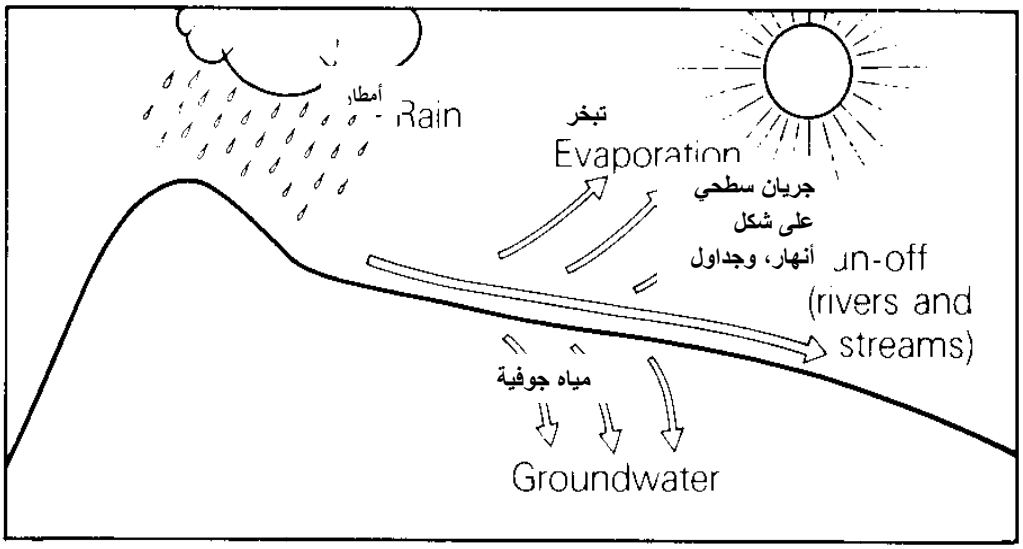
الفصل الخامس عشر

الفعل الجيولوجي للمياه الجوفية

تتوزع مياه الأمطار عندما تسقط على سطح الأرض إلى أربعة أقسام: قسم يسيل على السطح ليغذي المجاري المائية السطحية، ويمكن أن يصل إلى الأحواض، وقسم يتبخر، وآخر تمتصه النباتات، وقسم يتغلغل إلى باطن الأرض، ليغذي المياه الجوفية، وتتعلق نسبة المياه المتسربة إلى تحت السطح بكلٍ من كثافة الغطاء النباتي، وشدة انحدار الأراضي(ارتباط عكسي)، وكمية الأمطار، ودرجة نفوذية الصخور.



الشكل(15–1). توزع مياه الأمطار بين المياه الجارية ا لسطحية، والبخر، والمياه الجوفية.

15–1– المسامية، والنفوذية(Porosity and Permeability):

تعد حركة المياه الجوفية بطيئة جداً بالمقارنة مع حركة المياه الجارية السطحية، وهذا يعود إلى أن معظم المياه الجوفية تتحرك في الصخور من خلال شقوق ضيقة جداً، أو من خلال فراغات مسامية دقيقة بين القسيمات، أو الفلزات المكونة للصخور.

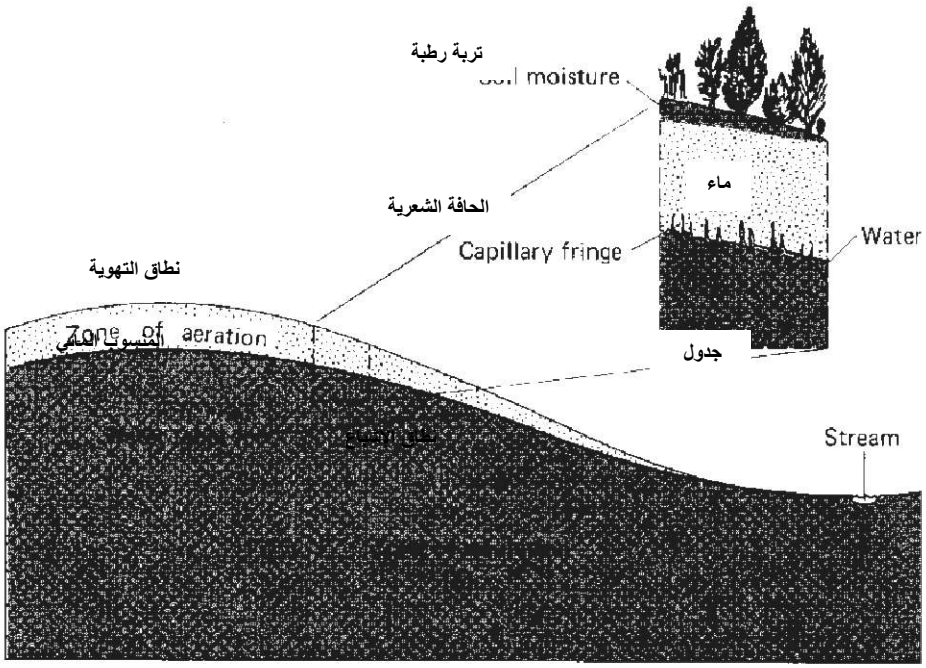
تتعلق حركة المياه في الصخور بميزتين، أو مفهومين، هما المسامية، والنفوذية. تعد المسامية مقياساً لمجموع حجوم الفراغات في الصخر، بينما تعبر النفوذية عن قدرة الصخر على إمرار المياه.

على الرغم من أن وجود المسامية العالية يعد ضرورياً ليكون الصخر نفوذاَ، إلا أنه ليس من الضروري أن يكون كل صخر ذي مسامية عالية هو صخر نفوذ، ويعود ذلك إلى سببين، الأول أنه يمكن أن تكون المسامات في الصخر عالي المسامية دقيقة جداً لدرجة أنه لا يمكن للمياه العبور من خلالها، والثاني أنه يمكن أن تكون الفراغات المسامية كبيرة إلا أنها معزولة، وغير متصلة مع بعضها بما يمكن الماء من الانتقال عبرها.

تطلق تسمية الصخور الخازنة على تلك الصخور التي تتميز بمسامية ونفوذية كافيتين لتسمحا للصخر بخزن المياه، والسماح لها بالحركة، بينما تطلق تسمية الصخور الكتيمة على تلك الصخور غير النفوذة، أو التي تتميز بنفوذية ضعيفة جداً بحيث لا تسمح للمياه بالمرور عبرها ومنها. تعد الصخور الرملية من الأمثلة الجيدة على الصخور التي يمكن أن تؤدي دور الصخور الخازنة، بينما تعد الصخور الغضارية، والملحية من الأمثلة النموذجية على الصخور الكتيمة.

15–2– المستوي/ أو المنسوب المائي(Water table):

تتغلغل نسبة كافية من مياه الأمطار إلى التربة تحت السطح، وإذا لم يتم استخدام هذه المياه من قبل النباتات، أو تتبخر إلى الجو، فإن النسبة الزائدة عن ترطيب التربة سوف تتابع سيرها نحو باطن الأرض، لتصل إلى منطقة تكون فيها كل الفراغات المسامية مملوءة تماماً بالمياه. يطلق على السطح العلوي لهذه المياه تسمية المنسوب المائي، ويطلق على المنطقة الواقعة تحت المنسوب المائي نطاق الإشباع، وعلى المنطقة الواقعة فوقه تسمية نطاق التهوية(**الشكل 15–2**).

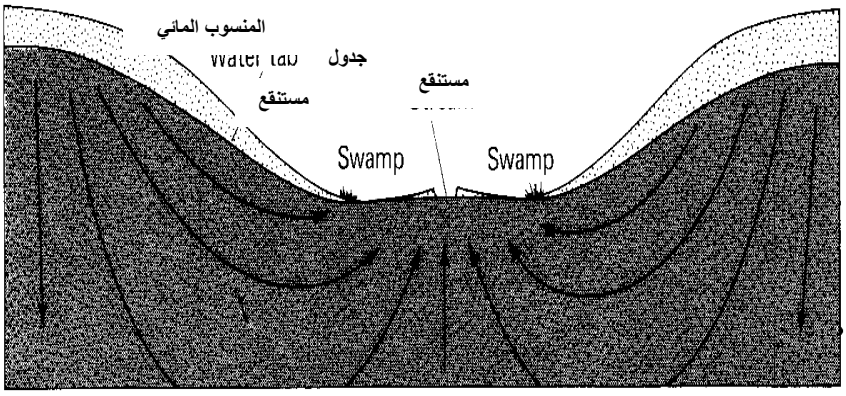


الشكل(15–2). تمر المياه المتسربة من السطح عبرنطاق التهوية، ذا المسامات المملوءة بالهواء. يمكن لبعض الماء أن يحجز بالتربة، وأن تستخدمه النباتات، وتصل بقية المياه أخيراً إلى نطاق الإشباع، حيث تكون كل الفراغات مملوءة بالمياه. يطلق على السطح العلوي لهذا النطاق تسمية المنسوب المائي، ويمكن للمنسوب المائي أن يغطى بالحافة الشعرية.

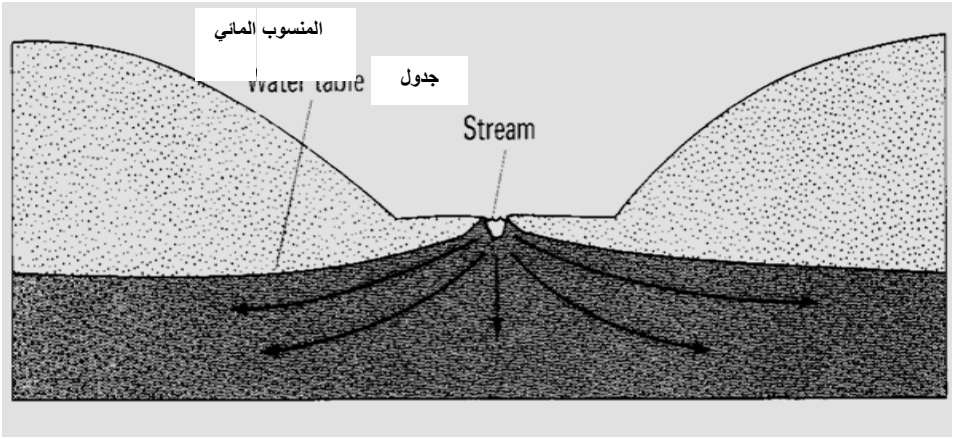
يعكس شكل المنسوب المائي شكل التضاريس التي تعلوه، حيث يكون مرتفعاً تحت المرتفعات، وينخفض مع انخفاض الارتفاع الطبوغرافي للتضاريس فوقه(الشكل السابق).

يتغير عمق المنسوب المائي مع تغير نسبة المياه المغذية الراشحة من الأعلى، فهو يرتفع عندما تزداد التغذية، والعكس صحيح.

يمكن للبحيرات، والمجاري المائية، والمستنقعات في المناخات الرطبة أن تمثل أماكن تقاطع المنسوب أو المستوي المائي مع سطح الأرض، حيث تساهم المياه الجوفية بتغذيتها(**الشكل 15– 3**)، بينما يكون المستوي أو منسوب المياه الجوفية منخفضاً في المناطق ذات المناخ الجاف، وتساهم المياه الجارية والبحيرات في المنطقة بتغذية المياه الجوفية(**الشكل 15–4**).



الشكل(15– 3). مناخ رطب تساهم فيه المياه الجوفية في تغذية المستنقعات، والبحيرات، والجداول.



الشكل(15– 4). مناخ جاف، الجدول النهري يغذي المياه الجوفية.

15–3– حركة المياه الجوفية:

تتحرك المياه الجوفية بفعل الجاذبية من الأعلى نحو الأسفل، وفقاً لانحدار المنسوب المائي، وما يسمى بالتدرج الهيدروليكي. ويحسب التدرج الهيدروليكي بين نقطتين عن طريق الفرق بين ارتفاع منسوب المياه بين هاتين النقطتين، مقسوماً على طول المسافة الفاصلة بينهما .

اقترح هنري دارسي(Henri Darcy) العلاقة التالية للتعبير عن سرعة جريان المياه الجوفية:

$$V = \frac{K(h_2 - h_1)}{L}$$

حيث V= السرعة، K= معامل يتعلق بالنفوذية، وبلزوجة المياه، وبالتسارع الجذبي، h_2, h_1 = فرق الارتفاع بين النقطتين اللتين يتم القياس بينهما، L= طول المسافة بين النقطتين المعنيتين.

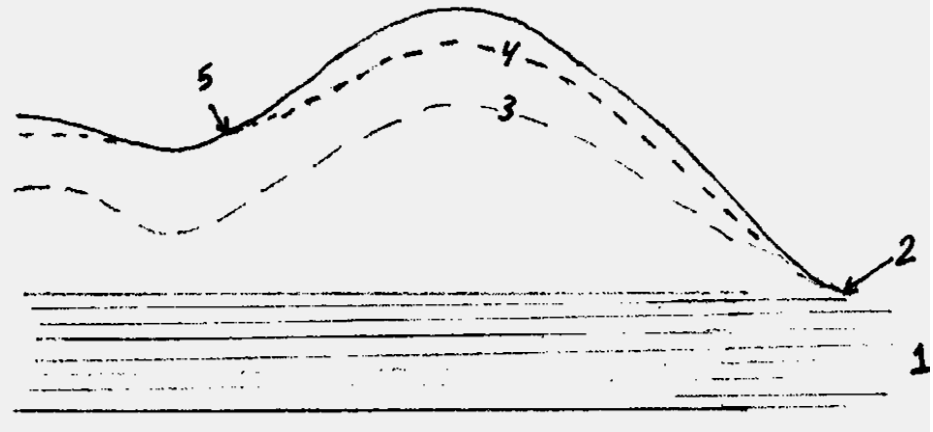
15–4–الطبقة المائية(Aquifer):

تطلق تسمية الطبقة المائية أو الطبقة الحاملة، على تلك الطبقة الصخرية تحت سطح الأرض، التي تختزن المياه، وتسمح لها بالحركة نحو الآبار عند الإنتاج.

15–5–الينابيع (Springs):

يؤدي تقاطع منسوب المياه الجوفية مع سطح الأرض إلى تدفق هذه المياه على السطح مشكلةً ما يسمى بالينابيع. ويميز عادةً بين عدة أنواع من الينابيع، وهي:

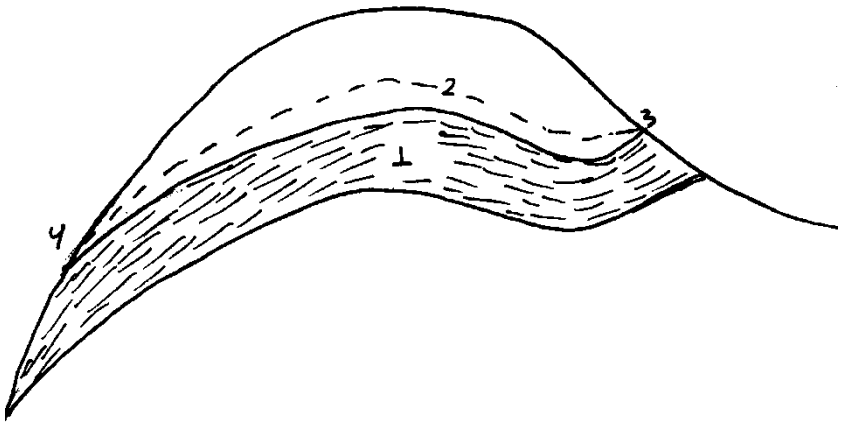
1- ينابيع الوادي: وهي ينابيع موسمية، تتواجد عادةً في المناطق الجبلية، وتتشكل نتيجةً لتقاطع منسوب المياه الجوفية مع سطح الأرض في الأودية(الشكل 15- 5).



الشكل(15– 5). مخطط توضحي لتكون كل من ينبوع الوادي، والينبوع الطبقي.

1– طبقة كتيمة. 2– نبع طبقي. 3– المنسوب المائي. 4– سوية المنسوب المائي في الموسم الماطر. 5– نبع وادي.

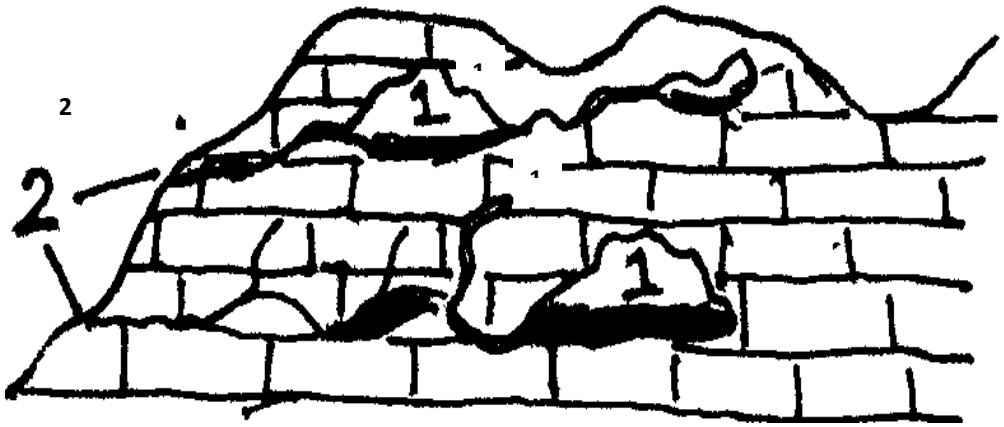
2- ينابيع طبقية: وهي تنتج عن تقاطع الطبقة الكتيمة التي تحمل فوقها المياه مع سطح الأرض، و يميز عندما تكون الطبقة الكتيمة ملتوية بين كلٍ من الينابيع الصاعدة، وذلك عندما تقطع السطح في إحدى نقاط نهوضها، وينابيع الانصباب، وذلك عندما تقطع السطح في إحدى نقاط انحدارها(الشكل 15- 6)



الشكل(15-6). مخطط توبضحي للينابيع الصاعدة، وينابيع الانصباب.

1- طبقة كتيمة. 2- المنسوب المائي. 3- نبع صاعد. 4- نبع انصباب.

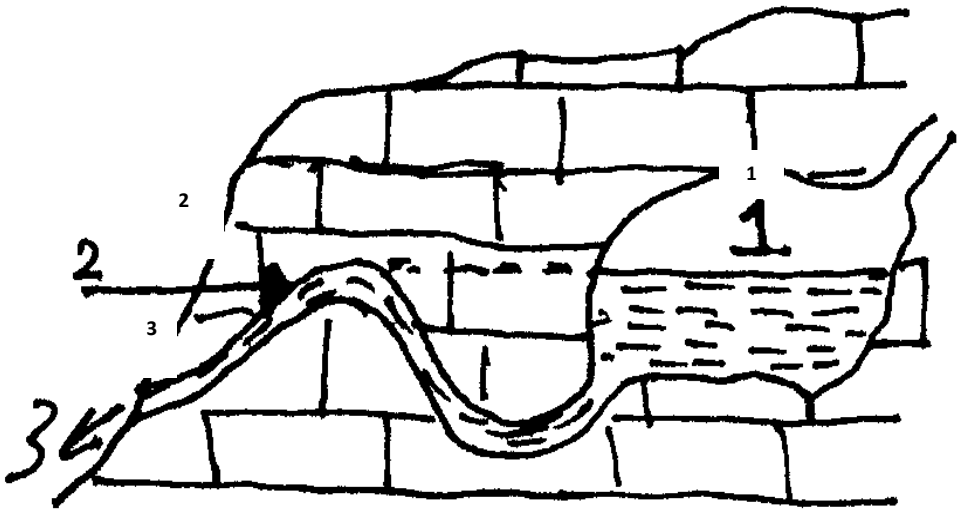
3- ينابيع السواقي الجوفية: تكثر هذه الينابيع في المناطق الجبلية المكونة من صخور كربوناتية، وتتشكل نتيجة حفر المياه الجوفية حفراً وكهوفاً في الصخور الكربوناتية وتستمر في الحفر لتشق طريقها إلى السطح(**الشكل 15- 7**).



الشكل(15– 7). رسم توضيحي لينابيع السواقي.

1– بحيرة جوفية. 2– ينابيع سواقي

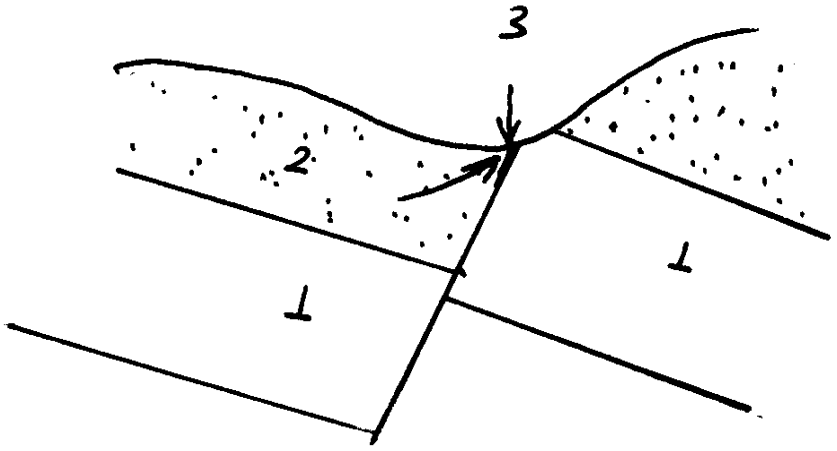
كما يمكن أن يتعقد طريق السواقي التي تغذي ينابيع السواقي، ويؤدي إلى تشكل ينابيع تظهر حيناً، وتختفي حيناً آخر، فتسمى الينابيع المتقطعة(الشكل15–8).



الشكل(15– 8). رسم تخطيطي لنبع متقطع.

1– بحيرة جوفية. 2– ممص. 3– نبع متقطع.

4- الينابيع الفالقية: وهي تتشكل نتيجة لتقابل طبقتين كتيمة، وحاملة على جانبي فالق(**الشكل 15– 9**).



الشكل(15– 9). نبع فالقي.

1– طبقة كتيمة. 2– طبقة نقوذة. 3– نبع فالقي.

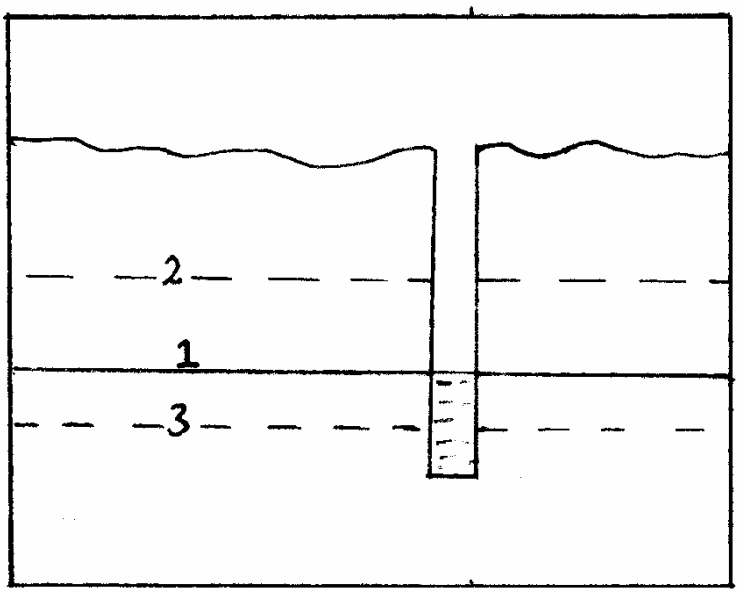
5- الينابيع الحارة: وهي عبارة عن ينابيع اكتسبت حرارتها من التسخين الداخلي للأرض، وتطلق تسمية الينابيع الحارة على تلك الينابيع، التي تزيد درجة حرارة مياهها عن حرارة الجو المحيط بها بمقدار ست درجات مئوية أو أكثر. ترتبط معظم هذه الينابيع بحواف الصفائح التكتونية، وبالمناطق البركانية، حيث تتسخن المياه الجوفية المتسربة، وعندما تسمح لها الظروف الطبيعية تظهر من جديد على شكل ينابيع حارة.

6- الفوارات الحارة(Geysers): تعد الفوارات الحارة نوعاً من الينابيع الحارة، لكن بدلاً من أن تتدفق بلطف وبشكل مستمر فإن مياهها تتدفق بنوع من العنف، وبشكلٍ متقطعٍ، حيث تؤدي طبيعة ترتيب الممرات المائية والتغذية تحت السطح إلى تراكم الضغط ليؤدي إلى اندفاع فجائي للمياه نحو الأعلى، وتحرر الضغط، وانخفاضه، ثم يتراكم الضغط من جديد، ليصل إلى المرحلة التي تندفع فيها المياه من جديد، وهكذا.

15–6– الآبار، والآبار الارتوازية(Wells an artesian wells):

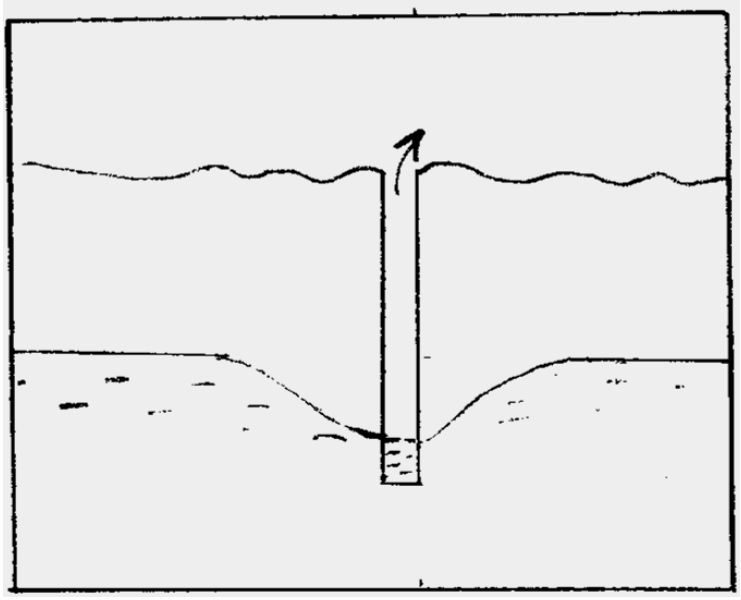
يتم اللجوء عادةً إلى حفر الآبار المائية لسد الحاجة المتزايدة إلى مياه الشرب، أو مياه الري، ويقدر عدد الآبار التي تحفر سنوياً على مستوى الكرة الأرضية بمئات آلاف، أو حتى ملايين الآبار، فيقدر عدد الآبار التي تحفر سنوياً في الولايات المتحدة الأمريكية لوحدها بحوالي 400.000 بئر. لا شك بأن هذا العدد الكبير من الآبار، سيؤثر على مستوى المياه الجوفية، وخاصةً في الأماكن ذات المناخات الجافة، أو شبه الجافة، كما أن الخطأ في الحفر يمكن أن يؤدي إلى غور مياه الطبقة الحاملة إلى أعماق الأرض، كما يمكن أن يؤدي الاستغلال الجائر لآبار المياه إلى جفاف هذه الآبار نهائياً.

تندفع مياه الطبقة المائية الحاملة نحو البئر، لتملؤه إلى مستوي منسوب المياه(الشكل 15-10)، وإذا ما تم ضخ المياه من البئر، فإنه سيتم تعويضه من مياه الطبقة الحاملة بشكلٍ دائم، ولكن إذا كانت سرعة ضخ المياه من البئر، أكبر من سرعة تعويضها من الطبقة المائية حوله، فإن منسوب المياه حول البئر سينخفض عن منسوب المياه العام، ليأخذ شكلاً مخروطياً، يدعى مخروط الانخفاض(Cone of depression)(الشكل 15- 11)،



الشكل(15– 10). امتلاء البئر بالمياه حتى الوصول إلى المنسوب المائي، وتغير المنسوب المائي بين الفترات الماطرة، وفترات الجفاف.

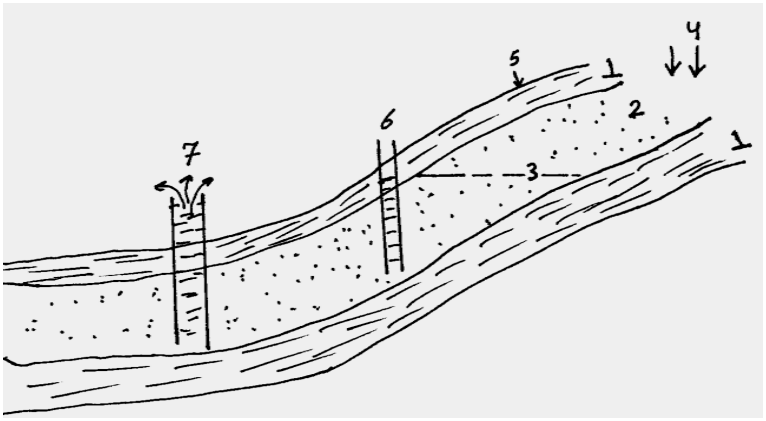
1– المنسوب المائي. 2– ارتفاع المنسوب المائي في فترة الهطول الغزير للأمطار. 3– هبوط المنسوب المائي في فترة الجفاف.



الشكل(15– 11). تشكل مخروط الانخفاض حول البئر بسبب زيادة سرعة

ضخ المياه عن سرعة تعويضها من الطبقة المائية

يمكن للمياه أن تتدفق من بعض الآبار تلقائياً، وتسمى الآبار في هذه الحالة الآبار الارتوازية. تتشكل الآبار الارتوازية عندما تتواجد المياه في طبقة مائية مقعرة تمتد حتى المرتفعات المجاورة ، وتكون محصورة بين طبقتين كتيمتين، وتتم تغذيتها بشكلٍ كافٍ من المرتفعات، ويكون مستوى موقع البئر أخفض من المنسوب العام للمياه في الطبقة الحاملة(الشكل 15- 12).



الشكل(15– 12). مخطط توضيحي لبئر عادي، وبئر إرتوازي.

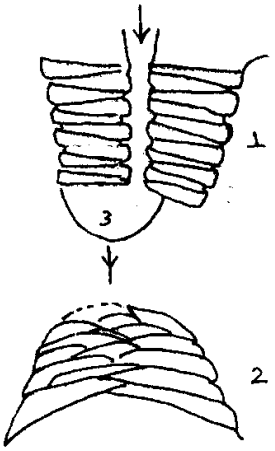
1– طبقة كتيمة. 2– طبقة حاملة. 3– منسوب الماء. 4– مياه تغذية. 5– سطح الأرض. 6– بئر عادي. 6– بئر ارتوازي.

15–7– الحت الكارستي وتشكل الكهوف، والصواعد والنوازل(Caves, stalagmite, stalactite):

تقوم المياه الجوفية بحل الصخور الكلسية، وبسرعة أقل الصخور الدولوميتية، مشكلة أنواع مختلفة من الفجوات،والغرف، والتعرجات مختلفة المقاييس. يمكن للمياه الجوفية أن تحل أيضاً صخور الجص، والصخور الملحية، لكن وبسبب سرعة الانحلال العالية لهذه الصخور فإنها سرعان ما تتهدم تحت ثقل الطبقات العليا.

تتمثل المرحلة الأولى في تشكل الكهوف بمرحلة الانحلال، التي تؤدي إلى تآكل، وإذابة الصخور الكربوناتية، لتشكل فراغات، وحفر، وغرف صغيرة، تجتمع لتشكل كهوف كبيرة، وتستمر العملية تحت المنسوب المائي، وتمتلئ الكهوف بالمياه، ومع انخفاض المنسوب المائي، وتصريف المياه من الكهوف تبدأ المرحلة الثانية، وهي مرحلة الترسيب. تحمل المياه المتسربة إلى الكهوف من الجدران والسقوف في هذه المرحلة بيكربونات الكالسيوم المذابة، والتي تترسب بأشكالٍ متنوعة، أهمها النوازل، التي تنمو من سقف الكهف نحو الأسفل، وتتميز بوجود قناة مركزية تمر منها قطرات الماء المتساقطة من سقف المغارة، وتتشكل نتيجة لتحرر غاز ثاني أكسيد الكربون، وترسب كربونات الكالسيوم التي ترتصف بصورة شعاعية حول القناة المركزية؛ والصواعد، التي تنمو من أرضية الكهف نحو الأعلى، وتتشكل من بقايا كربونات الكالسيوم التي سقطت مع قطرة الماء، وتكون ممتلئة، ومؤلفة من طبقات متتالية (الشكل 15- 13).

إذا ما كبرت مقاييس الكهوف بقدر كافٍ، فإن الطبقات العليا تبدأ بالسقوط ويدعى الشكل الطبوغرافي الناتج بالكارست(Karst)، وذلك نسبة إلى منطقة كارست في شمال شرق إيطاليا، وشمال غرب يوغوسلافيا السابقة.



الشكل(15– 13). رسم توضيحي لنازلة، وصاعدة.

1– نازلة. 2– صاعدة. 3– قطرة ماء.

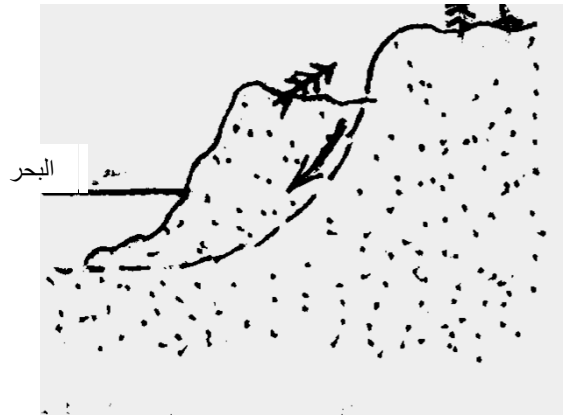
15–8– صخور الترافرتين(Travertine rocks):

يمكن أن يترسب حول بعض الينابيع رسوبيات مكونة بشكلٍ رئيس من كربونات الكالسيوم، تدعى الترافرتين(Travertine)، وهي عبارة عن صخور فاتحة اللون، صلبة، ومرتفعة المسامية، وتدعى صخور الترافرتين المرتفعة المسامية إلى حدٍ كبير بالطف الكلسي(calcareous tufa). يشكل الترافرتين الصواعد، والنوازل في الكهوف، والمغارات الكلسية، كما يملأ بعض العروق، والأقنية في الينابيع الحارة.

يمكن للطف(Tufa) أن يكون سيليسي التركيب، وخاصة حول الينابيع الحارة، حيث يتكون بشكلٍ رئيس من أكسيد السيليسيوم المائي، كما يمكن أن يكون غنياً بأكاسيد الحديد المائية.

15–9– الانهيارات، والانزلاقات الناجمة عن فعل المياه الجوفية:

تحدث الانزلاقات، والانهيارات الأرضية في المناطق المنحدرة، عندما تتواجد طبقة نفوذة فوق طبقة كتيمة، وخاصة إذا كانت هذه الأخيرة غضارية التركيب، حيث تصبح هذه الطبقة زلقة عندما تشبع بالمياه، وتصبح الطبقات الصخرية فوقها غير قادرة على الاستقرار، بحيث يمكن أن يؤدي أي سقوط غزير للأمطار، أو أية هزة أرضية إلى انزلاقها نحو أسفل المنحدر، كما يمكن لكلٍ من الانزلاقوالانهيار أن يحدث تحت تأثير الحت النهري لجوانب المجرى، والحت البحري للشواطئ المجاورة، وكذلك بفعل أعمال الحفر المفتقرة للدراسات الكافية(الشكلين 15– 14 و 15– 15).



الشكل(15– 14). انزلاق أرضي بفعل الحت البحري.

الشكل(15– 15). انزلاق أرضي بفعل الحت النهري.