ليست كل مياه تحت سطح الأرض تعتبر مياه جوفية

أ.د. صابرين محمد أبازة

الأستاذ بمعهد الفيزيولوجيا والبيئة

كوكب الأرض يتشكل سطحه من مساحات من اليابسة والتي يعيش عليها جميع مخلوقات الله المؤهلة للعيش فوقها «إنسان - حيوان - نبات - حشرات - طفيليات - ميكروبات - فيروسات»، ومساحات أخري من اليابسة المغطاة بالمياه والتي يعيش بداخلها مخلوقات أخري مؤهلة للعيش تحت سطح المياه وفيها ما نعرفه وما لا نعرفه حتي يومنا هذا ولا يمكننا حصره، وتتفوق المساحات المغطاة بالمياه من حيث الحيز الذي تشغله بنسبة ثلاث أرباع سطح الأرض.. وتتكون مساحات اليابسة المكشوفة أو المغطاة بالمياه من تضاريس أرضية متعددة كالجبال والهضاب والوديان والبراكين والكهوف، وتتنوع في طبيعتها من حيث مكوناتها صخرية أو رملية بما في ذلك الأنواع المتعددة من الصخور التي تشكلها وأنواع التربة المتعددة، وتشكل الفوالق والشقوق الأرضية أهمية خاصة عند علماء الجيولوجيا وعلماء الأراضي وأيضاً علماء الموارد المائية الجوفية.

وتحصل جميع الكائنات الحية علي احتياجاتها المائية للحياة من خلال مصدرين رئيسيين وهما المياه السطحية وتشمل مياه الأنهار والبحيرات ومجاري الوديان وتمثل ٣٪ من إجمالي المياه علي كوكب الأرض، والمياه الأرضية وتشمل مياه الآبار والينابيع والكهوف وتشمل ٩٧٪ من إجمالي المياه علي كوكب الأرض.. والمياه علي كوكب الأرض تنقسم لعدة أشكال، منها المسطحات المائية الضخمة مثل المحيطات والبحار والبحيرات، أو المياه الجارية كالأنهار والجداول وما يتفرع عنها، أو تأتي علي شكل ينابيع وعيون. وهذه الينابيع والعيون هي بالأصل مياه جوفية، أي أنها مياه مخزنة في باطن الأرض بتجمعات مائية كبيرة أو صغيرة، تكون مختلة مساحة في باطن الأرض علي شكل خزان مياه، قد تجد طريقها إلي أعلي عبر بعض الفتحات الناتجة عن الزلازل أو الهزات الأرضية أو الحفريات التي يقوم بها الإنسان، فتخرج من باطن الأرض متدفقة نحو السطح

بأشكال «٢٤» أشكال مختلفة من الينابيع الطبيعية المتفجرة والجارية من باطن الأرض إلى سطحها

يتوي متفاوتة قد تصل إلى سرعات هائلة فيطلق عليها اسم الينابيع المتفجرة، وقد تخرج ببطئ فتشكل تجمعات مائية على شكل بحيرات أو برك صغيرة هادئة. قد نجد هذه الينابيع في أي مكان حتى في الصحراء وهي إذا ما وجدت في صحراء ما، تسمى المنطقة المحيطة بها بالواحة، وقد لا تخرج وتبقى مخزنة داخل الأرض وهي قادرة على صنع ممرات جوفية لنفسها تشبه من حيث المبدأ الأنهار والجداول التي نراها على سطح الأرض.

وتتغذى هذه الينابيع عادة من مياه الأمطار التي تخترق سطح الأرض وتترسب إلى داخلها مشكلة تجمعات مائية كما هي الحال عند تجمع هذه المياه في السدود مثلاً.. والمياه الجوفية تعد ثروة باطنية حيث وجدت لأنها بطبيعتها نقية وصالحة للاستعمال البشري أكثر من غيرها وتعتمد عليها بعض البلدان في تمويل الحاجة

المائية في الدولة.

وعلى ذلك فالمياه الجوفية كانت ومازالت مصدراً هاماً للمياه على مر العصور، وهي المخزن الرئيسي للمياه العذب وقت الاحتياج المائي.. وتتكون هذه المياه نتيجة رشح المياه الموجودة فوق سطح الأرض إلى باطنها بشرط أن تكون نفاذية الصخور تحت السطحية عالية بما يكفي لنقل هذه المياه كما يجب أن تكون سرعة الرشح كافية لإشباع سماكة معينة من الصخور، ومما هو جدير بالذكر أنه ليست كل مياه واقعة تحت سطح الأرض تعتبر مياه جوفية حيث إن المياه الجوفية الحقيقية لابد أن تكون في حالة تدفق بحرية باتجاه البئر، والشرط الذي يتحكم في ذلك التدفق أن يكون الضغط الجوي بالبئر أقل من ضغط المياه الجوفية المتدفقة إلى ذلك البئر.

أين وكيف تتواجد المياه الجوفية؟

للإجابة على هذا التساؤل

شكل «٢»: مقادير توزيعات المياه «العذب والمالح» على سطح كوكب الأرض.

شكل «٣»: الدورة المائية على سطح وباطن كوكب الأرض. ويلاحظ أن كمية المياه ثابتة بشكل عام ولكن يختلف أماكن ومواقيت توزيعها فقط

لابد من دراسة التوزيع العمودي والجانبي للمياه خلال القشرة الأرضية. وهذا التوزيع يعتمد على مجموعة من العوامل الهيدرولوجية والجيولوجية ودراسة خواص المادة الأرضية من حيث قدرتها على إدرار الماء أو الاحتفاظ به.

التوزيع العمودي للمياه الجوفية

Vertical Distribution of Ground Water

أولاً: المنطقة غير المشبعة، منطقة التهوية، Aeratation Zone

تمثل فجواتها وشقوقها جزئياً بالماء وجزئياً بالهواء، والماء في تلك المنطقة يكون متحركاً لأسفل بفعل الجاذبية الأرضية ومتصل باستمرار بالهواء الجوي ويحتوي على الغازات الأكسجين وثاني أكسيد الكربون، كما يحتوي على الأحماض العضوية الناتجة من التفاعلات الكيماوية. وتنقسم تلك المنطقة إلى ثلاث أقسام:

١- منطقة ماء التربة، نطاق التربة، Soil Water Zone

- تمتد هذه المنطقة من سطح الأرض وحتى نهاية جذور النباتات، ويختلف سمكها أعتماداً على نوع النبات ونوع التربة أيضاً.
- لا يحدث الإشباع الماني في هذه المنطقة إلا في حالة الري والفيضانات والأمطار الغزيرة، وفي حالة الإشباع تتكون البرك بسبب خروج ماء التربة إلى السطح.
- ماء التربة هو مصطلح آخر لرطوبة التربة وتعتمد على حجم حبيبات التربة ومسامية التربة وبعض العوامل الجوية وتكون معرضة للتبخر والبخر النتح من النبات.
- هذا النطاق له تأثير كبير جداً على كيماوية المياه التي ترشح من خلاله إلى أسفل لأنه يحتوي على مواد عضوية وعلى جذور النباتات وبعض المعادن وغازي الأكسجين وثاني أكسيد الكربون ومياه، وتحدث التفاعلات الكيماوية من الغازات الناتجة عن تنفس جذور

شكل «٤»: مناطق التوزيع العمودي للمياه الجوفية.

النباتات والمواد التي تحتويها تلك الطبقة مما يسبب تفتت الصخور وتؤثر في كيماوية المياه المترسبة لأسفل.

- يلاحظ أيضاً أن الضغط الجزئي لغاز ثاني أكسيد الكربون في التربة يكون أعلى منه في الهواء الجوي والسبب في ذلك هو اختلاف درجة الحرارة والرطوبة والنشاط الميكروبي بالتربة ودرجة قابلية المواد العضوية وتأثير تركيب التربة على انتشار الغازات.
- يلعب الهيدروجين الناتج من التفاعلات دوراً هاماً في تجوية المعادن أما الأحماض العضوية تلعب دوراً هاماً في تطوير التربة ونقل المكونات غير الذائبة إلى أسفل باتجاه المستوى المائي.

٢- المنطقة الوسطى Intermediate Zone

- يتراوح سمكها ما بين صفر إلى بضع مئات من الأمتار، ويتوقف السمك على سماكة منطقة التهوية وقرب سطح المياه الجوفية من سطح الأرض.
- تتميز بوجود المياه الغشائية وتقوم بدور الموصل بين المناطق القريبة من سطح الأرض ومستوى المياه وفيها يتحرك الماء بشكل رأسي لأسفل، كميات زائدة عن المياه الغشائية، وتسمى المياه الزائدة بالماء الجذبي Gravity Water.

٣- المنطقة الشعيرية Capillary Zone

وهي المنطقة التي تعلو مستوى سطح الماء الجوفي مباشرة وفيها يرتفع الماء عبر الشقوق

ومسامات التكاوين الصخرية بواسطة الخاصية الشعرية، وبناء عليه تمتد هذه المنطقة من سطح المياه الجوفية حتى الحد الذي ترتفع فيه المياه بالخاصية الشعيرية، وتحكم هذه المنطقة بالقوانين الرياضية التي تحكم ارتفاع السوائل في الأنابيب الشعيرية على أساس أن الشقوق والفراغات الدقيقة بين الصخور هي أنابيب شعيرية.

ثانيا: منطقة المياه المعلقة Perched Water

إن المياه المتجمعة فوق الطبقات غير النفاذة التي تعلو مستوي المياه الجوفية والموجودة في نطاق التهوية تسمي بالمياه المعلقة.. ويسمي الحد الأعلي للمياه المعلقة بمستوى المياه المعلقة وهي بشكل عام كميات مائية قليلة. علما بأنه يجب أخذ الحيطة والحذر عند استغلالها ويجب مراعاة عدم اختلاطها بالمياه النقية، وذلك لكونها ملوثة في كثير من الأحيان وسمكها بسيط جداً من حوالي ١-٢مم ، وغالباً ما تكون طبقة طينية وطمي ذوي النفاذية القليلة جداً للماء، وتعتبر هذه المنطقة هي المنطقة السفلية لمنطقة التهوية.

ثالثا: منطقة مستوي المياه الجوفية Water Table

ويحد المنطقة المشبعة بالماء من الأعلى، وهو سطح غير منتظم يأخذ الشكل الطوبوغرافي للمكان فيعلو مع الارتفاعات ويهبط مع المنخفضات والوديان ويفصل بين منطقتي التهوية والتشبع الآتي ذكرها.

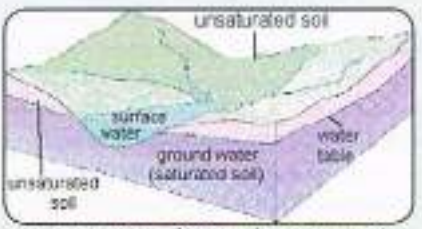
رابعا: منطقة التشبع Saturated Zone

في هذا النطاق تتحرك المياه حركة مستمرة ولها سرعة جريان وتدفق.. ويمكن تعريف منطقة الأشباع بالمنطقة المشبعة بالماء والمحددة من الأسفل بمستوي الأساس «طبقة غير نفاذة» ومن الأعلي بسطح المياه الجوفية. وإذا كان يعلو طبقة المياه الجوفية طبقة كتيمة «غير نفاذة» فإن الحد العلوي لمنطقة الإشباع يكون السطح السفلي للطبقة الكتيمة.. وتتراوح سماكتها نظرياً إلى ما بين ١٢-١٠ كم وهو الحد الذي لا يمكن للماء نظرياً، أن يوجد بعده بحالة سائلة، وهنا تمثل المياه الجوفية كل الفراغات وتعتبر المسامية هي القياس الأساسي والمباشر للماء الذي تحتويه هذه الفراغات لكل وحدة حجم، ولا يمكن إزالة كل المياه الموجودة في هذا النطاق بواسطة التصريف أو الضخ من الآبار وذلك بسبب القوي الجزيئية وقوى الشد السطحي ويبقي مقدار معين منها بين أطراف الحبيبات والشقوق مهما زادت عمليات التصريف ويسمي هذا الماء بالماء المتبقي Retained Water.

أما النسبة المئوية لحجم الماء الذي سيحتفظ به بعد الأشباع ضد قوي الجاذبية الأرضية إلي حجمه الكلي فيسمي الاحتفاظ النوعي Specific Retention. فإذا رمزنا له بالرمز S r ورمزنا لحجم الماء المحتفظ به بالرمز Wr والحجم الكلي للصخور أو التربة بالرمز V فإن:

$$S_r = \frac{W_r}{V}$$

والماء الذي يمكن الحصول عليه من الطبقات المائية بالتصريف أو الضخ من الآبار يعرف باسم «العطاء النوعي» ويرمز له بالرمز S y ويعرف علي أنه النسبه المئوية لحجم الماء الذي يمكن الحصول عليه بالجاذبية الأرضيه Wy إلي الحجم الكلي للصخور أو التربة، مع ملاحظة أن مصطلح المسامية الفعالة Effective Porosity هو مرادف لمصطلح العطاء النوعي، وعلي ذلك فإن



شكل «١٠» مقطع رأسي لكتلة أرضية يتضح فيها المياه السطحية ومناطق الأشباع «المياه الجوفية» وعدم الأشباع «مياه التربة» ومنطقة الفصل بينهم «مستوي المياه الجوفية»

حجم الماء الممكن الحصول عليه أو تصريفه ممثل بالعلاقة الآتية:

$$S_y = \frac{100\ W_y}{V}$$

أما حجم الماء الكلي هو:

$$W = W_r + W_y$$

والمسامية الحقيقية هي:

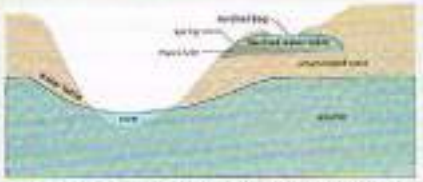
$$N = S_r + S_y$$

ويعتمد العطاء النوعي على خواص التكوين الحاوي على الماء مثل المسامية وحجم الحبيبات وشكلها وتوزيعها وتراص الطبقات الأرضية. وتتراوح نسبة العطاء النوعي ما بين ١٠-٢٠٪ للتكوينات المائية الفريتية بينما تصل في الرمال المنتظمة إلى ٣٠٪.

ومن التحريات الحقلية الواسعة لحوض الساحل الجنوبي من لوس أنجلوس بمنطقة كاليفورنيا الأمريكية، بعد أن تم أخذ نماذج مختلفة ومتعددة من السطح المكشوف ومن الحفر الاختباري والآبار وتم تحديد المسامية، فقد تمكن العلماء من تحديد العطاءات النوعية كمجموعات لتظهر بالجدول الآتي:

المواد	النسبة المئوية للعطاء S_y
الحصى، رمال وحصى مختلطين	٢٥
رمل ناعم، رمل صلب، رمل متماسك	٢٠
صخر رملي وريوليات متشابهة	١٠
حصى وطين، طين وحصى، حصى متماسك، ريوليات متشابهة	٤
طين، طمي، طين رملي، حمم صخرية، صخور أخرى ناعمة الحبيبات	٢

جدول (١): العطاء النوعي لتكوين مائي رسوبي - كاليفورنيا - الولايات المتحدة الأمريكية «١٩٥٩ todd».



شكل «٩»: مقطع رأسي للطبقة المائية بباطن الأرض.

الطبقات المائية وأنواعها Aquifer:

الطبقة المائية أو Aquifer: هي عبارة عن تكوين جيولوجي له القدرة على حمل المياه ونقله ومنحه بكميات كافية تساهم في تطوير الاقتصاد.

الطبقة الكتيمة أو Aquiclude: فهي تكوين جيولوجي له القدرة على حمل الماء فقط وليس له القدرة على نقله ومنحه بكميات كافية لتزويد الآبار والينابيع.

الطبقة المسمية أو Aquifuge: هي عبارة عن تكوين جيولوجي ليس له القدرة على حمل المياه أو نقله أو إعطاؤه وفتحاته غير متصلة.

وتتكون الطبقة المائية المعروفة بمصطلح Aquifer من صخور غير متماسكة مثل الحصى والرمل وتنقسم حسب وجودها إلى أربعة أقسام، «مجاري المياه - الوديان المطمورة أو المهجورة - الوديان بين الجبال - السهول المجاورة للجبال»، وتتصف هذه التشكيلات بنفاذيتها العالية للمياه نظراً لعدم تماسكها مما يجعلها غنية بالمياه الجوفية، ويبطن مجاري المياه الطمي والحرين.

إن معظم التكوينات المائية يمكن تصورها كمستودعات خزن ذات امتداد كبير تحت الأرض ويمكن للماء أن يدخل الخزان نتيجة العلو الطبيعي أو الاصطناعي ويمكن له أن يجري بفعل الجاذبية ويمكن استخلاصه بواسطة حفر الآبار وضخ المياه ويوجد عدة أنماط من التكوينات المائية ويمكن تقسيمها إلى:

١- التكوين المائي غير المحصور أو طبقة المياه الحرة Unconfined or Free Aquifer

وتتواجد في النطاق المشبع ويتصل سطحها

العلوي مع الضغط الجوي لذلك تسمي بالطبقة المائية الحرة، ويمكن تعريفها بأنها الطبقة الحاملة للماء ويحدها من أسفل طبقة كتيمة غير نفاذة أو نصف نفاذة ومن الأعلي المستوي المائي المتصل مع الهواء الجوي، ويسمي السطح العلوي للمياه الجوفية بهذه الطبقة بمستوي الماء الساكن Static Water Level ويمكن قياسه من داخل البئر بأجهزة خاصة، ويستفاد من هذه القياسات في تجارب الضخ، وتحضير خرائط خاصة لمستوي الماء الساكن تساعد علي دراسة حركة المياه الجوفية وتوزيعها، أن السطح العلوي للطبقات المائية الحرة لا تكون مستوية وتعتمد علي الشكل الطبوغرافي للمنطقة، وتعتبر طبقة المياه الحرة المعلقة حالة خاصة حيث إن وجود طبقات كتيمة صغيرة الحجم فوق المستوي الحر للمياه الجوفية قد يسبب في تراكم كميات محدودة من المياه تسمي المياه الحرة المعلقة ويسمي سطحها بالسطح الحر المعلق وتكون عادة قريبة من سطح الأرض.

٢- التكوين المائي المحصور، الطبقة المائية الأرتوازية أو الانضغاطية.

Confined or Artisian Aquifer

هي الطبقة الحاملة للماء والمحصورة بين طبقتين كتيمتين غير نفاذة من أعلي ومن أسفل وواقعة تحت تأثير ضغط يفوق الضغط الجوي، وليس لها سطح حر وعند حفر الآبار بها يرتفع الماء داخل أنابيب الحفر ويأخذ المستوي المائي عندئذ اسم المستوي الانضغاطي أو البيزومتري أو الهيدروستاتيكي، وعندما يصل المستوي المائي البيزومتري إلي أعلي من سطح الأرض فيسمي بالماء الأرتوازي التدفقي والبئر الذي تخرج منه هذه المياه تسمي بالبئر الأرتوازي.. ومنطقة التغذية هي المنطقة التي يدخل منها الماء إلي الطبقة الأرتوازية.. أما الطبقة التي تكون محصورة بين طبقتين كتيمتين من الأعلي والأسفل والحاملة لمياه خاضعة لضغط يساوي الضغط الجوي فتسمي بطبقة المياه الحبيسة وهذه المياه هي حالة خاصة من المياه الأرتوازية، حيث إن هبوط السطح البيزومتري إلي ما دون سطح الطبقة الكتيمة يجعل المياه الأرتوازية مياه حبيسة لذلك فقد عرف بعض الهيدرولوجيين المياه الحبيسة بالمياه الأرتوازية التي فقدت انضغاطيتها وعرفها بعضهم بالمياه الحرة المغطاة بطبقة كتيمة وهذان التعريفان لا يتعارضان في الجوهر.. وهبوط السطح البيزومتري يعكس تبدلات ضغطية ولا يدل علي تغيرات في حجم المياه المخزونة كما هو الحال في طبقات المياه الحرة، إن التركيب الخاص والصفات السخرية للطبقات المضغوطة أو المحصورة لها عدة أشكال نذكر منها:

- التركيب المقعر، الحوض الأرتوازي.
- الطبقة الأرتوازية المائلة
- التغير الليتولوجي الأرتوازي
- فوالق وصدوع أرتوازية
- المياه الأرتوازية المشققة
- الرواسب الغرينية الأرتوازية

٣- الطبقات المائية الراشحة Leaky Aqifers

ويمكن تسميتها بالطبقة المائية النصف مضغوطة semi confide aquifer وهي عبارة عن طبقة مائية مضغوطة confide aquifer يحدها من أعلي طبقة نصف منفذة semi permeable تترشح المياه عبرها إلي أسفل باتجاه الطبقة المائية المضغوطة.. يكثر وجود الطبقات الراشحة في الأودية المغطاة برواسب حديثة حيث تكون طبقات الرمال والحصى العميقة مغطاة بالتراب والطين وبالمواد ذات الحبيبيات الناعمة. وفي هذه الحالة تعتبر طبقات الرمال والحصى هي الطبقة الراشحة بينما يعتبر التراب والطين والمواد ذات الحبيبيات ممثلاً للطبقات نصف المنفذة.