الفصل السادس

المياه الجوفية Ground Water
والعمل الجيومورفولوجي لها
والأشكال الناتجة عنها

المياه الجوفية

يقصد بالمياه الجوفية Ground Water تلك المياه الموجودة تحت الأرض التي تتغلغل بين الشقوق الصخرية ومسامات التربة ، وتعد جزءاً من دورة المياه في الطبيعة .

أن التباين العمودي لكمية المياه وكثافتها في أعماق القشرة الأرضية أدى إلى إمكانية تقسيم المياه الموجودة تحت سطح الأرض إلى قسمين رئيسين هما:

1- مياه المنطقة غير المشبعة: *Unsaturated Zone* :

إن المنطقة الواقعة بين سطح الأرض ومستوى سطح الماء الجوفي تسمى بالمنطقة غير المشبعة، وذلك لكون المياه تملأ جزءاً من المسامات والفراغات الموجودة في ترب المنطقة وصخورها في حين يملأ الهواء الجزء الباقي، لذلك تسمى هذه المنطقة بمنطقة التهوية أيضاً (*Aeration Zone*). ويمكن تقسيم المياه في هذه المنطقة إلى ثلاث مناطق ثانوية هي من الأعلى إلى الأسفل منطقة رطوبة التربة (*Soil Water*) والمنطقة الوسطى (*Intermediate*) والمنطقة الشعرية (*Capillary*)

إن الضغط المسلط على المياه في المنطقة غير المشبعة يكون منخفضاً مقارنة بالضغط الجوي مما يسهل على النباتات عمليات امتصاص المياه، لذلك تكتسب هذه الطبقة أهمية كبيرة في الدراسات الزراعية وعلوم التربة ،كما تتأثر هذه المنطقة بالظروف المناخية ولاسيما عنصر الأمطار من خلال التسرب وعنصر التبخر من خلال الخاصية الشعرية.

2- مياه المنطقة المشبعة: *Saturated Zone* :

إن المنطقة الواقعة بين مستوى سطح الماء الجوفي وسطح الطبقة الصخرية الصماء تسمى بالمنطقة المشبعة وذلك لكون المياه تملأ المسامات والفراغات الموجودة جميعها في ترب هذه المنطقة وصخورها.

تمتاز مياه المنطقة المشبعة بضغط مساوٍ للضغط الجوي أو يزيد عنه، كما أن المياه غالباً ما تكون غير متاحة لظروف التبخر السطحي غير أن الطبقة غير المشبعة تسهم في تغذية الطبقة المشبعة من خلال عمليات تسرب مياه الأمطار المتساقطة والجريان السطحي مما جعل الهيدرولوجيين يهتمون بدراسة الطبقة غير المشبعة.

إن المياه الموجودة في الطبقة المشبعة هي المصدر الأساس لتجهيز الآبار (*Wells*) والعيون بالمياه، ولذلك فإن التسمية الفعلية للمياه الجوفية تطلق على مياه هذه الطبقة.

أصل المياه الجوفية: Origin of Groundwater

إن الأصل في تواجد المياه الجوفية في المسامات المتواجدة بين حبيبات المواد المكونة للقشرة الأرضية وتغذية المياه يرجع إلى العديد من المصادر، والتي من أبرزها ما يأتي:

1- المياه السطحية: Surface Water

تعمل مياه الأمطار المتساقطة وذوبان الثلوج والمياه المتواجدة في الأنهار والبحيرات والخزانات المائية على تغذية المياه الجوفية من خلال عمليات نضح المياه ونفاذها إلى داخل القشرة الأرضية مما يؤدي إلى زيادة رطوبة التربة وتغذية المياه الجوفية.

2- التساقط الجوي: Precipitation

تعمل مياه الأمطار المتساقطة وذوبان الثلوج على تغذية المياه الجوفية من خلال عمليات التسرب والنفاذ في مسامات التربة واتصالها بالمياه الجوفية ورفع مناسيبها. وقد تؤدي الأمطار المتساقطة في المناطق التي يمتاز سطحها بالانخفاض والاستواء إلى تشبع منطقة التهوية بالمياه مما يعمل على تجمع مياه الأمطار على سطح الأرض.

3- مياه الري: Irrigations

تسهم عمليات الري الزراعي في رفع رطوبة التربة في المناطق الزراعية إذ أن غياب أساليب الري الحديثة ومشاريع البزل والجهل بالمقننات المائية للمحاصيل الزراعية يعمل على زيادة كمية مياه الري عن الاحتياجات المائية للنباتات. ينفذ جزء كبير من مياه الري الفائضة عن المقننات المائية إلى داخل القشرة الأرضية وتؤدي عمليات التسرب العميق إلى تغذية المياه الجوفية.

4- المياه البحرية: Marine Water

قد تكون مياه البحار والمحيطات هي المصدر الأساس في تواجد المياه الجوفية وتغذيتها غير أنها تقتصر على المناطق الساحلية التي يكون فيها مستوى ماء البحر أعلى من مستوى الماء الجوفي. كما تعمل المياه البحرية على تشبع الترب وتغذية المياه الجوفية بالمياه البحرية في المناطق التي كانت مغمورة بمياه البحار.

5- المياه الباطنية: Juvenile Water

قد يرجع أصل المياه الجوفية إلى باطن الأرض من خلال تطاير الغازات المتشربة مع مكونات باطن الأرض إلى القشرة الأرضية مما يؤدي إلى تفاعلات كيميائية تعمل على إنتاج المياه، وكذلك تعمل الحركات الأرضية كالبراكين على رفع المواد المنصهرة وبخار الماء من باطن الأرض إلى القشرة الأرضية مما يؤدي إلى برودتها وتكاثف البخار وتحوله إلى مياه.

6- التغذية الاصطناعية: Artificial Recharge

إن التوزيع غير المنتظم للمياه السطحية وتزايد استخدام المياه الجوفية ونضوبها لفت انتباه المختصين إلى فكرة نقل المياه السطحية الفائضة عن تلبية الاحتياجات المائية للاستخدامات

المختلفة ولاسيما خلال مواسم الفيضانات إلى المناطق الجافة لغرض الحفاظ على المياه السطحية من التبديد والحد من خطر الفيضانات والمساهمة في تغذية المياه الجوفية من خلال نشر المياه على التربة أو بحفر الأخاديد والجداول أو من خلال طريقة حقن الحفر وآبار التغذية.

العوامل المؤثرة في نوعية المياه الجوفية

أ- نوع الصخور: Type of Rocks

إن المصدر الأساس لأملاح المياه الجوفية يرجع إلى إذابة الأملاح والمعادن المكونة للصخور المختلفة وانحلالها ولذلك تحتل نوعية الصخور دوراً أساسياً في تحديد نوعية المياه الجوفية. إذ ترتفع الملوحة في المياه الجوفية المتواجدة في الصخور الرسوبية إلى حوالي 300,000 ملغم/لتر بسبب القابلية العالية لإذابة الصخور الرسوبية وتحللها، بخلاف المياه الجوفية المتواجدة في الصخور النارية إذ تنخفض معدلات تركيز الأملاح الذائبة إلى أقل من 25 ملغم/لتر ونادراً ما ترتفع ملوحة المياه في الصخور النارية إلى 500 ملغم/لتر.

ب- حركة المياه الجوفية: Groundwater Movement

لحركة المياه الجوفية علاقة بنوعية المياه إذ تؤدي الحركة البطيئة إلى زيادة طول الفترة الزمنية لمكوث المياه ضمن مسامات الترب والصخور تحت سطح الأرض مما يعطي للمياه فرصة كبيرة لإذابة المكونات المعدنية لتلك الترب والصخور وتحللها مما يؤدي إلى زيادة تركيز الأملاح في المياه الجوفية.

ج- نوع المناخ: Type of Climate

تؤثر الأمطار المتساقطة والتبخر السطحي في نوعية المياه الجوفية إذ تعمل غزارة الأمطار على زيادة نسبة التغذية المطرية مما يسهم في انخفاض ملوحة المياه الجوفية، في حين تؤدي عمليات التبخر السطحي في المناطق الجافة إلى زيادة الاحتياجات المائية الزراعية وزيادة حجم الضخ المائي، وفي المناطق التي يرتفع فيها منسوب المياه الجوفية إلى أقل من 1 متر تحت سطح الأرض فإن عمليات التبخر السطحي تؤدي إلى رفع المياه الجوفية إلى سطح التربة بفعل الخاصية الشعرية، وإن كلتا الحالتين تؤدي إلى زيادة تركيز الأملاح في سطح التربة وبعد سقوط الأمطار أو عمليات الري الزراعي يتم غسل الأملاح وصرفها إلى المياه الجوفية من خلال عمليات التسرب مما يزيد من تركيز الأملاح الذائبة في المياه الجوفية.

د- عمق المياه الجوفية: Depth of Groundwater

إن عمق المياه الجوفية يسهم في تحديد نوعية المياه فغالباً ما تنخفض الملوحة في الأجزاء العليا من الخزانات الجوفية مقارنة بالأجزاء الدنيا بسبب الاقتراب من المصادر الرئيسة للتغذية المائية والمتمثلة بالتساقط الجوي والرشح من الأنهار والبحيرات والخزانات المائية. أما الخزانات

الجوفية التي يزيد عمقها عن 100 متر ففي الغالب تمتاز بارتفاع تركيز الأملاح بسبب بطء حركة المياه أو بفعل تسرب المياه البحرية.

مشكلات المياه الجوفية: *Problems of Groundwater*

هناك العديد من المشكلات المتعلقة بالمياه الجوفية والتي تحد من استخدامها كما تؤثر سلباً على الترب والصخور الخازنة لها، ومن أبرز تلك المشكلات ما يأتي:

1- تلوث المياه: *Groundwater Pollution*

إن تعرض المياه الجوفية إلى التلوث وزيادة ارتفاع معدلات تركيز الأملاح يعد من أبرز المشكلات التي تحد من عمليات استخدامها، إذ تعد المياه غير صالحة للري الزراعي والشرب إذا تجاوز تركيز الأملاح فيها حدود 7000 ملغم/لتر. يعد النشاط البشري السبب الرئيس في تلوث المياه الجوفية العذبة وزيادة ملوحتها ولاسيما في المناطق الزراعي إذ تحوي الأسمدة الكيميائية والمبيدات الزراعية تركيزاً عالياً من النيتروجين N والفسفور P والبوتاسيوم K، كما تحوي العديد من المركبات العضوية. وتعمل مياه الري على إذابة تلك الأملاح والمركبات ونفاذها إلى المياه الجوفية مما يؤدي إلى تلوثها. وكذلك قد تلجأ بعض الدول للتخلص من النفايات من خلال طمرها تحت سطح الأرض مما يعرض المياه الجوفية للتلوث بفعل تحلل مكونات النفايات وما تحويه من مواد سمية واختلاطها بالمياه الجوفية بسبب الجاذبية الأرضية وعمليات التسرب وحركة المياه الجوفية.

2- نضوب المياه الجوفية: *Groundwater Depletion*

إن المكامن الجوفية مهما عظم سمكها المشبع ومساحة حوضها فإنها تخزن حجم محدد من المياه ولها كمية محددة من التغذية المائية الطبيعية التي تسهم في تجديد المياه المخزونة من خلال عمليات الحركة المستمرة للمياه الجوفية. ولذلك فإن عمليات الضخ وسحب المياه لغرض استخدامها في الأنشطة البشرية المختلفة يسهم في انخفاض حجم الخزين المائي والمناسيب ولاسيما في الخزانات المغلقة الخارجة عن نظام الدورة الهيدرولوجية .

3- ارتفاع مستوى المياه الجوفية: *Rise of Water Table*

إن ارتفاع مستوى المياه الجوفية واقترابها من سطح الأرض يعرضها لعمليات التبخر من خلال الخاصية الشعرية التي يصل معدل عمق تأثيرها إلى حدود 1 متر تحت سطح الأرض ولاسيما في المناطق الجافة وشبه الجافة التي تمتاز بارتفاع درجات الحرارة مما يعمل على تغدق الترب الخازنة للمياه وتملحها ويخفض من الخصوبة والقدرة على الإنتاج الزراعي. كما يعد ارتفاع مستوى المياه الجوفية من المشكلات التي تواجه المهندسين في الإنشاءات الهندسية من خلال تأثير المياه الجوفية على مدى صلابة الترب ودرجة لدونتها مما يخفض من مقدار تحملها لارتفاع المباني وثقل وزنها.

المقدمة

المياه الجوفية هي تلك المياه الموجودة تحت منسوب سطح الأرض، وتشغل كل أو بعض الفراغات الموجودة في التكوينات الصخرية. وهي بالأصل جزء من مياه الأمطار أو مياه الأنهار أو المياه الناتجة عن انصهار الجليد تتسرب إلى باطن الأرض مكونة طبقة من المياه الجوفية، وقد قدر بعض الباحثين كمية المياه الجوفية المتسربة في الطبقات الأرضية بأنها تعادل طبقة من المياه تغطي الكرة الأرضية بسمك تقريبي يتراوح بين (٢٠٠-٦٠٠) قدم تقريبا، وتعد المياه الجوفية من أهم مصادر المياه العذبة في العالم وأوسعها انتشارا وأكثرها حجما إذ يقدر حجم المياه الجوفية في العالم بنحو (٨٤٥٠) ألف كيلو متر مكعب إذ تشكل نحو (٩٧,٧٤٪) من جملة حجم المياه العذبة السائلة في العالم، وهي مياه أسهل في استغلالها واقل تكلفة في معظم الأحوال من إشكال المياه الأخرى سواء الصلبة (الثلوج) أو الغازية(بخار الماء) ومعنى هذا إن المياه الجوفية المرفوعة إلى سطح الأرض سواء طبيعيا أو بشريا تمثل مصدرا هاما وسهلا وآمنا في حالة صلاحية خصائصها الطبيعية للإستغلال ووفرة كمياتها، وهما معيارين تتباين على اساسهما أقاليم العالم المختلفة. ولتجمع المياه السطحية متباينة المصادر والمتسربة إلى باطن الأرض في شكل مياه جوفية لا بد من وجود طبقات أرضية مسامية ترتكز فوق طبقة من الصخور الصماء غير المنفذ للمياه لتحول دون استمرار تحرك المياه رأسيا إلى أسفل صوب جوف قشرة الأرض *(الزوكة، جغرافية المياه، ص٢٢٣ -٢٤٠)*.

اثر المياه الجوفية في تشكيل ظواهر الكارست.

إن عمل التعرية الأساسي للمياه الجوفية هو إذابة الصخور، وبالتالي فان الصخور القابلة للذوبان وخصوصا صخور اللايمستون الواقعة تحت ملايين الأمتار المربعة تحت سطح الأرض هي التي تحمل المياه الجوفية التي تأخذ على عاتقها دورا مهما وفريدا كعامل تعرية. وبالرغم من أن حجر الكلس عديم الذوبان تقريباً في الماءِ الصافي، فانه يُذوّبُ تماماً بسهولة بالماءِ الذي يَحتوي على كمياتَ صغيرةَ مِنْ حامض الكاربونيك. ويَحتوي أكثر الماءِ الطبيعي هذا الحامضِ الضعيفِ لأن مياه الأمطار rainwater تعمل على إذابةُ ثاني أكسيد الكاربون بسهولة مِنْ الهواءِ ومِنْ

بقايا النباتات المتفسخة . لذا، عندما تتصلُ المياه الجوفيّةَ بحجرَ الكلس، يتفاعلُ حامض الكاربونيك مَع الكلس calcite في الصخورِ لتشكيل بيكربونات الكالسيوم، وهي المادّة القابلة للذوبان التي تحمل بعيدا عندما تذوب(Lutgens&.Tarbuck. 1976)

يعد إقليم تضاريس الكارست karst في يوغسلافيا احد أنواع أقاليم الكارست karst النموذجية في العالمِ لأن مُعظم العملِ الرائدِ في الكارست karst بَدأ في هذا الإقليم، إما اصل تعبير الكارست karst فهو مشتق مِنْ الكلمةِ السلافية، krs، ويُرتبطُ بالضواحي الكلسيةِ في غرب سلوفينيا (يوغسلافيا سابقا). المصطلح الآخر، مثل uvala ,polje نشأ أيضاً هنا.

إن تعبير الكارست «karst » يُشيرُ إلى نوع التضاريس، التي تتكون عادة على صخور الكربوناتِ (الكلس والدولومايت) حيث تكون المياه الجوفيّة فتحات إذابة موسعة لتشكيل نظام تصريفِ ثانوي تحت سطح الأرض. أي إن حامض الكاربونيك الناتج من ثاني اوكسيد الكاربون في الجو، خصوصاً جوَ التربة، هو المسئول الأول عن القوّةِ القادرة للمياه الجوفيّةِ على إذابة الصخورِ الكربونية.(Introduction-What is Karet) وقد اهتمت العديد مِنْ الدراساتِ في السنوات الأخيرةِ الجيولوجي، دراسة الموارد المائية، والتجوية الكيميائية والميكانيكية وعمليات التعرية المرتبطة بتطور الكهوف والكارست، (Ford & Cullingford, (1976.p 59) إنّ السماتَ الأساسية لمناطقِ الكارست karst صخرَ أساس قابل للذوبان، وشقوقَ، وماءَ. إنّ ماءَ المطرَ قادر على إذابة كمياتٍ قليلة من الصخور ويقوم بحملها معه في طريقه، أكثر الصخور لَيستْ نافذة للمياه، لكن الرواسبَ لَها طبقاتُ أفقيةُ بشكل إضافي، أثناء أوقاتِ الارتفاع والانخفاض فان هذه الطبقات تحصل فيها تشققات عمودية في الغالب. عندما تمتلىء الشقوق بالمياه، تتعرض الصخور للإذابة وتتكون الفجوات والكهوف.إما الصخور الشائعة لمناطقِ الكارست karst في جميع أنحاء العالم فهي:

١ - حجر كلس (كاربونات الكالسيوم $CaCO_3$)

٢ – الدولومايت Dolomite كاربونات الكالسيوم والمغنيسيوم ($CaMg_2CO_6$).

٣ - الجبس ($CaSO_4 + H_2O$).

إما نوع أشكال التعرية التي تكون الكارست فإنها تعتمد على عدة متغيرات هي:

١- التركيب الميكانيكي والكيماوي الذي تتركب منه الصخور(حجر الكلس، الدولومايت، الجبس)

٢ - المناخ المحلي والمدى الحراري.

٣ - كميات الأمطار الساقطة.

٤ - كمية الغطاء النباتي.

٥ - ارتفاع وانخفاض الصخور.

٦ – حالة الموارد المائية. (Introduction-What is Karet).

الأشكال الأرضية الحتية والترسيبية للمياه الجوفية.

لا يقتصر فعل المياه الجوفية على تشكيل جوف القشرة الأرضية فحسب، وإنما تساهم كذلك في تشكيل ظواهر متنوعة فوق سطح القشرة الأرضية ويظهر ذلك جليا في المناطق التي تتألف من الصخور الجيرية، حيث تعمل المياه الجوفية في إعادة رسم الصورة التضاريسية للغلاف الصخري من خلال تكوين البالوعات، والمنخفضات، والكهوف والمغارات، ومجاري الأنهار الجوفية أو المفقودة، Lost Streams.(*أبو العينين، أصول الجيومورفولوجيا، ص ٤٨٩*). وسوف نتطرق إلى هذه الأشكال الأرضية بشيء من التفصيل وكالاتي :

١ – الأسطح الجيرية المضرسة.

نتيجة لما تتعرض له الصخور الجيرية من عمليات إذابة متباينة، لذا تتميز هذه الصخور بأنها مقطعة، ووعرة، ومرصعة بالثقوب، والخطوط الغائرة. وعندما تتسرب مياه الأمطار إلى جوف الصخور الجيرية السميكة قد يترتب على ذلك حدوث عمليات تحلل وذوبان بقدر كبير للمواد الجيرية مما يودي إلى توالي فتحات الشقوق والفواصل، وبالتالي تزداد شدة تضرس هذه السطوح (*جودة، معالم سطح الأرض، ص ٤٦٧*) وتساهم المسيلات المائية المنحدرة من المناطق الجبلية على تكوين حزوز عميقة، وتجاويف طويلة لمسيلاتها مما يزيد من شدة تضرس السطح وتقطعه، إن هذه الظاهرات

تعرف بأسماء مختلفة إذ يطلق عليها اسم البوغاز في سيبيريا، ويوغسلافيا السابقة، والكارن في المانيا.(*أبو العينين، أصول الجيومورفولوجيا، ص ٥١٣*)

٢- الحفر البالوعية Singholes .

على مدى ملايين السنين، طرق التدفق التي كونتها المياه الجوفية في الصخور الجيرية تكون قد توسعت، وتغير نظام النفق في هذه المنافذ من التدفق الرقائقي خلال الفتحات الصغيرة إلى التدفق العاصف الذي يعمل على تصريف المياه المتجمعة في فصل الربيع، وعندما ينخفض مستوى الماء الجوفي تحت مستوى الجداول السطحية، تبدأ هذه الجداول بفقدان الماء إلى أنظمة التصريف التي تطورت تحت سطح الأرض، مما يترتب على ذلك اختفاء وديان الأنهار بشكل عملي وتستبدل بأحواض مغلقة يطلق عليها اسم الحفر البالوعية **Singholes**. التي تتفاوت مِنْ حُفَرٍ أسطوانية صغيرةٍ إلى أحواض مخروطيةٍ كبيرةٍ.

وبينما تتشكّلُ بَعْض البالوعات ببطء بإذابة الصخور الكربونية، تتطوّرُ بالوعات أخرى نتيجة لانهيار المادّةِ السطحيّةِ أو السطح تقريباً. يطلق عليها اسم البالوعات الانهيارية. ونتيجة لاستمرار فعل الإذابة تتسع الحفر البالوعية بالتدريج، وقد تندمج وتتلاحم في بعض المناطق مكونة حفر كبيرة تعرف بحفر الإذابة المركبة أو اوفالا **Uvalv**. وهناك نوع آخر من الحفر البالوعية تكون كبيرة الحجم تعرف باسم بولجي **Polje** في يوغسلافيا (سابقا) وتتميز هذه الحفر البالوعية بأنها على شكل منخفضات مستطيلة تتميز بانبساط قاعها، وتحيط بها حوائط شديدة الانحدار، ويبدو أنها لم يكن أصلها ناشى عن طريق الإذابة، وإنما هي منخفضات تكتونية جرى تعديل شكلها عن طريق إذابة الصخور الجيرية التي تدخل في تركيبها.(*جودة، معالم سطح الارض، ص ٤٦٩*) وفي كثير من الأحيان تمتلىء الحفر البالوعية بالماء وتكون حدودا مستديرة تقريبا فتظهر في شكل برك جميلة (*حسن واخرون، اساسيات علم الجيولوجيا، ص ٣١٢*)، إن هذه البرك تكون جزء من النظام الهيدرولوجي الطبيعي في أقاليم الكارست، وتحْدثُ البرك **Ponding** أثناء فتراتِ المطرِ الكثيفة عندما يَتجاوزُ معدل الجريان السطحي لمياه العاصفة سعة تصريف البالوعات. وقابلية نظامِ الكهفَ لإرْسال ماءِ العاصفةِ تتجاوزُ كمية الماء التي يجب

أنْ يُخزَنَ بشكل مؤقت في البالوعات، وكذلك تأثير الماء الراكد على تدفقِ المياه الجوفيةِ مِنْ البالوعات بالانخفاض إلى الأسفل مقارنة مع مستوى السطح (Introduction-What is Karet) انظر الصورة (١٤).

وقد يوجد في بعض المناطق سلسلة طويلة من كهوف الذوبان تتصل بعضها ببعض بواسطة قنوات ذوبان، مما يترتب على ذلك تكوين نهرا حقيقيا تحت الأرض، وإذا تهدمت أسقف بعض هذه الكهوف المتجاورة فإنها تكون ما يسمى بالقناطر الطبيعية Natural Bridges، وقد تنهار أخيرا هذه القناطر مع تقدم عملية الإذابة فيترتب على ذلك تكوين ما يسمى بوديان الذوبان Solution Valleys (*حسن واخرون، أساسيات علم الجيولوجيا، ص ٣١٢*).

صورة (١٤) سهل البالوعات قبل وبعد سقوط الأمطار.

٣ - الكهوف.

الكهوف هي عبارة عن دهاليز طبيعية تمتد أسفل السطح امتدادا أفقيا ورأسيا، وتنشأ عن حركة المياه الجوفية خلال الفواصل والشقوق، وسطوح الانفصال الطبقي، مذيبة للجير، ويعظم فعل المياه حينما تغزر الأمطار مكونة الأنهار الباطنية التي تعمل على توسيع الفواصل وسطوح الانفصال الطبقي بواسطة الإذابة

والنحت مكونة الكهوف الضخمة.(*جودة، معالم سطح الأرض، ص ٤٦٩*) ويرى فورد بأنه لا توجد الآن حالة واحدة عامة لتفسير تكون الكهوف الكلسية كما هو معروف في النظريات القديمة، وإنما يرى بان هناك ثلاث حالاتٍ شائعة، هي كهف الارتشاح شبه الجوفي vadose وكهف الغازات الباطنية phreatic العميقة وكهف مستوى الماء الجوفي.

إنّ أنواعَ الكهوفِ الشائعة التي تحدثِ مَحكُومُ بتكرار اختراق الشقوق بشكل ملحوظ بالمياه الجوفيّة، وبالفواصل Joint الموجودة نسبة إلى السطح الفاصل بين طبقات الصخور. تُجمعُ هذه الخصائص معا لتشكيل مفهومِ التوصيلِ الهيدروليكي. التوصيل الهيدروليكي معامل التناسب proportionality يَصِفُ النسبةَ في أيّ ماءٍ يُمكِنُ أنْ يَتحرّكَ خلال وسط نافذ (Ford, 1981. p 81 - 94 -) التوصيل الهيدروليكي الأعلى في اغلب الأحيان يعمل على تطوير كهف مستوى الماء الجوفي. كهوف مستوى الماء الجوفي تكون شائعة بالأخص في مناطق الصخور الممتدة المنبسطة. عندما يتكون الماء الجائم بسبب وجود طبقات صخرية مصمتة، الاختراق العميق للماءِ حسّاسٌ بوجود السطح الفاصل بين الصخور والذي يكون مفتوحا وضحلا،الذي يستمر إلى الينابيع.

إما كهوفُ الارتشاحِ Vadose فإنها تتطور عندما تتَجمعُ الجداولَ الكافيةَ فوق نقاط البالوعات وتُنقلُ الماءَ إلى مستوى الماءَ أو الينابيع. بينما تتكون كهوفُ الغازات الباطنية phreatic العميقة وتتطور بشكل أفضل في الصخور المنخفضة بشكل حاد بسبب استمرار السطح الفاصل بتوجيه المياه إلى أعماق كبيرة.(*Fetter, 1980.p 488*)

لاحظ بلا يمر بان الممرات الكبيرة لعدد من الكهوف توضح تعاقب المستويات باتجاه المستويات الأصغر، ومازال واحدا نشطا، يقع على الارتفاع الاوطأ في المستوى الذي يَحْدثُ فيه التوسيعَ مُركّزُ في أو قُربَ المستويات النهريةِ الحديثة

(Palmer, 1984 p pp173 -209) دراسات في كنتاكي من قبل ميوتك وبالمير وضحت بأنّ أنماطِ الكهوفِ هي إنعاش لتغيرات عديدة في مستوى القاعدة والمناخ منذ أواخر العصرِ الثلاثي.(Miotke& Palmer.1972.p69) ولاحظ بالمرِ أيضاً بأنّ تطويرِ الكهوفِ

محتملُ أن يكون تطور فوق، أو في، أو تحت مستوى الماءَ. حيث أنَّ شكل كهوفِ اعتمد على جيولوجية وهيدرولوجية المنطقة محليا، وعِلْم طبقات الأرضِ المحليٌ، ودراسة موارد مائية، ومن المحتملُ أن يكون للكهف الواحد ممرات تكونت فوق، أو في، أو تحت مستوى الماءَ. ويُشيرُ أبعد بأنْ يُوضّحُ العلاقةَ في العديد مِنْ المناطقِ بين مستويات الكهفِ والتاريخِ النهري، ويوضح الميلَ لمعظم الذوبان solutioning للمكان الذي يقع على مستوى الماء الأرضي (Palmer, 1984 p p173 -209).

ترسبات الكهوف

بالتأكيد الظواهر التي تُثيرُ أعظم الفضول لأكثر زوّارِ الكهوفِ التشكيلات الغريبة لأنواع الترسبات الكلسية التي تعطي في اغلب الأحيان مظاهر عجيبة لهذه الكهوف. هذه المظاهر تكونت من خلال قطرات المياه اللانهائية والتي استغرقت مدة طويلة من الزمن .إن كاربونات الكالسيوم المتبلورة التي تترك خلف منتجات حجر الكلس تدعى Travertine. هذه هي ترسبات الكهوف، على أية حال، تدعى أيضاً بشكل عام باسم الأحجار المعلقة dripstone، إشارة واضحة إلى اصل تكونهم. بالرغم من أن تكوين الكهوفِ يَحْدثُ في نطاق التشبع، فان ترسبات الأحجار المعلقة يكون من غير المحتمل إن تصل إلى قاع الكهوف الواقعة فوق مستوى الماء الجوفي في نطاق التهوية، وهذا يحدث بشكل عام عندما تقطع الجداول القريبة وديانها بشكل عميق. وعندما تتساقط قطرات الماء من الأعلى، وتكون الغرفة مملؤة بالهواء فان الوضع يكون جاهز لبدء مرحلة تزيين الكهف. وجدت مظاهر مختلفة للأحجار المعلقة في الكهوف منها الهوا بط stalactites. انظر الصورة (١٥) وهي عبارة عن نتوات شبيهه برقائق الثلج متدلية من سقف الكهف وتتكون عندما تتسرب المياه خلال الشقوق من الأعلى. وعندما يَصِلُ الماءُ إلى الهواءَ الموجود في الكهفِ، البعض مِن ثاني أو كسيد الكاربون المذاب يهرب وتبقى مخلفات كاربونات الكالسيوم. يَحْدثُ الترسيب كحلقة حول حافةِ قطرات الماء المتدليةَ. وتوالي الهبوط تخلف كلها أثر متناهي الصغر لكاربونات الكالسيوم خلفها وتخلق أنبوب كلسي مجوف ثم يتحرك الماء خلال الأنبوب وتبقى متدلية بشكل مؤقت في النهاية، تساهم الحلقة الصغيرة من كاربونات الكالسيوم وتسقط إلى ارض

٤ – المجاري الجوفية .Subterranean Streams

تساهم في نشأة هذه الظاهرة كل من الحفر البالوعية والأحواض الطولية في المناطق الجيرية، فعندما تغور مياه نهر صغير في إحدى هذه البالوعات قد يظهر جزء منه فوق السطح بينما يختفي الجزء الآخر تحت السطح، إلا انه قد يظهر فوق السطح مرة أخرى عندما يكون منسوب مجرى النهر الجوفي مع مستوى سطح الأرض، ويتكون بهذه الطريقة ما يعرف باسم الأنهار الجوفية أو المجاري المفقودة Lost Rivers. إما الأودية العمياء Blind Valleys فيقصد بها تلك المجاري السطحية التي تجف مياهها تبعا لتغلغلها في جوف الصخر وتحولها إلى مجاري جوفية. وإذا امتلأت هذه الأودية العمياء بالمياه من جديد عقب فترة من سقوط الأمطار الغزيرة قد يترتب عليها حدوث فيضانات قوية تهدد القرى السكنية والمراكز العمرانية في مناطق الكارست الجيرية. انظر الصورة (١٦)

صورة (١٦) المجاري المائية الباطنية تحت سطح الأرض.

٥ – التلال المنعزلة والغابات الحجرية.

بعد إن تعمل المياه الجوفية على إذابة أجزاء واسعة من المناطق الجيرية قد تبقى فوق السطح بعض الكتل الجيرية التي استطاعت مقاومة عمليات الإذابة والتحلل تبعا لشدة صلابتها النسبية، ويطلق عليها عامة اسم التلال المنعزلة Monadnock or isolated hills وتعرف هذه التلال بأسماء محلية مختلفة فعلى سبيل المثال يطلق عليها في يوغسلافيا السابقة اسم همز Hums، وفي كوبا اسم موجوتز Mogotes.

وعندما تتكون مجموعات متجاورة من التلال الصخرية الجيرية تبعا لتعرض الحافات الجيرية السابقة لفعل التجوية الكيميائية الشديدة، تظهر التلال على شكل غابات أو جذوع أشجار حجرية عالية، ومن ثم يطلق عليها تعبير الغابات الحجرية Stone Forests. انظر الصورة (١٧)

صورة (١٧) الغابات الحجرية.

٦ – الجسور الطبيعية. Natural Bridges.

تتكون ظاهرة الجسور الطبيعية في المناطق الجيرية ذات الصخور العظيمة السمك والشديدة التقطع بفعل الشقوق الطولية والعرضية، فتعمل المياه على ذوبان