

## حركة المياه الجوفية وتخزينها

### Movement and Storage of Groundwater

**الفكرة الرئيسية** تزود خزانات المياه الجوفية الجداول والينابيع الطبيعية والمناطق بالمياه حيثما يتقاطع منسوبها مع سطح الأرض.

**الربط مع الحياة.** هل لاحظت ينبوع ماء يتدفق مدة طويلة دون وجود أمطار؟ لا شك أن مياه الأمطار تسهم في تدفق مياه الينابيع، لكن المصدر الأكبر لهذه المياه يأتي من تحت سطح الأرض.

### The Hydrosphere الغلاف المائي

المياه الموجودة في القشرة الأرضية وعلى سطحها وفي الغلاف الجوي تشكل الغلاف المائي. وقد درست سابقاً في إطار أنظمة الأرض التي تضم كلاً من الغلاف الصخري والمائي والجوي والحيوي، أن مياه المحيطات تشكل 97% تقريباً من الغلاف المائي، بينما تشكل مياه اليابسة 3% تقريباً من الغلاف المائي، ومعظمها مياه عذبة.

وتعد المياه العذبة أكثر الموارد المتجددة أهمية وشيوعاً، وعلى الرغم من أن معظم المياه العذبة (70-80%) مخزنة على هيئة غطاء جليدي وجليديات إلا أن مياه الأنهار والجداول المائية والبحيرات تمثل جزءاً يسيراً من المياه العذبة السائلة، كما في الجدول 4-1. تذكر ما درسته سابقاً من أن الماء في الغلاف المائي يتحرك ضمن دورة الماء في الطبيعة.

الجدول 4-1 مصادر المياه على الأرض

الموقع	النسبة المئوية للمياه الكلية	حجم المياه (km <sup>3</sup> )	تقديرات متوسط زمن وجود المياه
المحيطات	97.2	1230000000	3200 سنة
الغطاء الجليدي والجليديات	2.15	28600000	20000 سنة
المياه الجوفية	0.62	8000000	200 - 20000 سنة
البحيرات	0.009	123000	عشرات السنوات
الغلاف الجوي	0.001	12700	9 أيام
الأنهار والجداول المائية	0.0001	1200	أسبوعان

### الأهداف

- تصف كيف يرتبط كل من تخزين المياه الجوفية وحركتها مع دورة الماء في الطبيعة.
- توضح المقصود بالخزان المائي الجوفي والطبقة العازلة.
- تربط بين مكونات الخزان المائي الجوفي ووجود الينابيع.

### مراجعة المفردات

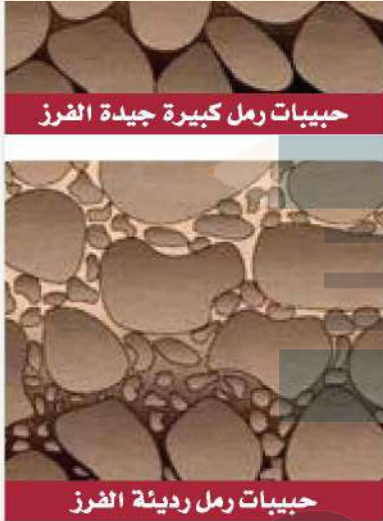
الدورة المائية: الحركة الدورانية الطبيعية المستمرة للماء ضمن أنظمة الأرض.

### المفردات الجديدة

- شرح
- نطاق الإشباع
- منسوب الماء
- نطاق التهوية
- النفذية
- الخزان المائي الجوفي
- الطبقة العازلة (الصماء)
- ينبوع
- ينبوع ساخن
- الينابيع الفوارة

الشكل 1-4 تعتمد المسامية على حجم حبيبات المادة وتنوعها.  
قارن بين المساميات المبينة في كل عينة.

**مسامية العينة غير المشروزة في الوسط هي الأقل بينما تكون مسامية الرمل كبيرة الحبيبات أكبر قليلا من مسامية الرمل الناعم الحبيبات**



## المياه الجوفية والهطول

### Groundwater and Precipitation

تعد المحيطات المصدر الرئيس لجميع المياه على سطح الأرض. تتبخر المياه خلال دورة الماء في الطبيعة إلى الغلاف الجوي على شكل بخار ماء وغيوم، ثم تقوم الرياح وأنظمة الطقس بنقل رطوبة الجو إلى جميع أنحاء الأرض، حيث يتركز معظمها فوق اليابسة (القارات)، ويحصل الهطول الذي يمثل عودة الماء إلى سطح الأرض. لاحظ أن بعض الهطول يحدث فوق المحيط مباشرة والبعض الآخر يحدث فوق اليابسة. وقد قال الله تعالى في كتابه العزيز يصف أهمية الماء: ﴿وَمِنْ آيَاتِهِ أَنْ تَرَى الْأَرْضَ خَاشِعَةً فَإِذَا أَنْزَلْنَا عَلَيْهَا الْمَاءَ اهْتَزَّتْ وَرَبَتْ إِنَّ الَّذِي أَحْيَاهَا لَمُجِي الْمَوْتِ إِنَّهُ عَلَى كُلِّ شَيْءٍ قَدِيرٌ﴾ فصلت.

وتسمى عملية تسرب مياه الأمطار بعد سقوطها على اليابسة إلى جوف الأرض **بالرشح Infiltration**، وتصبح مياهًا جوفية، بينما يجري جزء بسيط من مياه الأمطار على سطح الأرض في صورة جداول مائية وأنهار تعود مباشرة إلى المحيطات، وتتحرك المياه الجوفية في باطن الأرض حركة بطيئة وتعود في النهاية إلى السطح من خلال الينابيع (العيون)، وتنساب على شكل جداول مائية في المناطق الرطبة، ثم تتدفق عائدة إلى المحيطات.

✓ **ماذا قرأت؟** تعرّف ما المصدر الرئيس لجميع المياه على اليابسة؟

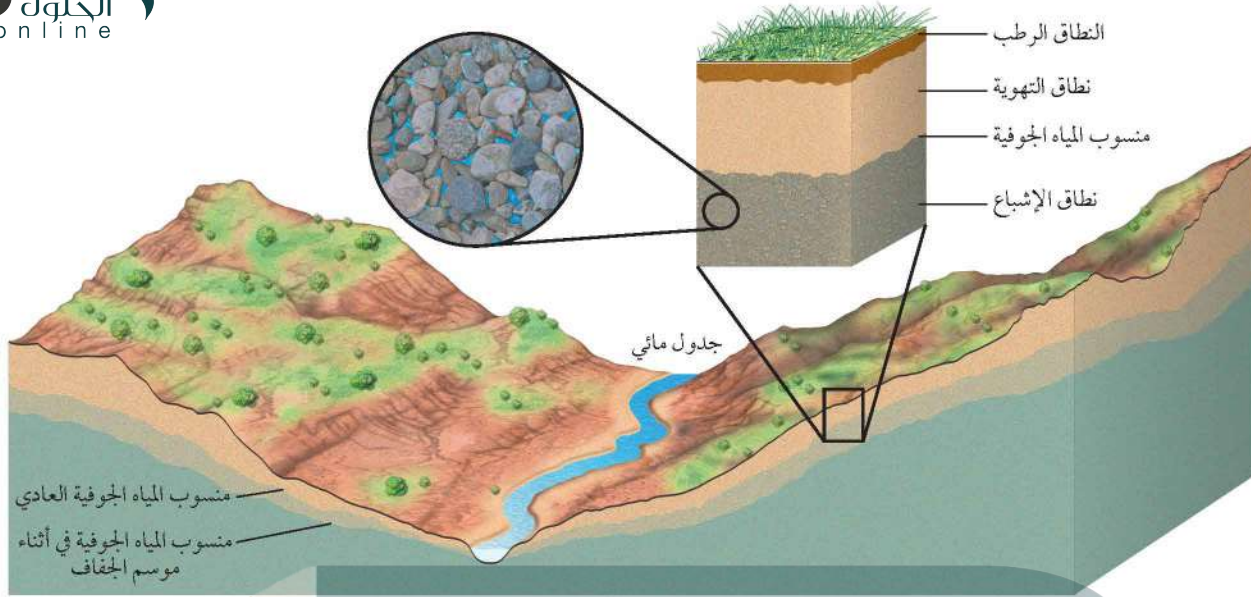
**المصدر الرئيس لجميع المياه على سطح الأرض هي البحار والمحيطات**

### تخزين المياه الجوفية Groundwater Storage

لوحظ أن البرك الصغيرة جدًا التي تنشأ عن تجمع مياه الأمطار تختفي بسرعة؛ إذ ترشح جزئيًا إلى باطن الأرض. ففي التربة الرملية غالبًا ما تتسرب المياه نحو الأسفل بسرعة. فأين تذهب هذه المياه؟ إنها تتجمع في الفراغات الصغيرة في باطن الأرض. وعلى الرغم من أن قشرة الأرض تبدو صلبة مصمتة إلا أن التربة والرسوبيات والصخور فيها عدد لا يحصى من الفراغات الصغيرة التي تسمى المسامات.

تشكل المسامات نسبة كبيرة من بعض الصخور. ويسمى الحجم الكلي للمسامات في الصخر **المسامية**. وكلما زادت مسامية الصخر سهّل تدفق الماء من خلاله إذا كانت مساماته متصلة. وتتراوح مسامية الصخور تحت السطحية بين 2% إلى أكثر من 50%. فعلى سبيل المثال، مسامية الرمل جيد الفرز 30%، ولكن في الرسوبيات رديئة الفرز تحتل المكونات صغيرة الحجم جزءًا من المسامات، ولذلك تقلل من المسامية الكلية للرسوبيات. انظر الشكل 1-4. وبالمثل فإن المادة اللاصقة التي تعمل على تماسك الحبيبات في الصخور الرسوبية معًا تقلل من مسامية الصخر. وتكون كميات المياه المختزنة في المسامات كبيرة جدًا؛ لأن حجم الرسوبيات والصخور تحت سطح الأرض ضخم جدًا.





## نطاق الإشباع The Zone of Saturation

تسمى المنطقة تحت سطح الأرض المملوءة مساماتها تماماً بالمياه الجوفية **نطاق الإشباع** **Zone of saturation**، ويسمى الحد العلوي لهذا النطاق **منسوب الماء** **Water table**. انظر الشكل 2-4. وفي نطاق التهوية **Zone of aeration** الذي يعلو منسوب الماء تكون الصخور رطبة، ولكن مساماتها غير مشبعة بالمياه، لذا يحتل الهواء جزءاً كبيراً منها.

**حركة المياه Water movement** يمكن تصنيف المياه الموجودة في نطاق الإشباع والتهوية إلى مياه جاذبية ومياه شعرية. ومياه الجاذبية هي المياه التي تتحرك إلى أسفل نتيجة الجاذبية الأرضية. أما المياه الشعرية فهي المياه التي تُسحب إلى أعلى بفعل الخاصية الشعرية، وهي موجودة فوق منسوب الماء؛ إذ تُحتجز داخل مسامات الصخور والرسوبيات بسبب التوتر السطحي. ويمكن ملاحظة فعل الخاصية الشعرية عندما نضع طرف ورق التنشيف على سطح الماء، حيث يظهر الماء وكأنه يرتفع إلى أعلى من خلال ورق التنشيف.

**منسوب المياه الجوفية The water table** يتفاوت عمق منسوب الماء في معظم الأحيان اعتماداً على الظروف المحلية. ففي الجداول المائية على سبيل المثال يكون منسوب الماء قريباً من سطح الأرض؛ إذ يصل عمق الماء إلى عدة أمتار فقط. أما في مناطق البرك فيصل منسوب الماء إلى مستوى سطح الأرض، بينما في مناطق أعلى التلال أو في المناطق الجافة يتراوح عمق منسوب الماء بين عشرات الأمتار ومئات الأمتار أو يزيد. ويوضح الشكل 2-4 كيف يأخذ شكل منسوب المياه الجوفية شكل تضاريس السطح فوقه. فعلى سبيل المثال، ينطبق شكل انحدار منسوب المياه الجوفية مع شكل الوديان والتلال التي تعلوه على سطح الأرض. ولما كان منسوب الماء يعتمد على الهطول، لذا فهو يتذبذب فصلياً وتبعاً لظروف الطقس الأخرى؛ إذ يرتفع في الفصول الرطبة وخصوصاً في فصل الشتاء، وينخفض في فصل الصيف الجاف.

الشكل 2-4 يبين نطاق الإشباع في منطقة تحت سطح الأرض. **صف** النطاق الذي يعلو نطاق الإشباع.

يقع نطاق التهوية فوق نطاق الإشباع؛ ومنسوب المياه الجوفية هو الحد بين هذين النطاقين



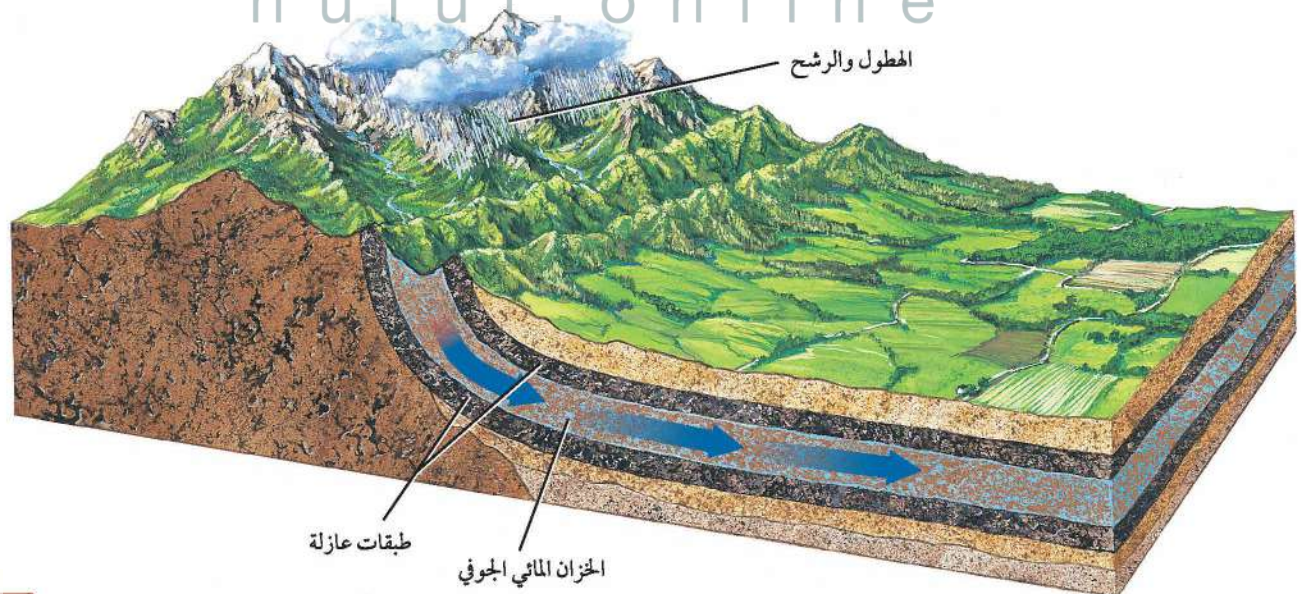
## حركة المياه الجوفية Groundwater Movement

تنساب المياه الجوفية من أعلى إلى أسفل في اتجاه ميل منسوب الماء، وعادة ما تكون هذه الحركة بطيئة؛ لأن المياه الجوفية تنساب في خلال عدد كبير من المسامات الدقيقة في المواد تحت السطح. وتسمى قابلية المادة لأنفاذ الماء من خلالها **النفاذية Permeability**. بينما المواد التي حبيباتها كبيرة ومساماتها متصلة - ومنها الرمل والحصى - تكون نفاذيتها كبيرة، وتسمح بمرور المياه الجوفية خلالها بسرعة أكبر، وتتراوح نفاذية الصخور عادةً ما بين 1 متر في اليوم إلى 1 متر في السنة.

**النفاذية Permeability** تسمى الصخور والرسوبيات المنفذة للمياه الجوفية **الخزان المائي الجوفي Aquifers**. انظر الشكل 3-4. حيث تكون مسامات صخور الخزان المائي الجوفي كبيرة ومتصلة، ومن أمثلتها الرمل. أما الصخور والرسوبيات التي تتكون من حبيبات صغيرة فإن مساماتها صغيرة ونفاذيتها قليلة وتسمى صخوراً غير منفذة، وتسمى الطبقات غير المنفذة التي تحجز الماء وتمنعه من التدفق **الطبقة العازلة (الصماء) Aquicludes**. ويكون انسياب المياه الجوفية فيها بطيئاً، ويقاس غالباً بالملمترات في اليوم. ويعد حجر الطمي والطفل والطين أمثلة على الصخور غير المنفذة؛ فالطين غير منفذ؛ لأن حبيباته دقيقة ومتراصة، وتعمل على الاحتفاظ بالماء، ولهذا السبب يُستخدم الطين طبقة مبطنة في البرك الاصطناعية، وفي مكاب النفايات.

**سرعة التدفق Flow velocity** تعتمد سرعة تدفق المياه الجوفية على انحدار منسوب المياه الجوفية ونفاذية الصخر التي تتدفق المياه الجوفية من خلاله. وتقوم قوة الجاذبية بسحب المياه إلى أسفل، ويزداد التدفق عندما يكون انحدار منسوب الماء شديداً، كما يتدفق الماء أسرع خلال الفتحات الكبيرة، مقارنةً بسرعه خلال الفتحات الصغيرة. وتتناسب سرعة تدفق المياه الجوفية طردياً مع كل من انحدار منسوب المياه الجوفية ونفاذية المادة التي يتدفق الماء من خلالها.

الشكل 3-4 الخزان المائي الجوفي طبقة مكونة من صخور منفذة ومشبعة بالماء، ويقع هذا الخزان المائي الجوفي بين طبقتين غير منفذتين تسميان طبقتين عازلتين.







الشكل 4-4 توجد الينابيع عند نقاط تقاطع منسوب المياه الجوفية مع سطح الأرض.

### الينابيع (العيون) Springs

تتحرك المياه الجوفية ببطء وباستمرار خلال الخزان المائي الجوفي، وتعود في النهاية إلى سطح الأرض. وفي معظم الأحيان تخرج المياه الجوفية من مكان تقاطع منسوبها مع سطح الأرض. ومثل هذه التقاطعات غالباً ما توجد في المناطق المنحدرة. ويعتمد مكان خروج المياه الجوفية إلى السطح على ترتيب طبقات الخزان المائي الجوفي والطبقات العازلة في المنطقة.

✓ **ماذا قرأت؟** وضح كيف يؤثر انحدار اليابسة في أماكن الينابيع.

#### إرشادات الدراسة

##### الكتابة بالمشاركة

اكتب تقريراً حول أحد الينابيع في المملكة العربية السعودية من حيث اسمه وكيفية تدفقه، ومكان وجوده وأهميته السياحية أو الزراعية.

**(يمكن أن يؤثر انحدار اليابسة) سطح الأرض في المكان الذي يتدفق منه الماء الجوفي؛ لأن الينابيع تتدفق حيثما يتقاطع منسوب الماء مع سطح الأرض؛ وتوجد هذه التقاطعات في المناطق التي تنحدر فيها اليابسة**

الأرض في منطقة التماس بينهما. انظر الشكل 4-4. يسمى هذا التصريف الطبيعي للمياه الجوفية بالينابيع **Springs**.

كما يمكن أن تخرج الينابيع عند طرف منسوب المياه الجوفية المرتفع؛ فنطاق الإشباع الذي يعلو الطبقة العازلة يفصل بين مستوى المياه الجوفية للطبقة المعلقة ومنسوب المياه الجوفية الرئيس الذي يقع أسفل منه. وهناك مناطق أخرى تخرج منها الينابيع على امتداد الصدوع.

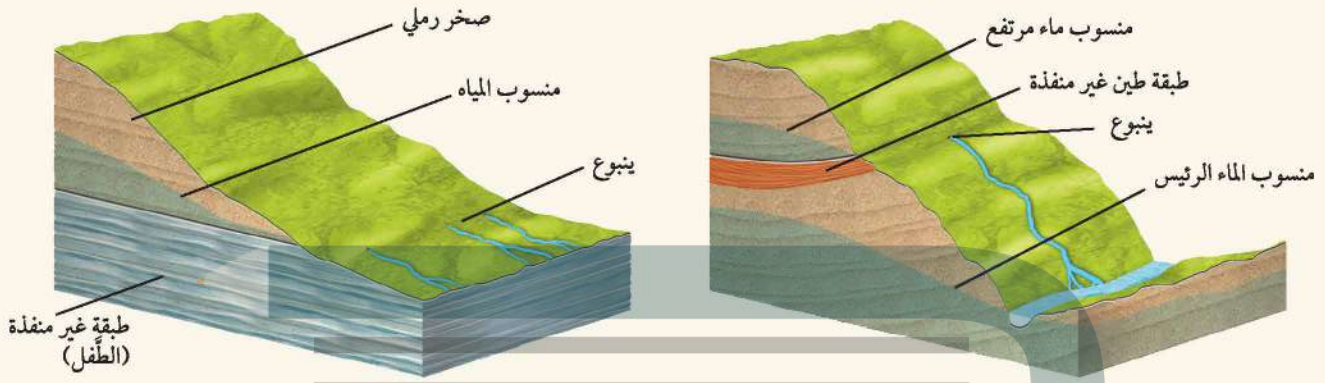
**انبثاق الينابيع Emergence of springs** قد يكون الماء المتدفق من الينابيع في صورة نر أو تسرب، وقد يشكّل جدولاً. هناك مثلاً ينابيع كبيرة تسمى ينابيع الكارست ينبثق منها نهر كامل. وتوجد ينابيع الكارست في المناطق التي تتكون من الحجر الجيري؛ حيث تتغذى مياه الينبوع من ممرات تحت الأرض. أما في المناطق التي تتكون من صخور رسوبية أفقية فيتدفق الينبوع على جوانب الوديان من قاعدة الخزان المائي الجوفي، وعلى ارتفاع واحد. كما يظهر في الشكل 4-5. وقد قال الله

تعالى: ﴿ أَلَمْ تَرَ أَنَّ اللَّهَ أَنْزَلَ مِنَ السَّمَاءِ مَاءً فَسَلَكَهُ يَنْبِيعٌ فِي الْأَرْضِ ﴾ الزمر (٢١).

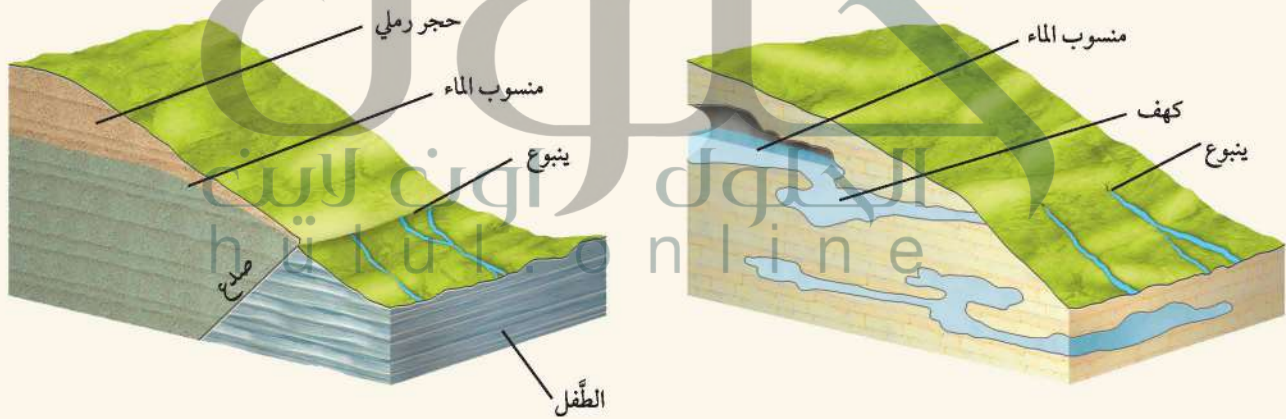
## الينابيع Springs

الشكل 4-5 تتكون الينابيع نتيجة خروج المياه الجوفية إلى سطح الأرض، وتشكل نتيجة تقاطع منسوب الماء مع سطح الأرض، ويمكن للينابيع أن يتشكل بطرائق مختلفة.

**قارن** بين نشأة أنواع الينابيع الأربعة.



يؤدي وجود طبقات غير منفذة - ومنها الطفل - فوق الخزان المائي الجوفي إلى تكوين منسوب الماء المرتفع. تتكون الينابيع نتيجة التقاء طبقة منفذة مع طبقة غير منفذة.



تتكون بعض الينابيع في مناطق الصدوع، حيث تؤدي هذه الصدوع إلى التقاء نوعين مختلفين من الطبقات؛ كأن تلتقي طبقة صخرية مسامية مع أخرى غير مسامية.

تتكون الينابيع الجيرية (Karst) في المناطق التي تعمل فيها المياه الجوفية على تجوية طبقة الحجر الجيري؛ حيث تنبع المياه من الكهوف المتصلة في جوف الأرض، فتصل إلى سطح الأرض.



ج1: عندما يهطل الماء ويرشح إلى باطن الأرض فإنه ينضم إلى المياه الجوفية وعندما يتدفق الماء الجوفي من الينابيع والآبار ينضم إلى المياه الجارية ويمكن أن يعود في النهاية إلى المحيط

ج2: تتنوع الرسوم، يجب أن تتضمن الإجابات : ينبوع ينبثق من خزان جوفي يعلو الطبقة العازلة، وكلاهما يقطع منسوب سطح الأرض

ج3: يمكن أن يسخن الماء الجوفي عندما يمر في صخور تحت سطح الأرض سسخت بفعل نشاط ناري حديث ويميل الماء الجوفي الساخن للصعود إلى الأعلى؛ لأن كثافته أقل من كثافة الماء البارد

ج4: يحدد معدل التدفق بمقدار انحدار منسوب المياه الحوفية ونفاذية التربة أو الصخور

ج5: تعتمد مسامية مادة ما عل كمية الشراغات البيئية فيها، في حين تعتمد النفاذية عل قابلية الماء للتدفق عبر الفراغات البيئية للمادة ولكي تكون الطبقة نافذة يجب أن تكون فراغاتها البيئية متصلة

ج6: تساعد الطبقة العازلة عل جمع الماء الراشح ومنعه من التسرب عميقاً في باطن الأرض مُسهّلة بذلك وصوله إلى الآبار

ج7: يترك للطالب

1. **الشكرة** **النبيلة** وضح كيف ترتبط حركة المياه الجوفية مع دورة الماء في الطبيعة؟
2. وضح بالرسم كيف تؤدي المواقع النسيبة لكل من الخزان المائي الجوفي والطبقة العازلة إلى وجود الينابيع؟
3. صف كيف تصبح مياه الينابيع ساخنة؟
4. حلل العوامل التي تحدد سرعة التدفق.

#### التفكير الناقد

5. قارن بين المسامية والنفاذية للمواد تحت السطحية.
6. استدل لماذا يعد وجود الطبقة العازلة أسفل الخزان المائي الجوفي ذات فائدة كبيرة للمجتمع؟
7. طور مجموعة من الإشارات تصف فيها أفضل الأماكن للبحث عن المياه الجوفية.

#### الكتابة في الجيولوجيا

- ترشح بعض مياه الهطول إلى جوف الأرض فتصبح مياهًا جوفية.
- تخزن المياه الجوفية في مسامات الصخور والرسوبيات وتوجد أسفل منسوب الماء.
- تتحرك المياه خلال طبقات منفذة تسمى الخزان المائي الجوفي، ويتم احتجازها بطبقات غير منفذة تدعى الطبقات العازلة.
- تنبع المياه الجوفية حيثما يتقاطع منسوبها مع سطح الأرض.