مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (32) العدد (1) 2010
Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies - Engineering Sciences Series Vol. (32) No. (1) 2010

الهيدروجيولوجيا الكارستية
(والمياه الجوفية في الصخور الكلسية)

محمود نبع *

(تاريخ الإيداع 27 / 10 / 2009. قُبِل للنشر في 25 /1 /2010)

□ ملخّص □

يتناول البحث الهيدروجيولوجيا الكارستية، وأنواع الصخور الكلسية، والصخور الحاوية على الماء ويقوم بدراسة التركيب الكيميائي، والنفوذية، والمسامية، والذوبان، لهذه الصخور، والعوامل الفيزيائية، والكيمائية التي تؤدي إلى انحلالها وذوبانها، وأهمية هذا الانحلال وما ينتج عنه من فجوات وشقوق وتجاويف، ودراسة هذه الشقوق وأصلها وعوامل تكوينها وأهميتها وتأثيرها في الصخور الكلسية، ودراسة الميزات الهيدروجيولوجية للصخور الكلسية، بدراسة جريان المياه الباطنية وأنواع هذا الجريان وميزاته، وتأثير الشقوق والتجاويف والفجوات في هذا الجريان، ودراسة المناطق الهيدروجيولوجية من منطقة الإشباع، ومنطقة التهوية، والسطح الحر، ودراسة الميزات الليتولوجية، والستراتيغرافية، ودور التبدلات في شكل الأرض، وما لهذه الدراسة من دور كبير في الهيدروجيولوجيا الكارستية.

الكلمات المفتاحية: الصخور الكارستية، المياه الكارستية، الهيدروجيولوجيا.

* مشرف على الأعمال – قسم الهندسة المائية – كلية الهندسة المدنية – جامعة تشرين– اللاذقية– سورية.

مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (32) العدد (1) 2010
Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies - Engineering Sciences Series Vol. (32) No. (1) 2010

Karst Hydrogeology
Ground Water in Oolitic Rocks

Mahmoud Nabeh*

(Received 27 / 10 / 2009. Accepted 25 / 1 / 2010)

□ ABSTRACT □

This article deals with karst hydrogeology which studies the kinds of Oolitic rocks and water conservation that has chemical embossing permeability, porosity and fluxing capability. It also studies physical and chemical factors which lead to the dissolution and dissolve of Oolitic rocks, this dissolution and what produces from gulfs, cleavages and cavities, the study of these cleavages, their origin, composition factors, importance and their effect in Oolitic rocks. This article also focuses on the study of hydro geological advantages of the Oolitic rocks by studying ground water flowing and kinds of this flowing, advantages, effect of cleavages, cavities and gulfs in this flowing. It also deals with the study of the hydro geological areas, from zone of saturation, zone of aeration. Then it focuses on the study of lithogical and strotigrophical advantages and the role of the changes in the shape of Earth and what a great role this study has in the karst hydrogeology.

Key words : Karst Water, Karst RocksKarst, Hydrogeology

*Work Supervisor Department of Water Engineering Civil Engineering Faculty, Tishreen University, Lattakia, Syria.

مقدمة:

إن الماء هو الحياة، فعند وجود الماء توجد الحياة، وأغلب الحضارات أنشئت على ضفاف الأنهار ومكان مصادر المياه، ومع تتطور الإنسان ازدادت حاجته للمياه وازداد طلبه لها، فأصبح يبحث عن مصادرها ويعمل على الاستفادة منها، وذلك بإنشاء الكثير من السدود والخزانات في أودية الأنهار، كما أصبح يبحث عن جميع أنواع المياه الجوفية، بما فيها الكارستية كداعمة للمياه السطحية ليستمر في وجوده وتطوره .

أهمية البحث وأهدافه:

إن الانتشار الواسع للصخور الكلسية الكارستية في العالم جعل المياه الكارستية تتمتع بأهمية كبيرة في الاقتصاد الوطني، فهي تستخدم غالباً لإمداد المناطق السكنية والمصانع بالمياه اللازمة ولري الأراضي الزراعية، وقد تعرقل هذه المياه حفر مكامن المواد الخام وتغرقها، وكذلك تعقد وتعيق إنشاء السدود وخزانات المياه في أودية الأنهار، وذلك بسبب الخطر الكبير لتسرب هذه المياه إلى التجاويف والفجوات الكارستية، وقد يكون من الخطر الجسيم إنشاء وتشييد الأبنية العالية والضخمة فوقها و مد القضبان الحديدية عليها، حيث تكون أمثال هذه المناطق معرضة لهبوط وانهيارات على سطح الأرض. وفي السنوات الأخيرة ازداد الاهتمام بدراسة الكارست في مختلف البلدان نظراً للاستفادة من الفجوات والتجاويف الكارستية لبناء المحطات الكهربائية والكثير من المنشآت الأخرى.

طرائق البحث ومواده:

تتألف الصخور الكلسية من النماذج الرئيسية التالية :

1- الصخور الكلسية النقية (Oolitic Rocks).
2- الصخور الحوارية أو الطباشيرية (Chalk Rocks).
3- الصخور الكلسية الدولوميتية (Oolitic Dolomit Rocks).
4- الصخور الكلسية المارنية (Clay Oolitic Rocks).

إن دراسة هذه الصخور مهمة لأنها تؤلف (5-10)% من الصخور الرسوبية في القشرة الأرضية، وهذه الدراسة يجب أن تكون على أسس هيدرولوجية، و هيدروجيولوجية، ويجب أن تكون متناسبة مع الصفات الرئيسية للمادة المحتوية على الماء، حيث تخضع هذه النظريات للملاحظة و التجربة.

لقد سمحت الدراسة الهيدرولوجية الخاصة للصخور الكلسية من الجيولوجيا والهيدروجيولوجيا بتطبيق مفهوم أكثر دقة ووضوح للهيدرولوجيا الكارستية، لذلك سوف نقوم بدراسة المواضيع التالية :

1- دراسة الصخور الكلسية الحاوية على الماء.
2- الميزات الهيدرولوجية للصخور الكلسية .
3- دور الليتولوجية و الستراتيغرافية في الكارست.
4- دور التبدلات في شكل الأرض للكارست.

قبل البدء بالدراسة لا بد من شرح وتوضيح المصطلحات الآتية :

- الليتولوجيا (Lithogy) : وهو العلم الذي يدرس الصخور وخواصها .
- الستراتيغرافيا (Stratigraphy): وهو العلم الذي يدرس الطبقات عملياً .
- الجيومورفولوجيا (Geomorphology): وهو العلم الذي يدرس شكل الأرض وتطوره .

أولاً: دراسة الصخور الحاوية على الماء :

تلعب الميزات الخاصة للصخور الكلسية الدور الرئيسي في الدراسة الهيدروجيولوجية الكارستية ومن أهمها :

- التركيب الكيميائي(Chemical embossing) .
- قابلية الذوبان (Fluxing Capability) .
- المسامية (Porosity) .
- النفوذية (Permeability) .
- التشقق (Cleavage) .

1-التركيب الكيميائي للصخور الكلسية :

تحتوي الصخور الكلسية على كربونات الكالسيوم ($CaCO_3$)، وتكون هذه الصخور نقية عندما تكون نسبة CaO وCO_2 الداخلة في تركيبها على الترتيب تعادل (56.4%) و (% 43.96) .

وبشكل عام إن النسبة المئوية لقيمة (CaCO) في الصخور الكلسية الكارستية بين% (64 – 98).

تزداد هذه النسبة عن(90%) في الصخور الكلسية الكارستية المتطورة .

تقل هذه النسبة عن(90%) في الصخور الكلسية الكارستية غير المتطورة .

إن العوامل التي تؤثر في تطور الصخور الكلسية الكارستية هي :

1- التركيب الكيميائي للصخور الكلسية .
2- صفات المادة التي لا تذوب في الماء، المتنقلة بعد الانحلال .
3- وجود التجاويف .
4- وجود التصدعات الخصبة .

ويجب أيضاً معرفة نسبة كربونات المغنيزيوم ($Mg\ CO_3$) .

2-قابلية الذوبان للصخور الكلسية :

تتكون الصخور الكلسية بشكل رئيسي من كربونات الكالسيوم ($CaCO_3$) حيث تقوم المياه النقية بحل هذه الصخور عندما تكون بحالة الإشباع .

و حالة الإشباع هي انحلال (16) ملغ من $CaCO_3$ في لتر ماء بدرجة حرارة 16 درجة مئوية .

أما كربونات المغنيزيوم ($Mg\ CO_3$) فيكون ذوبانها أقل بعشرين مرة من ذوبان كربونات الكالسيوم تقاس درجة انحلال الأملاح في الماء بالدرجة الفرنسية (dH) وهي تقيس الأملاح المنحلة في الماء وتعادل انحلال (10) ملغ من كربونات الكالسيوم ($CaCO_3$) في لتر ماء .

إن (CO_2) يتواجد في الماء إما على شكل غاز حر وهو الأكثر تواجداً، أو على شكل حمض الفحم (H_2CO_3) ولكن بنسب ضعيفة، ويتم ذلك حسب المعادلة :

$$CO_2 + H_2O \leftrightarrows H_2CO_3 \qquad (1)$$

إن هذا الحمض يحول كربونات الكالسيوم ($CaCO_3$) إلى بيكربونات الكالسيوم $Ca(CO_3H)_2$

حسب المعادلة :

$$H_2CO_3 + CaCO_3 \leftrightarrows Ca(CO_3H)_2 \qquad (2)$$

بجمع المعادلة (1) مع (2) نحصل على المعادلة العامة للمحلول المائي بوجود (CO_2)

$$CaCO_3 + CO_2 + H_2O \leftrightarrows Ca(CO_3H)_2 \qquad (3)$$

تتعلق كمية (CO_2) الموجودة بالماء بدرجة الحرارة والضغط وتتناسب معها طرداً .

وبشكل عام فإن (CO_2) الذي يتدخل في انحلال كربونات الكالسيوم ($CaCO_3$) يتواجد في الماء بأربع حالات :

1- غاز(CO_2) متحد بالكالسيوم بقوة على شكل $CaCO_3$ لا يمكن فصله إلا بحمض قوي .

2- غاز(CO_2 متحد بالكالسيوم على شكل $Ca(CO_3H)_2$ وهو ناتج عن تفاعل الكربونات الكلسية مع (CO_2) .

3- غاز(CO_2) حرّ أو غير حرّ ينحل فيزيائياً في الأسفل، حسب قانون (Henry) حيث أن الانحلال يتعلق بالجو المحيط وتتأثر بالضغط ودرجة الحرارة .

4- غاز(CO_2) حر ينشط التفاعلات الكيميائية إذا كان بشكل زائد .

إن التغير في كمية (CO_2) يغير من انحلاله، فعندما تزداد كميتة يؤدي إلى إتمام المعادلة (3) من اليمين إلى اليسار وبسرعة كبيرة، والعكس بالعكس .

إن انحلال الصخور الكلسية يتعلق بعاملين هما:

أ- عوامل فيزيائية كيميائية .

ب-عوامل بيولوجية .

▪ **العوامل الفيزيائية الكيميائية** (Physical and Chemical factors):

أ- التغيرات في محتوى غاز الكربون في الهواء الموجود بالتربة :

يتراوح محتوى (CO_2) في الهواء مابين(2.5 – 3.5) لكل (10000) م3 هذا المستوى الضعيف يكفي كي يضاعف القوة المذيبة للماء بمقدار أربع مرات، وفي هذه الشروط يحتفظ بحد الإشباع وهو انحلال (64) ملغ من $CaCO_3$ في لتر ماء، وبالتالي، تكون الدرجة القياسية لحد الإشباع (dH) تساوي (6.4) .

ب- التغيرات في محتوى غاز الكربون في الماء :

بما أن نسبة(CO_2) في الهواء تكون ثابتة نسبياً، وبالتالي تتغير الاستطاعة المذيبة لغاز(CO_2) تحت تأثير درجة الحرارة و الضغط وقيمة (dH) .

-إن عامل الحرارة هو الأكثر أهميةً والأكثر تعقيداً، حيث أن انحلال غاز الكربون في الماء يتناقص مع ارتفاع درجة الحرارة، بينما تتزايد كمية غاز الكربون الناتجة من الحمض الكربوني، وكذلك يتناقص انحلال كربونات الكالسيوم، وبالتالي، فالمعادلة (3) تتجه من اليمين إلى اليسار مادامت درجة الحرارة بين الصفر والثلاثين مئوية، أما إذا زادت عن ذلك فتتجه من اليسار إلى اليمين، وينطلق غاز الكربون، وتترسب كربونات الكالسيوم وفق المعادلة :

$$CaCO_3 + CO_2 + H_2O \leftarrow Ca(CO_3H)_2$$

وبقياس قيمة (dH) نستطيع الموازنة بين كمية $CaCO_3$ و غاز (CO_2) الحر .

-أما تأثير عامل الضغط فهو ضعيف جداً يمكن إهماله .

▪ **العوامل الفيزيائية البيولوجية** (Physical and biological factors):

تقوم العوامل البيولوجية بتغيير محتوى(CO_2) في الهواء مباشرةً، أو بوساطة الغلاف الجوي، آخذين بالاعتبار :

أ- تنفس النباتات يزيد من كمية غاز (CO_2) في الهواء .

ب- التخمر يمد غاز (CO_2) ويزيد إنتاج حمض الأميك .

ت- تفسخ المواد العضوية يحرر غاز (CO_2) .

وأخيراً وبعد دراسة انحلال كربونات الكالسيوم في المياه نلاحظ :

- أن هذا الانحلال يعتمد على تأثير التغيرات الحرارية وقيمة(dH) ، فتكون :

. التغيرات الحرارية في الشروط الطبيعية قليلة داخل الترب الكثيفة والمتراصة .

- التغيرات الحرارية في الشروط الطبيعية كبيرة وفعالة في الترب التي تحوي على تجاويف باطنية، مما يؤدي إلى زيادة أو نقصان في قوة الإذابة مشكلة ما يسمى بالرواسب الكلسية.

- إن حركة الماء تولد طاقة مذيبة تفوق الطاقة المذيبة للماء الساكن .
- إن الماء المحمّل بغاز الكربون يسبب حتاً للصخور الكلسية، وهذه الظاهرة أساسية ومحددة للصفات الهيدروجيولوجية الكارستية .
- إن انحلال $CaCO_3$ في الماء يكون داخل الصخور الكلسية مباشرةً، أو مصحوباً بالتحول إلى بيكربونات الكالسيوم $Ca(CO_3H)_2$ ، وينتج عن هذا الانحلال رواسب صلبة (غضارية أو سيلسية أو فوسفاتية أو مركبات الحديد ...) وهذه الرواسب تقوم بسد الشقوق والممرات الجوفية، وبعضها يكون فعالاً لإنتاج الصخور الكلسية النقية .
- إن الصخور الكلسية لا تتطور إلاّ في الصخور الغنية بكربونات الكالسيوم .

3-مسامية الصخور الكلسية :

وتعرف المسامية بأنها مجموع الفراغات الموجودة في الصخر المطلق الجاف .

والهيدروجيولوجيا تميز بين ثلاثة أنواع للمسامية : عامة (مطلقة)، ومفتوحة (مشبعة)، وديناميكية (فعالة) ويطلق رمز المسامية في معظم الأحيان على المسامية العامة والتي تحدد كميا ًبنسبة حجم كل الفراغات (V_p) إلى الحجم الكلي للصخر (V) ويعبر عنها بالرمز P حيث :

$$P = V_p / V$$

وتتشكل المسامية بالصخور الرخوة على حساب الفراغات بين أجزاء الصخر، أما في الصخور القاسية فتتشكل على حساب التشقق، كما هو الحال في الصخور الكلسية المفرّغة، حيث تقسم بحسب طبيعة امتدادها وشكلها إلى نموذجين أساسيين:

أ- الفجوات (gulfes).

ب- الشقوق والتجاويف (Cleavages and cavities).

وبحسب الدراسة الهيدرولوجية فإن الصخور المفرغة تحتوي عادة على شقوق مختلفة التوسع، صغيرة، أو واسعة، أو فجوات، وللعوامل التكتونية والبتروغرافية والليتولوجية الأثر الكبير في تشكل هذه الشقوق. ويتم حساب

مسامية الصخور في المختبر، بإجراء التجارب على عينات وكتل مأخوذة من الصخور المفرغة، التي تنتشر فيها الشقوق والتجاويف بشكل عام، والجدول رقم (1) يبين المسامية لبعض الصخور الكربونية .

الجدول رقم (1) المسامية الإجمالية لبعض الصخور

نوع الصخر	المسامية الإجمالية %
رخام	0.59 – 0.11
صخور كلسية رسوبية متراصة	2.55 –0.67
صخور حوارية	43.9 – 14.4
صخور كلسية أوليتية	20.2 – 13.6
حجر رملي	20
دولوميت	0.8 – 1.5

من الجدول نلاحظ أن المسامية تتأثر بالخصائص الليتولوجية لهذه الصخور، فتكون قيمتها صغيرة في الصخور الكلسية المتراصّة والكريستالية البنية مثل الرخام، والذي يعتبر من الصخور الكتيمة، وتزداد المسامية في الصخور الكلسية الأوليتية والحجرية الرملية والحوارية .

4-نفوذية الصخور الكلسية:

وتعرف النفوذية بأنها قدرة الصخور على إمرار الماء من فراغاتها تحت تأثير قوى ضغط مطبقة عليها، و تتعلق النفوذية بأبعاد الفراغات والشقوق الموجودة في الصخور، فكلما كبرت هذه الأبعاد سهل مرور الماء عبرها وازدادت النفوذية لها .

وبما أن الصخور الكلسية تحتوي على الكثير من الشقوق والفراغات، لذا فهي تمتاز بقابليتها الكبيرة لنفوذ الماء عبرها، وهذه القيمة تختلف من صخر لآخر، و هي تتأثر بعدة عوامل منها (التكنونية والبتروغرافية والتضاريسية)، و نميز بين نوعين من النفوذية للصخور الكلسية:

أ- صخور رسوبية نفوذة بالأصل.

ب- صخور رسوبية اكتسبت نفوذيتها فيما بعد بسبب التشققات والتآكل الحتي والتشوهات التكتونية .

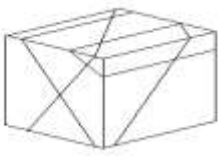
5-تشقق الصخور الكلسية:

إن الشقوق قد أعطت للصخور الكلسية صفات هيدروجيولوجية متغايرة ومتنافرة وتكون على النحو التالي :

أ- الدياكلاس: وهي شقوق يتراوح طولها من عدة سنتمترات إلى عدة أمتار، وقد تكون عمودية أو مائلة على خطوط التنضيد، وتقطع الصخور إلى أشكال متعددة السطوح، كما في الشكل رقم (1)

ب- الفوالق: حيث أنها تمتد من عدة أمتار إلى عدة كيلومترات، معطيةً للتربة قوة كبيرة، فتؤلف هذه الفوالق والمناطق المسحوقة الناتجة عنها ركيزة على شكل مصاطب .

ت- خطوط التنضيد : حيث تتوضع الرسوبيات مشكلة طبقات فوق بعضها.



دياكلاس عمودي **دياكلاس مائل**

الشكل رقم (1) أشكال الكارست

-**أصل التشققات** (Cleavages):

هناك أصلان لهذه التشققات:

أ- الأصل الرسوبي .

ب- الأصل الميكانيكي .

وهما السبب في تكوين خطوط التنضيد وفي الدياكلاس والفوالق والمناطق المسحوقة .

- **الدور الهيدرلوجي للشقوق :**

يعود الدور الأساسي للدياكلاس في أهمية اتجاهه، ففي حوض (فان) في فرنسا مثلاً، نجد أن الشقوق العمودية غالباً ما تكون مسدودة، والمائلة مفتوحة. ويرى العالم (Bowrgin) أن الشقوق التي تسمح بمرور المياه الجوفية تكون ذات أصل تكتوني، وهذا مايعطي الفوالق دوراً هاماً، سواء أكانت مصرفاً للمياه الجوفية أم حاجزاً لها، ويضعف دور خطوط التنضيد.

-**التجاويف الباطنية** (Ground Cavities) :

تتحول الشقوق الموجودة في الصخور الرسوبية إلى تجاويف باطنية بتأثير عوامل الحت، وهذه التجاويف توجد في كل الصخور الكلسية (العادية والمتراصة والدولوميتية والحوارية...) ولها دور فعال في دراسة وبحث ستراتيغرافية وجيوموفولوجية الإقليم .

الكارست (Karst) :

يعرف الكارست بأنه النموذج الهيدروجيولوجي للصخور الحوارية (الطباشيرية) في مناطق Caros غرب الأدرياتيكي وبناءً على كلمة Caros أعطيت كلمة كارست Karst ، وبالتالي أصبح الكارست: يطلق على العملية الجيولوجية لذوبان، وانحلال، وتشقق، وتصدع الصخور، بتأثير المياه السطحية والجوفية .

وبذلك فالكارست تتمتع بصفتين مهمتين هما :

أ- قابليتها للحت بالماء .

ب- احتواؤها الكبير والمتزايد للمياه الجوفية .

ومن الملاحظ أن الكارست يتطور في أحجار الكلس، والدولوميت، والجبس، والملح الصخري .

وهناك نوعان للكارست :

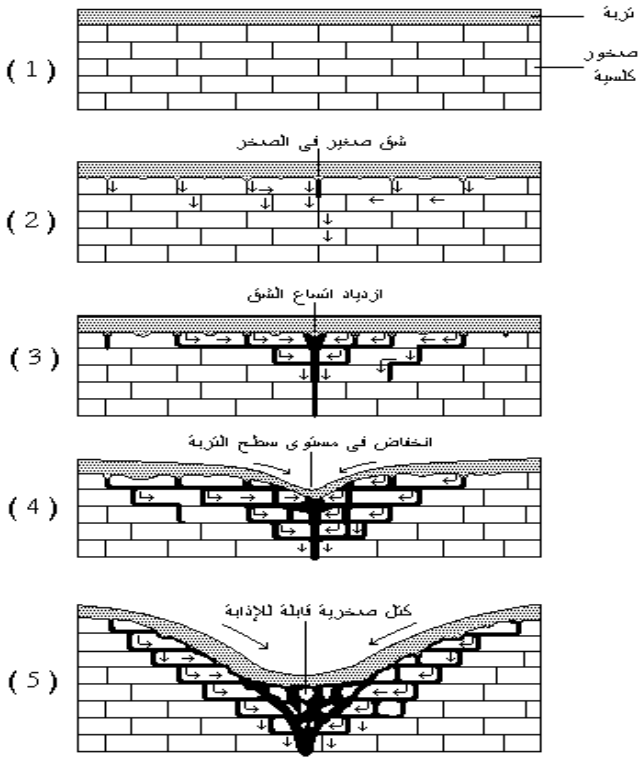
أ- الكارست المكشوف : ويتطور هذا النوع في الصخور الصاعدة مباشرة إلى سطح الأرض .

ب- الكارست المغطى : ويتطور هذا النوع في المناطق التي تكون فيها الصخور مغطاة بطبقات من صخور القشرة الأرضية .

-ويتشكل في أقسام الكارست المكشوف أنواع متميزة من التضاريس الأرضية (مخاريط، وتجاويف أخدودية، وأغوار).

-**المخارط الكارستية** (Karst Cones) : تتشكل المخارط الكارستية عندما تتوسع الشقوق السطحية، بسبب تدفق المياه إليها من كل الاتجاهات، فتعمل هذه المياه على إذابة الأجزاء العلوية من الصخور الكلسية،

وبشكل تدريجي، يتشكل حول هذا المجرى منخفض شبيه بالقمع يسمى القمع أو المخروط الكارستي، كما في الشكل رقم (2)



الشكل رقم (2) مراحل تشكل المخاريط (الأقماع) الكارستية

–وبما أن الكارست ينمو خلال زمن طويل يصل لملايين السنين، وعلى الرغم من القابلية القليلة لذوبان الصخور، فإن أبعاد المخروط الكارستي قد تصل إلى (30 م) عمقاً، ومئات الأمتار عرضاً، وتوجد في قاع هذه الأقماع فتحات للتصريف أوجدتها المياه بإذابتها للصخور الكلسية، وتكون على شكل شاقولي أو مائل، ونادراً على شكل أفقي، وتكون فتحات التصريف هذه مغطاة بكتل أو حصى كلسية انهارت من جدران القمع، أو لحقيات غضارية ورملية قامت المياه بنقلتها ، هذه اللحقيات والبقايا قد تؤدي إلى إغلاق كلي أو جزئي لفتحات التصريف هذه، ونتيجة للتوسع التدريجي والتلاحم بين الأقماع الكارستية تتحول المنطقة إلى نتوءات أكثر تعقيداً تسمى الوهاد الكارستية .

–إن الوهاد الكبيرة والعميقة التي يصل عمقها أحياناً لمئات الأمتار، ومساحتها لعشرات الكيلومترات المربعة تشكل حقولاً يطلق عليها اسم الحقول الكارستية .

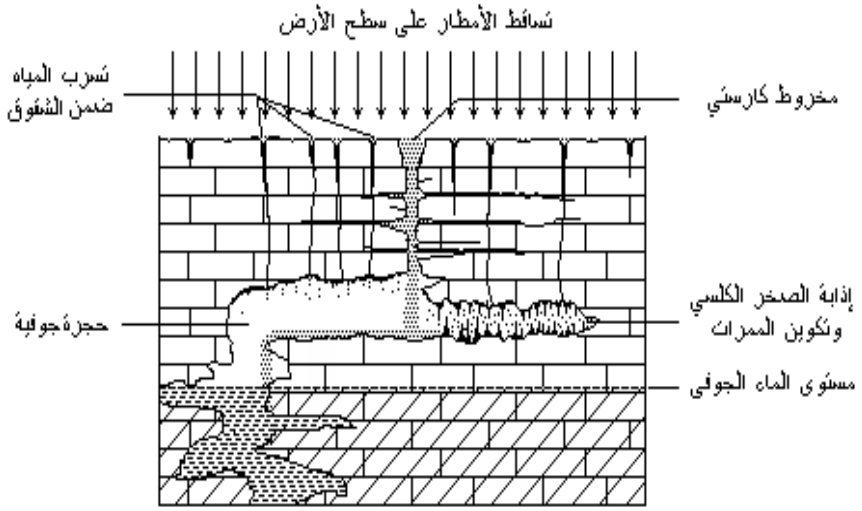
وهذه الحقول الشاسعة كثيراً ما تنتهي بأخاديد وأودية تسمى أودية الكارست تجري فيها المياه وكأنها أنهار صغيرة وقد تحتوي هذه الحقول على بعض البحيرات أيضاً، ويتم تصريف المياه لهذه الحقول من خلال فتحات التصريف للأقماع الكارستية .

–وتحتوي بعض المناطق الكارستية أودية وأخاديد مغلقة، تجري المياه فيها مشكلةً أنهاراً صغيرة، ولدى وصول هذه المياه إلى المنحدر الذي يغلق الوادي وكأنه سد، تغور تحت سطح الأرض من خلال فتحات التصريف

للمخاريط الكارستية. وظاهرة الغور هذه كثيرة الانتشار، وقد تغور المياه لمسافات تصل أحياناً لعشرات الكيلومترات، ثم تظهر من جديد من خلال كهف أو شق في الصخر على شكل ينابيع قوية، وفي بعض الأحيان تخرج من تحت سطح الأرض على شكل ينابيع عديدة فوّارة، وهذا ما يطلق عليه اسم ولادة النهر من جديد.

– أما في الأماكن العميقة من الكارست، ونتيجة لإذابة المياه للصخور الكارستية، يتشكل لدينا أشكال كارستية تحت سطحية، مثل الآبار الطبيعية، والتجاويف الأخدودية، والأنفاق، والكهوف .

الكهوف الكارستية (Karst Caves) :إن تشقق الصخور الكارستية، وتشكل الأنفاق فيها واتصال هذه الأنفاق مع بعضها سواء كانت مائلة أم عمودية أم أفقية، هو الذي يساعد على تطور الكهوف الكارستية، وخاصة في أحجار الكلس والدولوميت والصخور الحاوية على الملح، وكذلك تتطور الكهوف الكارستية عند تعرض الصخور الكلسية الكارستية للتصدعات التكتونية، أو عند اتصالها مع صخور أخرى غير كارستية، وهذه الكهوف تتكون من مجارٍ متشعبة تكون ضيقة أحياناً وواسعة أحياناً أخرى، وقد تكون بحجم الغرف الصغيرة إلى الصالات الكبيرة الضخمة، التي يصل طولها حتى مئات الأمتار، وارتفاعها عشرات الأمتار، كما في الشكل رقم (3).



الشكل رقم (3) تشكل كهف كارستي

–إن تشكل الغرف و الصالات لا يرتبط بعمل المياه الإذابي فقط، بل بسبب الانهيارات التي تحصل بجدرانها وأسقفها، مثال على ذلك، كهوف باستونيا ياما في يوغسلافيا الذي يصل طولها (20 ك.م) وكهوف الماموث في الولايات المتحدة الأمريكية التي تعتبر أضخم كهوف العالم إذ يبلغ الطول الإجمالي لمغاراته ومداخله وأنفاقه وهواته وأنهاره الجوفية (300 ك.م) تقريباً، وكهف مغارة جعيتا في لبنان، وتمتاز هذه الكهوف باحتوائها على الكثير من الصواعد والنوازل والأنهار و البحيرات الجوفية.

–**المياه الكارستية** (Karst Water) :

تتشكل داخل الهضاب الصخرية المعرضة لظهور الكارست شبكة معقدة من الفجوات والقنوات والكهوف، نطلق على المياه الجوفية التي تجري داخل هذه الفجوات والقنوات والكهوف بالمياه الكارستية وهي تجري في كل من

الاتجاهين الأفقي والعمودي على هيئة تيارات مائية جوفية متصلة في المناطق ذات الأراضي السهلة، وعلى شكل جداول مائية منفردة في الأعماق الكبيرة للمناطق الجبلية .

وتختلف هذه المياه عن بقية أنواع المياه الجوفية الأخرى بظروف اتصالها الفريد مع المياه السطحية، فكثيراً ما تجري مياه الجداول السطحية في الأقسام المكشوفة من صخور كارستية فتمتص هذه المياه من قبل المخاريط والشقوق، لتخرج مرة ثانية إلى سطح الأرض منحدرة إلى الأسفل باتجاه الميل على هيئة ينابيع ضخمة وجداول عند شواطئ الأنهار.

كما أن بعض وديان الأنهار تمتص مياهها السطحية الجارية امتصاصاً تاماً من قبل الصخور الكارستية وتتحول إلى مياه جوفية .

وفي مناطق تطور الكارست نجد أن بعض أقسام الأنهار تكون عبارة عن سلسلة متصلة من المخاريط الكارستية الكبيرة الحجوم نوعاً ما، وتتحول أحياناً إلى حقول كارستية واسعة، وفي مواسم ذوبان الثلوج والفيضانات تقوم مثل هذه الأقسام الكارستية بامتصاص كميات هائلة من المياه السطحية.

إن الترتيب الخطي للمخاريط الكارستية يدل عادة على اتجاه التيارات المائية الجوفية، وأحياناً تكون سلاسل المخاريط الكارستية مثلها مثل وديان الأنهار عائدة إلى خطوط الانكسارات التكتونية .

ثانياً : الميزات الهيدروجيولوجية للصخور الكلسية :

تتميز الصخور الكلسية بقابلية النفوذ، وتكون قابلية نفوذ الشقوق أكبر من قابلية نفوذ الفجوات أما المسامية الفعالة فتكون ضعيفة عادة، باستثناء الصخور الكلسية الأوليتية والرملية .

وسندرس بالتتابع الأمور التالية :

1. جريان المياه الباطنية .
2. المناطق الهيدروجيولوجية .

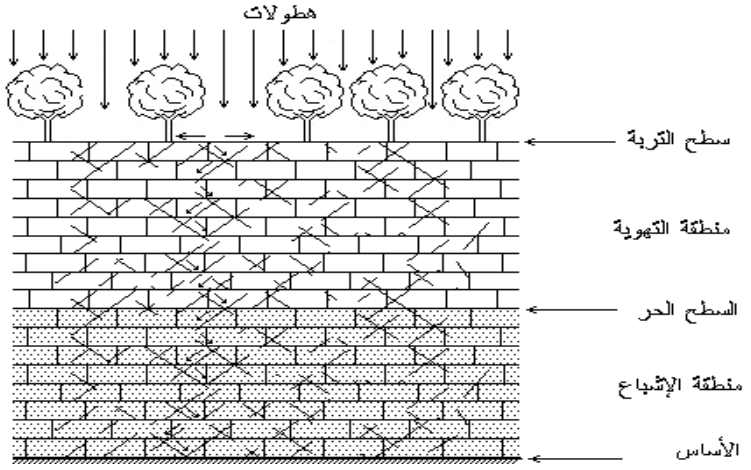
1-جريان المياه الباطنية (الجوفية)(Ground Water flowing):

أ- **الحالة النظرية :** (دون جريان جانبي)

تفترض أنه لدينا كتلة كارستية ذات تنضد أفقي و حصل هطول أمطار على سطح هذه الكتلة، كما في الشكل (3) فالمياه الهاطلة سوف تجري فوق التربة بشكل أفقي، وأن قسماً منها سيتغلغل داخل التربة بفعل الجاذبية الأرضية ضمن الشقوق إلى مسافات متعددة وبخط متعرج هو أقرب للخط المنكسر العمودي من الأفقي، وتقوم الشقوق الصغيرة والفجوات بحجز المياه بشكل طفيف (ما عدا الصخور الحوارية)، إلاّ أنّ القسم الأكبر من المياه المتسربة يستطيع الوصول إلى الطبقة الكتيمة التي تسمى طبقة الأساس، فتتراكم المياه فوقها وتمتلئ الفراغات مهما كان وسعها، ومع مرور الزمن نلاحظ ظهور منطقتين كما في الشكل رقم (3)هما :

-منطقة التهوية (غير المشبعة) (Aeration area): وتوجد في القسم العلوي.

-منطقة الإشباع (Saturation area): توجد في القسم السفلي.



الشكل رقم (2) الحالة النظرية (جريان المياه بشكل عمودي)

ب-**الحالة العامة** : (وجود جريان جانبي) شكل رقم (4):

إن حركة هذا الجريان معقدة بعض الشيء، لأن حركة المياه الجوفية في الصخور الكلسية المتشققة لها علاقة بشكل الفراغات والشقوق الموجودة في هذه الصخور وبسعتها وتواترها وتوضعها، أي أن الصفة الأساسية للهيدروجيولوجيا الكارستية لحركة المياه الجوفية في الصخور الكلسية هو اتجاه الشقوق ومورفولوجيتها، ونميز في هذه الحالة نموذجين من نفوذية الصخور المحتوية على الماء وهما :

(نفوذية الشقوق ، نفوذية الفجوات) .

إن نفوذية الشقوق أهم من نفوذية الفجوات، ويعتبر الصخر ملائماً لجريان المياه فيه عندما تكون الشقوق دقيقة. ومثال على ذلك جريان المياه في الحوار، ويتضمن هذا الجريان الميزات التالية :

-النظام المضطرب للجريان (Turbulent flow): ويحدث هذا الجريان عندما تحتوي الصخور على شقوق واسعة وتجاويف، لأن هذه الفراغات تلعب دور المصارف نحو الفجوات .

-التغيرات الكبيرة في سرعة الجريان(flow Speed): إذ قد تصل السرعة إلى 1000 م/ سا ويتم حساب السرعة بتلوين الماء المار في الفراغات وحساب المسافة والزمن اللازم لقطعها

ولمعرفة نوع الجريان لا بد من حسب عدد رينولدز والذي يساوي :

$$Re = \frac{VL}{\nu}$$

حيث :

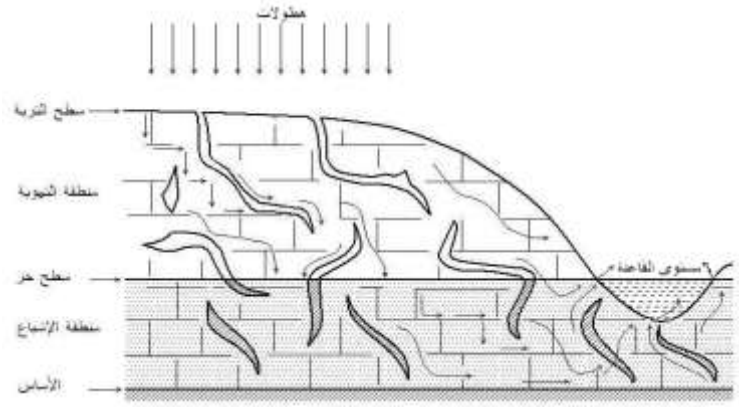
- V : سرعة الجريان .
- L : طول مميز وهو يساوي نصف القطر المائي R .
- ν : أمثال اللزوجة الحركية للماء .

ويعتبر الجريان :

- صفحياً إذ كان $Re < 500$
- وانتقالياً $500 < Re < 2000$
- ومضطرباً $Re > 2000$

-المسار المعقد للجريان : لأن المياه الجوفية تتبع الشقوق أثناء جريانها، لذلك نلاحظ تبدلات في سرعة واتجاه هذا الجريان بحسب شكل وتواتر هذه الشقوق واتجاهها، أي أن الدياكلاس يلعب دوراً هاماً في جريان المياه حسب اتجاهه وتوضعه على خطوط التضيد، إما بشكل عمودي أو بشكل مائل.

-النسبة القليلة بين حجم الفراغات المفيد والحجم الكلي للمادة المحتوية على المياه: بما أن المسامية الفعالة قليلة جداً وأن حجم الفراغات المفيد أقل من حجم الشقوق والفجوات، لذلك تكون النسبة بين حجم الفراغات المفيد والحجم الكلي للمادة المحتوية على المياه قليلة.



الشكل رقم (3) يبين سلسلة مرور الماء الباطني في كتلة الصخور

2-المناطق الهيدروجيولوجية (Hydrogeology areas) :

يسمح المخطط الهيدروجيولوجي بتمييز عدة مناطق:

أ- منطقة التهوية(Aeration area) :

يتم جريان الماء في هذه المنطقة عبر الشقوق المفتوحة والفجوات، وبشكل معقد ومرتبط ببقية الشبكة الجوفية، وتتميز هذه المنطقة بالتآكل المستمر لصخورها، وبالتغير الكبير في سرعة جريان المياه ضمن الشقوق، بحيث تتجه هذه المياه نحو الأسفل لتملأ الفراغات وبشكل جزئي، ويبقى الجزء الآخر مملوءاً بالهواء الغني بغاز (CO_2) .

وتقسم مناطق الشقوق إلى منطقتين :

1. منطقة علوية تحتوي على شقوق مفتوحة .
2. منطقة سفلية تحتوي على شقوق ناعمة تكون جيدة لاحتواء المياه فيها .

ب- السطح الحر (free surface): يحد المنطقة المشبعة من الأعلى سطحاً حراً، وقد يكون مستمراً بشكل جيد أو غير جيد، وذلك تبعاً للتشققات وللاتصال المتبادل بين هذه الفراغات، وهو على علاقة بمورفولوجية المنطقة وهيدرولوجيتها، وأن القسم من التربة الموجود على السطح الحر، والذي يحتوي على شقوق مفتوحة مهم جداً، حيث يكون الجريان فيه نشيطاً ومتأرجحاً .

ت- منطقة الإشباع (Saturation area) :

تتعلق هذه المنطقة بالأمور التالية:

1. بالمياه الجوفية العميقة الموجودة فيها، حيث تكون الفراغات مليئة بالمياه مهما كانت أبعادها .

2. بالوضع النسبي لمنسوب الطبقة الحاوية على المياه مع منسوب القاعدة .

إن المياه تجري في التربة عبر الصخور حتى تصل إلى هذه المنطقة، وقد تكون عميقة وتحتوي على فجوات وكهوف، وتدل الدراسات أن الحجم المشبع يكون في المناطق العميقة حيث الجريان البطيء، أما منسوب المنطقة المشبعة، وكذلك السطح الحر فهو متغير، لأن الكارست مادة متغيرة الخواص.

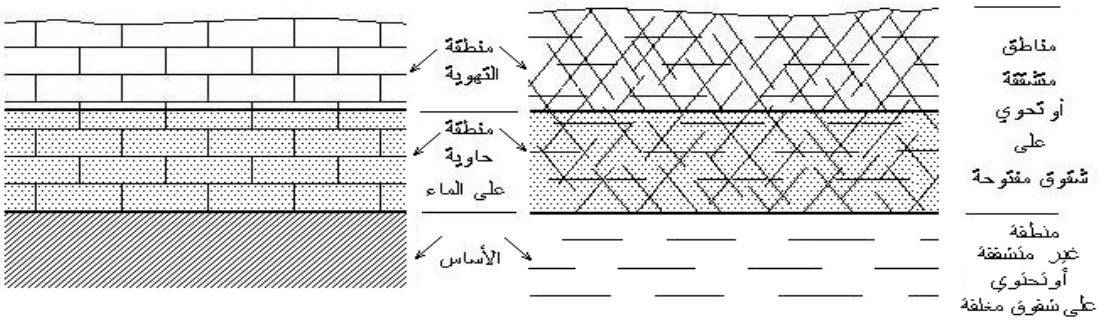
ث-الأساس أو الطبقة الكتيمة (Aguifuge):

يجب أن نميز بين أساس الكتل الكلسية ومستوى القاعدة، كما في الشكل (3) حيث يعرف:

-الأساس: بأنه المنطقة غير النفوذة التي تحد المادة الحاوية على الماء من الأسفل.

-مستوى القاعدة : هو المستوى الموافق لمستوى التصريف العام.

وقد تكون طبقة الأساس من الصخر الكتيم الذي لا يحتوي على الماء ولا يسمح بنفوذه، أو تكون من الصخور الحاوية على الماء ولا تسمح بنفوذه مثل الغضار، كما في الشكل رقم (4)



أساس من صخور متماسكة غير متشققة أو تحتوي على شقوق مغلقة أساس من قاعدة غير نفوذة (كتيمة)

الشكل رقم (4) نماذج من أساس

ثالثاً : الميزات الليتولوجية الستراتيغرافية:

تلعب كل من :

-الطبيعة (الليتولوجيا – علم الحجارة) .

-والطبقات الرسوبية الكلسية (الستراتيغرافية – علم الطبقات)

دوراً رئيسياً في الهيدروجيولوجيا الكارستية .

1-ليتولوجيا الصخور الكلسية:

تتعلق ليتولوجيا الصخور الكلسية بنماذج هذه الصخور (أوليتية أو مارتية أو حجر رملي ...) أو هل هو متراص، أو يحوي على شقوق، أو كهوف، أو فجوات...

ونلاحظ أيضاً أن التطور الكارستي موجود في الصخور الكارستية الكبيرة والنقية .

2-ستراتيغرافيا الصخور الكلسية:

والتي تسمح لنا بتميز نوعين من الرواسب:

أ- الرواسب المتجانسة ذات النفوذية الضعيفة : وهي ذات أساس غير نفوذ وتكون هذه الرواسب مجمعة تحت الكارست .

ب–الرواسب النفوذة : توجد في الكارست العميق، وهي أيضاً ذات أساس عميق وغير نفوذ، ولها حالتان كلسية متجانسة و كلسية غير متجانسة

وبينت الدراسات : – أنّه تتشكل حجارة كاملة ومتراصة في الكتل الكلسية المتطورة والتي لا تحوي بينها وبين الصخور غير النفوذة أي تنضيد .

– إن انسداد الشقوق والفجوات في الصخور الكلسية النقية يكون ضعيفاً .

رابعاً : دور التبدلات في شكل الأرض :

يتم الجريان الجانبي للمياه الجوفية نحو مستويات القاعدة، ويتمركز فيها بتغذية ثابتة نسبياً، فبقدر ما تحتوي هذه الصخور على شقوق نفوذة، بقدر ما تكون ذات نفوذية جيدة .

إن لجيومورفولوجيا (Geomorphlogy)الصخور(علم تشكل الأرض) دوراً هاماً في هيدروجيولوجيا الصخور الكلسية، لذلك سنقوم بدراسة تشوهات الحوادث التكتونية، و تغيرات مستوى القاعدة .

1–الحوادث التكنونية (Tectonics Accidents) :

تؤثر هذه الحوادث في تشوهات الرواسب، لذا فهي تؤثر في الشقوق و الفوالق والمناطق المسحوقة الناتجة عنها .

أ– تشوهات الرواسب (Tectonics deformation) :

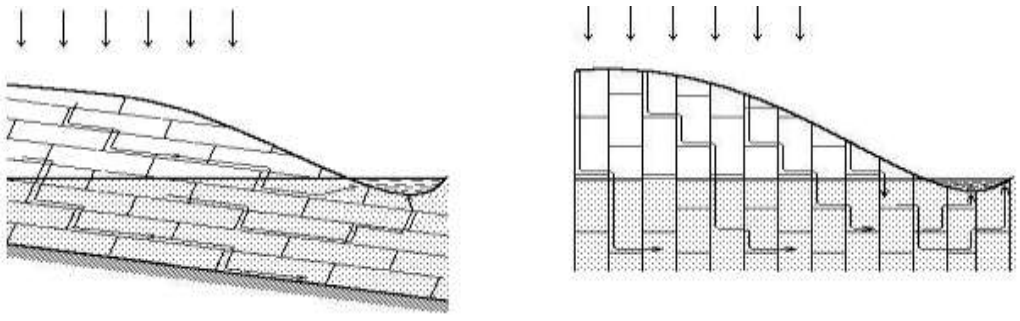
يتم جريان المياه الجوفية في الصخور الكلسية حسب اتجاه وتوزيع الشقوق، لذلك تلعب التشوهات التكنونية (Structural deformation) دوراً أساسيا في اتجاهات الشقوق، وخاصة شقوق الدياكلاس العمودية أو المائلة على خطوط التنضيد، حيث تتعلق خصائص الجريان بانحناء وتعرج هذه الشقوق

إن الشكل (5) يبين حالتين مختلفتين لميل الطبقات الكلسية :

–توضع شاقولي للطبقات (Apeak layers)

–توضع مائل للطبقات (Atilt layers)

–أما في حالة التوضع الأفقي للطبقات الرسوبية، فإن الاتجاه العمودي للجريان هو المسيطر .



طبقات عمودية **طبقات مائلة**

الشكل رقم (5) جريانان مختلفان للمياه الجوفية في الكتل الكلسية

ب–الفوالق (Faults) والمناطق المسحوقة (Broken areas)الناتجة عنها:

تقوم الحوادث التكنونية بسحق المناطق، فتلعب دوراً مضاعفاً، فإما أن تشكل مصرفاً للمياه الجوفية الموجودة ضمن طبقات الصخور، أوقد تعمل كسد أمام هذه المياه نتيجة لتوضع طبقات كتيمة مقابل طبقات نفوذة حاوية على المياه .

2–تغيرات مستوى القاعدة (mutations in Base Level) :

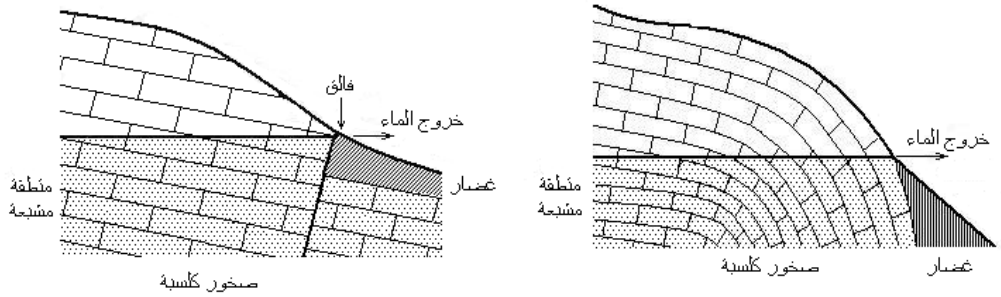
بالرجوع إلى الشكل (3) نلاحظ أن مستوى القاعدة هو عبارة مستوى التصريف الطبيعي، لأن الجريان الجانبي للمياه الجوفية مشروط بوجود تغذية مستمرة، إذاً فهو الذي يحدد مكان الانبثاق للمياه .

ويتم معرفة مستوى القاعدة بواسطة :

أ– مستوى البحر : حيث يطبق على الكتل الكلسية الساحلية .

ب– مستوى المياه السطحية أو الأنهار أو البحيرات .

ت– وجود مانع كتيم أو سد عن طريق الفالق أو الغطاء الكتيم : لأنها تولد سداً أمام المياه الجوفية وبالتالي يظهر مكان التصريف، كما في الشكل (6)



مستوي قاعدة محدد بغطاء يؤلف قاعدة غير نفوذة

مستوي قاعدة محدد بفوالق مخزنة

الشكل رقم (6) بعض الأشكال لمستويات القاعدة

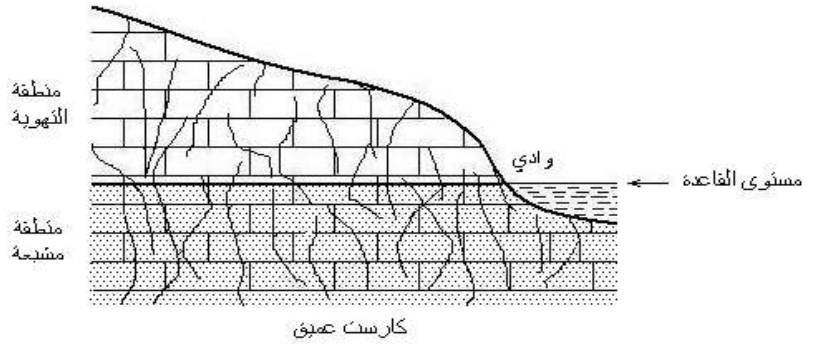
ومن الأمثلة على ذلك: الصخور الكلسية لجبال زاكوان وبني سعدان في الأطلس التونسي الشرقي، حيث بين المقطع الطولي وجود سطح حر يحده من الغرب فالق، أدى إلى تماسه مع التربة الأرضية، ويحده من الشرق غطاء من المارن الحواري .

الأساس الكتيم (Impermeable base) :

هو الذي يوقف الجريان العمودي للمياه، لذا تعتبر هذه الطبقة الحدود الطبيعية للمياه الجوفية، ويعتبر موقعها بالنسبة لمنسوب القاعدة هام جداً، وهناك حالتان للأساس الكتيم :

أ– أساس عميق (deep base) : شكل رقم (7)

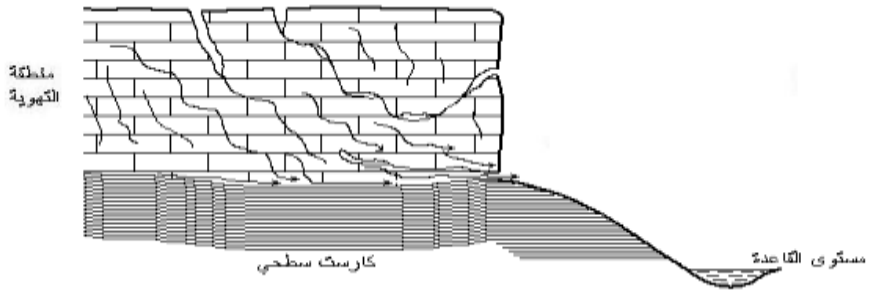
يكون الأساس على عمق كبير أعمق من أسفل القاعدة، وتسمح هذه البنية بظهور منطقة مشبعة وبالتالي ظهور سطح حر، والأساس الكائن أسفل منسوب القاعدة لا يفرض هيدروليكياً عدم تسرب المياه إلى مستوى أعمق، و الجريان في هذه الحال يشمل جميع الكتل الكلسية.



الشكل رقم (7) مستوى قاعدة بالنسبة لأساس عميق

ب–أساس على عمق أقل من عمق مستوى القاعدة : شكل رقم (8)

نلاحظ في هذه الحالة أن المياه موجودة في منطقة التهوية غير المشبعة .



الشكل رقم (8) الأساس على عمق أقل من مستوى القاعدة

أمثلة هيدروجيولوجية من الصخور الكارستية :

_ سلسلة جبال لبنان :

إن مساحة الصخور الكلسية الكارستية الشديدة التشقق في هذه السلسلة تبلغ أكثر من (600) كم2 ، وتتراوح سماكة هذه الصخور بين(600–300) م، وعمق تطبق المياه الجوفية يكون بحدود (200) م، والينابيع الكارستية الضخمة فيه تعود للصخور الكلسية التابعة للعصرين الطباشيري الأعلى والجيوراسي، إن الصرف السنوي المتوسط الثابت للينابيع من رواسي السينومان (عين زرقة) يبلغ حوالي (31.5) م3/ثا ، وتشكل هذه العين بداية نهر العاصي. والمنبع الضخم الثاني هو نهر سيني الذي يتدفق خارجاً من أحجار الكلس الكارستية التابعة للعصر الجيوراسي، والذي يبلغ صرفه المائي الثابت حوالي (14) م3 /ثا .

وأضخم الينابيع في هذه السلسلة هو نبع رأس العين الذي يعتبر من الينابيع الأساسية لنهر الخابور، وهو من أشد الينابيع غزارة إذ يتراوح صرفه السنوي بين (35– 40) م3/ثا.

_ الصخور الكلسية للأطلس الشرقي التونسي:

حيث تحتوي الكتل الضخمة للصخور الكلسية لجبال زاكوان وبني سعدان على أكبر وأهم مناطق حاوية للمياه وتعود هذه الصخور للعصر الجيوراسي وهي ذات بنية معقدة من انحناءات وثنيات وتقصفات للقشرة

الأرضية، وتمتد هذه الصخور على مساحة (200) كم2 وبينت الدراسات وجود مناطق فجوات جوفية ومناطق مشبعة بالمياه ووجود سطح حر .

أمثلة عن الينابيع الكارستية في سوريا:

نبع عين الفيجة :

هو نبع ذو طبيعة كارستية معقدة وهو المصدر الرئيسي لتغذية مدينة دمشق بمياه الشرب، يقع هذا النبع على بعد (18 ك.م) من المدينة، و(60 كم) من مجرى نهر بردى و على منسوب (830 م).

إن الحوض الصّباب لنبع الفيجة يمتد على مسافة (50 ك.م) شمال قرية الفيجة وبعرض (10 إلى 15 ك.م) وبمساحة (600 ك.م2) وبارتفاع وسطي فوق سطح البحر قدره (2000 م)، ويتألف من طبقات غالبيتها عديمة الكتامة، تتخللها هوات ومغائر كارستية، بعضها معروف لسكان المنطقة أهمها هوت (الحمام) ومغائر ذات صواعد ونوازل مثل مغارة (البيضاء)، هذا وأن التصوير الجوي بيّن وجود آلاف من هذه المغائر والهوات، وهي موجودة على أعماق مختلفة من سطح الأرض، منها ما هو فوق سطح المياه الجوفية فيبقى فارغاً، ومنها تحته ويبقى ممتلئاً بالمياه، وبينت الدراسات على وجود مخزون كبير وهام من المياه في هذه المغائر والفجوات يتراوح هذا المخزون (1000–5000 مليون م3) .

إن مياه الثلوج والأمطار التي تهطل بمعدل وسطي قدره (500 مم) تقريباً على هذا الحوض تغور في هذه الهوات والمغائر والتجاويف والشقوق بسرعة كبيرة، وسرعان ما تعود وتنبع من جديد في موقع عين الفيجة.

إن طبيعة نبع عين الفيجة قضت أن يكون تصريفه مختلفاً بحسب السنين والفصول، فبينت الدراسات أن التصريف الكامل لنبع الفيجة أمام عام وسط من حيث الطقس و هطولات الأمطار والثلوج هو (250 مليون م3)، وقد بلغ التصريف الأعظمي في عام 1954 في سنة غزيرة الأمطار (400 مليون م3)، وأن التصريف الأدنى في عام 1960 في سنة شحيحة الأمطار (80 مليون م3)

البحث عن المياه الجوفية في الصخور الكلسية :

وتشمل هذه الدراسة:

–دراسة تاريخ تطور الكارست في المنطقة المعينة.

–دراسة أبعاد وطبيعة وتوزع الشقوق والفجوات والكهوف والشقوق في الهضبة الصخرية وذلك بعدة طرق (المقاومة الكهربائية _ الطريقة الزلزالية _ طريقة الحفر ...) .

–إحصاء هذه الشقوق وخطوط التنضيد والفوالق والدياكلاس وتحديد اتجاهاتها بدقة .

–معرفة الخصائص الهيدرولوجية والهيدروجيولوجية للمنطقة من هطولات وجفاف ..

–دراسة القدرة التخزينية لهذه الصخور، حيث من الممكن أن تكون هذه الشقوق والتجاويف خزانات طبيعية للمياه الجوفية، وذلك عن طريق الدراسة البنيوية والجيولوجية المفصلة لها .

–دراسة ممرات صرف المياه والمناجم والكهوف .

–وتتم هذه الدراسة بأعمال الحفر والثقب للعديد من الآبار، وعند حفر هذه الآبار يجب معرفة طبيعة وجوف البئر، ومراقبة رأس آلة الحفر وسلوكه، ومراقبة امتصاص سائل الحفر أثناء تشغيل الآلة .

– إن الأبحاث الجيولوجية المائية المتعلقة بالمياه الكارستية يجب أن تقارن بمراقبات وتتبعات دقيقة وشاملة لنظام مياه الأنهار والبحيرات .

النتائج والمناقشة:

بعد الدراسة السابقة للمياه الكارستية يمكن أن نلاحظ ما يلي :

-إن منسوب المياه الجوفية في المناطق الكارستية متغير إلى حدٍ كبير، ففي القسم الذي ترتكز فيه التجاويف الكارستية الضخمة يحدث صرف كبير في مياه الطبقات الحاوية للماء، وتتشكل ميازيب للمياه الجوفية، ونتيجة لذلك ينخفض سطح منسوب المياه الجوفية .

-يمكن أن يتغير اتجاه جريان الماء أو التيارات المائية تغيراً حاداً ضمن مسافات قصيرة .

-إن المياه الكارستية تتميز بتراوح شديد في مستوياتها وصرفها بسبب النفوذية العالية للصخور الكارستية لوجود الشقوق والمخاريط والأنفاق والفجوات .

-إن الأشكال المختلفة للكارست على سطح الأرض من شقوق، ومخاريط، وأنفاق، وفجوات ... يزيد من سرعة امتصاص التساقطات الجوية، وبالتالي نلاحظ حصول تبدلات حادة في الصرف المائي تبعاً لشدة وكثافة التساقطات الجوية، ونرى ذلك واضحاً في الينابيع و الجداول المائية التي تتغذى على حساب المياه الكارستية، وكذلك الينابيع التي تتغذى على مياه الطبقات العميقة الحاوية على المياه الحبيسة، أو التي تعبئ احتياطها من جداول المياه السطحية والجارية طوال العام فيزداد صرفها في موسم الفيضانات والأمطار الغزيرة .

-في بعض الأنهار وأثناء جريان الماء في مناطق الكارست تغور هذه المياه، لتعود وتظهر من جديد، وعلى مسافات قد تصل لبضع كيلومترات، أو عشرات الكيلومترات، وأحياناً على سطح جبل آخر أخفض من مكان غور المياه، وتخرج من كهف أو شقوق أو على شكل عدة ينابيع فوارة وبشكل قوي، وهذا ما يطلق عليه إعادة ولادة النهر من جديد، وتلاحظ هذه الظاهرة في الأورال الشمالي وفي القرم والقوقاز وما وراء البلقان وفي سلسلة جبال ينيسى.

الاستنتاجات والتوصيات:

- من المهم دراسة الصخور الكارستية بشكل جيد، لأنها تنتشر على نطاق واسع في العالم، كما في بلادنا، ولأنها تعطي المهندس معلومات كافية تفيده في تطبيقاته العملية .

- باعتبار أن الصخور الكارستية تحتوي على كميات كبيرة من المياه الكارستية الهامة، لذا يجب البحث عن أماكن تركز هذه المياه في الهضاب الصخرية .

- إن لدراسة التجاويف والأنفاق الأرضية أهمية كبيرة فهي تعطي للمهندس رؤية عن إمكانية استغلالها كخزانات أرضية .

-يجب الاستفادة من المياه الكارستية لسد حاجات المجتمع المتزايدة للمياه .

-يجب الاهتمام بدراسة المنطقة الجبلية الساحلية في بلادنا، لنحصل من خلال هذه الدراسة على خطة متكاملة للإمداد والتخزين المائي والاستثمار الأعظمي للموارد المائية الكارستية، والتي يذهب جزء كبير منها هدراً في الينابيع المتفجرة تحت سطح البحر، وبالقرب من الشاطئ السوري. ويجب أن تشمل الدراسة أيضاً المسائل المتعلقة بالنخر الكارستي باعتبارها صعوبات تعترض التموين المائي، لأنها تجعل من الصعب تخزين الماء باتجاه الجنوب حيث المنطقة الانتقالية بين الجبال المتكشفة بسفوح الجبال، وبالقرب من الينابيع المائية الهامة، وذلك

بإظهار الصفات الصخرية الهامة من الناحية الهيدرولوجية والهيدروجيولوجية (أنواع هذه الصخور وتطورها ودراسة شبكات الشقوق والأنفاق والكهوف التي تحتويها، وجريان المياه ضمن هذه الشبكة وعلاقتها مع المياه الجوفية والسطحية).

المراجع:

1- ج. بوجومولوف. *جيولوجيا الماء ومبادئ الجيولوجيا التطبيقية*. ترجمة داود سليمان المنير، لدار المنير. 1983 . (الفصل الخامس – مياه الشقوق والمياه الكارستية) .

2- خضور، عدنان. *الجيولوجيا الهندسية*. جامعة تشرين - كلية الهندسة المدنية. 2006 . (الفصل الأول _ النشاط الجيولوجي للمياه تحت السطحية - الكارست) .

3- رسول آغا، واثق. *الهيدروجيولوجيا*. قسم الجيولوجيا. جامعة دمشق- كلية العلوم. 1982 (الفصل الثالث – المسامية – النفاذية) .

4- مسعد، شوقي. *هيدروجيولوجيا المياه الجوفية*. جامعة تشرين. محاضرات في كلية الهندسة المدنية 1984.