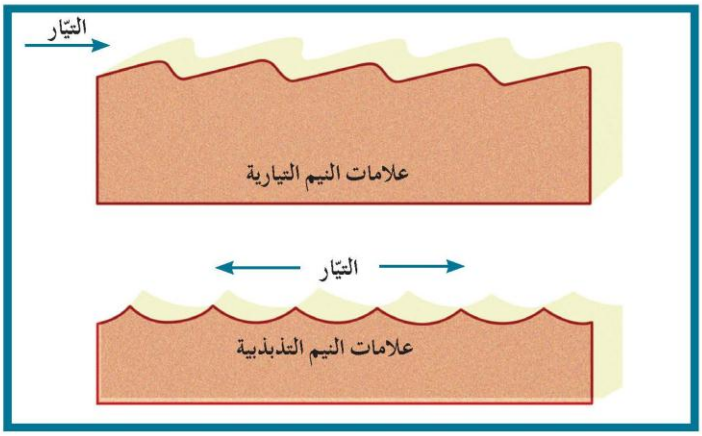


شكل 94
التطبق المتدرج

2. علامات النّيم Ripple Marks

هي عبارة عن تموجات صغيرة في الرمل الذي يظهر على سطح إحدى الطبقات الرسوبية بفعل حركة المياه أو الهواء. إذا تكونت علامات النيم بواسطة الهواء أو الماء المتحركين أساسًا باتجاه واحد فقط، يكون شكلها غير متماثل. "علامات النيم التيارية "Current Ripple Marks" (شكل 95) هذه ذات جوانب شديدة الانحدار باتجاه هبوط التيار، ومنحدرة تدريجيًّا باتجاه مصدر التيار. عندما تتواجد علامات نيم في صخر، فهي تستخدم لتحديد اتجاه حركة الرياح أو التيارات المائية القديمة.

هناك علامات نيم أخرى لها شكل متماثل، وتسمى "علامات النيم التذبذبية "Oscillation Ripple Marks" (شكل 95)، تنتج عن حركة الأمواج السطحية ذهابًا وإيابًا في بيئة ضحلة قريبة من الشاطئ.



شكل 95
علامات النّيم التيارية والتذبذبية.

3. التشققات الطينية Mud Cracks

تدل على أن الراسب الذي تكونت فيه كان مبتلًّا وجافًّا بصورة متناوبة. ولدى تعرضه للهواء، يجف الطين المبتل تمامًا وينكمش، منتجًا تشققات. تحدث التشققات الطينية في بيئة مثل البحيرات الضحلة والأحواض الصحراوية (شكل 96).

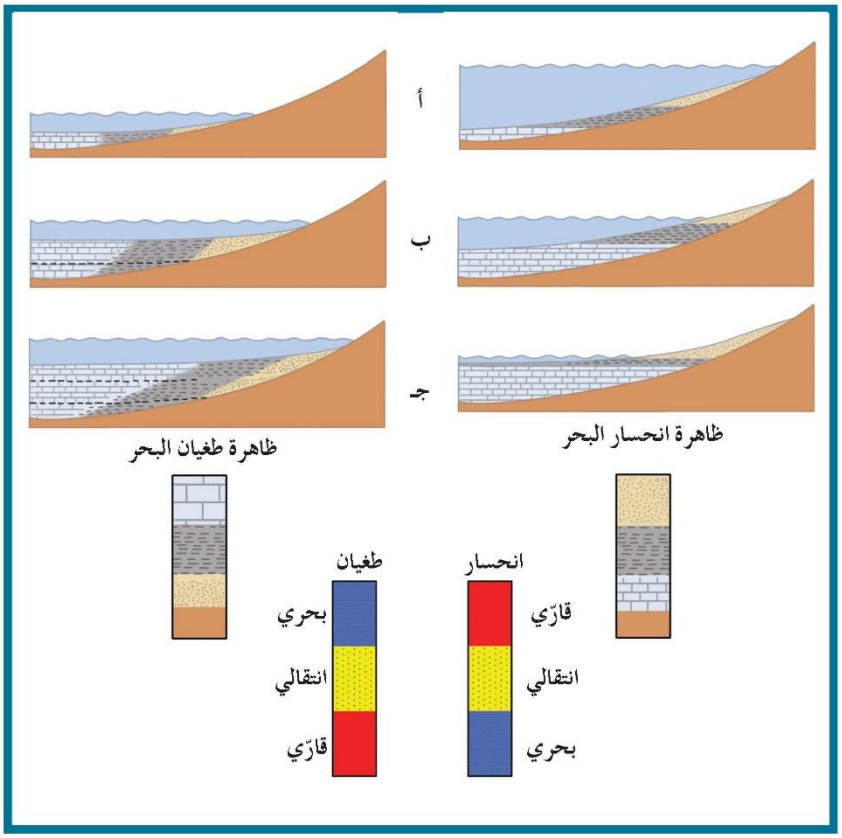
شكل 96
تتكون التشققات الطينية عندما يجف الطين المبلل بالماء وينكمش.

2. الطغيان والانحسار (الارتداد) البحريين

Marine Transgression and Regression

إنّ طغيان البحر Transgression هو ارتفاع مستوى مياه البحر بحيث يُغطّى الشاطئ وتصبح المنطقة الشاطئية ضمن الحوض الترسيبي البحري نتيجة حركة أرضية هابطة. أمّا انحسار البحر Regression فهو انخفاض مستوى مياه البحر نتيجة حركة أرضية رافعة بحيث يُكشَف جزء من قاع الرفّ القارّي الذي يُضاف إلى المساحة الساحلية القارّية. عندئذ، تتعرّض رواسب القاع للتعرية الكلّية أو الجزئية وتصبح موقعًا لترسيب الرواسب القارية مثل الكونجلوميرات والرمل ورواسب الأنهر التي تنبع من الجبال المحيطة.

عندما يرتفع مستوى مياه البحر، تُرسَّب الرواسب البحرية الجديدة فوق التتابع الأقدم لتتخطّاه إلى المنطقة التي كانت شاطئية قارية. تُعرَف هذه الظاهرة بالتخطّي Overlap. أمّا عند انخفاض مستوى مياه البحر أو المحيط، يحدث العكس تمامًا. فتضيق مساحة المحيط وتزداد مساحة الكتلة القارّية المجاورة، ما قد يؤدّي إلى ترسّبها فوق الرواسب البحرية القديمة ورواسب قارّية أحدث.



شكل 97
طغيان البحر وانحساره والتركيب الصخري الناتج عنهما

4. الجيودات Geodes

الجيودات Geodes عبارة عن تكوينات صخرية جيولوجية تشكلت في الصخور الرسوبية وبعض الصخور البركانية (شكل 98). إنّها بصورة أساسية تجاويف صخرية ذات تكوينات بلّورية داخلية. الجزء الخارجي لمعظمها هو عامة حجر جيري، بينما يحتوي الجزء الداخلي على بلّورات معدنية. هناك جيودات أخرى ممتلئة بالكامل بالبلّورات ما يجعلها صلبة كليًّا. يُسمى هذا النوع من الجيودات العقيدات الصخرية Nodules.

شكل 98
الجيودات عبارة عن تجاويف صخرية تحتوي على تكوينات بلّورية داخلية.

مراجعة الدرس 2

1. قارن بين التطبق المتقاطع والتطبق المتدرج.
2. قارن بين أنواع علامات النيم.
3. ما الفرق بين الانحسار البحري والطغيان البحري؟

بيئات الصخور الرسوبية واستخداماتها
Environments and Uses of Sedimentary Rocks

أهداف الدرس

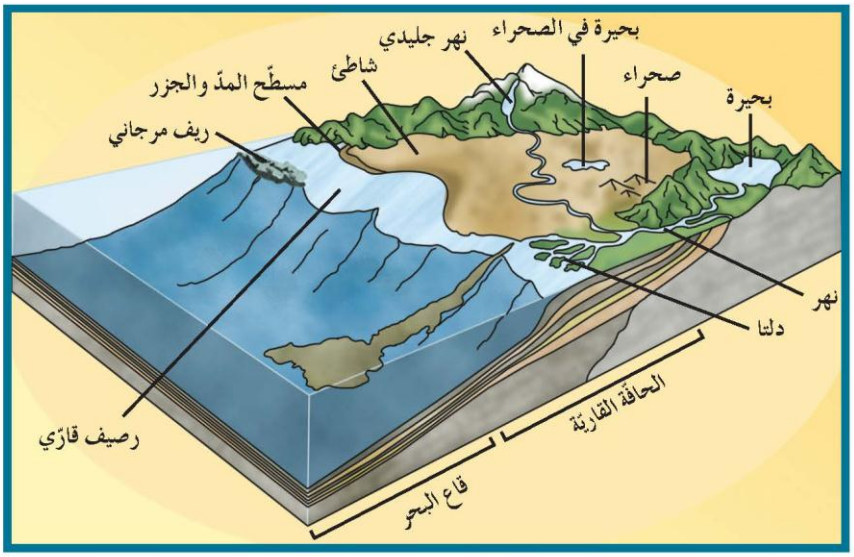
- يصف مدى أهمية الصخور الرسوبية لتفسير تاريخ الأرض.

1. صخور رسوبية : بيئات رسوبية متنوعة
Sedimentary Rocks: Sedimentary Environments

تعد الصخور الرسوبية مهمة للغاية في تفسير تاريخ الأرض، فمن خلال فهم الظروف التي تكونت فيها الصخور الرسوبية، يستطيع علماء الجيولوجيا استنتاج تاريخ صخر ما، بما في ذلك معلومات عن أصل الجسيمات التي تكونه، وطريقة نقل الراسب وطبيعة المكان الذي استقرّ فيه، أي بيئة الترسب.

بيئة الترسب Environment of Deposition أو البيئة الرسوبية Sedimentary Environment هي المكان حيث تتراكم الرواسب. تُصنّف بيئة الترسب إلى ثلاث فئات فتكون قارّية أو بحرية أو انتقالية (الخطّ الساحلي) ومن ثمّ المتبخّرات.

- **الرواسب الفحمية (الفحم الحجري)** تدلّ على بيئة مستنقعات استوائية.
- **الرواسب الملحية** تدلّ على بيئات ذات حرارة شديدة وبحار مغلقة ونسبة بخار شديد أو بيئة صحراوية.
- **الرواسب الكربوناتية** تدلّ على بيئة بحرية عميقة.
- **الرواسب الطمية** تدلّ على بيئة قارية نهرية.
- **الرواسب الشاطئية (رمل وحصى)** تدلّ على بيئة قارية شاطئية.
- **الرواسب المرجانية** تدلّ على بيئة بحرية ذات مياه ضحلة ودافئة.



شكل 99
البيئة الرسوبية هي المكان الذي يتراكم فيه الراسب. تتميز كل منها بظروف فيزيائية، وكيميائية، وإحيائية معينة. لأن كل راسب يحتوي على دلالة للبيئة التي ترسَّب فيها، فالصخور الرسوبية مهمة للغاية في تفسير تاريخ الأرض. يوضح هذا الرسم التخطيطي عددًا من البيئات القارية، والانتقالية، والبحرية المهمة.

2. استخدامات الصخور الرسوبية

Uses of Sedimentary Rocks

تُفيد الصخور الرسوبية في الكثير من الصناعات. فالصخور الكلسية تُستخدم كثيرًا في البناء (شكل 100) وفي صناعة الجص والإسمنت. وتُستثمر الصخور الطينية في صناعة الفخار والقرميد وأحجار البناء وصناعة الطابوق (شكل 101) والسيراميك. أمّا الصخور الملحية، كأملاح الصوديوم والبوتاسيوم، فتُستخدم في الكيمياء والزراعة. ويتمّ استخراج النفط والغاز الطبيعي والمياه الجوفية من مكامنها في الصخور الرسوبية.

شكل 100
صخور كلسية تُستخدم في البناء.

شكل 101
تُستخدم الصخور الرسوبية لصناعة الطابوق.

مراجعة الدرس 3

1. ما هي أنواع البيئة الرسوبية؟
2. ما أهمية الصخور الرسوبية في دراسة تاريخ الأرض؟

أسئلة مراجعة الفصل الثاني

أوّلًا: اختر الإجابة المناسبة للعبارات التالية:

1. عندما يتغير حجم الحبيبات داخل الطبقة الرسوبية الواحدة تدريجيًّا من الخشن عند قاعدة الطبقة إلى الدقيق عند قمتها، يشار إلى ذلك على أنه .....

(أ) تطبّق متدرّج
(ب) مستويات تَطَبُّق
(جـ) طبقات
(د) تَطَبُّق متقاطع

ثانيًا: تحقق من فهمك

1. فَسِّرْ سبب وجود الأحافير بشكل شائع في الطبقات الرسوبية.
2. ما العملية التي تؤدي إلى تكوُّنَ رواسب الملح الصخري؟ وإلى أيِّ نوع من الصخور الرسوبية ينتمي الملح الصخري؟

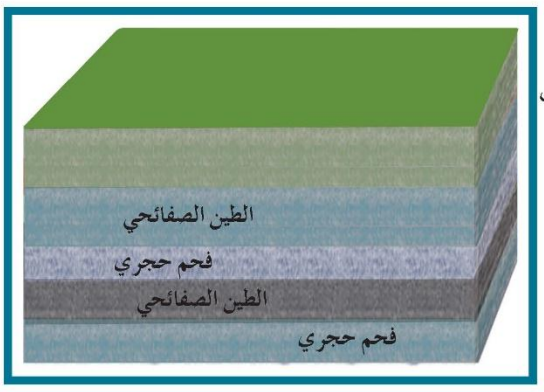
ثالثًا: تطبيق المهارات التالية

صورة اللغز: تُبيّن الصورةُ الفوتوغرافية سطحَ أحد الصخور الرسوبية. تمثّل الخطوطُ المناطق حيث يكون الصخرُ فيها أكثرُ صلابةً من باقي الحُبَيبات المتلاصقة. عَدِّدِ المَظاهِرَ الشائعة للصخور الرسوبية التي تراها في هذه الصورة.

رابعًا: التمثيل بالرسم

أثناء قيامك برحلة ميدانية إلى منطقة جال الزور في دولة الكويت، لاحظ تراكيب عديدة في الصخور الرسوبية ثمّ ارسم اثنين منهما.

خامسًا: تنمية مهارة الاستنتاج



شكل 102

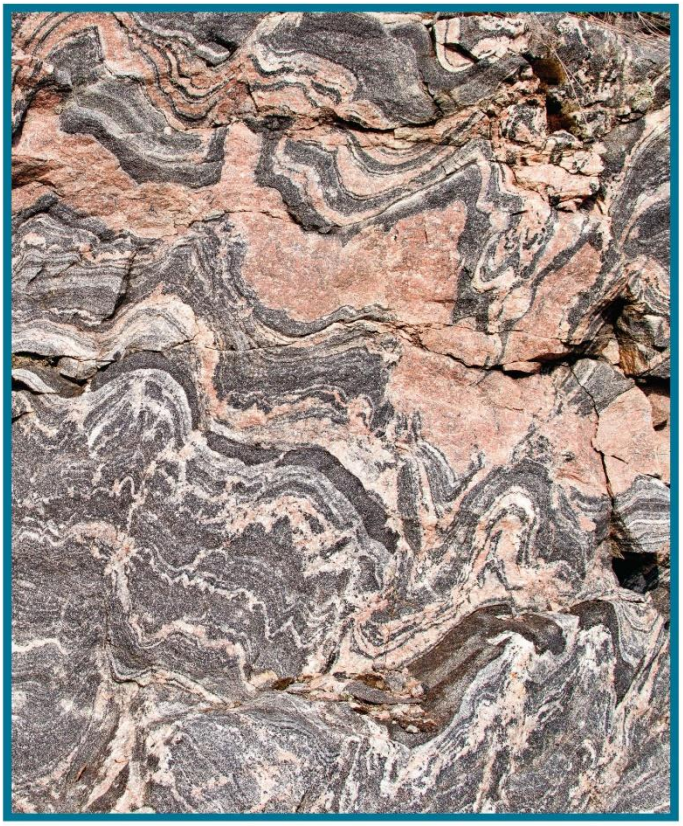
وَجَد جيولوجيّ منطقةً فيها صخور تتكوَّن من طبقات من الفحم الحجري والكونجلوميرات (أُنظر إلى الشكل 102).

1. كيف تعرف ما هي بيئة الترسيب لهذه المنطقة؟
2. أُرسم شكلًا تخطيطيًّا لبيئة ترسيب هذه الطبقات.
3. حدِّد بيئة الترسيب للجزر الكويتية.

الفصل الثالث

الصخور المتحوّلة
Metamorphic Rocks

قد تنشأ بعض الصخور من تحوّل صخور سابقة التكوين، أي صخور نارية أو رسوبية أو متحوّلة، بعد تعرّضها لظروف قاسية كقوى ضغط هائلة ودرجات حرارة عالية أو محاليل كيميائية نشطة تؤدّي إلى إعادة بنائها على هيئة صخور جديدة من ناحية خواصّها المعدنية والكيميائية والتركيبية. تُسمّى هذه الأخيرة الصخور المتحوّلة وتكون نادرة جدًّا في صخور القشرة الأرضية.



دروس الفصل

الدرس الأوّل
- التحوّل

الدرس الثاني
- أنسجة الصخور المتحوّلة

التحوّل
Metamorphism

أهداف الدرس

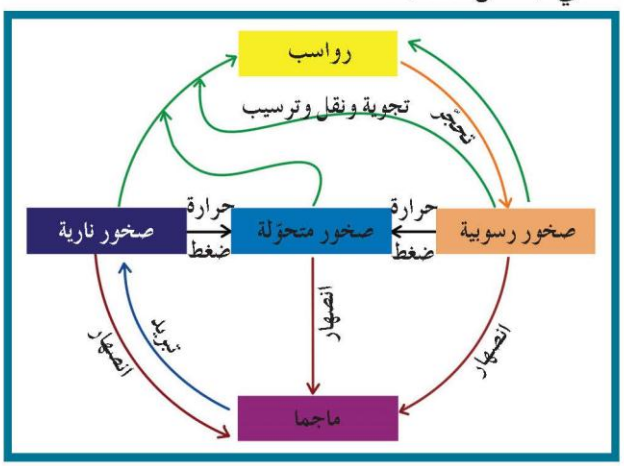
- يعرّف التحول.
- يفسّر كيفية حدوث التحول.
- يذكر عوامل التحول ومصادرها.

شكل 103
يتحوّل الطفل الصفحي Shale إلى أردواز بسبب عوامل معيّنة شهدها في الطبيعة.

يمكن أن تتغير الصخور النارية والرسوبية إلى صخور متحولة. يختلف نسيج الصخور الأصلية ولونها وتركيبها بدرجة كبيرة عن الصخور المتحولة التي تكونت كما في الشكل (103).

1. الصخور المتحولة Metamorephic Rocks

التحول يعني تغير نوع من الصخور إلى نوع آخر. تَنتُج الصخور المتحولة عن صخور كانت موجودة من قبل، سواء أكانت رسوبيةً أم نارية أو حتى صخورًا متحولة أخرى. من هنا ينشأ كل صخر متحول عن صخر يُسمّى الصخر الأصلي (شكل 104).



شكل 104
دورة الصخر في الطبيعة

يحدث التحول عندما يتعرض الصخر الأصلي لتغيّر في درجة الحرارة، والضغط على الصخر، وتدخّل محاليل وسوائل نشطة كيميائيًّا. وينتج عنه تغيّر في المظهر والصفات، وهو عملية تؤدي إلى تغير في نسيج الصخر وفي التركيب المعدني والكيميائي للصخر.

يستجيب الصخر للظروف الجديدة بالتغير التدريجي حتى بلوغ التوازن مع البيئة أو الظروف الجديدة. تَحدُث معظم التغيرات الناتجة عن التحول عند درجات مرتفعة للحرارة السائدة في منطقة تحت سطح الأرض ببضع كيلومترات وحتى الوشاح العلوي.

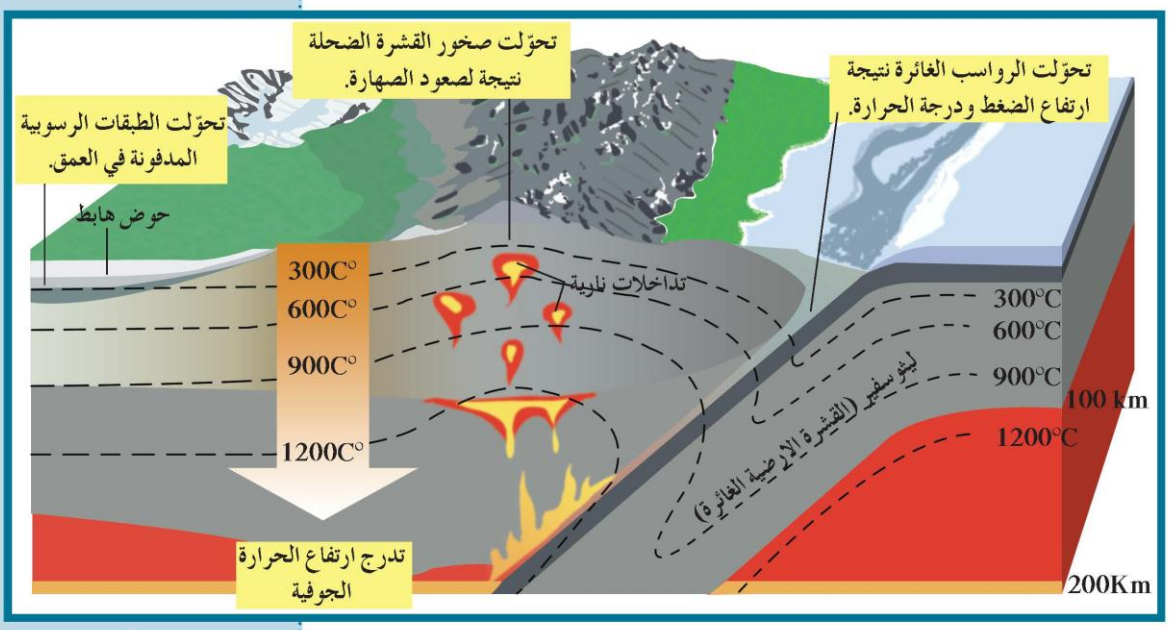
2. ما الذي يؤدّي إلى التحول؟

What Drives Metamorphism?

تتعرّض الصخور لعوامل الحرارة والضغط والسوائل النشطة كيميائيًّا.

يتعرض الصخر لهذه العوامل الثلاثة في الوقت نفسه خلال عملية التحول. لكن دور درجة التحول والذي يؤديه كل عامل يختلف من بيئة إلى أخرى.

تُعتبر الحرارة من أهم عوامل التحول (شكل 105)، لأنها مصدرُ الطاقة التي تحفز التفاعلاتِ الكيميائية، فتعيد تبلور المعادن الموجودة. وقد تعمل أيضًا على تكوين معادن جديدة، فحرارة الأرض الداخلية تنشأ من الطاقة المنبعثة الناتجة عن التحلّل الإشعاعي والطاقة الحرارية المخزّنة داخل جوف الأرض.

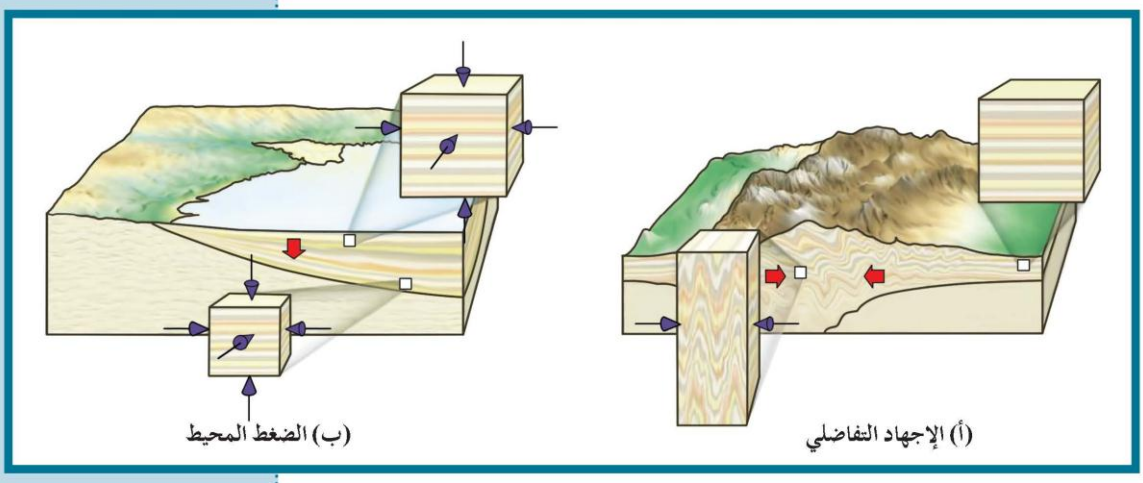


شكل 105
تدرج ارتفاع الحرارة الجوفية ودوره في عملية التحول. لاحظ كيف ينخفض تدرج ارتفاع الحرارة الجوفي بسبب غور القشرة الأرضية الأبرد نسبيًّا. بالمقابل، يحدث التسخين الحراري عندما تخترق الصهارة القشرة العلوية.

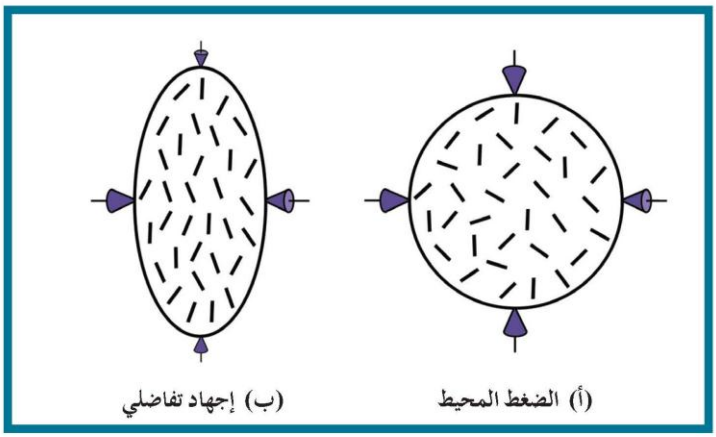
بالإضافة إلى عامل الحرارة، فإنّ عامل الضغط مهمّ أيضًا. يزداد الضغطُ مع العمق بسبب تزايد سُمْك الصخور. تتعرض الصخور المدفونة في العمق إلى الضغط المحيط Confining Pressure، بالتساوي من جميع الاتجاهات (شكل 106 – أ).

قد تتعرض الصخور لضغط مُوجَّه Directed Pressure، فتكون القُوى التي تشوِّه الصخر غير متساوية في مختلف الاتجاهات، وتسمّى الإجهاد التفاضلي Differential Stress (شكل 106 – ب)، بحيث تزداد الصخور التي تتعرض للإجهاد التفاضلي قصرًا أو تنكمش باتجاه الإجهاد الأقوى (التفاضلي)، وتزيد في الطول وتتفلطح في الاتجاه المتعامد معه. نتيجةً لذلك، غالبًا ما تتعرض الصخور للطيِّ، والتصدع، والانبساط.

أمّا العامل الثالث فهو عبارة عن سوائل نشطة كيميائيًّا. يُعتقد أن السوائل التي تتكون أساسًا من الماء وبعض المكونات المتطايرة والتي تشمل ثاني أكسيد الكربون، تؤدي دورًا مهمًّا في بعض أنواع التحول. فالسوائل التي تحيط بالحُبيبات المعدنية تعمل كمُحفِّزات لعمليات إعادة التبلور.



شكل 106
الضغط المحيط والإجهاد التفاضلي هما عاملي تحول.
(أ) مع ازدياد الضغط المحيط في البيئة الرسوبية يتشوه الصخر بتقلص الحجم.
(ب) خلال عملية بناء الجبال، الصخور التي تتعرض لإجهاد تفاضلي تقصر في اتجاه الضغط المسلط عليها وتستطيل في الاتجاه المتعامد مع اتجاه هذا الضغط.



شكل 107
الدوران الميكانيكي للحبيبات المعدنية الصفائحية أو المستطيلة. تحافظ الحبيبات القديمة على ترتيبها العشوائي إذا تعرضت لضغط منتظم من جميع الجهات. عندما يسبب الإجهاد التفاضلي بتسطّح الصخر، تدور الحبيبات المعدنية لتنتظم باتجاه التسطّح.

مراجعة الدرس 1

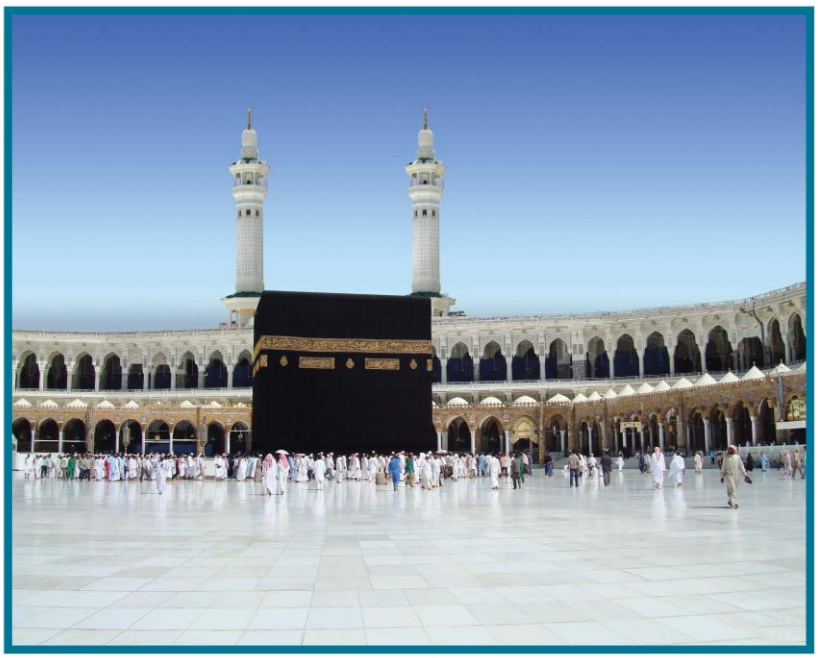
1. ما معنى التحول؟
2. أُذكُرْ عوامل التحول.
3. كيف تؤثِّر الحرارة في مواد الأرض؟
4. ما هو الضغطُ المحيط؟ كيف يؤثِّر في الصخور؟

الدرس 2

أنسجة الصخور المتحولة
Metamorphic Textures

أهداف الدرس

- يحدد نوعَي نسيج الصخور المتحولة: المتورق وغير المتورق.
- يفرق بين أنواع النسيج المتورق الثلاثة.
- يعرّف أنواع مختلفة من بيئات التحوّل.



شكل 108
الرخام الأبيض في الحرم المكي

يتميّز الرخام الأبيض في الحرم المكي بلونه الباهي وشكله المتناسق ودرجة حرارته المعتدلة طوال اليوم. تعود خاصّية اعتدال الحرارة إلى نوع الرخام (تاسوس) الذي يمتصّ الرطوبة في الليل عبر مسام دقيقة ويُخرِجها في النهار، ما يجعله دائم البرودة. لا يمكن إيجاد هذا الرخام الأبيض إلّا في اليونان، لذلك تمّ شراء الكمّية المناسبة لهذا الغرض.

هل تعلم؟

أقامت وزارة الصحة المستشفيات والمراكز الصحية وأشرفت على بناء العديد من المراكز ومنها مركز الطب الإسلامي الذي يختصّ بالمعالجة بالنباتات الطبية. وقد قام بافتتاحه صاحب السمو أمير البلاد الراحل الشيخ جابر الأحمد الجابر الصباح – طيب الله ثراه – وذلك في 21 فبراير 1987 بمناسبة عزيزة هي عيد الكويت الوطني السادس والعشرين.

وافتُتح المركز بعد أربع سنوات فكان صرحًا إسلاميًّا معماريًّا وعلميًّا. يتكوّن المركز من ثلاثة أدوار بمساحة بناء تقارب 6100 متر مربع، ومسجد يتكون من ثلاثة أدوار يتسع لألف وخمسمائة مصلٍّ بمساحة 2600 متر مربع، وتصل بين الاثنين ممرّات ذات طابع إسلامي مغطّاة. وقد استُخدم الرخام للأرضيات المنقوشة بنقشات إسلامية بمساحة 3650 مترًا مربّعًا.

1. أنواع أنسجة الصخور المتحوّلة
Types of Metamorphic Textures

تَذكَّرْ أن مصطلحَ نسيج يُستخدم لوصف حجم الحبيبات وشكلها وترتيبها داخل الصخر. وتنقسم أنسجة الصخور المتحوّلة إلى نوعين هما: الأنسجة المتورّقة Foliated Textures والأنسجة غير المتورّقة Nonfoliated Textures.

1.1 الأنسجة المتورّقة Foliated Textures

يُشير مصطلح التورُّق Foliation إلى أيِّ ترتيب وفق مسطَّحات (مُسْتَوٍ تقريبًا) للحبيبات المعدنية أو للمَظاهِر التركيبية في الصخر. توجد أنواع مختلفة من التورّق (شكل 109)، تعتمد غالبًا على مستوى التحول والتكون المعدني للصخر الأم. نذكر منها: الانشقاق الصخري أو الأردوازي، والشيستوزية (الصفائحية)، والنسيج النيسوزي.

شكل 109
نوع من أنواع الأنسجة المتورّقة

(أ) الانشقاق الصخري أو الأردوازي Rock or Slaty Cleavage

يشير الانشقاق الصخري إلى الأسطح المستوية المتقاربة جدًا والتي ينشقّ الصخر على طولها عند طَرْقه بمِطْرقة، ويحدث الانشقاق الصخري (شكل 110) في عدة صخور متحولة، ولكنه يظهر جيدًا في الأردواز الذي يتميز بخاصية انشقاق تسمى الانشقاق الأردوازي (شكل 111)، إذ يتكون الأردواز نتيجة عملية التحول للطين الصفحي.

شكل 111
للأردواز استخدامات عديدة لأنه ينشقّ بسهولة إلى صفائح. توضح الصورة استخدام الأردواز كسقف للمنزل.

هل تعلم؟

ترتفع درجة حرارة القشرة الأرضية مع العمق، ويؤدي ذلك الى مشاكلَ كثيرة على صعيد العمل في المناجم الجوفية أو تحت الأرضية. في المنجم الغربي العميق في أفريقيا الجنوبية، الذي يبلغ عمقه 2.5 ميلًا، تبلغ درجة حرارة الصخور درجة عالية بحيث أنها تحرق سطح جلد الإنسان. في مثل هذه الظروف، يعمل عمال المناجم ضمن مجموعات، مكونة من اثنين: أحد العمال يقوم بالتعدين، في حين يشغّل الآخر مروحة لتبريد الجو حولهما.

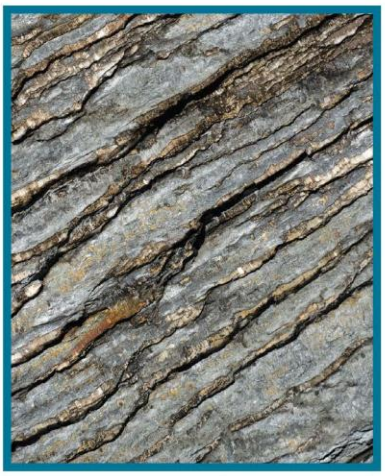
شكل 110
تكون نوع واحد من الانشقاق الصخري.

هل تعلم؟

يرجع سبب ثقل النوعية الممتازة لطاولات البيليارد إلى أن أسطحَها مصنوعةٌ من صفائحَ سميكة لصخر متحول هو الأردواز. ولأن الأردواز ينفصل بسهولة إلى صفائح، فقد ارتفع سعرُه لجودته في صنع أسطح طاولات البيليارد، بالإضافة إلى أغراض أخرى، مثل فرش الأرضيات والأسطح.

(ب) الشيستوزية (الصفائحية) Schistosity

في ظل أنظمة الضغط ودرجات الحرارة المرتفعة، تنمو حبيبات الميكا والكلوريت الدقيقة في الأردواز إلى حجم أكبر بعدة مرات من الحجم الأصلي، بحيث تستطيع تمييزها بالعين المجردة. ويبدو الصخر متطبقًا أو مكوَّنًا من تركيب طَبقي. في هذه الحالة تسمّى خاصية تورّق الصخر بالشيستوزية (أو النسيج الشيستوزي)، والصخرُ الذي يتميز بهذا النسيج يسمى شيست Schist (شكل 112). إضافة إلى المعادن الصفائحية، قد يحوي الشيست حبيبات مشوَّهة من الكوارتز والفلسبار التي تظهر كحبيبات مسطحة أو عدسية الشكل مخبأة بين حبيبات الميكا.



شكل 112
صخر الشيست Schist

(جـ) النسيج النيسوزي Gneissic Texture

تنفرز المعادن خلال عمليات التحول عالي المستوى كما هو مبين في الشكل (113). لاحِظ أن بلّورات البيوتيت الداكنة والمعادن السيليكاتية الفاتحة (كوارتز وفلسبار) قد انفصلت عن بعضها، وأعطت الصخرَ مَظْهرًا ذي أحزمة يسمَّى النسيج النيسوزي. الصخرُ الذي يتميز بهذا النسيج يدعى نيس Gneiss.

شكل 113
يُظهر هذا الصخر النسيج النيسوزي. لاحظ أن شرائح البيوتيت الداكنة وحبيبات المعادن السيليكاتية الفاتحة منفصلة عن بعضها، مما أعطى الصخر مظهرًا ذي أحزمة أو متطبقًا.

هل تعلم؟

يبلغ عمر صخور نيس أكاستا الظاهر عند سطح الأرض شرق بحيرة Slave lake العظمى في كندا 4.03 مليار سنة، بحسب قياس العمر بالطريقة الإشعاعية. وهي تعتبر من أقدم الصخور المعروفة في العالم.

2.1 الأنسجة غير المتورّقة (الحبيبية)

Nonfoliated Textures

تتألّف هذه الصخور من حبيبات بلّورات معادنها متساوية الأبعاد مثل الكوارتز والكالسيت وتتكوّن بفعل التحوّل الحراري. فيظهر نسيج الصخر على شكل حبيبات متبلّرة متساوية الحجم ومتراصّة كالرخام والكوارتزيت (شكل 114).

شكل 114
الكوارتزيت نوع من النسيج غير المتورّق.

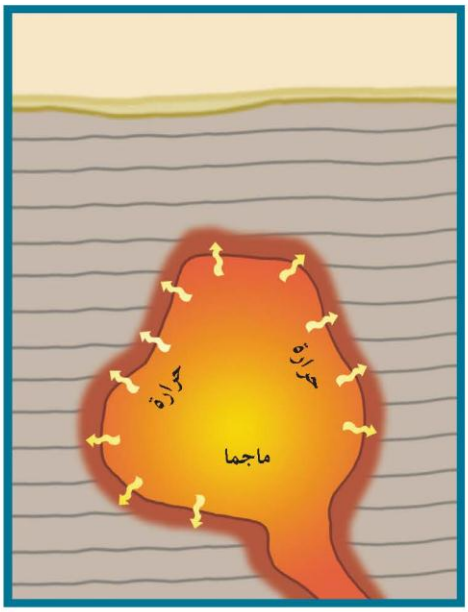
2. بيئات التحوّل Metamorphic Environment

1.2 التحوُّل الحَراري أو التلامسي

Contact or Thermal Metamorphism

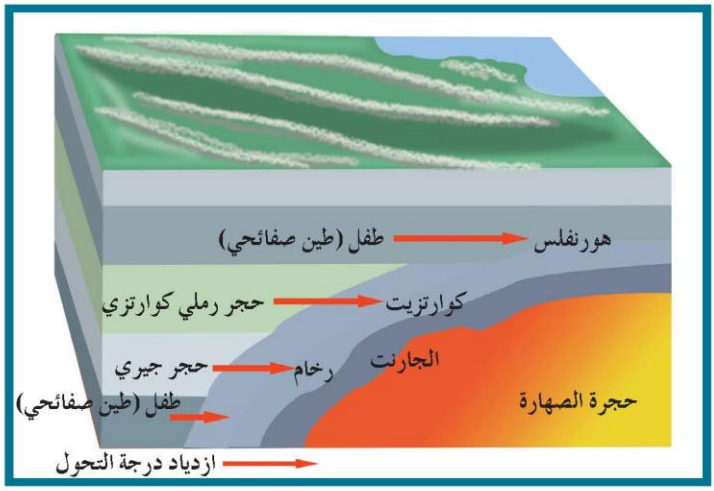
يَحدُث التحول الحراري أو التلامسي عندما يكون الصخر محاطًا أو ملاصقًا لجسم ناريّ منصهر. تقع أجزاء الصخر التي تَعرَّضتْ للتغير في نطاق يسمى هالة متحولة Metamorphic Aureole (شكل 115)، والتي يتوقّف حجمها على عوامل عديدة:

- كتلة الجسم الناري وحرارته، فالتداخلات الصغيرة تُحدث هالات تُقاس سماكتها بالسنتيمترات في حين أنّ التداخلات الكبيرة مثل الباثوليث Batholith تمتدّ هالاتها المتحوّلة كيلومترات عديدة.
- التركيب المعدني للصخر المضيف مثل الحجر الجيري بحيث قد تصل سماكة نطاق التحوّل على 10km وغالبًا ما تكون هذه الكبيرة نطاق تحوّل متمايز Zone of Metamorphism.



شكل 115
هالة التحول

فبالقرب من الجسم الصَّهاري قد تتكون المعادنُ المميِّزة لدرجةِ الحرارة العالية مثل الجارنت، في حين تتكون المعادنُ المميِّزة لدرجّة الحرارة منخفضة، مثل الكلوريت بعيدًا عنه.



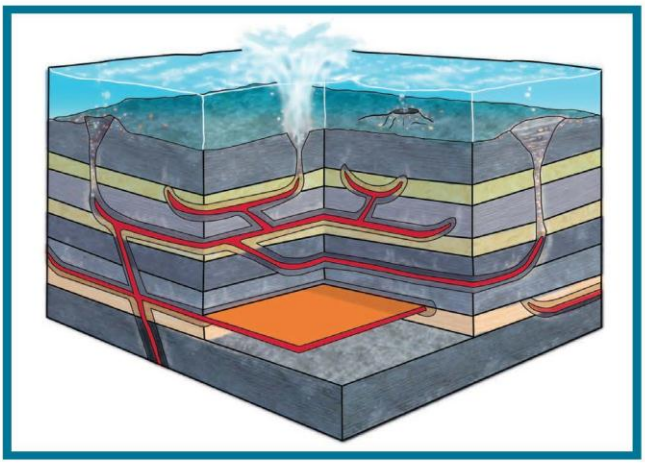
شكل 116

يتولّد الهورنفلس (صخور طينية دقيقة الحبيبات) عن التحول التلامسي للطفل (الطين الصفائحي)، بينما يتولّد الكوارتزيت والرخام على التوالي عن التحول التلامسي للحجر الرملي الكوارتزيتي والحجر الجيري.

2.2 التحوّل بالمحاليل الحارّة

Hydrothermal Metamorphism

عندما تمر المحاليلُ الحارة الغنية بالأيونات عبر شقوق الصخور، يَحدُث تغيرٌ كيميائيّ تسمى التحول بالمحاليل الحارة (شكل 117). يرتبط هذا النوعُ من التحول ارتباطًا وثيقًا بالأنشطة النارية، كونها توفر الحرارة الضرورية لدورة هذه المحاليل الغنية بالأيونات. لهذا غالبًا ما يحدث التحول بالمحاليل الحارة بالتزامن مع التحول التلامسي في المناطق التي تمَّ اختراقُها بكتل نارية كبيرة. ولهذه المحاليل القدرة على تغيير التركيب الكيميائي للصخر المضيف.



شكل 117

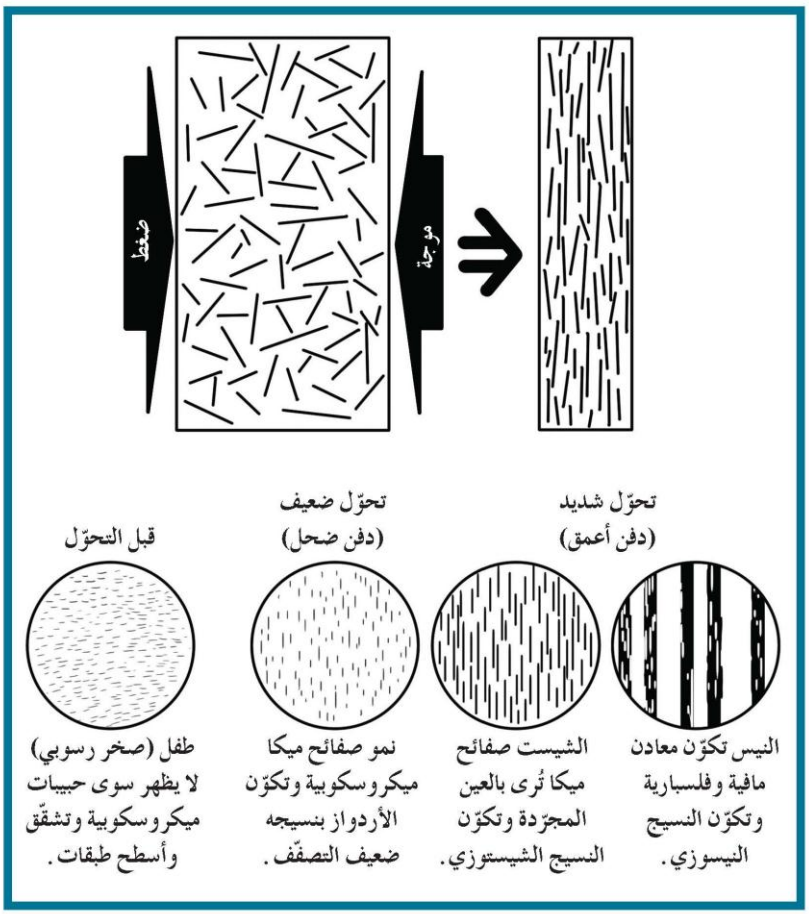
انتشار المحاليل الحارّة المصاحبة للصهير

هل تعلم؟

إن معظم الأصباغ التي تعطي الدهانات لونها وقدرتها على ستر طبقات الدهانات السابقة تأتي من مواد أرضية طبيعية متنوعة. على سبيل المثال، صبغ العنبر الذي يعطي لونًا بُنِّيًّا كستنائيًّا يُستخرج من مناجم في قبرص. تكونت هذه المادة، في الماضي، عند قعر البحر عن طريق التغير الحراري بواسطة المحاليل للحمم البركانية (اللافا) البازلتية الغنية بالحديد والمنغنيز.

3.2 التحوّل بالدفن Burial Metamorphism

يرافق التحوّل بالدفن (شكل 118) تراكمٌ كثيف جدًّا لطبقات الصخور الرسوبية في حوض ترسيب هابط. في هذه الحالة، قد تتوفر ظروف مستوى التحول الضعيف للطبقات العميقة. فيتسبب الضغطُ المحيط والحرارة الجوفية الأرضية المتزايدة بإعادة تبلور المكونات المعدنية، ما يغير النسيج و/ أو التركيب المعدني للصخر من دون حدوث تشوّه ملحوظ.



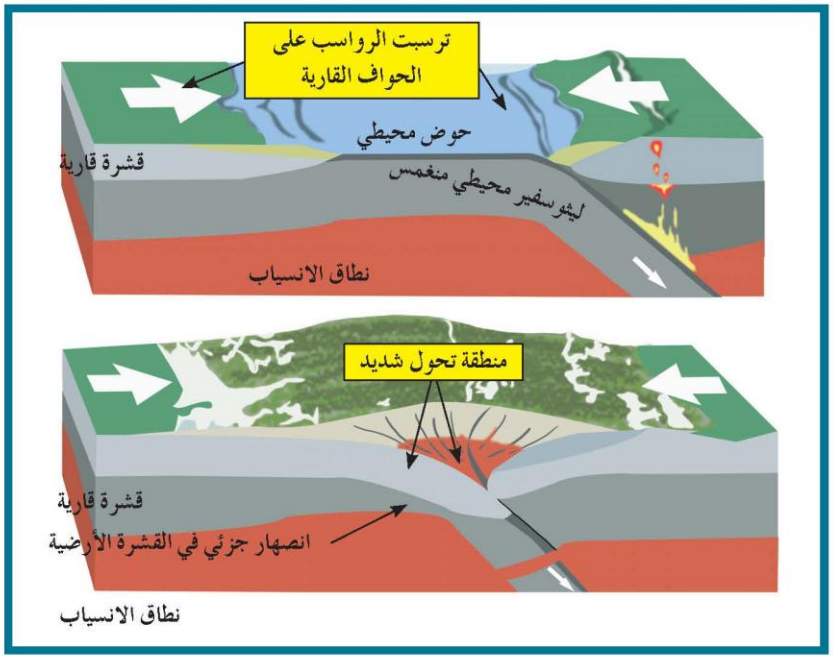
شكل 118
التحوّل بالدفن

هل تعلم؟

تتصاعد المحاليل الغنية بالعناصر الفلزية عبر الشقوق وتتدفّق من قعر المحيط عند درجة حرارة تبلغ حوالى 350°C، مولّدة سحبًا مملوءة بالحبيبات الدقيقة تدعى **المداخن السوداء Black Smokers**. تترسَّب المعادنُ الكبريتيديَّة والكربوناتية المحتوية على العناصر الفلزية الثقيلة عند اختلاطها بمياه البحر الباردة، فتشكّل ترسّبات فلزية تكون لبعضها قيمةٌ اقتصادية عالية. ويُعتقَد أن هذا هو مصدر خامات النُّحاس التي يجري تعدينها اليوم في مناجم جزيرة قبرص.

4.2 التحوّل الإقليمي Regional Metamorphism

يحدث هذا التحول في مناطق شاسعة تحت تأثير الضغط المرتفع الذي يصحبه ارتفاع في درجات الحرارة والذي ينتج عن حركات القشرة الأرضية البانية للجبال والقارّات، ما يؤدي إلى ترتيب المعادن المكوِّنة للصخور الأصلية على شكل رقائق أو شرائط متوازية ومتعامدة على اتّجاه الضغط.



شكل 119
يحدث التحول الإقليمي عندما تُضغط الصخور بين لوحين صخريين (ليثوسفير) متصادمين أثناء بناء الجبال.

مراجعة الدرس 2

1. عَرِّفِ التورُّق.
2. ما الأنواعُ الثلاثة للنسيج المتورِّق؟
3. كيف تكوَّن صخرُ النيس المتحول ؟
4. أُذكرْ أنواعَ مختلفة لبيئة التحول.
5. ما نتيجةُ التحول الإقليمي؟

أسئلة مراجعة الفصل الثالث

أولًا: اختر الإجابة المناسبة للعبارات التالية:

1. في ..... تكون القوى التي تشوّه الصخور غير متساوية في الاتجاهات المختلفة.
   (أ) الضغط المحيط
   (ب) الجهد التفاضلي
   (جـ) المحاليل النشطة كيميائيًّا
   (د) الطبقات المشوهة

2. لصخر الأردواز خاصية مميزة تدعى ..... .
   (أ) الانشقاق الأردوازي
   (ب) الانشقاق المُستوي
   (جـ) النسيج الشيستوزي
   (د) المَظْهَر المتطبّق

3. يُعرف التحول الحراري أيضًا بـ ..... .
   (أ) التحول بالمحاليل الحارَّة
   (ب) التحول الصدمي
   (جـ) التحول بالغور
   (د) التحول التلامسي

4. يتميز الرخام بـ ..... .
   (أ) نسيج غير متورّق
   (ب) نسيج شيستوزي
   (جـ) نسيج أردوازي
   (د) نسيج نيسي

ثانيًا: تَحقَّقْ من فَهمِك

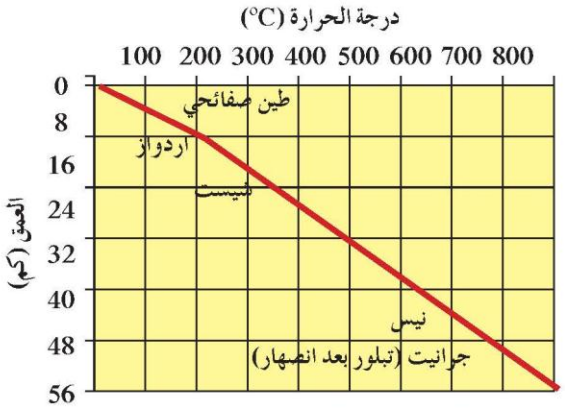
1. اِشرَحْ لماذا تعتبر كلمة "متحول" مناسبة لهذا النوع من الصخور.
2. **قارن:** ناقش الشبه ما بين تكوُّن الصخور النارية وتكون الصخور المتحولة، وبم يختلفان؟
3. أيهما أفضلُ لنحت قِطَع الشطرنج: الرخام أم الأردواز؟ فسِّر إجابتك.
4. **توقع:** افترِضْ أنك تبحث عن صخرٍ متحول لمجموعتك الصخرية. أين يحتمل أن تجد عينات من الصخور المتورقة والصخور غير المتورقة على سطح الأرض؟

ثالثًا: نَمِّ مهاراتك

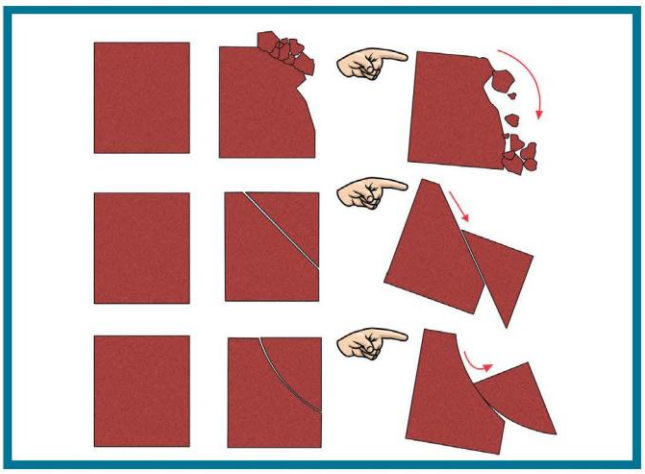
اسْتخدِمِ المهاراتِ التي اكتسبتَها خلال دراسة هذا الفصل لاستكمال كل نشاط.

فَسِّرِ البيانات: يوضِّح الرسم البياني التالي تأثير عمق الطمر ودرجة الحرارة على الصخور المختلفة.

1. ما مدًى من العمق ودرجة الحرارة لتواجد الصخور الرسوبية؟
2. ما مدًى من العمق ودرجة الحرارة لتواجد الصخور النارية؟
3. أُذْكر أسماء الصخور المتحولة الواردة في الرسم البياني. ما مدى العمق ودرجة الحرارة اللازمين لِتكوُّن هذه الصخور؟
4. ما العَلاقةُ بين أنواع الصخور المتكونة والعمق ودرجة الحرارة؟



الفصل الأوّل: التحرك الكتلي
- الدرس الأوّل: دور التحرك الكتلي
- الدرس الثاني: العوامل والمحفّزات المتحكّمة بالتحرك الكتلي
- الدرس الثالث: تصنيف عمليات التحرك الكتلي



اكتشف بنفسك

التحرُّك الكتلي **Mass Wasting**

سوف تتعلّم في هذه الوحدة كيف أن التحركات العميقة داخل الأرض تساعد في ولادة الجبال والظواهر السطحية الأخرى. فيما تقرأ هذه الوحدة، ستتعرّف أنواع التحرُّك الكتلي وأسبابه.

الأدوات والموادّ المطلوبة:

3 قطع صلصال متساوية الحجم، سكّين بلاستيكي، قليل من الزيت

تمثيل التحرُّك الكتلي للأرض:

- إقطع أجزاء صغيرة من قطعة الصلصال الأوّلى وامسح سطحها بالقليل من الزيت، ثمّ ضَع قطع الصلصال على قمّتها بالقرب من الحافّة.
- إقطع الثانية بالسكّين قطعًا مائلًا مستوي وبلِّل سطحها بقليل من الزيت، ثمّ اَرجِع القطعة إلى مكانها.
- إقطع قطعة الصلصال الثالثة قطعًا منحنٍ وبلِّل سطحها بقليل من الزيت، ثمّ اَرجِع القطعة إلى مكانها.
- إدفع كلّ قطعة برفق بالقرب من قمّتها كما ترى في الرسم أعلاه.
- اتَّبع إرشادات الأمان والسلامة.

حلِّل واستنتج

- صِف ما يحدث في كلّ حالة.
- أيّ من الحالات السابقة يحاكي التساقط؟ الانزلاق؟ الانزلاق مع الدوران؟
- ما سبب تحرُّك الكتل إلى أسفل؟

الفصل الأوّل

التحرّك الكتلي
Mass Wasting

على الرغم من أن معظم المنحدرات الأرضية تبدو كما لو كانت مستقرة وغير قابلة للتغيّر إلا أن قوة الجاذبية تُحرِّك المواد. من جهة، قد تكون الحركة تدريجية بحيث لا يمكن ملاحظتها، ومن جهة أخرى، قد تكون من انجراف هادر للركام أو انهيار الصخور. تشكل الانزلاقات الأرضية خطرًا طبيعيًّا على المستوى العالمي. عندما تؤدي هذه المخاطر الطبيعية إلى فقد الحياة والممتلكات، فإنها تغدو كوارث طبيعية.

دروس الفصل

الدرس الأوّل
- دور التحرك الكتلي

الدرس الثاني
- العوامل والمحفّزات المتحكمة بالتحرك الكتلي

الدرس الثالث
- تصنيف عمليات التحرك الكتلي

دور التحرّك الكتلي
Role of Mass Wasting

أهداف الدرس

- يصف عملية التحرك الكتلي.
- يشرح الدور الذي يلعبه التحرك الكتلي في تغيّر تضاريس الأرض.

شكل 120
عام 2009، طمرت السيول في جدّة عددًا كبيرًا من الممتلكات والأراضي.

1. التحرّك الكتلي وتشكّل التضاريس الأرضية
Mass Wasting and Landform Development

تمثّل الانزلاقاتُ الأرضية عملية جيولوجية شائعة تدعى **التحرك الكتلي Mass Wasting**. يشير التحرك الكتلي إلى تحرك الصخور والركام والتربة نحو أسفل المنحدر تحت تأثير الجاذبية الأرضية (شكل 121). فهي ليست بحاجة إلى وسيط لينقلها كالماء أو الرياح أو الثلوج.

شكل 121
تحرّك الصخور والركام والتربة

هل تعلم؟

الانزلاقات الأرضية نادرة نسبيًّا، حتى في المناطق ذات المنحدرات الحادة. بالرغم من ذلك، تذكّرنا وسائل الإعلام بحدوث تلك الكوارث بانتظام حول العالم.

في 5 أكتوبر عام 2005، تسببت أمطارُ السيول المرافقة لإعصار ستان Hurricane Stan بالانجرافاتِ والسيول الطَّميية في جواتيمالا. فغطّى خليط من الطمي بطول 1km وعمق 12m قريةً في منطقة بانباج Panabaj، ما أدى إلى وفاة 1400 شخص. يمكن أن تجري مثل هذه السيول الطينية بسرعة 50km/h على منحدرات الجبال.

في 8 أكتوبر عام 2005، ضرب زَلْزالٌ بقوة 7.6 درجات منطقةَ كشمير الواقعة على الحدود بين الهند وباكستان. التأثيرُ المؤلم للزلزال في حد ذاته لم يكن نهايةَ المَطاف، إذ أن الهزاتِ الارتدادية الناتجة عن الزلزال تسببت بالمئات من الانزلاقات الأرضية. وقد أدى تَساقُط الصخور وانزلاقُ الرُّكام إلى اندفاع المواد على المنحدر الجبلي الحاد إلى تجمع المواد في وادٍ ضيق.

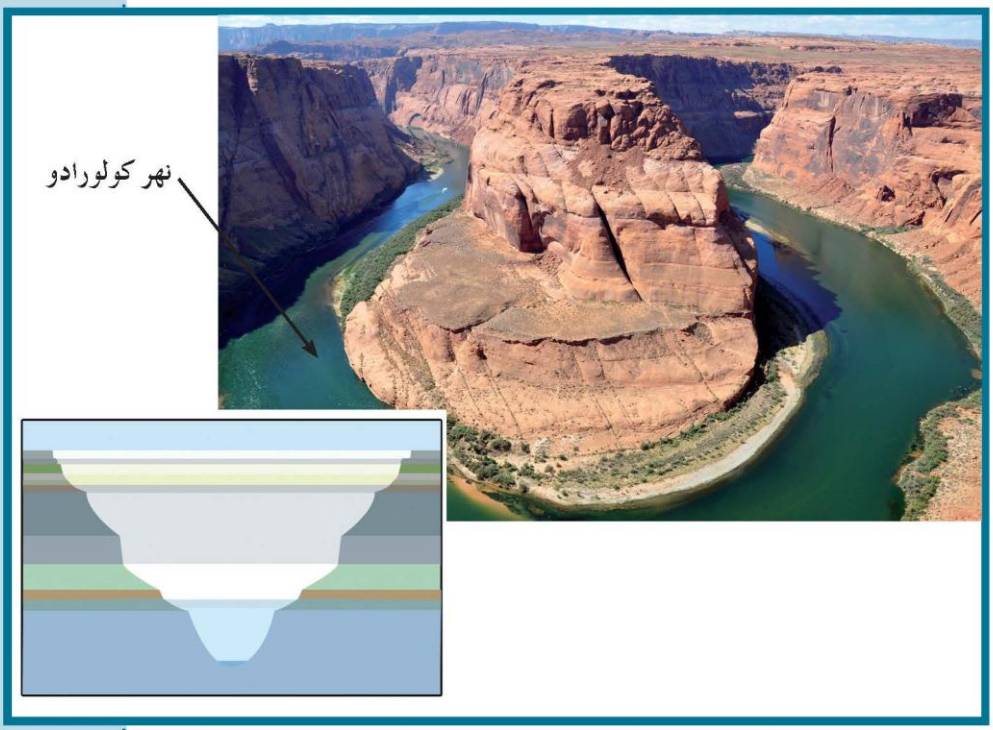
1.1 دور التحرّك الكتلي The Role of Mass Wasting

لم يكن سطح الأرض يومًا مسطَّحًا بالكامل بل توجد فيه منحدرات بعضها حاد وبعضها متوسط، وبعضها طويل وتدريجي، وبعضها الآخر قصير وحاد. وقد تكون المنحدرات متدثِّرة بالتربة ومغطاة بالنباتات، في حين تكون أخرى عارية ومغطاةً فقط بالركام الصخري. تعتبر المنحدرات كلها أحدَ عناصر التضاريس الأرضية الطبيعية.

يعتبر التحرك الكتلي الخطوة الثانية المهمة التي تلي التجوية في تكوين معظم المظاهر والتضاريس الأرضية Landform. لا تنتج التضاريس الأرضية عن التجوية بحد ذاتها بل هي تنشأ وتتطور عندما تتحرك نواتج التجوية وتزال من المكان الذي تكونت فيه. تتفتت الصخور، فينقل التحرك الكتلي الركام إلى أسفل المنحدر حيث تقوم الجداول والمجاري المائية بنقله بعيدًا وفي النهاية إلى البحر. يؤدي التأثير المشترك للتحرك الكتلي والمياه الجارية إلى تكوين وديان الجداول Stream Valleys التي تعتبر من أهم معالم التضاريس الأرضية الواضحة. لو كانت الجداول وحدها مسؤولةَ عن تكوين الوديان، لكانت هذه الوديان عبارة عن مَعالِم أرضية ضيقة. في الحقيقة، عندما تكون وديانَ الأنهار أكثر اتساعًا من عمقها، يعَدّ ذلك دليلًا على قوة تأثير التحرك الكتلي على إمداد المجاري المائية.

هل تعلم؟ (تابع)

- في 17 فبراير عام 2006، أي بعد أشْهُرٍ قليلة على مأساة كشمير، حدث انسيابٌ طيني مميت سببه هطول غير عادي للأمطار الغزيرة، حيث طمر الانسياب الطيني مدينة صغيرة في جزيرة ليبت من الفلبين. كمية الطين التي اجتاحت هذه المنطقة الساحلية النائية غطتها بعمق يصل إلى حوالى 10 أمتار. وبالرغم من صعوبة تعداد الخسائر، إلّا أن 1800 شخص على الأقل اعتبروا من المفقودين.



شكل 122
تمتد جدران الأخدود العظيم (الجراند كانيون Grand Canyon) بعيدًا عن مجرى نهر كولورادو في ولاية أريزونا. ينتج هذا أساسًا عن نقل ركام التجوية فيهبط المنحدر نحو النهر وروافده.

2.1 تغيّر المنحدرات مع الوقت

Slopes Change through Time

لكي يَحدُثَ تحركٌ كتلي يجب أن تتواجد منحدراتٌ تتحرك عليها الصخورُ والركام الصخري. فنشوء الجبال وأنشطة البراكين هي التي ولدت هذه المنحدراتِ عبر رفع الكتل الأرضية وقعر المحيط على دفعات.

تحدث معظمُ التحركات الكتلية السريعة والمفاجئة في الجبال الوعرة حديثة التكوين، التي تتعرض للتعرية السريعة بواسطة الأنهار والأنهر الجليدية، فتظهر منحدرات شديدة وغير مستقرة. وتقوم عمليات التعرية والتحرك الكتلي بخفض ارتفاع الأرض. ومع الوقت، تتحول المنحدراتُ الوعرة والحادة إلى أراضٍ منخفضة قليلة الانحدار. لذلك، عندما يزداد عمر أرض ما، تتراجع قوّة التحرك الكتلي السريع الشامل، فتقتصر على تحركات صغيرة غير خطيرة عند المنحدرات.

مراجعة الدرس 1

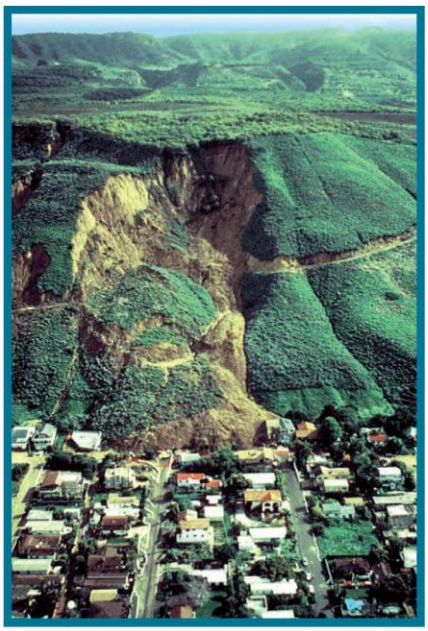
1. ما هو التحرُّك الكتلي؟
2. كيف تتكوّن التضاريس الأرضية؟
3. أين تَحدُث الانزلاقاتُ الأرضية الكتلية المدمرة؟ لماذا؟

الدرس 2

العوامل والمحفّزات المتحكِّمة بالتحرّك الكتلي
Factors and Triggers of Mass Wasting

أهداف الدرس

- يعدّد أربعة محفزات للتحرك الكتلي.
- يعرّف زاوية الاستقرار.



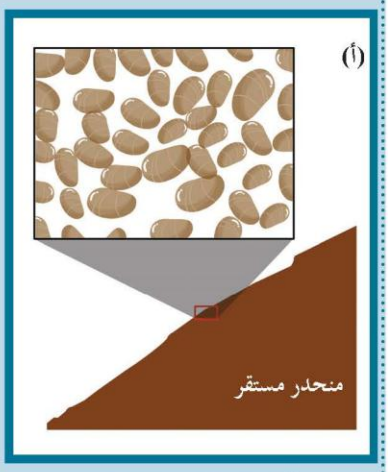
شكل 123
التحرّك الكتلي

الجاذبية الأرضية Gravity هي القوة التي تتحكّم بالتحرك الكتلي. تؤدي عدةُ عواملَ أخرى دورًا مهمًّا في تحفيز عمليات التحرك نحو أسفل المنحدرات. سوف نتطرّق إليها في ما يلي.

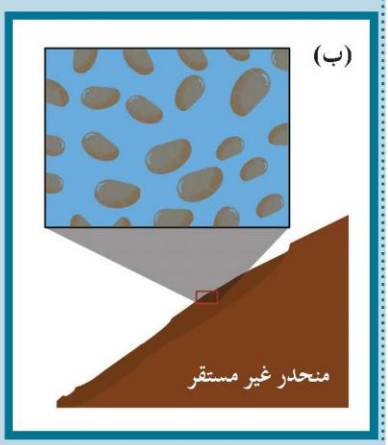
1. العوامل المحفّزة لعمليات التحرك الكتلي
Factors Triggering Mass Wasting

1.1 الماء
Water

يبدأ التحرك الكتلي أحيانًا عندما تتشبع المواد السطحية بالماء نتيجة هطول الأمطار الغزيرة أو نتيجة فترة ذوبان الجليد الطويلة (شكل 124). حدث مثل هذا في ديسمبر عام 2009، عندما وفّرت الأمطار الغزيرة محفّزًا لتحرك مئات الانزلاقات الأرضية في جدّة. فالسيول الطينية والفيضانات العارمة تسببت بأضرار بالغة في الممتلكات وخسائر فادحة في الأرواح، إذ فُقِد 122 شخصًا.



(أ) تربة جافة – تماسك قوي
قد يكون تأثير الماء على التحرك الكتلي كبيرًا. عندما يكون الماء نادرًا أو منعدمًا، يقوم تماسك حبيبات التربة الملاصقة للانحدار بتثبيتها في مكانها.



(ب) تربة مشبعة بالماء
قد يكون تأثير الماء على التحرك الكتلي كبيرًا. عندما تشبع التربة بالماء، تُدفع الحبيبات بعيدًا عن بعضها البعض ويتلاشى تماسكها، مما يسمح للتربة بالانزلاق نحو أسفل المنحدر.

شكل 124

2.1 الانحدارات بالغة الحدّة Oversteepened Slopes

تُعتبر الحدة البالغة للانحدارات أحدَ المحفّزات الأخرى للتحرك الكتلي. ومن الأمثلة المهمة لتكوُّن انحدارات شديدة تعرية النهر لقاعدة جوانب الوادي واصطدام الأمواج بالجَرْف الشاطئي وتعرية قاعدته. وغالبًا ما تؤدي أنشطة الإنسان إلى تكوّن انحدارات غير مستقرة بالغة الحدة.

تُسمى الزاوية التي تكون عندها الحبيباتُ ثابتة زاوية الاستقرار Angle of Repose. تتراوح زاوية الاستقرار ما بين 25° و 40° استنادًا إلى شكل الحبيبات وحجمها.

قد يؤدّي الانحدار بالغ الحدّة إلى تحريك مساحات كبيرة من الركام أو التربة المتماسكة أو حتى تحريك أجزاء من طبقات الجبل. وبعد فترة على حدوث عمليةٌ أو أكثر من عمليات التحرك الكتلي تنخفض حدة الانحدار فيستعيد استقراره.

3.1 إزالة النبات Removal of Vegetation

يساعد النبات في مقاومة التعرية ويساهم في استقرار المنحدر، لأن الجذورَ تربط حُبيبات التربة والطبقة السطحية المفككة ببعضها البعض. بالإضافة إلى ذلك، يعمل النباتُ كدرع تحمي التربة من التعرية الناتجة عن هطول الأمطار. يَزيد الافتقارُ للنبات من التحرك الكتلي وخاصة إذا كان المنحدرُ من النوع الشديد والمياه متوفرة. ينجم هذا الافتقار عن قطع الغابات لصناعة الأخشاب أو عن الحرائق.

بالإضافة إلى نزع النبات المهم لتثبيت التربة، تسرّع الحرائق من التحرك الكتلي بطرق أخرى (شكل 125). عندما تجف الطبقة العليا من التربة وتتفكك نتيجة الحرائق والطقس الجاف، فإنها تميل إلى الانزلاق على المنحدرات الشديدة. علاوة على ذلك، يمكن أن تكوِّن الحرائق طبقة طاردة غير منفذة للماء. يمنع هذا الحاجز غير المنفِذ نفاذ الماء أو يبطئه ما يَزيد من كمية المياه الجارية لدى هطول الأمطار فيتولّد سيل من الطين اللَّزِج والركام الصخري.

شكل 125
خلال الصيف، تَشبُّ عادة الحرائق في أماكن كثيرة فتحترق ملايين الكيلومترات سنويًا. يؤدي فقدان النبات الذي يثبت التربة إلى تسريع التحرك الكتلي.

4.1 الزلازل Earthquakes

يُعتبر الزلازل من أهم هذه المحفزات لانها مع ما يتبعها من ارتدادات مباشرة تسمح بخلخلة كميات ضخمة من الصخور والمواد غير المتماسكة وباقتلاعها.

يمكن للاهتزازات الأرضية العنيفة أثناء الزلزال أن تجعل الموادَّ السطحية المشبعة بالماء تفقد تماسُكَها، فتنساب على غرار السوائل، وهذا ما يُسمّى بالتسييل Liquefaction.

2. التحرّك الكتلي من دون محفزات

Mass wasting without Triggers

يحدث الكثير من التحركات الكتلية السريعة دون محفّز ظاهر. يضعف تماسك مواد المنحدر تدريجيًّا مع الوقت تحت تأثير التجوية لفترة طويلة وبسبب تسرُّب الماء وعدة عوامل طبيعية أخرى. وعندما ينخفض التماسك إلى ما دون المستوى اللازم لإبقائها مستقرة على المنحدر، يحدث التحرك الكتلي.

مراجعة الدرس 2

1. كيف تؤدّي إزالةُ النبات إلى التحرُّك الكتلي؟
2. ما ارتباطُ الزلازل بالانزلاقات الأرضية؟
3. كيف يؤثّر الماءُ في عمليات التحرُّك الكتلي؟
4. هل تحتاج حوادثِ التحرك الكتلي السريع إلى محفّز دائمًا؟ اشرح إجابتَك.

الدرس 3

تصنيف عمليات التحرك الكتلي
Classification of Mass Wasting Processes

أهداف الدرس

- يصفَ أُسس تصنيف عمليات التحرك الكتلي.
- يفرّقَ بين الأنواع المختلفة من التحرك الكتلي.

شكل 126
تدفّق طيني
أدّت أمطار غزيرة تساقطت في جنوب أستراليا إلى حدوث تدفّق طيني.

الأرض التي تقف عليها صلبة وقد تتحوّل في ظلّ ظروف محدّدة إلى طين كثيف. فعلى سبيل المثال، يبيّن الشكل (126) تدفّقًا طينيًّا مدمّرًا سبّبته أمطار غزيرة. فجرى نهر من الطين على سفح الجبل وطمر المنازل والسيّارات، كما أدّى إلى وفاة الكثيرين. بخلال لحظات، نقل التدفّق الطيني كمّيّة هائلة من التربة الممزوجة بالماء والصخر إلى أسفل المنحدر. توجد عدة أنواع من العمليات التي يسمّيها الجيولوجيون التحرك الكتلي. تصنَّف الأنواع المختلفة عادة على أساس طبيعة المواد المتحركة وطريقة التحرك وسرعته.

1. طبيعة الموادّ Nature of Materials

يعتمد تصنيفُ عملياتِ التحرك الكتلي على طبيعة المواد عند بداية التحرك، أي كونها مواد مفككة أو طبقة صخرية. إذا كانت التربةُ أو الغِطاء الصخري المفكَّك هو السائد.

شكل 127
(أ) في يناير 1997، تسبّب الانهيار الصخري بقطع الطريق السريع 140، بالقرب من مدخل منتزه يوسمايت الوطني في كاليفورنيا Yosemite National Park, California.
(ب) انهيار صخري في الولايات المتّحدة عام 2012.

2. معدّل التحرّك Rate of Movement

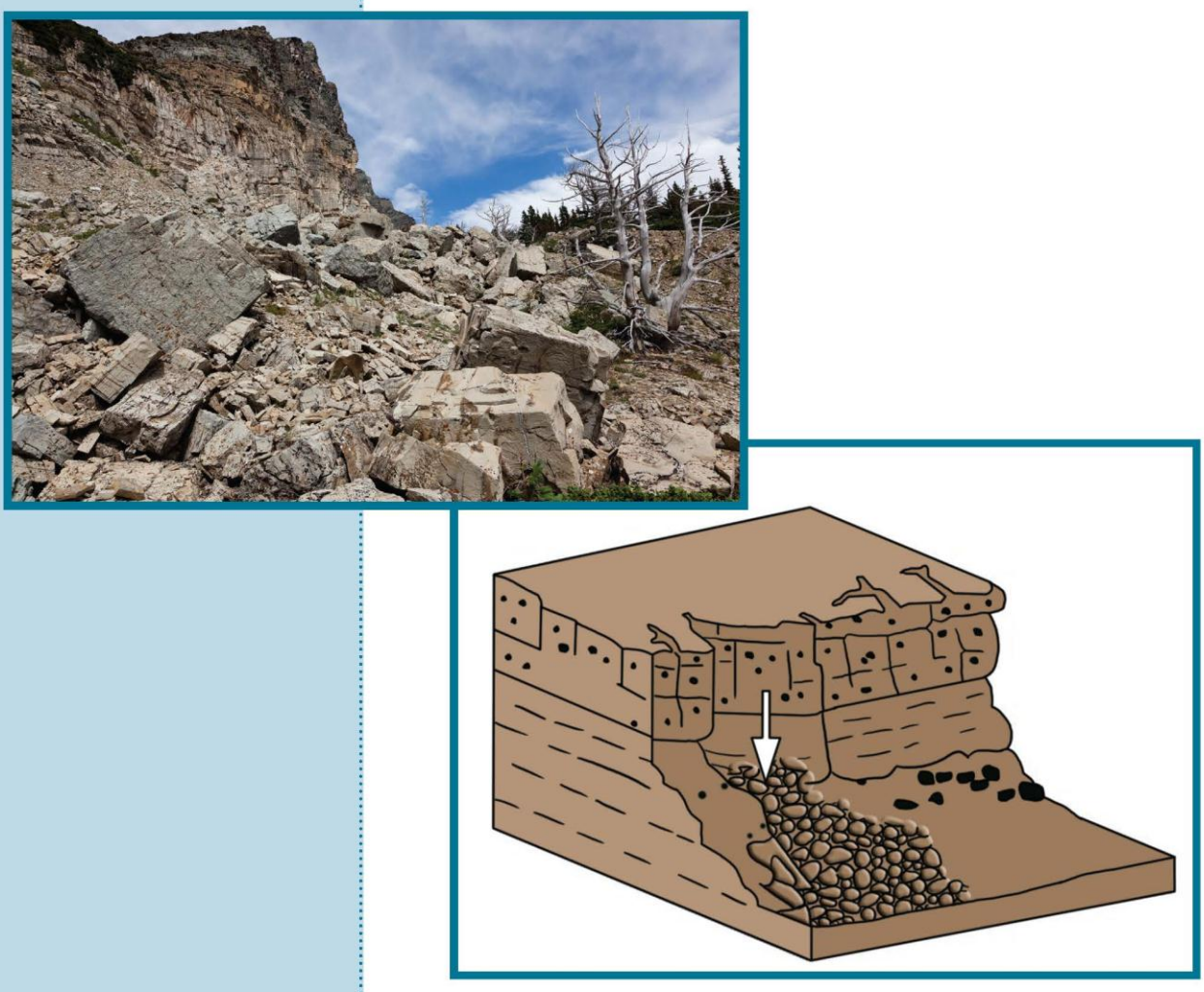
تحدث **الانهيارات الصخرية Rock Avalanches** عندما تندفع الصخور والرُّكام إلى أسفل المنحدر بسرعة تتعدى 220km (125 ميلًا) في الساعة ما قد يتسبب بكوارث على الناس وعلى الممتلكات. فهناك الكثير من التحركات الكتلية البطيئة وغير المحسوسة حتى أن سرعة العملية الواحدة قد تتفاوت بشدة في موقع واحد.

3. نوع الحركة Type of Motion

بالإضافة إلى نوع المواد الخاضعة لعملية التحرك الكتلي، يُعتبر نمط تحرك المواد مهمًّا أيضًا فيوصف نوع الحركة عامّة بتساقط fall أو انزلاق slide أو انسياب flow.

1.3 التساقط Fall

عندما تعني الحركة سقوطًا حرًّا لقطع إفرادية مهما كان حجمها، تدعى تساقطًا. التساقطُ شائع في المنحدرات الشديدة (شكل 128).



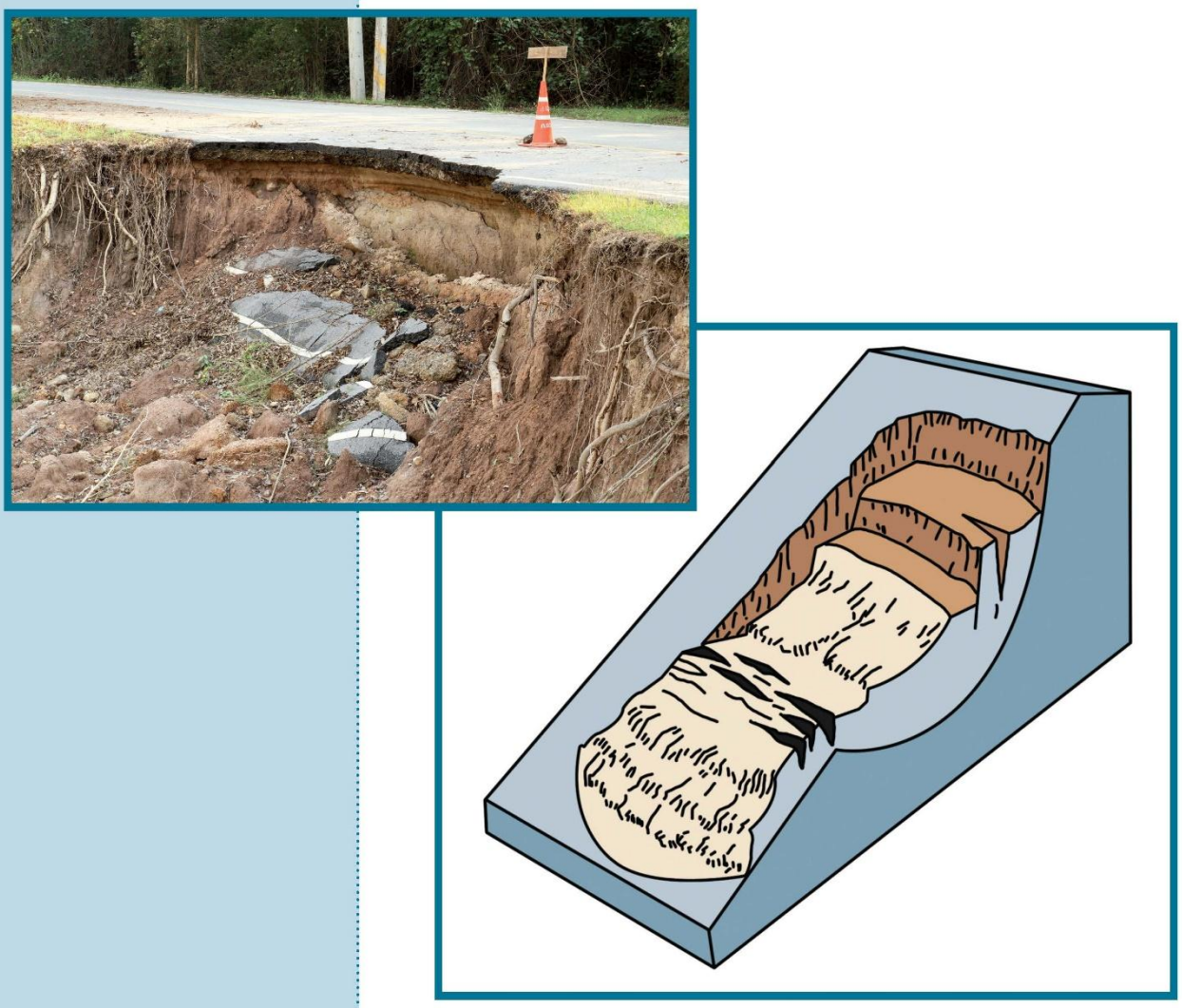
شكل 128
التساقط من المنحدرات الشديدة

2.3 الانزلاق Slide

يُشير هذا المصطلحُ إلى التحرك الكتلي الذي يَحدُث مع وجود نطاقٌ ضعيف يفصل ما بين الكتل المُنزلِقة وما تحتها من مواد مستقرة. هناك نوعان أساسيان من الانزلاق:

1.2.3 الانزلاق الدوراني Rotational Slide

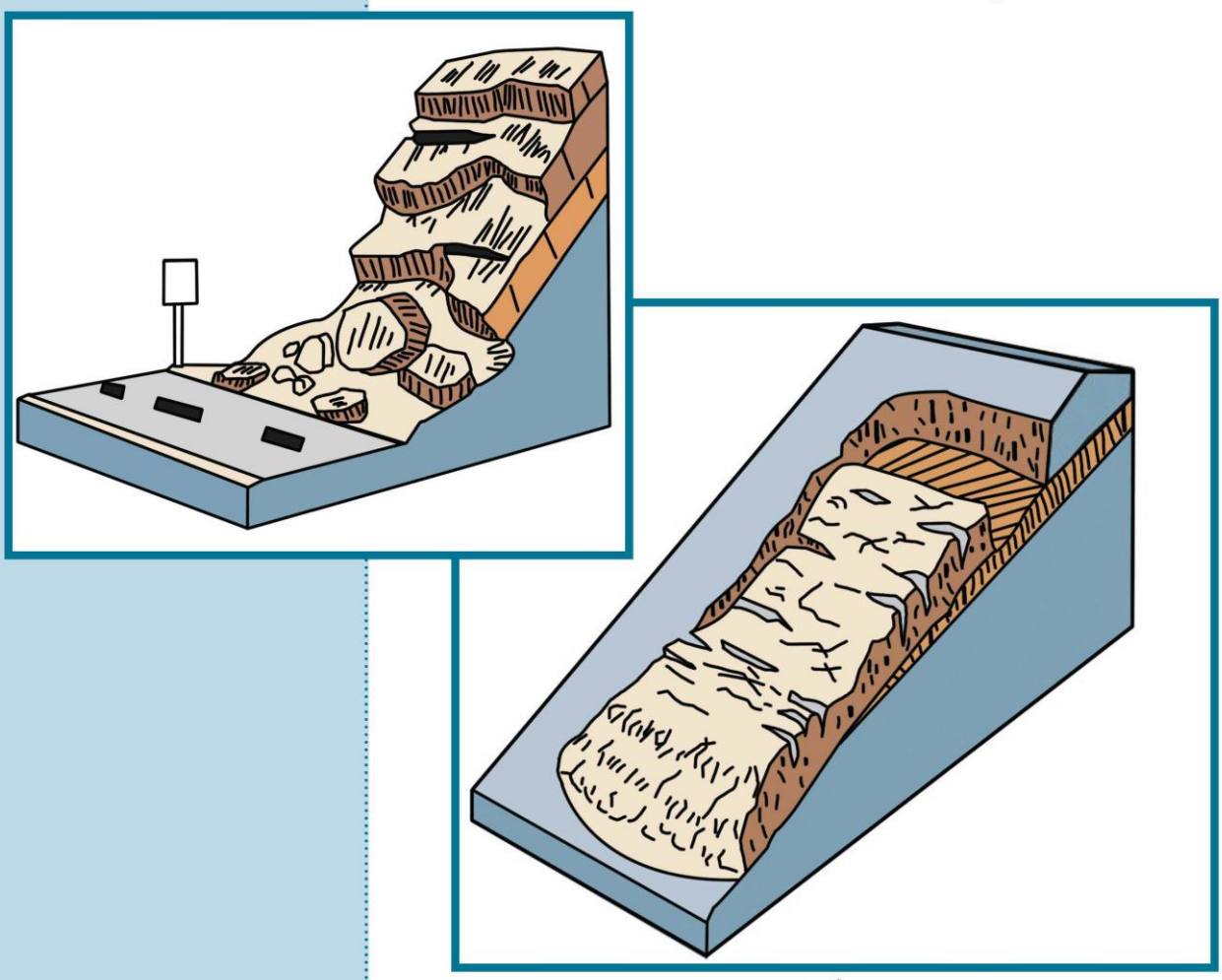
يكون فيه السطح الفاصلُ على شكل منحنًى مقعّر إلى أعلى يشبه الملعقة، وحيث يكون اتجاهُ حركة المواد إلى أسفل مع استدارة للكتلة إلى الخارج (شكل 129).



شكل 129
الانزلاق الدوراني

2.2.3 الانزلاق الانتقالي Translation Slide

تكون فيه الحركة على سطحٍ مُستوٍ كفاصل أو صَدْع أو سطح طبقة ولا يرافقها دوران (شكل 130).



شكل 130
الانزلاق الانتقالي

3.3 الانسياب Flow

يُعتَبر ثالثُ نوع من الأنواع الشائعة للتحرك الكتلي وهو يَحدُث عندما تتحرك الكتلُ على المنحدر كسائل كثيف (مثل خليط إسمنتي). تكون معظمُ الانسيابات مشبعة بالماء وتتحرك على شكل لسان أو فص.

1.3.3 الانسياب الركامي Debris Flow

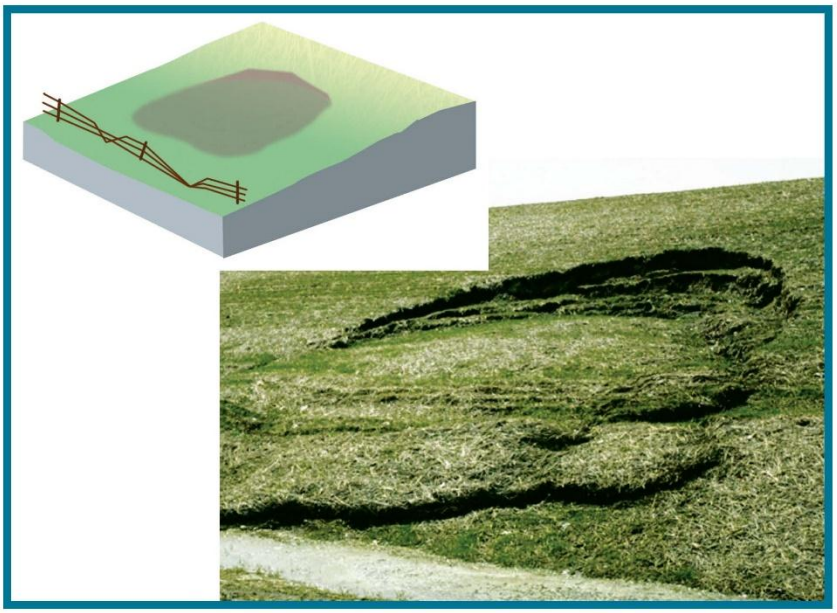
يعتبر الانسياب الركامي نوعًا سريعًا نسبيًّا من التحرك الكتلي الذي يتضمن انسيابَ التربة والغِطاء الصخريّ المفكك مع كمية كبيرة من الماء. الانسيابُ الركامي الذي يدعى أيضًا الانسياب الطيني Mudflow، هو الأكثر شيوعًا في المناطق الجبلية المدارية، وعلى منحدرات بعض البراكين، ويتجمّع كرواسب مِرْوَحية الشكل عند فم الوادي (شكل 131).

شكل 131

الانسياب الرُّكامي عبارة عن لسان متحرك مكون من خليط من الطمي والتربة والصخور والماء. وهو يشبه الخليط الأسمنتي الطري.

2.3.3 الانسياب الأرضي Earthflow

يحدث الانسياب الأرضي Earthflow عند جوانب التلال في المناطق الرَّطْبة أثناء المطر الغزير أو ذوبان الجليد. عندما تتشبع التربةُ والغطاء الصخري المفكك بالماء، قد تتكسَّر الموادُّ وتُقْتَلع مخلفة ندوبًا على المنحدر، فتولّد كتلًا على شكل ألْسنة أو قطرات دموع تندفع لأسفل المنحدر (شكل 132).



شكل 132

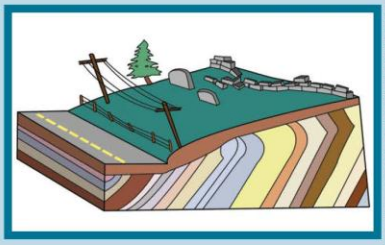
يتخذ هذا الانسياب الأرضي شكل لسان صغير على منحدر بطول طريق سريع تم تعبيده حديثًا. وهو يتكون من المواد الغنية بالطين بعد فترة من المطر الغزير. لاحِظ التدهورَ الصغير عند مقدمة الانسياب الأرضي.

هل تعلم؟

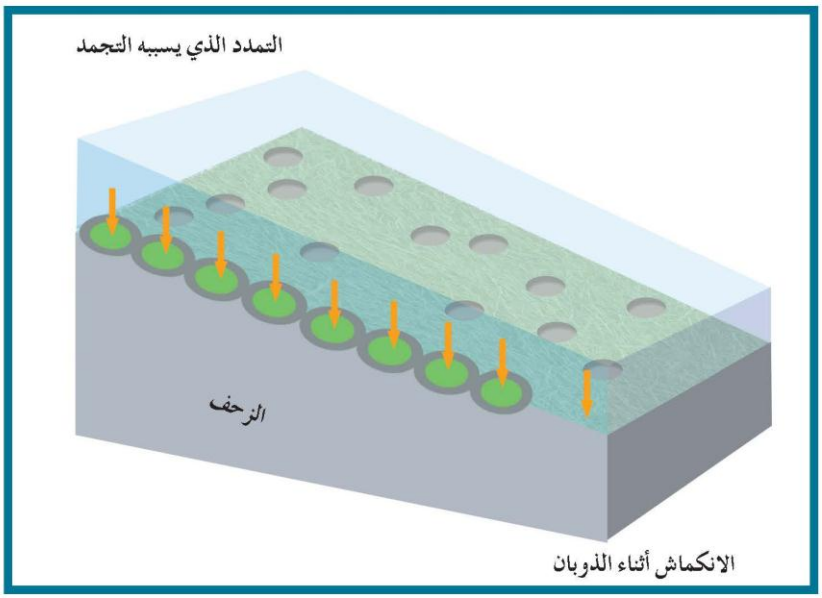
الانسيابُ الركامي الذي يتكون أساسًا من مواد بركانية عند جوانب البراكين، يدعى لاهار Lahars. شهدت المناطق البركانية في إندونيسيا مثل هذه الحوادث المدمِّرة. تاريخيًّا، يُعتَبر اللاهار من الأخطار البركانية المميتة، التي قد تَحدُث أثناء الثوران البركاني أو بعد هدوء البركان. يتكون اللاهار عندما تصبح طبقات الرَّمادُ والركام البركاني غير مستقرة ومشبعة بالماء، فتنساب على المنحدرات البركانية الحادة فتتبع مجاري الجداول الموجودة. وتعتبر الأمطار الغزيرة محفزًا لتلك الانسيابات التي قد يسبّبها أيضًا الذوبان المفاجئ لكتل ضخمة من الجليد بفعل الحرارة المنبعثة من البركان.

4.3 التحرّكات البطيئة Slow Movements

إن الانزلاقات الأرضية والانهيار الصخري هي من أهم التحركات الكتلية التي تسبِّب الكوارث، وهي تعطينا انطباعًا كاذبًا على أنها عمليات قوية بسبب حجمها الكبير وطبيعتها المذهلة. والصحيح أن التحركات الفجائية مسؤولة عن نقل مواد أقل من تلك التي تنتقل بفعل التحركات البطيئة كالزحف. فالزحف Creep نوع من التحرك الكتلي (شكل 133)، الذي ينقل التربةُ والغطاء الصخري المفكك على المنحدر ببطء وبالتدريج. أحد العوامل التي تتسبّب بالزحف هي عملية تناوب التمدد والانكماش في المواد السطحية بفعل التجمد والذوبان أو الرطوبة والجفاف (شكل 134). يصعب ملاحظة الزحف بسبب التحركات الشديدة البطء، والظواهرَ التي تدل عليه، مثل التواء الأسوار وإزاحة الأعمدة.



شكل 133
التحرّك البطيء



شكل 134
تكرار التمدد والانكماش للمواد السطحية يسبب تحركًا للتربة وحبيبات الصخر وهي عملية تدعى الزحف.

مراجعة الدرس 3

1. فرّق بين التساقط والانزلاق والانسياب.
2. لماذا تتحرَّك الانهيارات الأرضية (الصخرية) بسرعة كبيرة؟
3. من أشكال التحرّك الكتلي: الانزلاق الدوراني والانزلاق الانتقالي. ما أوجه الاختلاف بينهما؟ وضِّح مستعينًا برسم مبسَّط.
4. قارِن بين الانسياب الركامي والانسياب الأرضي.
5. صِف آلية التحرك البطيء إلى أسفل المنحدر التي تدعى زحفًا.

أسئلة مراجعة الفصل الأوّل

أوّلًا: اختر الإجابة المناسبة للعبارات التالية:

1. الانحدارات البالغة الحدة تتسبب بـ .....
(أ) الزحف (ب) الانزلاق الصخري (جـ) التساقط (د) الانسياب الطيني

2. الانسياب الرُّكامي غالبًا ما يُسمّى .....
(أ) انسيابًا أرضيًّا (ب) الانسياب الطيني (جـ) تدهورًا (د) انزلاقًا صخريًّا

ثانيًا: تحقق من فهمك

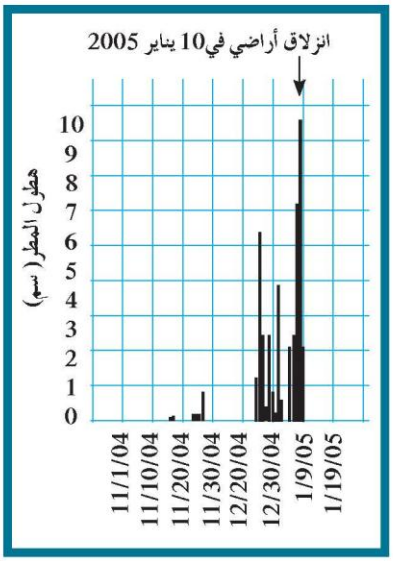
1. افترِضْ أنك ترغب في بناء منزل بجانب تل. ما الاحتياطاتُ التي تضمن عدم تأثُّر منزلك بالتحرك الكتلي؟
2. **قارن:** ما وجه الشبه بين الانسيابُ الطيني والانزلاقِ الصخري؟ وكيف يختلفان؟

ثالثًا: تطبيق المهارات

استخدم الرسم البياني الظاهر للإجابة عن الأسئلة التالية:

وقع حدث مأساوي في 10 يناير عام 2005 عندما اكتسحَ انسيابٌ ركامي سميك (انزلاق طينيّ) مدينة لاكونشيتا La Cinchita الصغيرة في كاليفورنيا، وهي تقع على بعد 80km شمال غرب لوس أنجلوس.

مُستخدِمًا المعلوماتِ السابقةَ والرسم البياني المرفقَ، اشرحْ سبَب الانزلاق الطيني الذي حدث.



رابعًا: ربط الجيولوجيا بالعلوم الطبيعية

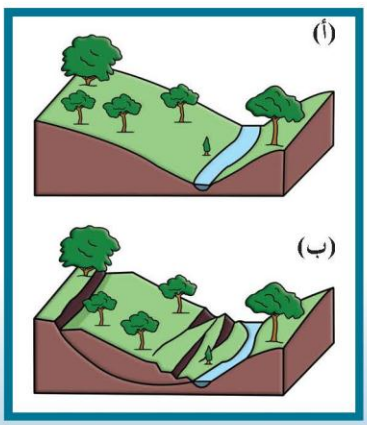
الموادّ التالية:

رمل، ماء، دلو متوسط الحجم، كيس بلاستيكي كبير، ورقة للرسم التخطيطي

1. إمْلَأ الدلوَ بالرمل. أضِفْ كميةً من الماء تكفي لجعل الرمل يلتصق ببعضه بعضًا.
2. ضع وعاء الرمل لساعات قليلة في الثلاجة.
3. ضَعِ الرملَ "المجمّد" في الكيس البلاستيكي.
4. أُرْسُم محيط كتلة الرمل المتجمد.
5. كَرِّرِ الخُطوةَ 4 كل ساعة لمدة أربع ساعات.

ما العملية الجيولوجية التي يوضِّحُها هذا المجسّم؟

كيف تؤثِّر الجاذبيةُ الأرضية على المَظاهِر الجيولوجية (الطوبوغرافية) لسطح الأرض؟



خامسًا: دراسة الأشكال

1. بعد تفحص الشكلين المرفقين، حدّد نوع التحرك الكتلي في كل منهما.
2. حدد على الشكلين المكان الأفضل لبناء المنزل.
3. ما هي إجراءات الأمن والسلامة التي يجب اتّخاذها؟

مصطلحات

Compression Stress	إجهاد الانضغاط
Differential Stress	إجهاد تفاضلي
Removal of Vegetation	إزالة النباتات
Talus Slopes	أسفل المنحدرات
Landslides	الإنزلاقات الأرضية
Uniformitarianism	الإنتظام المستديم
Oversteepened Slopes	الإنحدرات شديدة الحدة
Marine Regression	إنحسار بحري
Translation Slide	إنزلاق إنتقالي
Rotational Slide	إنزلاق دوراني
Earth Flow	إنسياب أرضي
Debris Flow	إنسياب ركامي
Rock Cleavage	الإنشقاق الصخري
Double Refraction	الإنكسار المزدوج
Rock Avalanche	إنهيار صخري
Petrol	بترول
Fault Breccia	بريشيا صدعية
Metallic Luster	بريق فلزي
Non Metalic Luster	بريق لافلزي
Polymerization	بلمرة
Sedimentary Environment	بيئة رسوبية
Crystallization	التبلور
Mass Wasting	التحرك الكتلي
Basaltic Composition	تركيب بازلتي
Granitic Composition	تركيب جرانيتي
Sedimentary Structure	تركيب رسوبي
Sheet Structure	تركيب صفائحي
Amorphous Structure	تركيب غير متبلر
Ultramafic Composition	تركيب فوق المافي
Ductile Deformation	التشوه اللدن
Brittle Deformation	التشوه بالتقصف
Landforms	التضاريس الأرضية
Gradded Beds	تطبيق متدرج

Cross Bedding	تطبيق متقاطع
Foliation	التورق
Foot Wall	الجدار الاساسي
Hanging Wall	الجدار المعلق
Historical Geology	الجيولوجيا التاريخية
Physical Geology	الجيولوجيا الفيزيائية
Limestone	الحجر الجيري
Lava	الحمم البركانية
Basin	حوض
Marble	رخام
Ionically Bonded	روابط أيونية
Mettallics Bonds	روابط فلزية
Obsidian	الزجاج البركاني
Creep	زحف
Earthquake	زلزال
Cleavage Plane	سطح الإنشقاق
Bowen's Reactions Series	سلسلة تفاعل باون
Single Chain	سلسلة فردية
Mohs Scale	سلّم موهس للصلادة
Dark Silicates	سيليكات داكنة
Ligh Silicates	سيليكات فاتحة
Schistosity	الشيستوزية
Organic Sedimentary Rock	صخر رسوبي عضوي
Derital Sedimentary Rock	صخر رسوبي فتاتي
Metamorphic Rock	صخر متحول
Volcanic Rocks	صخور بركانية
Intrusive Rocks	صخور متداخلة
Igneous Rocks	صخور ناري
Magma	الصهارة
Directed Pressure	ضغط موجه
Marine Transgression	طغيان بحري
Fold	طية
Anticline	الطية المحدبة
Syncline	الطية المقعرة
Oscillation Ripple Marks	علامات النيم التذبذبية
Current Ripple Marks	علامات النيم التيارية
Natural Gas	الغاز الطبيعي

Fault	فالق
Strike–Slip Fault	فالق الإنزلاق الإتجاهي
Transform Fault	فالق التحول
Normal Fault	فالق عادي
Reverse Fault	فالق معكوس
Coal	الفحم الحجري
Joint	فاصل
Columnar Joint	فاصل عمودية
Dome	قبة
Specific Gravity	الكثافة النوعية
Lahar	لاهار
Streak Plate	لوح المخدش
Water	الماء
Hydrothermal Solutions	المحاليل الحارة
Chemically Active Fluids	محاليل نشطة كيميائيًا
Black Smokers	المداخن السوداء
Economic Minerals	المعادن الإقتصادية
Silicates Minerals	معادن السيليكات
Non silicates Minerals	معادن لاسيليكاتية
Gneissic Texture	النسيج النيسي
Pegmatitic Texture	نسيج بجماتيتي
Porphyritic Texture	نسيج بوفيري
Phaneritic Texture	نسيج خشن التبلور
Aphanitic Texture	نسيج دقيق التبلور
Glassy Texture	نسيج زجاجي
Non Foliated Texture	نسيج غير متورق
Pyroclastic Texture	نسيج فتاتي
Foliated Texture	نسيج متورق
Zone of Metamorphism	نطاق التحول
Metamorphic Aureole	هالة متحولة
Hornfels	هورنفلس