الفصل الثاني

المياه الجوفية وتغذيتها وتلوثها

(١ , ٢) مقدمة

المياه الجوفية هي مياه تحتويها الطبقات الأرضية بين مسامها تكونت في عصور جيولوجية سابقة، ويقدر عمر هذه المياه في الطبقات الأرضية بمئات وآلاف السنين، وهي تكونت نتيجة تساقط الأمطار وتسربها إلى داخل تلك الطبقات وتجمعها بين حبيبات مسامها نتيجة وجود طبقة غير منفذة أسفل الطبقة الحاملة للمياه، ويختلف بعد المياه الجوفية عن سطح الأرض من أمتار قليلة إلى عشرات الأمتار إلى مئات الأمتار تبعا لتكوين تلك الطبقات، كما يختلف سمك الطبقة الحاملة للمياه ومساحة الطبقة أسفل سطح الأرض. والمياه الجوفية تعتبر مصدر تقليدي لموارد المياه في أي منطقة ولكن طبيعة هذه المياه كونها عبارة عن مخزون من المياه، سيأتي وقت لنضوبها قصر الوقت أم طال؛ نتيجة الاستنزاف والسحب المتزايد من هذا المخزون خصوصاً إذا كان هذا المخزون غير متجدد أي لا توجد تغذية له عن طريق الأمطار في مناطق السحب أو مناطق قريبة. والخطر الثاني الذي يهدد الطبقات الحاملة للمياه بالإضافة للسحب المتزايد منها هو التلوث الذي يصيب تلك المياه بفعل بعض الملوثات مثل مياه الصرف الصحي أو بعض الكيماويات وغيرها من ملوثات تجعل المياه الجوفية غير صالحة للاستخدام إلا بعد معالجتها للتخلص من تلك الملوثات حتى لا تتأثر البيئة أو الإنسان نتيجة استخدامها.

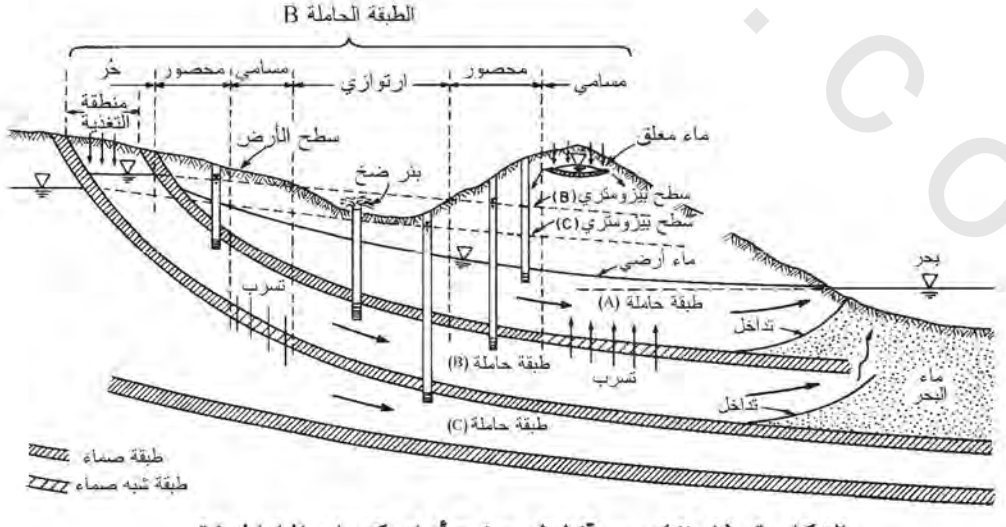
وتزداد استعمالات المياه الجوفية يوما بعد آخر وسنة بعد أخرى؛ وذلك لزيادة حفر الآبار الجوفية في كل دول العالم، وذلك لزيادة الحاجة إليها في توفير مياه الشرب لكثير من مدن العالم ولتوفير مياه الري للزراعة في مناطق واسعة من العالم. نتيجة لكل ذلك أصبح من الأهمية بمكان تقدير كميات المياه الجوفية وحمايتها من التلوث وتنظيم ضخ المياه فيها لضمان استمرارية توفرها كمصدرها طبيعي للمياه.

(٢ , ٢) أنواع تكوينات المياه الجوفية

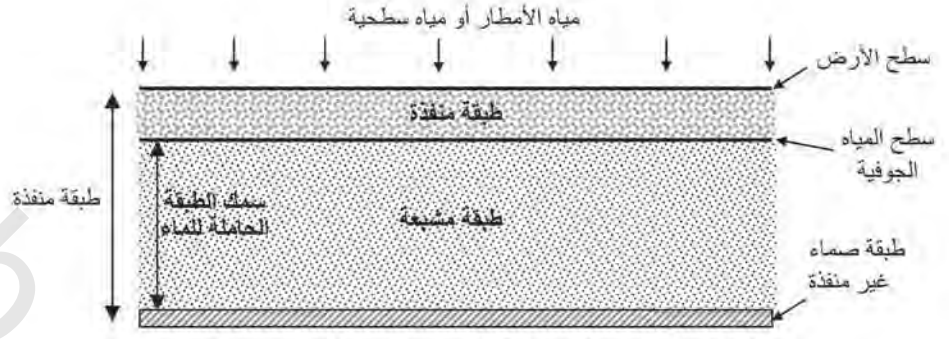
وبصفة عامة يمكن حصر أنواع تكوينات المياه الجوفية الهامة في ثلاثة أنواع فقط من هذه التكوينات أو الخزانات أو الطبقات الحاملة للمياه الجوفية (الشكل رقم ١ , ٢)، وهي الأكثر تواجداً في العالم والأكثر إمداداً للمياه:

١ - التكوينات الجوفية الحرة (الطبقات الحاملة غير المحصورة)

وهي الطبقة الحاملة للماء ولا يحدها من الأعلى طبقة غير منفذة (صماء) وتعرف في هذه الحالة بطبقة غير محصورة (الشكل رقم ٢ , ٢)، بينما تقع هذه الطبقة فوق طبقة غير منفذة. والطبقة الحاملة للمياه غير المحصورة تكون مشبعة بالماء لحد مستوى معين يسمى مستوى الماء الأرضي، ويكون سمك الطبقة الحاملة للماء هي المسافة بين الطبقة الصماء السفلية وسطح الماء الأرضي، ويكون مستوى الماء الأرضي معرض لضغط متماثل يعادل الضغط الجوي، حيث إن الطبقة التي تعلوها طبقة منفذة أيضاً ولكنها غير مشبعة بالماء. ويشترط في الطبقة الحاملة للماء أن تتحرك خلالها المياه بسهولة نسبية. وتكون الطبقة الحاملة للماء متصلة بشكل مباشر بمصادر تغذيتها في نفس المنطقة سواء من مياه الأمطار أو المياه السطحية (الشكل رقم ٢ , ٢). فعندما تتساقط الأمطار يتسرب جزء منها مباشرة عبر التربة السطحية ومن ثم يتسرب إلى مناطق أعمق ليغذي المياه الجوفية. وتعتمد كمية المياه التي يتم تخزينها على عدة عوامل تتعلق بخصائص الأمطار مثل شدة المطر وكميته، وخصائص منطقة التغذية مثل مساحة منطقة التغذية وطبيعة الطبقة السطحية من التربة وميل سطح الأرض. فتزداد التغذية بزيادة شدة المطر وكميته، بينما تقل التغذية بزيادة ميل سطح الأرض المستقبلة للمطر، وتزداد التغذية بزيادة معدل تسرب التربة الذي يتأثر بوجود تفكك في التربة.



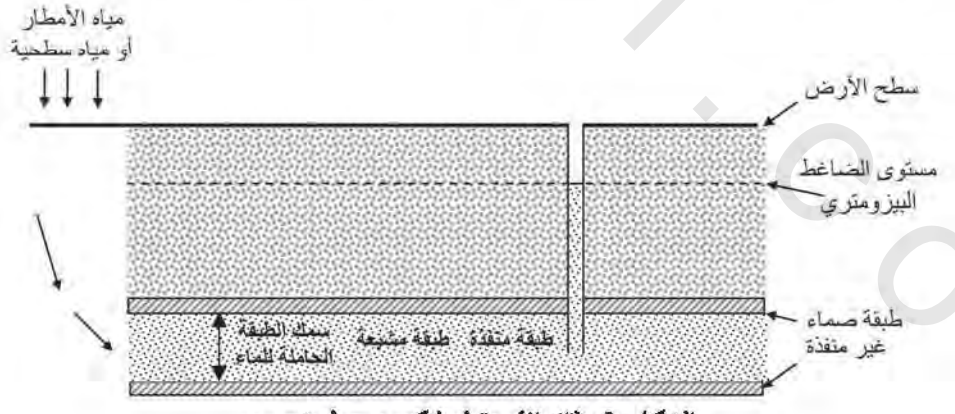
الشكل رقم (١ , ٢). رسم تخطيطي يوضح أنواع تكوينات المياه الجوفية.



الشكل رقم (٢, ٢). مقطع لتكوين جوفي حر (غير محصور).

٢- التكوين الجوفي المحصور (الطبقات الحاملة الارتوازية-المحصورة)

هي التكوينات الجيولوجية المنفذة التي تحتجز المياه تحت ضغط ارتوازي بين طبقتين غير منفذتين (الشكل رقم ٣, ٢)، قد يرتفع الماء في مثل هذه الطبقات فوق مستوى الطبقة العليا أوقد يرتفع إلى سطح الأرض إذا كان الضغط كافياً، ومقدار ارتفاع الماء في البئر يعتمد على مقدار الضغط الارتوازي المتوفر في الطبقة، وهذا الضغط يتأثر بمقدار ارتفاع الماء عند مصدر الماء المغذي للطبقة الحاملة. وعادة ما تكون المياه داخل الطبقات المحصورة تحت ضغط أعلى من ضغط جوي واحد ويمثل انخفاض السطح البيزومتري للمياه داخلها انخفاضا لمستوى الضغط الهيدروستاتيكي داخل الطبقة وليس نقصاً في حجم المخزون الفعلي للطبقة من الماء.



الشكل رقم (٣, ٢). مقطع لتكوين جوفي محصور.

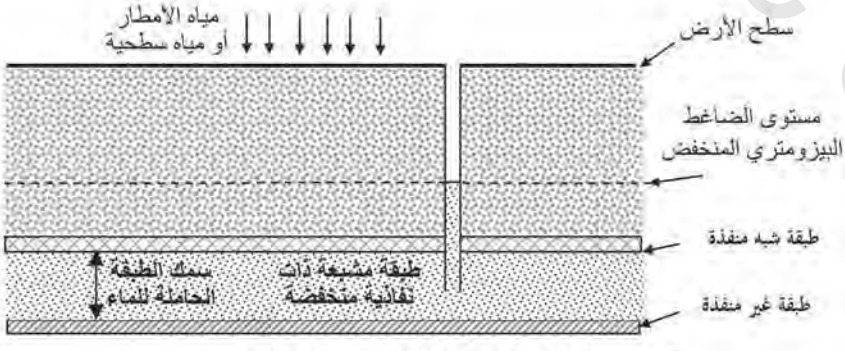
عادة ما يكون كامل سمك الطبقات المحصورة مشبعاً بالماء فإذا كان مستوى سطح الماء يقع فوق الحد العلوي للطبقة فإنها تعرف في هذه الحالة بالطبقة الارتوازية Artesion aquifer ويسمى سطح الماء بالسطح البيزومتري

Piezometric surface ويمثل مستوى ضغط الماء داخل الطبقة. وهو عبارة عن سطح وهمي لمستوى الماء داخل الآبار التي تخترق الطبقة. وتستمد الطبقات المحصورة إمدادها من الماء عندما تنكشف كل من الطبقة غير المنفذة العليا (الصماء) والطبقة الحاملة للماء على سطح الأرض. وتعرف المنطقة التي تستمد منها هذه الطبقات مياهها بمنطقة التغذية الطبيعية بالماء Recharge area حيث تصبح الطبقة في هذه المنطقة غير محصورة. وهذا يعني أن تغذية هذه الطبقات لا تكون في نفس مناطق وجودها بل في مناطق قريبة منها وفيها تتغير صفات الطبقة إلى طبقة غير محصورة.

٣- التكوين الجوفي شبه المحصور

في هذا النوع من التكوينات الجوفية تعلو الطبقة المنفذة الحاملة للمياه طبقة شبه صماء وفي الأسفل طبقة صماء. ويمكن تعريف الطبقة شبه الصماء على أنها طبقة ذات نفاذية منخفضة يمكنها السماح بمرور المياه من خلالها إلى الطبقة المجاورة ببطء (الشكل رقم ٤ , ٢). وحيث إن نفاذية الطبقة شبه الصماء منخفضة فإنه يمكن اعتبار أن حركة المياه خلالها تحدث رأسيا فقط نتيجة لفرق الجهد بين الطبقتين التي تعلوها (عادة ما تكون طبقة غير محصورة) والتي تقع أسفل منها (طبقة صماء) ويمكن إهمال الحركة الأفقية للمياه خلالها. تتميز الطبقات شبه المحصورة بأنها تستقبل إمداداً إضافياً من المياه من الطبقات التي تعلوها أو تفقد جزء من مياهها إلى الطبقة التي تعلوها نتيجة لحركة المياه عبر الطبقة شبه العازلة.

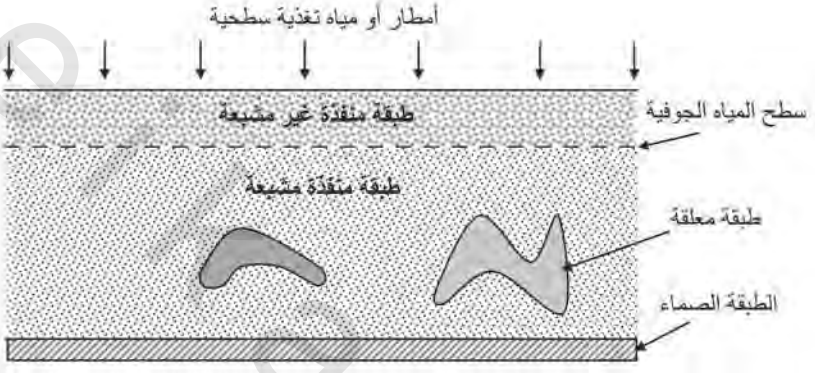
لذا فإنه عند ضخ المياه من هذه الطبقات يمكن أن يكون الماء قد دخل إلى بئر الضخ إما عن طريق الانسياب الأفقي عبر الطبقة شبه المحصورة أو عن طريق الانسياب الرأسي الناتج من تسرب المياه عبر الطبقة شبه المحصورة (نصف الكائمة) التي تعلو الطبقة الحاملة للماء.



الشكل رقم (٤ , ٢). مقطع لتكوين جوفي شبه محصور.

الطبقة المعلقة

أحياناً تتخلل الطبقة الحاملة النفاذة عند عمق معين ولمسافة محدودة بعض التكوينات غير النفاذة التي تعيق أو تمنع حركة الماء نحو الطبقة الصماء إلى الأسفل، وهذه لا تعد تكوينات حاملة بل تدعى الطبقات الجاثمة أو المعلقة (الشكل رقم ٥ , ٢).



الشكل رقم (٥ , ٢). مقطع لخزان جوفي يحتوي على تكوينات معلقة.

(١ , ٢ , ٢) المياه الجوفية في المملكة

المياه الجوفية من أهم الموارد الطبيعية في المملكة العربية السعودية ودعامة مهمة من دعائم التنمية الزراعية والعمرانية والصناعية، وكانت وما زالت المصدر الرئيس لإمداد القطاع الزراعي وقطاع الرعي بحاجتها من المياه، إضافة إلى تغطيتها لحاجة السكان اليومية لأغراض الاستخدام المنزلي مع أنها غالباً ما تُخلط بمياه التحلية من البحر الأحمر أو الخليج العربي. وتصنف موارد المياه الجوفية في المملكة إلى: ١- مياه جوفية متجددة وهي المياه التي ما زالت تتم تغذيتها من مياه الأمطار، ٢- ومياه جوفية غير متجددة وهي المياه الأحفورية التي لا تستطيع التغذية من مياه الأمطار الحالية. ويتركز معظمها في طبقات الرف العربي الحاملة للمياه.

إن البحيرات والعيون والينابيع التي كانت تنتشر في وسط وشرق شبه الجزيرة العربية يعود مصدر تغذيتها إلى بعض طبقات المياه الجوفية القريبة من سطح الأرض والغنية بالمياه في تلك الفترة، وكانت معظم الآبار التقليدية في المملكة إلى عهد قريب لا يتجاوز عمقها عن سطح الأرض أكثر من ٣ م، وكان معظمها يحفر يدوياً خاصة في بطون الأودية والسهول الفيضية، وكانت الوسائل البدائية في رفع المياه من هذه الآبار في تلك الفترة تتم

باستخدام الحيوانات وكانت كفيلة بإيصال المياه إلى الحيازات الزراعية والحيوانات في المراعي القريبة. إلا أن هذا التدفق الغزير لم يدم طويلاً وبدأ يتناقص شيئاً فشيئاً نظراً لامتداد فترات الجفاف بسبب ندرة الأمطار وزيادة عدد السكان في المملكة، مما أجبر المزارعين والرعاة على التحول من وسائل استخراج المياه التقليدية إلى وسائل أكثر حداثة باستخدام آلات رفع المياه الحديثة وذلك باستخدام مضخات رفع المياه الآلية، مما أدى إلى انخفاض ملحوظ وسريع في مستوى المياه في الآبار التقليدية ونضوب بعضها وزيادة عدد المهجور منها نتيجة عدم قدرت الطبقات الحاملة للمياه على تعويض ما يتم استنزافه.

ومع بداية عام ١٩٨٠م وهو العام الذي بدأت فيه المملكة بتنفيذ خطة التنمية الخمسية الثالثة شهدت المملكة بداية نهضة زراعية واسعة ركزت بشكل خاص على بعض المحاصيل الزراعية مثل الحبوب والأعلاف مستخدمة أفضل الوسائل وأسرعها في استخراج المياه والري بطريقة الرش المحوري مستهدفة منح المملكة اكتفاء ذاتياً في محاصيل الحبوب خاصة القمح ومحاصيل الأعلاف. ومعتمدة أيضاً على بعض الدراسات التي أشارت إلى أن المملكة تملك مخزوناً هائلاً من المياه الجوفية يكفيها للمائة سنة القادمة، وبعد فترة زمنية تراوحت ما بين ١٠ إلى ٢٠ عاماً بدأت مظاهر المياه الجوفية من عيون وينابيع وآبار تقليدية تختفي وبشكل سريع في الأحساء والخرج والأفلاج والقصيم والسر والمدينة وفي معظم مناطق الرف العربي وانتشرت الآبار عوضاً عنها على نطاق واسع حيث بلغ عددها عام ١٩٩٩م أكثر من ١٠٠ , ٤٩٠ بئر تستنزف حوالي ٨٨ ٪ من ميزان المياه الوطني للمملكة.

كما أدى الاستنزاف من الطبقات الجوفية إلى انخفاض نوعية المياه وارتفاع نسبة الأملاح فيها، يضاف إلى ذلك اكتشاف وصول ملوثات إلى بعض التكوينات الجوفية الحاملة للمياه من خلال مصادر متعددة.

وقد أدركت المملكة ممثلة في وزارة الزراعة مدى خطورة استنزاف موارد المياه الجوفية خاصة الموارد غير المتجددة وتلوثها، وسعت إلى سن النظم والقوانين التي تحد من هذا الاستنزاف وهذا التلوث.

المياه الجوفية العميقة محدودة التجدد هي المياه المحصورة في تكوينات جوفية عميقة تحت سطح الأرض تختلف في أعماقها حسب موقعها حيث تتراوح بين ١٠٠ إلى ٢٥٠٠ م. وقد تكونت هذه التكوينات الجوفية في عصور جيولوجية سابقة. يقدر عمر هذه المياه في هذه التكوينات بعشرات الآلاف من السنين، والتي قد لا يصل إليها أي تعويض أو استبدال من مياه الأمطار التي تسقط في أيامنا الحالية. وتصنف هذه التكوينات إلى تكوينات رئيسة وثانوية. تم اكتشاف ٢٨ طبقة حاملة للمياه تسعة منها فقط تحتوي على مياه جوفية صالحة للاستعمال في

مختلف مناطق المملكة، ستة منها وهي الساق، وتبوك، والوجيد، والمنجور، والمنجور/ضرما، والوسيع/ البياض تعود لحقبتي الحياة القديمة (الباليوزي Paleozoic) والمتوسطة (الميزوزك Mesozoic) وهي من الحجر الرملي وتمتاز بالامتداد الواسع لمنكشفاتها وعظم سماكتها واحتوائها على كميات كبيرة من المياه، ومياهها بشكل عام مياه جيدة النوعية وغالبها محصور داخل الطبقات الرسوبية مما يعني اندفاع المياه للسطح عند حفر الآبار في هذه التكوينات. والثلاثة تكوينات الأخرى وهي أم الرضمة، والدمام، والنيوجين، فهي ذات صخور كربونية تعود إلى حقب الحياة الحديثة (السينوزوي Cenozoic)، (وزارة الزراعة والمياه، ١٩٨٥م). وتختلف مساحة كل تكوين وخصائصه الجيولوجية والهيدرولوجية ونوعية مياهه وكمية إنتاجه عن التكوينات الأخرى، وتوفر هذه التكوينات مخزوناً يقدر بنحو ٢٠٠٠ بليون متر مكعب، وبعض هذه التكوينات يتغذى سنوياً على مياه الأمطار من خلال مكاشفها التي تظهر على سطح الأرض، (وزارة التخطيط، ٢٠٠٠م). وتمتد بعض هذه التكوينات داخل حدود الدول العربية المجاورة للمملكة.

(٢ , ٢ , ٢) أصل نشأة المياه الجوفية في المملكة

عند تتبع مصادر تكون المياه الجوفية في المملكة نجد أن السبب الرئيس لنشوء التكوينات الرئيسة والثانوية الحاملة للمياه ليس الأمطار التي نشهدها اليوم بمعدلاتها المتدنية والتي يبلغ متوسطها السنوي ١٥٠ مم، وإنما هناك فترات ماضية مرت على المملكة كانت الأمطار فيها غزيرة عرفت بالعصور المطيرة قدرت أمطارها بخمسة أضعاف ما عليه الأمطار اليوم، أدت إلى تخزين كميات ضخمة من المياه الجوفية في طبقات الصخور الرسوبية المتمثلة في الرف العربي الذي يغطي ١,٦ مليون كم٢، أي ما يعادل ٧٠ ٪ من المساحة.

وقد زاد من كفاءة تخزين المياه الجوفية على اختلاف مستوياتها في الرف العربي الحركات التي تعرضت لها المملكة في أواخر الزمن الجيولوجي الثالث خلال الميوسين Miocene والبلايوسين Pliocene والتي نتج عنها التواء بعض الطبقات الرسوبية، وتشكل بسبب هذا الالتواء عدد من الطيات إما بتقعرها أو تحدبها، وأدى كذلك إلى انفلاق بعض الصدوع والأخاديد على طول الطبقات الرسوبية للرف العربي مما سهل وصول المياه إلى الطبقات الجوفية والاستقرار فيها.

ويمكن الاستدلال على مرور المملكة بهذه الفترات المطيرة التي كانت بدايتها في الميوسين Miocene وكذلك في نهاية البلايوسين Pliocene وبداية البلايستوسين Pleistocene وأواخر الهولوسين Holocene من خلال الآثار التي تم اكتشافها في مناطق مختلفة من المملكة أثبتت سيادة ظروف مناخية رطبة غزيرة الأمطار أهمها ما يأتي:

• تُرجع بعض الدراسات التي درست التغيرات المناخية المطيرة وأدت لوجودها في شبه الجزيرة العربية بوجه عام والمملكة العربية السعودية بوجه خاص خلال فترتها الأولى في أواخر الزمن الثالث خلال عصر الميوسين Miocene والتي تميزت بغزارة الأمطار وظهور بيئة غنية بالحيوانات والنبات الطبيعي، واستدلوا على ذلك بوجود بقايا هياكل عظمية لحيوانات عاشت خلال عصر الميوسين بلغ مجموعها ٦٦ صنفاً نسبة الثدييات منها تصل إلى ٤١٪، منها أنواع آكلات للأعشاب مثل الزراف ووحيد القرن والسلاحف والبقر الوحشي، وآكلات اللحوم مثل التماسيح، إضافة إلى بعض الأسماك والقوارض، ومعظم هذه الدراسات أكدت أن وجود هذه الحيوانات تزامن مع وجود حياة نباتية قادرة على إعاشة هذه الأعداد الضخمة من هذه الحيوانات تشابه بيئة حشائش السافانا.

• بقايا النباتات في طبقات الصخور الرسوبية التي أكدت انتشار بيئة مدارية تشبه بيئة السافانا شملت معظم أنحاء المملكة.

• الأودية الضخمة ذات المجاري الواسعة الموجودة في المملكة مثل: وادي الدواسر ووادي الرمة ووادي السهباء وما يتبعها من روافد كثيرة ومتعددة تنبع من مرتفعات غرب المملكة لتشكل في النهاية شبكة كبيرة من الأودية الجافة، حيث تبين أن الأمطار الحالية لم يكن بمقدورها حفر هذه المجاري الواسعة وإنما تكونت نتيجة الأمطار الغزيرة في الفترة المطيرة التي حدثت في أواخر البلايوسين Pliocene وبداية البلايستوسين Pleistocene.

• بحيرات الفترات المطيرة، حيث تم الكشف عن عدد من هذه البحيرات في المملكة خلال أواخر البلايستوسين Pleistocene وأواخر الهولوسين Holocene في جنوب المملكة في الربع الخالي خلال الفترة قبل ٣٦٠٠٠ سنة و١٧٠٠٠ سنة. وكذلك في شمال المملكة في صحراء النفود الكبير حيث تم العثور على آثار لبحيرات تعود إلى ما قبل ٣٨٠٠٠ - ٢٤٠٠٠ سنة.

• الترب القديمة المنتشرة في جوانب الأودية القديمة على شكل مصطبات تحت رمال الدهناء بسمك ٣٠ سنتيمتر أو في المراوح الفيضية التي غطى معظمها التكوينات الرملية.

وتشمل طبقات المياه الجوفية الطبيعية طبقات تعود إلى العصور الجيولوجية القديمة والحديثة على حد سواء، أي صخور بلورية من عصر ما قبل الكمبري من العصور القديمة، ورواسب غرينية، ورمال هوائية من العصور الأحدث. وأكثر الطبقات الجوفية وفرة بالمياه تقع ضمن الصخور الرسوبية، وهي تمتد تحت ثلثي مساحة المملكة.

وقد جرت دراسة التعاقب لهذه الصخور الرسوبية لأول مرة في الخمسينات الهجرية من قبل جيولوجيي أرامكو ضمن أعمال المسح المستمرة التي قاموا بها. وقد قسمت هذه الصخور إلى ثماني طبقات رئيسة اعتماداً على التركيب الصخري لمنكشف الطبقات، والى مواضع عدم التطابق الرئيسة. وشمل التقسيم كذلك صخور البازلت الحاملة للمياه (الجدول رقم ١ , ٢)، وذلك نظرا لأنها مصادر محلية للمياه. والفارق ما بين الطبقات الرئيسة الحاملة للمياه، والطبقات الثانوية الموجودة في هذا التعاقب يعتمد على خواصها الهيدرولوجية وامتدادها. فطبقات المياه الرئيسة تنتج كميات كبيرة، ونفاذيتها أكبر من الطبقات الثانوية. وتعتبر تغذية الطبقات بالمياه قليلة في جميع أنحاء المملكة، ولكن كمية المياه المخزونة تعتبر كبيرة في الطبقات الرئيسة. يتميز التعاقب الطبقي بتكوينات تميل تدريجيا من الدرع العربي باتجاه الشرق، والشمال الشرقي، وتتكون أساساً من الأحجار الرملية والجيرية والدولومايت والمارل والطفل، وتكون الأحجار الرملية الجيرية والدولومايت طبقات المياه الجوفية بامتدادات شاسعة، وكميات كبيرة من المياه المخزونة فيها. ويتكون القسم الرسوبي من تتابع الأحجار الرملية، والجيرية على شكل طبقة فوق أخرى تفصلها طبقات أقل نفاذية بحيث تشكل طبقات محصورة. وتتوزع طبقات المياه الرئيسة ذات الصخور الرملية على نطاق واسع في المنطقة الوسطى من المملكة، وتتوفر فيها خواص محلية ممتازة لحمل المياه رغم أن هذه الخواص تختلف إلى درجة كبيرة من مكان لآخر ويمكن أن تختلف اختلافاً كبيراً ضمن مسافة قصيرة نسبياً، بعيداً عن المنكشفات باتجاه الشرق فإن معظم وحدات الأحجار الرملية تتغير إلى سحنة بحرية من الكربونات والطفل. ولكن نظرا لقلة نفاذيتها، وارتفاع نسبة الأملاح في مياهها فإن طبقات المياه الجوفية في الأحجار الرملية لا تعتبر مصادر هامة لمياه الشرب على طول الخليج العربي. وتعتبر طبقات الحجر الجيري والحجر الرملي الحاملة للمياه، والتي تعود إلى حقب الحياة الوسطى، الموجودة في المنطقة الوسطى من المملكة طبقات شحيحة المياه. أما الطبقات الجوفية في الأحجار الجيرية التي تعود إلى حقب الحياة الحديثة، والموجودة في المنطقة الشرقية من المملكة فإنها تنتج كميات كبيرة من المياه عن طريق الآبار الموجودة في المنطقة حيث تكونت قنوات الإذابة، والتجويفات التي لها خصائص جيدة لتخزين المياه. وتعتبر الطبقات الثانوية مهمة أيضاً. وإن كانت أقل إنتاجاً وتخزيناً للمياه. توجد هذه الطبقات في جميع أنحاء المملكة وتعتبر على وجه العموم مصادر أقل شأناً. ولكن بعض هذه الطبقات الثانوية مرتبطة هيدرولوجياً بالطبقات الرئيسة التي تقع أسفلها وتوفر كميات كبيرة من المياه إلى الآبار.

الجدول رقم (١ , ٢). التعاقب الصخري للطبقات الجوفية.

التعاقب الصخري	الطبقات الجوفية الرئيسة	الطبقات الجوفية الثانوية
١- العصر الرباعي والثلاثي	-	رسوبيات الأودية
٢- صخور فتاتيه للبليوسين والميوسين	النيوجين	بازلت
٣- صخور كربونية للايوسين والكريتاسي العلوي	الدمام، أم رضمة	العرمة
٤- صخور فتاتية للكريتاسي الأوسط ، والسفلى	الوسيع، البياض (رمال الكريتاسي)	-
٥- صخور كربونية للجوراسي العلوي ، والكريتاسي، السفلي.	-	البويب، اليمامة، السلي العرب، الجبيلة، حنيفة
٦- صخور فتاتية، وكربونية للجوراسي السفلي، الأوسط.	-	ضرما
٧- صخور فتاتية لعصور الجوراسي والترياسي والبرمي .	المنجور، ضرما	الجلة
٨- صخور فتاتية لأسفل حقب الحياة القديمة	تبوك، الوجيد، الساق	الجوف

(٣ , ٢ , ٢) التكوينات الرئيسة والثانوية في المملكة

ويمكن تقسيم التكوينات الحاملة للمياه في المملكة من حيث أعماقها إلى تكوينات رئيسة (عميقة) وتكوينات ثانوية (غير عميقة).

أولاً: التكوينات الرئيسة

١- تكوين الساق

ويمتد من الأردن إلى وسط وجنوب المملكة، ويحمل كميات كبيرة من المياه، ويستفيد من الجزء الشرقي من التكوين منطقة القصيم مثل بريده وعنيزة ومنطقة السر والأسياح وشرق حائل ومنطقة تبوك وتيماء (الشكل رقم ٦ , ٢).

أنواع الصخور: تتألف صخور الساق من حبيبات رملية صخرية متوسطة إلى خشنة، ولكنها على النطاق المحلي تحتوي على مواد ناعمة الحبيبات.

الموقع والامتداد: يمتد منكشف أحجار رمل الساق الضخم، ووحداته المماثلة في المملكة إلى ١٢٠٠ كم من الحدود الأردنية إلى خط عرض ٣٠-٢٤ شمالاً وخط طول ٤٥ شرقاً. وتبلغ مساحة امتداد السطح المكشوف حوالي ٦٥٠٠٠ كم٢. وقد يصل امتداد الطبقة السفلية إلى ١٦٠٠٠٠ كم٢. ويعتقد بأنها تستمر في الامتداد تحت حوض النفود.

الشكل رقم (٦ , ٢). تكوين الساق.

العمق والنطاق والمدى: تتبع الأحجار الرملية للساق الميل الإقليمي لصخور القاعدة ما قبل الكمبري في منطقة القصيم، ولذلك فإن بعد الأحجار الرملية عن السطح يزيد عن ٢ كم في موقع يبعد عن المنكشف بنحو ١٣٠ كم، وكذلك يعتبر الميل الإقليمي للتكوين شاذ الانحدار في منطقة تبوك، والآبار المحفورة في عرعر لم تخترق ما بعد تكوين الجوف على بعد ٢٠٠ م. وإن سمك أحجار الساق الرملية عند القطاع النموذجي في جبل ساق يقدر بحوالي ٦٠٠ م. يقدر سمكه، والوحدات المماثلة له في منطقة تبوك بحوالي ٨٠٠ م. وفي منطقة القصيم يتدرج سمكه من ٤٠٠ م في الجزء الجنوبي من المنطقة إلى حوالي ٧٠٠ م في الجزء الشمالي منها.

الخواص الهيدروليكية: وينتج المياه في منطقتي تبوك، والقصيم باستثناء شريط ضيق على محاذاة المنطقة التي لا يكون فيها المنكشف مشبعاً. وفي وادي السرحان، وخط أنابيب النفط عبر البلاد العربية (التابلاين) تحمل طبقة الساق الماء ولكن يوجد الماء على عمق ٢٧٨٤ م، وفي تبوك تتدفق المياه من الآبار فوق سطح الأرض، ويتراوح إنتاجها من ٩ إلى ٢٢ لتر/ث، وفي منطقة حائل يتراوح الإنتاج ما بين ١٣-١٩ لتر/ث، وفي الأسياح، والمنطقة

الشمالية من القصيم تتدفق المياه من الآبار بضغط عالي تصل فيها إلى ارتفاع ١٠٠ م فوق سطح الأرض. وتقل قوة التدفق وكميته باتجاه الغرب نحو منكشف الطبقة إلى أن تتوقف تماماً، ويصبح الضخ لازماً. ويتراوح الإنتاج في آبار القصيم من ١٠ إلى ١٠٠ لتر/ ث. وتعتبر كمية تغذية الطبقة بالمياه قليلة جداً.

تغيرات مستويات المياه: نظراً لكثافة الضخ في منطقة بريده فقد انخفض مستوى الماء، ومع تطوير هذه الطبقة في هذه المنطقة فإنه من المحتمل استمرار انخفاض مستويات المياه.

نوعية المياه: تعتبر مياه طبقة الساق بصورة عامة ذات نسبة معتدلة من الأملاح. فتركيز المواد الصلبة الذائبة في كثير من العينات التي تم جمعها منذ عام ١٣٨٥ هـ أقل من ١٠٠٠ ملجم/ لتر.

٢- تكوين تبوك

يمتد من الأردن إلى جنوب القصيم، وتستفيد منه منطقة القصيم مثل بريده وعنيزة والأسياح وشرق حائل ومنطقة تبوك وتيماء (الشكل رقم ٧, ٢).

أنواع الصخور: يعتبر تكوين تبوك تعاقبا بحريا إلى قاري، ذا صخور رملية متخالفة التطابق، وطفلاً، وحجراً غرينياً وصخراً رملياً وطفلاً متداخلاً بصورة معقدة.

الموقع والامتداد: يمتد تكوين تبوك جنوباً وشرقاً من الحدود الأردنية إلى جنوب وادي الرمة. حيث ينقطع تحت النفود الكبير عند الشعيبة. وربما يمتد هذا التكوين تحت حوض النفود.

العمق والنطاق والمدى: يبلغ سمك القطاع النموذجي في منطقة تبوك ١٠٧٠ م. وينحدر التكوين باتجاه الشرق من تبوك ويزداد سمكه. وفي منطقة القصيم وإلى الشمال منها تميل الطبقات في الاتجاه الشمالي الشرقي حيث يصل عمق أعلى المتكون في بئر تربة إلى ٩٣٠ م تحت سطح الأرض.

الخواص الهيدروليكية: تتألف طبقة تبوك من ثلاث وحدات من الأحجار الرملية تعرف باسم تبوك السفلي، وتبوك الأوسط وتبوك العلوي، ومن المعروف أن طبقة تبوك أقل وفرة من طبقة الساق. إن طبقة تبوك الرملية السفلى تقل أهميتها كطبقة منتجة باتجاه الغرب من مدينة تبوك. ويبلغ الإنتاج ١,٣ لتر/ ث فقط في فجر، ولكن في منطقة القصيم يتراوح إنتاجها من ٥,٦ إلى ١٠,٥ لتر/ ث، وكذلك تقل إنتاجية تبوك الأوسط كلما اتجهنا شرقاً من تبوك وفي مدينة تبوك نفسها فإن الإنتاج المثالي للآبار التي يصل عمقها من ٦٠ – ٩٠ م هو ١٥ لتر/ ث، ويقل الإنتاج إلى ٧ لتر/ ث كلما اتجهنا شرقاً. وإلى الشمال من بريده يصل معدل الإنتاج إلى حوالي ١١ لتر/ ث. وتعتبر الأحجار الرملية العلوية وفيرة المياه فقط في منطقة الجوف سكاكا. وفي تربة يصل الإنتاج إلى ٩,٦ لتر/ ث.

الشكل رقم (٧, ٢). تكوين تبوك.

تغيرات مستويات المياه: تتدفق المياه من الآبار في مناطق تبوك والقصيم ولكن من المشكوك فيه أن تتحمل الطبقة عمليات سحب المياه بصورة زائدة في منطقة تبوك، وذلك نظرا لأن إمكانيات وجود المياه تعتبر محدودة. وقد تكون مخروط انخفاض في هذه المنطقة التي يتجه فيها انسياب الماء من الشرق إلى الشمال الشرقي. وإذا ما ازدادت كميات المياه المستخرجة فإن منسوب المياه سينخفض بصورة أكبر.

نوعية المياه: قد أوضحت تقارير تحاليل المياه أن تركيز المواد الصلبة الذائبة في المياه المأخوذة من الآبار في منطقة تبوك يصل بين ٥٠٠ إلى ٦٠٠ ملجم/ لتر. ولكنه يسوء كلما اتجهنا جنوباً، حيث يتراوح تركيز المواد الصلبة المذابة من ٢٥٠٠ إلى ٤٠٠٠ ملجم/ لتر، وإلى الشرق من منطقة تبوك تتفاوت نوعية المياه حيث يتراوح تركيز المواد الصلبة المذابة من ٦٠٠ إلى ٣٥٠٠ ملجم/ لتر.

٣- تكوين الوجيد

يوجد في جنوب ووسط المملكة، وتستفيد منه منطقة وادي الدواسر (الشكل رقم ٨ , ٢).

أنواع الصخور: تتكون الأحجار الرملية لتكوين الوجيد في الغالب من صخور ذات حبيبات رملية ناعمة إلى خشنة.

الموقع والامتداد: يمتد منكشف أحجار رمل الوجيد لمسافة ٣٠٠ كم جنوب وادي الدواسر حتى وادي حبونة، وحوالي ١٠٠ كم إلى الغرب تحت سطح الأرض بالقرب من مرتفعات جبال طويق، وينحدر التكوين باتجاه الشرق والشمال تحت جبال طويق، وتشير البيانات التي تم الحصول عليها من آبار الاختبار إلى أن منكشف الوجيد الصخري الرملي يمتد إلى مسافة ٢٠٠ كم على الأقل باتجاه الشرق تحت رمال الربع الخالي.

الشكل رقم (٨ , ٢). تكوين الوجيد.

العمق والنطاق والمدى: يزداد السمك مع اتجاه ميل الطبقة من أقل من ٢٠٠ م شمال المنكشف إلى أكثر من ٤٠٠ م شرق الطرف الشمالي للمنكشف بالقرب من وادي الدواسر. وتشير المعلومات إلى إن الصخور تزداد سماكاً بحيث تصل إلى ٩٠٠ م في الجزء الجنوبي من امتدادها. ويبلغ ميل أعلى الطبقة باتجاه الشرق بمعدل ١ إلى ٦٠٪.

الخواص الهيدروليكية: تشير الدراسات التي تمت في سنة ١٩٦٩م إلى تدفق المياه من الآبار فوق سطح الأرض بمعدل ٥٠ لتر/ ث في كثير من أنحاء الجزء الشرقي من هذه المنطقة، ويتراوح الإنتاج من هذه الآبار من ١٠ إلى ٢٠٠ لتر/ ث في وادي الدواسر، ومن ٥ إلى ١٥ لتر/ ث في جنوب غرب الربع الخالي. وتعتبر كمية تغذية الطبقة السنوية، والتي تقدر بحوالي ١١٤ مليون متر مكعب صغيرة جداً بالنسبة إلى كمية المياه المخزونة، وتتراوح أعماق الآبار من ١٠٠ إلى ١١٠٠ م.

تغيرات مستويات المياه: تتناقص مستويات المياه بصورة ثابتة في الجزء الجنوبي من طبقة الوجيد يفوق إعادة تغذيته بالماء.

٤- تكوين المنجور

يعتبر من التكوينات العميقة نسبياً حيث يوجد على أعماق تصل لأكثر من ١٨٠٠م، ويوجد في وسط المملكة، وتستفيد منه منطقة الرياض وسدير والوشم والخرج والأفلاج والسليل (الشكل رقم ٩ , ٢).

أنواع الصخور: إن أحجار المنجور الرملية هي في الأساس أحجار رملية كوارتزية، ذات أصل قاري، شديدة التطبق، وخشنة إلى شديدة الخشونة، عليها طبقات رقيقة من الصخور الجيرية والطفل والجبس والكتل المختلفة.

الموقع والامتداد: يظهر منكشف المنجور الرملي على هيئة حزام ضيق عرضه من ١٠ إلى ٣٣ كم ويمتد لمسافة ٨٢٠ كم، يمتد من الهدار إلى خط ٢٨٧ شمالاً وذلك باستثناء الثغرات عند وادي برك ووادي الرمة.

العمق والنطاق والمدى: يبلغ سمك منكشف المنجور عند المقطع النموذجي في خشم الخلطة ٣١٥ م، ويقل السمك إلى الجنوب بعض الشيء وتلاحظ قلة سمك المنكشف بوضوح إلى الشمال من المقطع النموذجي. وفي الرياض يكون سمك المنجور ٤٠٠ م، وفي خريص على مسافة حوالي ١٣٠ كم شرق الرياض يصل سمكه إلى ٣٨٥ م، ويستمر سمك المنجور في التناقص كلما اتجهنا شرقاً ولكن بصورة تدريجية أكبر مما هو عليه الحال في الشمال والجنوب. وبالقرب من الرياض يتراوح عمق المنجور تحت سطح الأرض من ١٢٠٠ إلى ١٥٠٠ م.

تغيرات مستويات المياه: وقد انخفض السطح البيزومتري من ٤٥ م تحت سطح الأرض في عام ١٣٧٦هـ إلى ١٧٠ م في عام ١٤٠٠ هـ.

نوعية المياه: تنتشر المعلومات المتوفرة عن نوعية مياه طبقة المنجور إلى ازدياد الملوحة مع ازدياد الميل إلى أسفل، ومع ازدياد العمق. وتتراوح المواد الصلبة المذابة من ١٢٠٠ إلى ١٥٠٠ ملجم/لتر بالقرب من الرياض ومن ١١٠٠ إلى ١٢٠٠ ملجم/لتر بالقرب من منطقتي مرات وشقراء. وتتراوح المواد الصلبة المذابة بالقرب من الهدار من ١٠٠٠ إلى ٥٨٠٠ ملجم/لتر للآبار التي حفرت في الجزء غير المحصور من الطبقة. أما بالنسبة للآبار القريبة من السليل فإن المواد الصلبة المذابة فيها تتراوح من ١٠٠٠ إلى ١٦٠٠ ملجم/لتر.

الشكل رقم (٩, ٢). تكوين المنجور.

٥- تكوين أم الرضمة

يمتد من جنوب العراق إلى وادي الدواسر، وتختلف نوعية مياهه تبعاً لبعده عن المناطق الساحلية. وتستفيد منه المنطقة الشرقية مثل الظهران وشدقم والخبر والدمام وحرض وبعض المناطق في الأحساء ووادي المياه (الشكل رقم ١٠, ٢).

أنواع الصخور: تتكون من الصخور التي تشكلت في بحر ضحل من حجر جيري خفيف اللون كثيف وحجر جيري دولومايتي ودولومايت. كما يوجد أيضاً رمال وطفل في الجزء الأعلى من التكوين في المناطق الوسطى والجنوبية وفي الشمال، توجد في الأجزاء العليا منه طبقات هامة من كبريتات الكالسيوم اللامائية (انهيدرايت).

الموقع والامتداد: يمتد منكشف تكوين أم رضمة من حدود العراق والأردن في نطاق عريض يصل عرضه من ٥٠ إلى ١٠٠ كم إلى الجنوب لمسافة ١٢٠٠ كم لما وراء وادي الدواسر. وتمتد الصخور جنوباً وشرقاً تحت جزء كبير من وسط الربع الخالي، ثم تبرز ثانية على طول أطراف هذه الصحراء الكبيرة.

العمق والنطاق والمدى: يصل سمك تكوين أم رضمة إلى ٢٤٠ م عند المقطع النموذجي في وادي الباطن ولكن هذا السمك يزداد شرقاً وجنوباً إلى ٤٣٥ م في حوض الربع الخالي، إلى ٥٠٠ م في المنطقة الواقعة شمالي الهفوف، وإلى ٧٠٠ م في المنطقة الواقعة شرقي الهفوف. ولكن هذه الصخور يقل سمكها إلى حوالي ٣٠٠ م فوق قبة الغوار.

الخواص الهيدروليكية: تتم تغذية الطبقة بالماء عن طريق التسرب المباشر لمياه الأمطار الموسمية فوق المنكشف، وعن طريق التسرب للمياه التي تسيل من الأودية. وكما هو الحال بالنسبة للطبقات الأخرى في المملكة فإن إعادة التغذية بالماء تعتبر محدودة جداً. و من أصل ٦٠ مم من الأمطار التي تسقط سنوياً على المنكشف في المنطقة الشرقية، يقدر ما يتسرب إلى داخل الطبقة ما بين ٤ إلى ٨ مم. ويتراوح إنتاج الآبار من ٤ إلى ٣٢ لتر/ ث في معظم المناطق ويصل محلياً إلى ٩٥ لتر/ ث، وفي عام ١٩٧٦ م أخذت مستويات المياه في الانخفاض حيث صارت المياه تستخدم بكميات كبيرة في ري المشاريع الزراعية في منطقة حرض والهفوف والاستعمالات الأخرى الأساسية في منطقة الدمام.

نوعية المياه: يحتوي معظم الماء على نسبة عالية من الأملاح حيث لا يصلح للشرب بدون إزالة المواد الصلبة الذائبة فيه باستثناء منطقة المنكشف، أو القريبة منها في منطقة الأحساء.

الشكل رقم (١٠ , ٢). تكوين أم الرضمة.

٦- تكوين الدمام

يعتبر من أهم التكوينات المائية اقتصادياً نظراً لقلة عمقه وسهولة الحفر فيه ونوعية مياهه، وينقسم تكوين الدمام إلى خمسة أعضاء هي من الأقدم إلى الأحدث، طفل مدرا وطفل سيلا وطفل الفيولينا وأحجار جير الخبر وأحجار جير العلاة. وتستفيد منه الخبر والدمام والقطيف والهفوف (الشكل رقم ١١ , ٢).

نوعية الصخور: إن صخور تكوين الدمام هي عبارة عن مزيج من الأحجار الجيرية والرمال والطفل. وهي تتميز بلونها الفاتح، وكثيراً ما تتقاطع الكربونات مع طبقات من المواد الفتاتية.

الموقع والامتداد: تمتد صخور تكوين الدمام على معظم الشمال الشرقي من المملكة والربع الخالي. ولا تنفصل أعضاء التكوين في الشمال الشرقي، ويظهر المنكشف في أماكن محدودة على شكل حزام ضيق غير منتظم، وعرضه

عموما أقل من ٥ كم في شمال وادي السهباء، وعلى شكل بقع مبعثرة بالقرب من ساحل الخليج العربي، ويظهر في أماكن معزولة عن بعضها في الأطراف الشرقية والجنوبية الشرقية من الربع الخالي.

العمق والنطاق والمدى: يعتبر عضوا العلاة والخبر طبقتين دائمتين باستثناء الأجزاء الشمالية منهما، ويبلغ معدل العمق إلى أعلى العلاة والخبر تحت سطح الأرض من ٨٠ إلى ١٢٠ م على التوالي. وفي المقطع النموذجي يكون سمك العلاة والخبر ١٥م، ٩م على التوالي، ومع ذلك يندر أن يزيد سمك العلاة والخبر معا على ٢٥ م وهذا يشكل حوالي ثلثي سمك تكوين الدمام. ويزداد سمك الأعضاء الفردية إلى حد كبير تحت السطح رغم أن تعرض الأعضاء العليا لعوامل التعرية قبل ترسيب صخور النيوجين وصخور العصر الرباعي عليها قد سبب تفاوتا كبيرا في سمك تكوين الدمام في جزء كبير على امتداده وقد أزيلت العلاة من مناطق واسعة فوق قبة الغوار ووادي الباطن.

الشكل رقم (١١ , ٢). تكوين الدمام.

الخواص الهيدروليكية: رغم عدم سماكة طبقة الدمام بالمقارنة مع غيرها من الطبقات الرئيسة فقد جرى حفر آلاف الآبار في هذه الطبقة نظراً لقلة الأعماق، وكذلك ارتفاع نفاذية صخورها. ولكن خواص التخزين في هذه الطبقة منخفضة نظراً لسمكها المحدود. ويتراوح بعد الطبقة الواجب حفرها وصولاً إلى الماء من ٥٠ م تحت سطح الأرض إلى حوالي ١٠ م فوق سطح الأرض في الآبار المتدفقة ذاتياً. وتغذي طبقة الدمام ينابيع منطقة القطيف، والينابيع البحرية بالقرب من الشاطئ ، وطبقة النيوجين العلوية.

تغيرات مستويات المياه: لقد تم استغلال الطبقة في منطقتي الأحساء والقطيف منذ تاريخ بعيد ويدل على ذلك الآبار اليدوية، وكذلك العيون. وفي الوقت الحالي تعتبر التطورات الجديدة لعضو العلاة محدودة في معظم المناطق.

نوعية الماء: معامل التوصيل الكهربائي يتراوح من ١٨٠ إلى ٢٦٢٠ ميكروموز. ومتوسط القيمة ٣٤٦٠ ميكروموز، أما تركيز المواد الصلبة الذائبة الذي يقل عن ١٠٠٠ ملجم/ لتر، فيوجد بالقرب من المنكشف، وفي منطقة حرض. وتسوء نوعية الماء بسرعة كلما اتجهنا نحو شاطئ الخليج العربي.

٧- تكوين النيوجين

يطلق اسم النيوجين على سلسلة من الطبقات المختلفة التي تعود إلى عصري الميوسين والبليوسين وحيثما توجد الصخور البحرية فإنه يمكن تقسيم الميوسين والبليوسين إلى ثلاثة تكوينات من الأقدم إلى الأحدث على وجه التحديد هي الهيدروك واللدام والهفوف. وينتشر هذا التكوين في شرق المملكة بدءاً من وادي الدواسر جنوباً إلى وادي السرحان شمالاً، وتعتمد الزراعة في وادي المياه ومنطقة الأحساء بشكل رئيس على هذا التكوين حيث تستمد معظم العيون في الأحساء مياهها منه (الشكل رقم ١٢ , ٢).

الموقع والامتداد: تمتد طبقة النيوجين فوق مساحة واسعة من وادي الدواسر شمالاً إلى حدود الأردن، وشرقا حتى الخليج العربي وتنكشف تكوينات الهيدروك واللدام والهفوف بالقرب من ساحل الخليج. وتنكشف السلسلة القارية في اتجاه الداخل على طول هضبة الصمان جنوباً حتى الربع الخالي، كما توجد رواسب قارية أيضاً في مناطق وادي السرحان والهوج والطويل.

نوعية المياه: تكشف نوعية المياه عن تفاوت كبير بالنسبة لتركيز المواد الصلبة الذائبة يتراوح من بضع مئات إلى ٣٠٠٠٠ ملجم/ لتر. ويوجد ماء جيد في الطبقة في منطقة الأحساء، وفي المناطق المحصورة باتجاه قبة الدمام، وإلى الشمال على طول الغوار.

الشكل رقم (١٢ , ٢). تكوين النيوجين.

٨- تكوين الوسيع والبياض

تستفيد منهما منطقة الرياض وخريص والخرج وشدقم وإبقيق (الشكل رقم ١٣ , ٢).

أنواع الصخور: إن صخور الجزء الأسفل من البياض هي صخور باهتة اللون كوارتزية رملية متقاطعة التطابق ومتعاقبة الطبقات مع الطفل. تتألف صخور تكوين الوسيع، من صخور رملية رقيقة نسبياً، وطفل وعدسات من الكربونات.

الموقع والامتداد: تنكشف الأحجار الرملية للبياض من وادي الدواسر في الجنوب إلى وادي العتش (خط عرض ٢٦٣ شمالاً، وخط طول ٤٦٣٠ شرقاً) في الشمال أي على مسافة حوالي ٦٥٠ كم، ويمتد منكشف الوسيع حوالي ١٤٥٠ كم من الربع الخالي في اتجاه الشمال على شكل قوس ضخم يمر تحت الطرف الغربي من النفود الكبير.

وتمتد صخور تكوينات البياض والوسيع تحت منطقة مساحتها حوالي ٨٠٠ ألف كم٢ من وسط المملكة في اتجاه الشرق إلى الخليج العربي.

الخواص الهيدروليكية: تعتبر طبقة الوسيع- البياض واحدة من أوفر الطبقات الجوفية مياها في المملكة. أما طبقة البياض فإنه يجري سحب المياه منها بصورة رئيسة بواسطة الآبار المحفورة في وادي نساح، وخريص، والأفلاج، والخرج، وتعتبر طبقة الوسيع أهم طبقة كريتاسية، ومن المصادر المهمة لمدينة الرياض.

تغيرات مستويات المياه: يعتبر السطح البيوزمتري للوسيع-البياض، ولطبقة الوسيع خفيفاً جداً إلى الشرق، إذ يتراوح من ٣٠٠ م فوق سطح البحر، وعند المنكشف شرقي الرياض إلى ٢١٠ م فوق مستوى سطح البحر شمال الدمام وتتدفق المياه من الآبار تلقائياً في المناطق المحاذية للخليج العربي، وتنخفض مستويات المياه بصورة طبيعية في طبقة الوسيع-البياض، ولا تعرف تغيرات مستوى الماء الخاصة بطبقة الرمال الكريتاسية نظراً لقلة المعلومات.

الشكل رقم (١٣ , ٢). تكوين الوسيع- البياض.

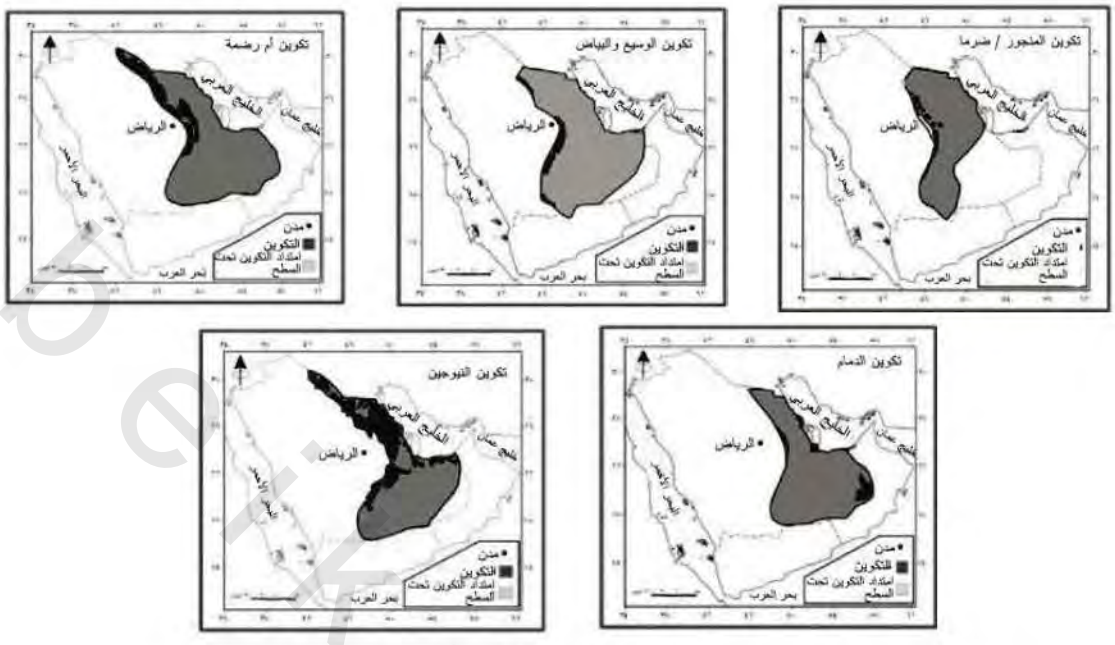
نوعية المياه: تعتبر مياه طبقات الوسيع-البياض والرمال الكريتاسية على العموم جيدة بالقرب من المنكشفات. ولكن نوعية الماء تسوء كلما اتجهنا بعيداً عن المنكشفات، وتعتبر المواد الصلبة الذائبة في المياه مرتفعة جداً ١٥٠ ألف ملجم/ لتر وذلك في الشمال الشرقي، وعلى طول قمم القبة.

ويوضح الجدول رقم (٢ , ٢) الطبقات الرئيسة الحاملة للمياه في المملكة والعصر الجيولوجي التي تكونت فيه ومناطق استغلالها. كما يوضح الشكل رقم (٢ , ١٤) تجميع لخرائط التكوينات الرئيسة، ويوضح الشكل رقم (٢ , ١٥) خريطة توضح مواقع كل الطبقات الرئيسة في المملكة.

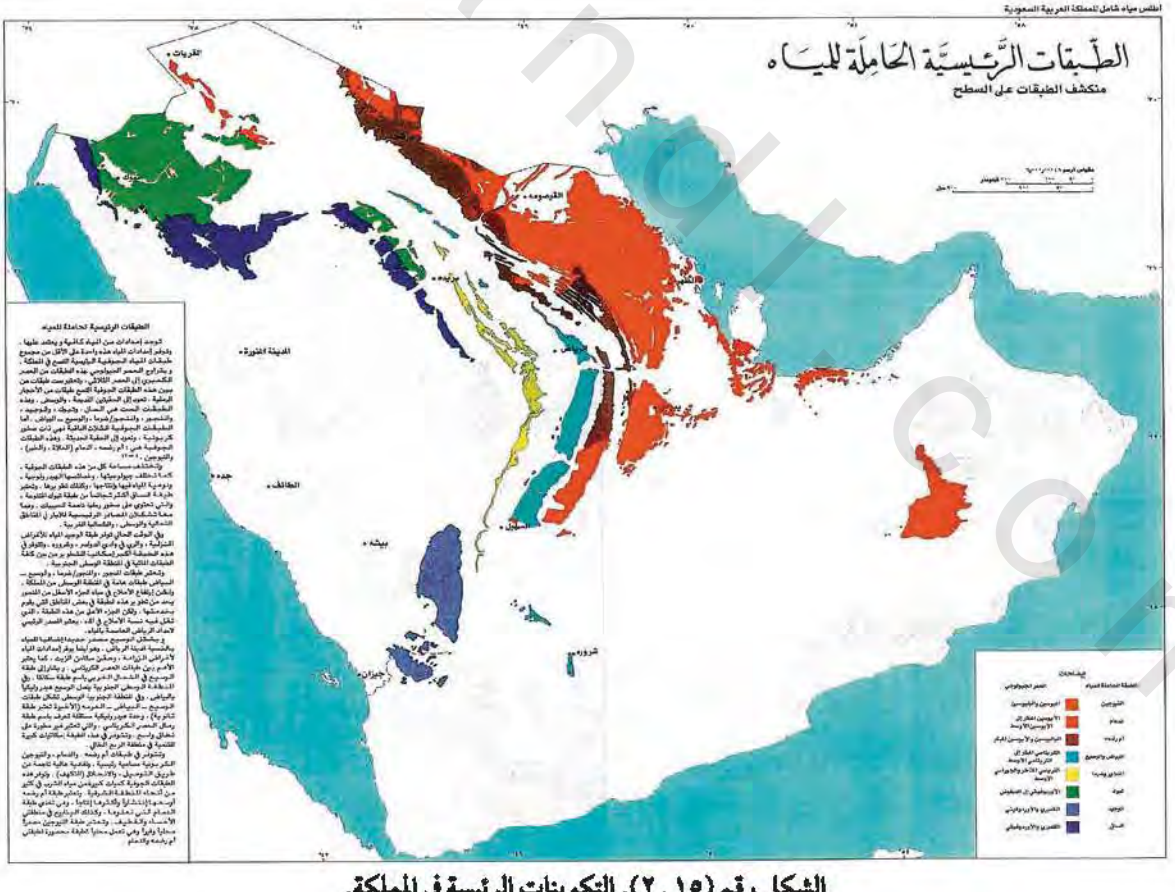
الجدول رقم (٢ , ٢). الطبقات الرئيسة الحاملة للمياه والعصر الجيولوجي التي تكونت فيه ومناطق استغلالها في المملكة.

الطبقة الرئيسة الحاملة للمياه	العصر الجيولوجي لها	مناطق استغلال المياه منها
الساق	الكمبري والأوردوفيشي	القصيم وشرق حائل وتبوك وتيماء.
تبوك	الأوردوفيشي إلى الديفوني	القصيم وشرق حائل ومنطقة تبوك وتيماء.
الوجيد	الكمبري والأوردوفيشي	وادي الدواسر
المنجور وضرما	الترياسي المتأخر والجوارسي الأوسط	الرياض وسدير والوشم والخرج والأفلاج والسليل
أم رضمه	الباليوسين والأيوسين المبكر	الظهران وشدقم والخبر والدمام وحرض وبعض مناطق الأحساء
الدمام	الأيوسين المبكر إلى الأيوسين الأوسط	الخبر والدمام والقطيف والهفوف
النيوجين	الميوسين والبليوسين	وادي الدواسر والأحساء
الوسيع والبياض	الكريتاسي المبكر إلى الكريتاسي الأوسط	الرياض وخريص والخرج وشدقم وإبقيق

الشكل رقم (٢ , ١٤). خرائط التكوينات الرئيسة في المملكة.



تابع الشكل رقم (١٤ , ٢).



الشكل رقم (١٥ , ٢). التكوينات الرئيسة في المملكة.

ثانياً: التكوينات الثانوية الحاملة للماء

هذه الطبقات سميت بالثانوية إما لمحدودية امتدادها الجيولوجي أو لانخفاض إنتاجيتها من المياه عن الطبقات الرئيسة. وتعتبر التكوينات الثانوية الحاملة للمياه في المملكة مصدراً هاماً للمياه على النطاق المحلي على الرغم من مياهها الرديئة وإنتاجيتها الضئيلة وضعف إمكانيات تطويرها وتنميتها. وهي تسعة تكوينات: الجوف، وأبو رواث، والخف، والجله، وضرما، والجوراسي الأعلى، والجوراسي الأسفل، وسكاكا، والعرمة. (وزارة الزراعة والمياه، ١٩٨٥م). ومساحة كل تكوين وخصائصه الجيولوجية والهيدرولوجية ونوعية مياهه وكمية إنتاجه تختلف عن التكوينات الثانوية الأخرى، وتؤثر طبيعة التضاريس ومورفولوجية الأرض في هذه التكوينات تأثيراً واضحاً حيث تظهر مكاشف نسبة منها في بطون الأودية وفي مراوحها الفيضية. ويوضح الجدول رقم (٢,٣) بعض الطبقات الثانوية الحاملة للمياه والعصر الجيولوجي التي تكونت فيه ومناطق استغلالها في المملكة.

وطبقات الجوف، والخف، والجله تعود إلى حقب الحياة القديمة وهي تنتج مياه تتراوح في كميتها من ضئيلة ومتوسطة، ونوعيتها من رديئة إلى صالحة للشرب وذلك في الآبار المحفورة في شمال ووسط المملكة. وفي بعض المناطق تتصل طبقة الجله هيدروليكياً بتكوين المنجور أحد أكبر الطبقات الجوفية الرئيسة في المملكة. وتنتج طبقة الخف مياهاً ذات نسبة متوسطة إلى مرتفعة الملوحة في الآبار المحفورة في القصيم ووادي الدواسر، وإمكانية تطوير هذه الطبقة في الطرف الجنوبي منها تعتبر أفضل حيث تتغير الصخور من جيرية إلى رملية. أما طبقة العرمة فهي طبقة ثانوية باستثناء المكان الذي تتصل فيه هيدروليكا بطبقة الوسيع، وإنتاجها منخفض مع ارتفاع نسبة الأملاح.

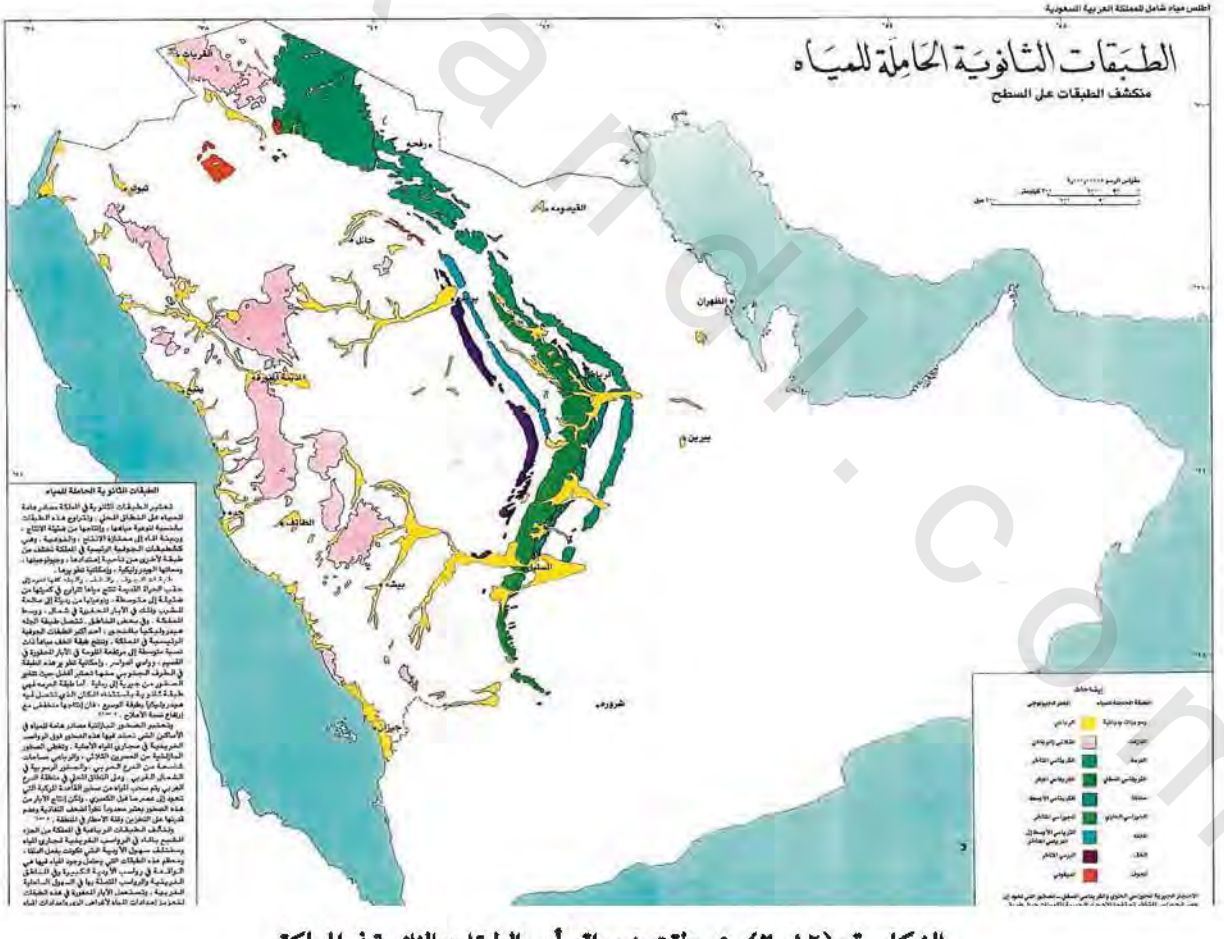
الجدول رقم (٢,٣). بعض الطبقات الثانوية الحاملة للمياه والعصر الجيولوجي التي تكونت فيه ومناطق استغلالها في المملكة.

الطبقة الثانوية الحاملة للماء	العصر الجيولوجي لها	مناطق استغلال المياه منها
الجوف	الديفوني	عرعر والجوف
الخف	البرمي المتأخر	شرق القويعية والقصيم وجنوب وادي الدواسر.
الجله	الترياسي الأوسط إلى الترياسي المتأخر	شمال الرياض
سكاكا	الكريتاسي الأوسط	سكاكا
العرمة	الكريتاسي المتأخر	عرعر ورفحاء

وتعتبر الصخور البازلتية مصادر مهمة للمياه في الأماكن التي تمتد فيها هذه الصخور فوق الرواسب الغرينية في مجاري المياه الأصلية. وتغطي الصخور البازلتية من العصرين الثلاثي والرباعي مساحات شاسعة من

الدرع العربي، والصخور الرسوبية في الشمال الغربي. وعلى النطاق المحلي في منطقة الدرع العربي يتم سحب المياه من صخور القاعدة المركبة التي تعود إلى عصر ما قبل الكمبري. ولكن إنتاج الآبار من هذه الصخور يعتبر محدوداً نظراً لضعف النفاذية وعدم قدرتها على التخزين وقلة الأمطار في المنطقة. ويوضح الشكل رقم (١٦ , ٢) خريطة لمواقع أهم الطبقات الثانوية في المملكة.

وتتألف الطبقات الرباعية في المملكة من الجزء المشبع بالماء في الرواسب الغرينية لمجاري المياه ومختلف سهول الأودية التي تكونت بفعل الدلتا، ومعظم هذه الطبقات التي يحتمل وجود المياه فيها هي الواقعة في رواسب الأودية الكبيرة وفي المناطق الغرينية والرواسب المتصلة بها في السهول الساحلية الغربية. وتستعمل الآبار المحفورة في هذه الطبقات لتعزيز إمدادات المياه لأغراض الري وإمدادات المياه.



الشكل رقم (١٦ , ٢). خريطة تبين مواقع أهم الطبقات الثانوية في المملكة.

وتقدر خطة التنمية السابعة كمية المياه الجوفية المتجددة في التكوينات الرئيسة والثانوية التي يمكن استغلالها بحوالي ٣٠٠٠ مليون م٣ سنوياً. وقد قدّر أطلس المياه في المملكة احتياطات المياه في التكوينات الجوفية الرئيسة (العميقة) والثانوية (غير العميقة) بحوالي ٥٠٠ مليار م٣.

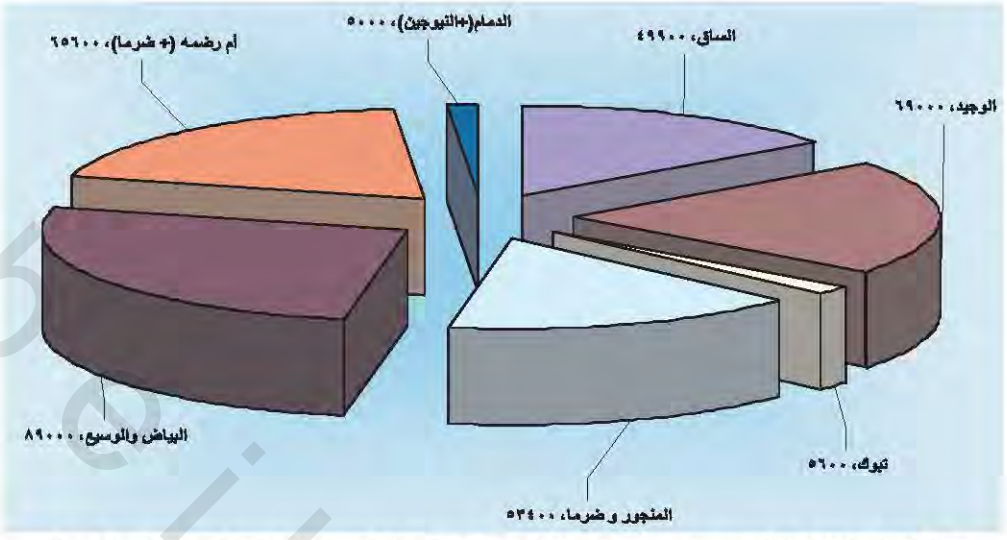
ويوضح الجدول رقم (٢,٤) مقدار التغذية السنوية، والاستخراج الفعلي، والمخزون المؤكد، والعمر الجيولوجي، ونوعية المياه، لمياه التكوينات الرئيسة والثانوية الحاملة للمياه بالمليون متر مكعب في المملكة. كما يوضح الشكل رقم (٢,١٧) حجم المخزون المائي المؤكد للتكوينات الرئيسة في المملكة (مليون متر مكعب)، كما يوضح الشكل رقم (٢,١٨) مقدار التغذية السنوية والاستخراج الفعلي لمياه التكوينات الرئيسة الحاملة للمياه بالمليون متر مكعب في المملكة.

الجدول رقم (٢,٤). مقدار التغذية السنوية، الاستخراج الفعلي، المخزون المؤكد، العمر الجيولوجي، ونوعية المياه، لمياه التكوينات الرئيسة الحاملة للمياه بالمليون متر مكعب في المملكة.

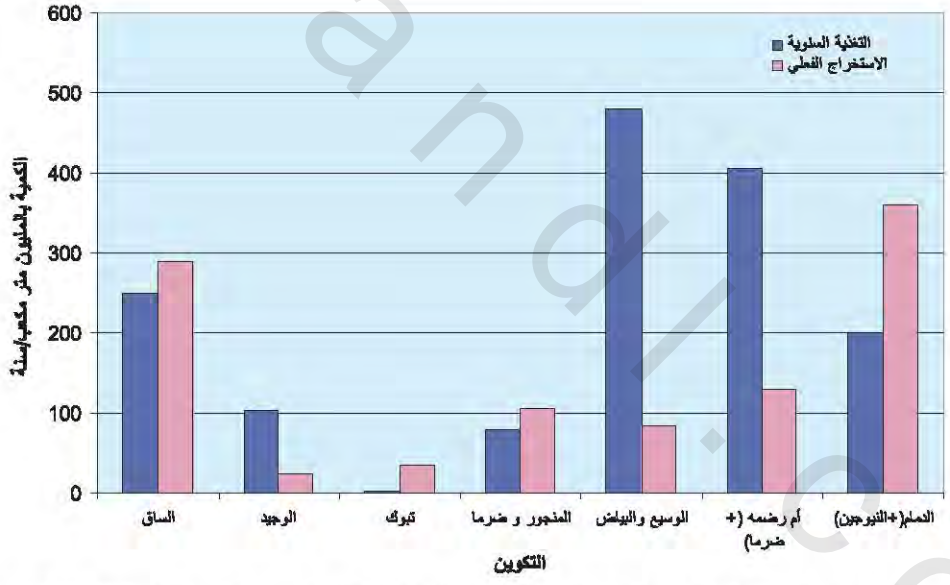
التكوين	التغذية السنوية	الاستخراج الفعلي	المخزون المؤكد (مليون م٣)	العمر الجيولوجي لمياه التكوين (سنة)	نوعية المياه (المواد المذابة الصلبة TDS)
الساق	٢٥٠	٢٩٠	٤٩٩٠٠	٢٨٠٠٠	١٠٠٠-٦٠٠
الوجيد	١٠٤	٢٥	٦٩٠٠٠	٣٠٠٠٠	١٠٠٠-٥٠٠
تبوك	–	٣٥	٥٦٠٠	١٥٠٠٠	٣٥٠٠-٥٠٠
المنجور و ضرما	٨٠	١٠٥	٥٣٤٠٠	٢٥٠٠٠	٥٨٠٠-١٠٠٠
الوسيع والبياض	٤٨٠	٨٥	٨٩٠٠٠	١٦٠٠٠-٨٠٠٠	تصل إلى ١٥٠٠٠٠
أم رضمه (+ ضرما)	٤٠٦	١٣٠	٦٥٦٠٠	٢٢٠٠٠	سيئة جداً
الدمام (+النيوجين)	٢٠٠	٣٦٠	٥٠٠٠		٣٠٠٠٠-١١٨٠
الإجمالي			٣٣٧٥٠٠		
الطبقات الثانوية			١٦٢٥٠٠		
إجمالي الاحتياطي			٥٠٠٠٠٠		

المصدر: مصطفى، نوري عثمان، المياه ومسيرة التنمية في المملكة العربية السعودية، الطبعة الأولى، جده، ١٩٨٣م. أطلس المياه، وزارة الزراعة والمياه (١٩٨٠م).

openkandi.com



الشكل رقم (٢, ١٧). حجم المخزون المائي المؤكد للتكوينات الرئيسة في المملكة (مليون متر مكعب).



الشكل رقم (٢, ١٨). مقدار التغذية السنوية والاستخراج الفعلي لمياه التكوينات الرئيسة الحاملة للمياه في المملكة.

(٢, ٢, ٤) تطور مخزون المياه الجوفية

ظلت مظاهر المياه المنتشرة على سطح الأرض في المملكة ممثلة بالعيون والبحيرات والينابيع دليلاً واضحاً على غزارة المياه المختزنة في التكوينات الحاملة للمياه، إضافة إلى المياه المحصورة داخل التكوينات الجوفية، وقد ظلت هذه المياه فترة طويلة من الزمن المصدر الرئيس لحاجة السكان وأنشطتهم المختلفة خاصة الزراعة والرعي،

obeikandl.com

وأبعد الفترات الزمنية التي رصدتها المصادر التاريخية والجغرافية لتدفق مياه العيون في المملكة تؤكد أن العصر الحجري الحديث شهد نشاطاً واسعاً حول هذه العيون المائية.

حيث ذكر عثمان (١٩٨٣) أن اليمامة كانت تشمل ما يقرب من ٣٧٠ عيناً، وكانت الأحساء تشمل ما يربو من ١٠٤ إلى ١٦٢ عيناً إجمالي تدفقها يقدر بنحو ١٤٠١ م٣/ ث، وتشمل واحة القطيف على ١٠٠ عيناً، والمدينة وخيبر تشمل أكثر من ١٠٠ عين، وما زالت بقايا المزارع حول هذه العيون وآثار قنوات الري شاهدة على غزارة تدفق مياه هذه العيون كما في ثُبور (سواقي) عيون الأحساء خاصة عين نَجم وعين الخُدود وعين اللُويمِي وعين الجوهرية وعين أم سبعة، وخَرز عيون الأَفْلاَج خاصة القادمة من عين الرأس التي كانت أكبر عيون الأَفْلاَج مساحة ٢٨٠ ألف متر مربع إضافة إلى عين أُم هِيب وعين الرويس وعين الباطِن وعين أُم بِرج وعين الشُقَيبات، وأفلاج فَرزان التي تجلب الماء من ٦٠ ينبوعاً في فَرزان في محافظة الخَرج، وخَرز عين الضِلْعِ وعين سمحةَ التي تغذي المزارع القريبة منها في منطقة السيح بمحافظة الخَرج، وعين الصوينع التي كانت تسيح على سطح الأرض وعين ابن قنور وعين الطرفية في منطقة السر، وتنتشر في منطقة القصيم عدد من العيون أهمها عيون وادي الرمة وعين ابن ميح والعبسية وعين ابن فهيد وعين المزرعة، أما في الدرع العربي فتظهر مجموعة من العيون أهمها عيون خيبر التي تتألف من ٥٠ عيناً، وفي المدينة وينبع يوجد عدد من العيون تزيد عن ٥٠ عيناً، كما توجد مجموعة من العيون في وادي فاطمة (عثمان، ١٩٨٣).

ولم تكن المياه الجوفية العميقة معروفة في تلك الفترة، وكان أول بئر أنبوبي حفر في المياه الجوفية في المملكة عام ١٣٥٥هـ (١٩٣٦م) من قبل شركات التنقيب عن النفط بالقرب من مدينة الظهران، تلى ذلك اكتشافات متتالية لكميات كبيرة من المياه الجوفية من قبل شركات النفط التي منحت امتياز التنقيب في المملكة (الثنيان، ٢٠٠٨).

وكانت معظم التكوينات التي يتم الحفر فيها ذات مياه محصورة يندفع الماء منها مباشرة. بعد ذلك أولت المملكة أهمية للمياه الجوفية بحفر عدد من الآبار لأغراض الشرب في المدن الرئيسة، وأُنشئت وزارة الزراعة والمياه عام ١٣٧٣ هـ (١٩٥٤م) وأوكلت إليها مهمة تطوير وتنمية مصادر المياه في المملكة حيث نجحت الوزارة في حفر عدد من الآبار العميقة لتأمين مياه الشرب للمراكز العمرانية من مدن وقرى وهجر على نطاق واسع في المملكة (وزارة الزراعة والمياه، ١٩٨٥م)، واستمر تطوير الآبار بشكل سريع بعد عام ١٤٠٥ هـ (١٩٨٥م) من قبل

القطاعين الحكومي ممثلاً بوزارة الزراعة والمياه إضافة إلى القطاع الخاص حيث بلغ عدد الآبار عام ١٤٢٠هـ (٢٠٠٠م) أكثر من ١٠٠ , ٤٩٠ بئر تستنزف ما مقداره ٨٨٪ من ميزان المياه الوطني للمملكة (وزارة التخطيط، ٢٠٠٠م).

ويمكن رصد معالم استنزاف موارد المياه في المملكة منذ بداية خطط التنمية عام ١٣٩٠هـ (١٩٧٠م) والتي شهدت جفاف عيون خيبر وبعض عيون المدينة وعيون حائل، ومع بداية خطة التنمية الثالثة ١٤٠٠-١٤٠٥هـ (١٩٨٠-١٩٨٥م) التي تشير أكثر الدراسات أنها البداية الأكثر وضوحاً لانخفاض مستوى مياه العيون في الأحساء والخرج والأفلاج والقصيم ويتراوح هذا الانخفاض ما بين ٢٠ إلى ٥٠ متراً، زاد بعد ذلك الانخفاض لتجف معظم هذه العيون المائية، وكان أخرها جفافاً عين الضلع التي جفت بعد أن انخفض مستوى الماء فيها إلى أكثر من ١٠٠ متر في نهاية الخطة السابعة عام ١٤٢٢ هـ (٢٠٠٢م).

يضاف إلى ما سبق فإن السحب الجائر للمياه الجوفية من هذه الطبقات الجوفية خلال عدة سنوات أدى إلى هبوط مستوى المياه في هذه الطبقات مما سبب إلى فقد طبقات المياه الجوفية لخاصية الضغط البيزومتري للمياه المحصورة بين الطبقات الرسوبية في الرف العربي، والتي كانت سابقاً أحد الأسباب الرئيسة لرفع مستوى المياه إلى فوهات العيون المائية والآبار، ويمكن إرجاع ذلك للأسباب التالية:

١- حفر الآبار العميقة التي اخترقت طبقات المياه الجوفية دون أخذ الاعتبار لحماية وفصل هذه الطبقات بعوازل إسمنتية أو فولاذية، واقتصرت الحماية على الأجزاء العليا من البئر.

٢- عدم دراسة مقدار الضغط البيزومتري والإنتاجية في تكوينات المياه الجوفية التي سيتم اختراقها.

٣- عدم طمر الآبار غير المنتجة بصورة علمية وصحيحة مما يجعلها منفذاً لضياع خاصية الضغط البيزومتري بين الطبقات.

٤- إهمال صيانة عوازل الحجب والحماية الإسمنتية والفولاذية، مما يجعلها تتآكل مع مرور الزمن وتصبح منفذاً لفقدان الضغط داخل الطبقة.

٥- حفر أعداد كبيرة من الآبار في طبقة المياه الجوفية الواحدة مما يؤثر على ضغطها البيزومتري بسبب الاستنزاف الكبير، وعدم مراعاة توزيع الآبار على الطبقات بصورة علمية مدروسة. ونتيجة لزيادة استهلاك المياه

من التكوينات الحاملة لها بدأ يلحظ انخفاض في جودة المياه بسبب تركز نسب عالية من الأملاح جراء السحب المستمر وضعف الإمداد والتعويض خاصة تكوينات موارد المياه غير المتجددة.

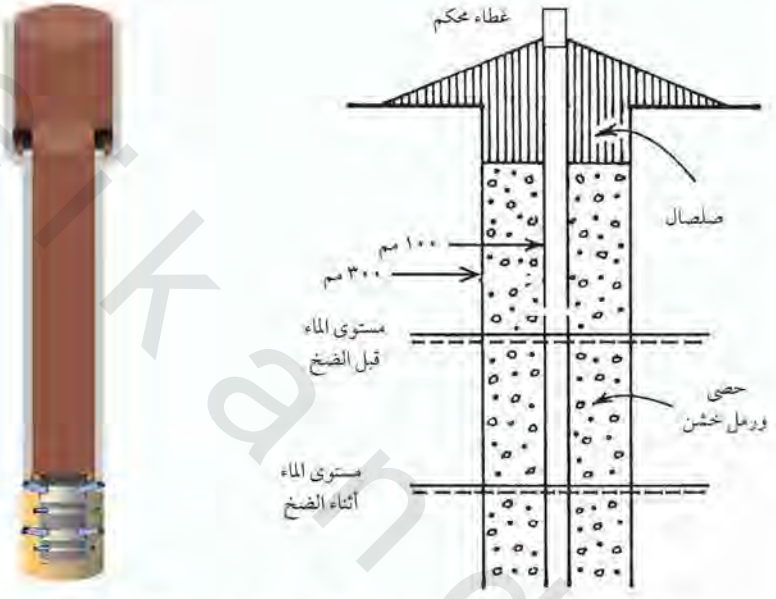
(٣ , ٢) مراقبة استغلال المياه الجوفية

إن عدم تحقيق التوازن بين التغذية recharge والتصريف discharge يؤدي إلى حدوث هبوط مستمر لمستوى سطح الماء الجوفي ومستوى السطح البيزومتري. والهبوط بدوره ينتج عنه بعض المشاكل مثل جفاف بعض الآبار وزيادة الملوحة وتداخل ماء البحر مع الماء الجوفي في المناطق الساحلية. الأمر الذي يستدعي تطبيق طرق المحافظة على المياه لتفادي هذه المشاكل ولتقليل الفاقد وبالتالي تحقيق الاستفادة القصوى. وعليه يجب تحقيق التوازن بين الداخل والخارج في الخزانات الجوفية التي تحتوي على مياه متجددة، وكذلك من الواجب أن يتم التخطيط السليم لاستغلال المياه الجوفية غير المتجددة (القديمة).

وحيث إن المياه الجوفية تستخدم لأغراض مختلفة مثل الأغراض المنزلية والصناعية والزراعية والترويحية، لذا فإن التعرف على الاستراتيجيات الرئيسة في خزان ما وتقدير كميات المياه التي يستهلكها كل من الأغراض السابقة أمر ضروري عند التخطيط لتطبيق طرق المحافظة عليه. وفي الوقت نفسه يجب تقدير كمية مياه التغذية مع الأخذ في الاعتبار اختلاف كمية التغذية من سنة إلى أخرى والذي يرتبط باختلاف التساقط السنوي وخصوصاً في المناطق الجافة. إضافة إلى ذلك يجب الحصول على معلومات تبين أهمية وجدوى الأنشطة الاقتصادية المعتمدة على هذه المياه.

إن المياه الجوفية مخفية تحت سطح الأرض ولا نستطيع مراقبة مستوى المياه بها أو بعدها عن سطح الأرض إلا بإنشاء آبار مراقبة والتي تصل إلى الطبقة الحاملة للماء. وهي عبارة عن أنابيب من المعدن بقطر ٣٠٠ مم تقريباً، ويكون في داخل هذا الأنبوب أنبوب آخر قطر ١٠٠ مم ويكون هذين الأنبوبين مثقوبين من الأسفل لكي تتيح لنا معرفة ما إذا كان هناك ماء جوفي أم لا، ويملأ الفراغ الموجود بين العمودين بالحصى وحتى ارتفاع ١ م تقريباً قبل مستوى سطح الأرض حيث يملأ هذا المتر الفارغ بالصلصال، أما الأنبوب الداخلي فيبرز خارج سطح الأرض ويكون له غطاء محكم حتى يمنع دخول أي مواد غريبة داخل هذا الأنبوب، ويبدأ قياس عمق الماء من سطح الأنبوب الخارجي الواقع مباشرة مع مستوى سطح الأرض. ويتم القياس بقراءة الرقم الموضوع على الأنبوب

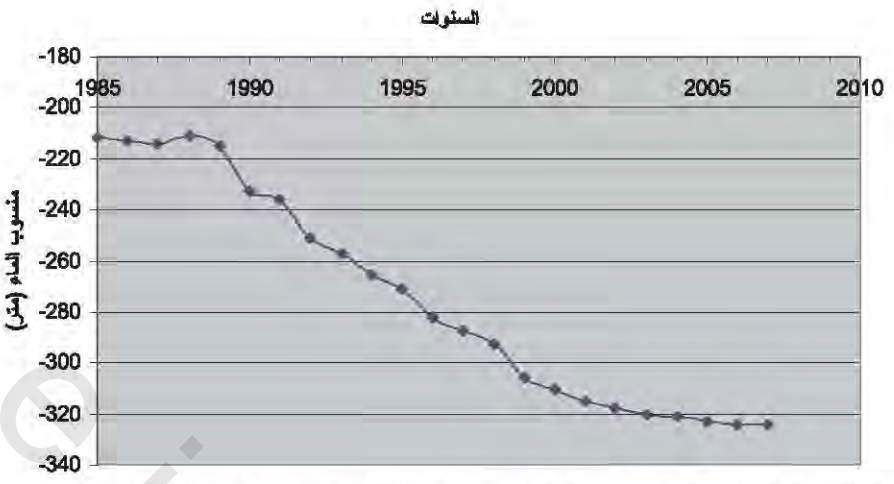
الداخلي. ويجب أن تخترق الأنابيب الطبقة الحاملة للمياه بمسافة كافية ويفضل الوصول للطبقة الصماء (الشكل رقم ١٩ , ٢). وتؤخذ قراءة عمق مستوى الماء ببئر المراقبة ويسجل كل فترة زمنية شهرياً على سبيل المثال. وبهذا يتم رصد منسوب الماء بالطبقة الحاملة وتقدير مدى السحب منها وكيف يؤثر على المخزون فيها من مياه.



الشكل رقم (١٩ , ٢). قياس مستوى الماء الأرضي بواسطة آبار مراقبة.

انخفاض مستويات المياه في الطبقات الحاملة للمياه

تعرضت الطبقات الحاملة للمياه لاستنزاف كبير خلال العقود الأربعة الماضية نتيجة السحب المفرط منها ونتيجة التوسع في المجال الزراعي مما أثر سلباً على مستوياتها ونوعياتها في معظم مناطق المملكة مثل منطقة الرياض (مدينة الرياض – وادي الدواسر)، المنطقة الشرقية (الأحساء – حرض ويبرين)، منطقتي القصيم وحائل، منطقتي تبوك والجوف، وقد أدى استهلاك كميات كبيرة من المياه لأغراض الشرب في مدينة الرياض إلى هبوط حاد في مستويات المياه في طبقة المنجور الرئيسة الحاملة للمياه، كما هو موضح بالشكل رقم (٢٠ , ٢). وأيضاً حدث هبوط في مستويات الماء في طبقتي الوسيع والبياض، وقد اتضح هذا من تسجيلات مستويات المياه في آبار المراقبة.



الشكل رقم (٢٠, ٢). الهبوط في طبقة المنجور في منطقة الرياض من عام ١٩٨٥م إلى عام ٢٠٠٧م.

فقد وجد من آبار المراقبة أن مستويات المياه تنخفض بصورة كبيرة في طبقة الوسيع- البياض، وانخفض السطح البيزومتري في متكون المنجور من ٤٥ م تحت سطح الأرض في عام ١٣٧٦هـ (١٩٥٧م) إلى ١٧٠ م في عام ١٤٠٠ هـ (١٩٨٠م). ونظرا لكثافة الضخ في منطقة بريده فقد انخفض مستوى الماء في تكوين الساق، ورغم تطوير هذه الطبقة في هذه المنطقة فإنه من المحتمل استمرار انخفاض مستويات المياه. وكذلك نتيجة تدفق المياه من الآبار في مناطق تبوك والقصيم والتي تسحب المياه من تكوين التبوك، فمن المشكوك فيه أن تتحمل الطبقة عمليات سحب المياه بصورة زائدة في منطقة تبوك، وذلك نظرا لأن إمكانيات وجود المياه تعتبر محدودة. وإذا ما ازدادت كميات المياه المستخرجة فإن منسوب المياه سينخفض بصورة أكبر. ويعتبر السطح البيوزمتري للوسيع- البياض، ولطبقة الوسيع خفيفاً جداً إلى الشرق، إذ يتراوح من ٣٠٠ م فوق سطح البحر، وعند المنكشف شرقي الرياض إلى ٢١٠ م فوق مستوى سطح البحر شمال الدمام وتتدفق المياه من الآبار تلقائياً في المناطق المحاذية للخليج العربي، وتنخفض مستويات المياه بصورة طبيعية في طبقة الوسيع-البياض. ولقد تم استغلال الطبقة الحاملة لتكوين الدمام في منطقتي الأحساء والقطيف منذ تاريخ بعيد ويدل على ذلك الآبار اليدوية، وكذلك العيون، أدى هذا إلى انخفاض كبير في مستوى الماء بالتكوين.

وقد أدى سحب المياه في منطقة وادي الدواسر إلى حدوث نقص كبير في المخزون الجوفي، مما تسبب في هبوط حاد في مستويات المياه في طبقة الوجيد بالمنطقة وأدى إلى استنزافها، وكان هذا بسبب زيادة المساحات

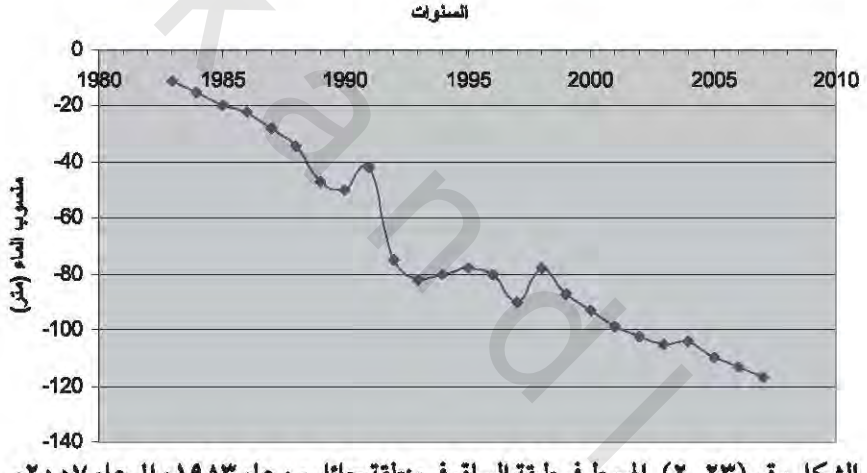
الزراعية بالمنطقة حيث بلغت المساحة المنزرعة بواسطة الشركات الزراعية بالمنطقة حوالي ١٣١ ألف هكتار، وبلغ متوسط استهلاك الهكتار من المياه في السنة حوالي ٣٣,٥٠٠ ألف م٣/ هكتار/ سنة. فكانت كمية المياه التي تم استهلاكها بمنطقة وادي الدواسر خلال عام ٢٠٠٥/ ٢٠٠٦م حوالي ٥,٩٦ مليون م٣/ يوم أي حوالي ٢١٧٧ مليون م٣/ سنة. وبلغت عدد الآبار المحفورة من قبل ١٠ شركات زراعية ما يقرب من ٨٦٦ بئر تسحب المياه من طبقة الوجيد وكانت أعماق تلك الآبار تتراوح من ٢٤٠ – ٦٠٠ م.

وفي المنطقة الشرقية (الأحساء) كان الهبوط في مستويات المياه ملحوظ في طبقات (أم الرضمة – الدمام – النيوجين) بمنطقة الأحساء. أدى إلى التغير في مستويات المياه في الآبار المحفورة في طبقة أم الرضمة في الأحساء، كما هو مبين بالشكل رقم (٢١,٢).

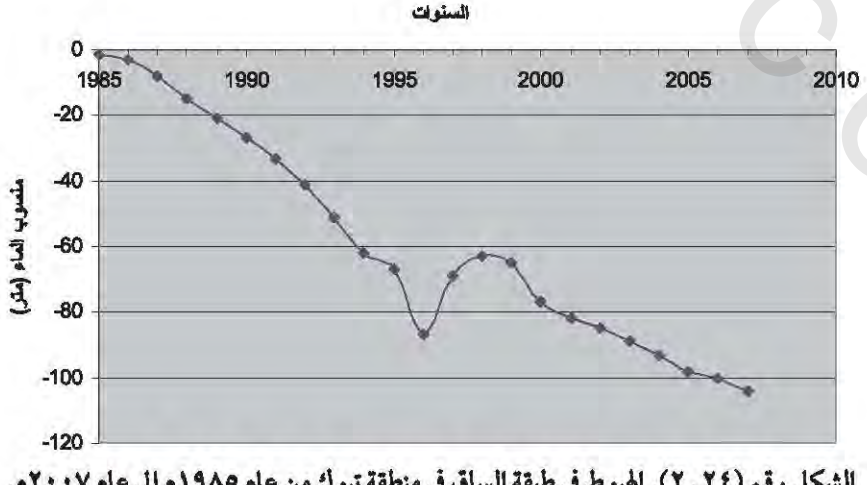
الشكل رقم (٢١,٢). الهبوط في طبقة أم الرضمة في منطقة الأحساء من عام ١٩٧٣م إلى عام ٢٠٠٧م.

وفي منطقة القصيم وحائل وتبوك وبسبب كثافة النشاط الزراعي في تلك المناطق التي تستغل طبقة الساق أدى هبوط حاد في مستويات المياه في بعض آبار المراقبة المحفورة على طبقة الساق بمنطقة القصيم وحائل وتبوك، كما هو موضح بالأشكال أرقام (٢٢,٢) و (٢٣,٢) و (٢٤,٢) على الترتيب.

الشكل رقم (٢٢ , ٢). الهبوط في طبقة الساق في منطقة القصيم من عام ١٩٨١م إلى عام ٢٠٠٢م.



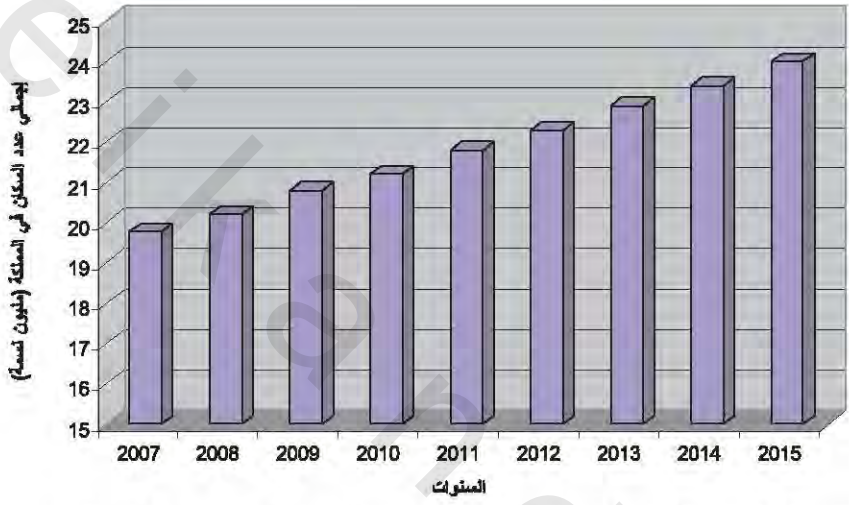
الشكل رقم (٢٣ , ٢). الهبوط في طبقة الساق في منطقة حائل من عام ١٩٨٣م إلى عام ٢٠٠٧م.



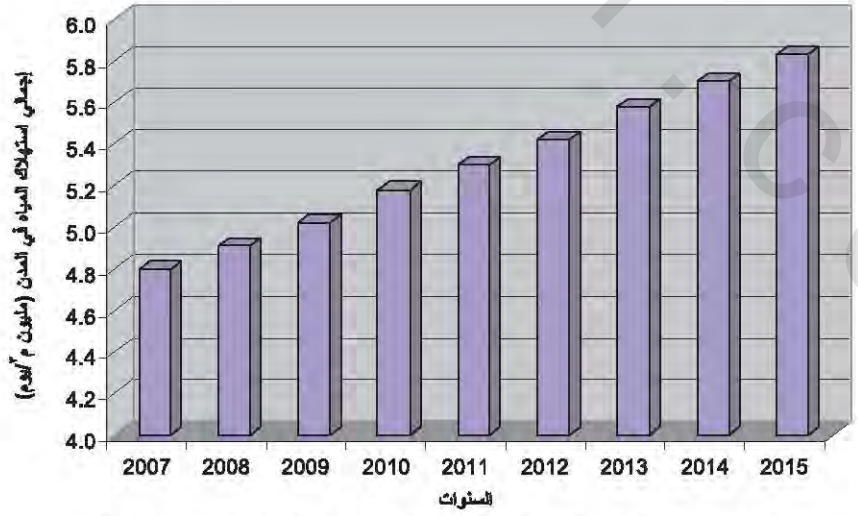
الشكل رقم (٢٤ , ٢). الهبوط في طبقة الساق في منطقة تبوك من عام ١٩٨٥م إلى عام ٢٠٠٧م.

obeikandl.com

والهبوط الواضح في مناسيب المياه في مختلف الطبقات الحاملة للمياه بلا استثناء يعني استنزاف شديد وسحب جائر للمياه أدى إلى تناقص في كمياتها ويرجع هذا أساساً إلى ازدياد معدل النمو السكاني بالمملكة والذي يشمل المواطنين والمقيمين والمتوقع حتى عام ٢٠١٥م كما موضح بالشكل رقم (٢٥ , ٢)، مما أدى إلى زيادة حجم الطلب على مياه الشرب بالمدن الرئيسة بالمملكة وعددها ٢١٢ مدينة حتى عام ٢٠١٥م (الشكل رقم ٢٦ , ٢).



الشكل رقم (٢٥ , ٢). إجمالي عدد السكان في المملكة والمتوقع حتى عام ٢٠١٥م.



الشكل رقم (٢٦ , ٢). إجمالي استهلاك المياه في المدن والمتوقع حتى عام ٢٠١٥م.

ويتضح مما سبق أن مياهنا الجوفية هي مياه غير متجددة تتعرض لاستنزاف شديد أدى إلى تناقص في كمياتها وتردي في نوعياتها، مما يحتم علينا دراسة وضعنا الحالي واستقراء لحالة المياه المستقبلية. فهذا العنصر الحيوي ليس ملك لهذا الجيل فقط وإنما هو لنا وللأجيال القادمة. ولهذا فإن طرح موضوع الاستثمار في المجال الزراعي خارجياً هدف مأمول ومأمون وأن مخاطره لا تقاس بمخاطر الوضع المائي الحالي والمستقبلي في المجالات الزراعية.

(٤ , ٢) تغذية المياه الجوفية

تغذية المياه الجوفية هي إعادة تزويد الخزان الجوفي بالمياه السطحية المتسربة رأسياً إلى باطن الأرض والتي تتجاوز النطاق غير المشبع لتصل إلى النطاق المشبع بالمياه وتصبح جزءا من المياه الجوفية. وتتم العملية بطرق مختلفة إما عن طريق إضافة المياه إلى الخزان الجوفي بطرق مختلفة مخطط لها (التغذية الاصطناعية) مثل خزانات السدود وأحواض نشر المياه أو بطرق غير مخطط لها (تغذية طبيعية) مثل رشح المياه السطحية الناتجة من تساقط الأمطار والمجاري المائية المؤقتة أو الدائمة.

إن التغذية الجوفية هي إحدى الوسائل العملية لزيادة موارد المياه في البلاد القاحلة. وفي المناطق الحارة الجافة يمكن أن يزيد معدل التبخر على معدل هطول الأمطار بعدة أضعاف. وفي مثل هذه الظروف فإن التخزين السطحي (حجز المياه إلى أن يتم تفريغها في خزانات مجهزة لتوزيعها أو تتسرب المياه إلى داخل الأرض) لا يكون مجديا بسبب فاقد المياه الكبير. من هنا جاءت فكرة تخزين مياه الفيضانات تحت الأرض. وقد سميت هذه العملية بالتغذية الجوفية الصناعية أو تخزين واسترجاع مياه الخزان الجوفي.

وقد اعتبرت فكرة التغذية الجوفية واحدة من الوسائل العملية القليلة المستخدمة في تعزيز وزيادة موارد المياه في الأقطار الجافة. وباستعمال التغذية الجوفية الصناعية للخزانات الجوفية فقد أمكن جني عدة ميزات منها أن سعة تخزين معظم المنشآت السطحية صغيرة، والطريقة رخيصة نسبيا بالإضافة إلى أنه يمكن تفادي مشاكل ترسيب الطين وتتم تنقية إمدادات المياه تنقية طبيعية لاستخدامها في أغراض الشرب، وفي الوقت نفسه يتم تخفيض فاقد المياه عن طريق التبخر.

(٥ , ٢) الأهداف الأساسية لتغذية المياه الجوفية

الأهداف الأساسية من التغذية الاصطناعية والطبيعية يمكن إيجازها في الآتي:

١ – المحافظة على المصادر المائية.

٢- الاستخدام الأفضل لخزانات المياه الجوفية عن طريق تخزينها قرب مناطق الطلب.

٣- التقليل من عملية البخر.

٤- إيقاف حدوث الانهيارات الأرضية أو تجنبها عن طريق رفع منسوب المياه الجوفية.

٥- حماية الخزانات الجوفية العذبة من زحف المياه المالحة من البحر إلى الخزانات الجوفية بالمنطقة.

٦- تخزين المياه السطحية الزائدة عن الحاجة تخزينًا جوفيًا مثل مياه الفيضانات.

الظروف الطبيعية المناسبة للتغذية الاصطناعية

إن المعرفة التامة للظروف الجيولوجية والهيدرولوجية والعملية للتغذية الاصطناعية هو أمر ضروري لاختيار طريقة التغذية الاصطناعية المناسبة، ويتضمن هذا معرفة حدود الخزان الجوفي، والجريان السطحي، والسعة التخزينية والمسامية ومعامل التوصيل الهيدروليكي للخزان الجوفي، وكذلك المصادر المائية المتاحة.

الخزانات الجوفية الأكثر ملاءمة للتغذية الاصطناعية هي التي لها قدرة تسرب وامتصاص للمياه عالية، وقدرتها على الاحتفاظ بالمياه عالية، ولا تفقد تلك المياه بسرعة، وهذا يعني معامل توصيل هيدروليكي مرتفع.

وتتطلب التغذية الاصطناعية الناجحة أن يكون الخزان الجوفي غير محصور ومنسوب المياه الجوفية به منخفضاً بشكل كاف للسماح بتخزين كمية أكبر. أما الخزانات الجوفية المحصورة أو الارتوازية وهي الأكثر شيوعاً والأكثر عدداً، تنعدم القدرة على تغذيتها بالطرق العادية. أما الخزانات الرسوبية المحتوية على رسوبيات خشنة وقنوات منها فهي مناسبة للتغذية الاصطناعية.

(٦ , ٢) طرق التغذية الاصطناعية للمياه الجوفية

التغذية الاصطناعية المخطط لها التي تخزن المياه تحت سطح الأرض من أجل الاستخدامات المستقبلية تشمل جلب المياه المراد تخزينها إلى مكان التخزين واختيار طريقة التغذية ودراسة خطواتها وطريقة تنفيذها. وتشمل طرق التغذية الاصطناعية:

١- التغذية عن طريق نشر المياه (Water Spreading).

٢- التغذية من خلال الحفر (Recharge Through Pits).

٣- آبار (أنابيب) التغذية الاصطناعية (Wells (tubes) artificial recharge).

١ – التغذية عن طريق نشر المياه (Water Spreading)

وهي أكثر طريقة شائعة الاستخدام في التغذية الاصطناعية للمياه الجوفية وتتلخص بنشر المياه فوق مساحة سطحية كبيرة تسمح للماء بالرشح إلى الخزان الجوفي، ومعدل الرشح يصف الحركة العمودية خلال المنطقة غير المشبعة ويعرف بأنه حجم الماء الذي يتحرك لأسفل بالجاذبية خلال وحدة الزمن ووحدة المساحة ويعبر عنها بالمتر المكعب لكل متر مربع في اليوم ($m^3/day.m^2$) أو بشكل شائع متر/ يوم (m/day).

وهناك طريقتان شائعتان لنشر المياه بهدف التغذية الصناعية هما: طريقة النشر على جانب المجرى المائي (off-Channel Spreading) وطريقة الفيضان وهي نشر المياه داخل المجرى المائي (on- channel spreading).

أ) طريقة النشر الجانبي (Off-Channel Spreading)

يكون نشر المياه تبعاً لهذه الطريقة في المساحات التي يتم نقل المياه إليها عن طريق تحويل المجرى المائي، وهذه المساحات يجب أن تكون ظروفها مناسبة للتغذية، أي تسمح بمعدلات رشح عالية، وتصمم المساحات التي يتم نشر المياه فوقها بحيث تقسم إلى أجـزاء عن طريق حواجز أو سدود، ويعتمد حجم هذه الأحواض وشكلها أساسا على مساحة الأرض المتاحة وكذلك ميل وظروف التربة. ويوضح الشكلان رقما (٢٧ , ٢) و(٢٨ , ٢) آلية النشر الجانبي للمياه، وهذه العملية مطبقة في البحيرات والسدود.

ويتم في الحالات النمطية تحويل المياه إلى حفرة معبأة بالحصى بحيث أن الماء الفائض عن حجم الحفرة يعود إلى النهر ثانية.

الشكل رقم (٢٧ , ٢). طريقة النشر الجانبي للمياه مطبقة في بحيرة.

الشكل رقم (٢٨ , ٢). سد تتجمع المياه خلفه.

وفي حالة وجود أرض مسطحة نسبياً يكون من المناسب غمر الأرض بالماء حتى طبقات رقيقة جداً لمنع تأكل التربة وجرفها، وذلك بضبط السرعة والعمق، وفي هذه الحالة لا تحتاج الأحواض إلا لتهيئة قليلة، ويتم ضبط السرعة والعمق للحصول على ظروف مناسبة عن طريق إنشاء مصاطب على محيط الحوض.

كما تستخدم أيضاً طريقة الجداول والخطوط (ditch and furrow method) في التغذية الاصطناعية لكن استخدامها أقل من استخدام النشر الجانبي. وفي طريقة الجداول والخطوط يتم حفر مجموعة متقاربة من الخنادق والجداول غير العميقة أو الضحلة وتصرف المياه إليها من النهر. ولأن الخنادق والجداول ضحلة فإنها قابلة للانسداد بالطمي والسلت، ولمنع هذه الظاهرة يجب وجود ميل للخنادق والجداول كافي لحمل المواد العالقة بالمياه وعدم ترسيبها. ويمكن في هذه الطريقة استخدام ثلاثة تصاميم:

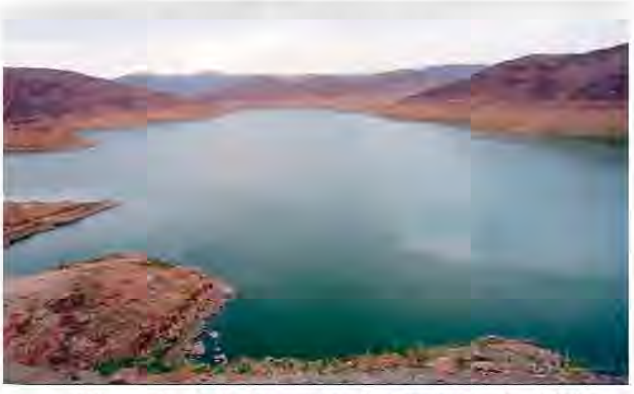
١- تصميم الجداول والخطوط موازية لخطوط الكنتور.

٢- تصميم جداول ذات شكل تفرعي بحيث تكون قناة التغذية الرئيسة متفرعة من الحفر والخنادق الأصغر منها.

٣- تصميم جانبي يتفرع إلى عدد من الحفر والقنوات والجداول من أحدى جوانب القناة الرئيسة.

ب) طريقة نشر المياه داخل المجرى المائي (on- channel Spreading)

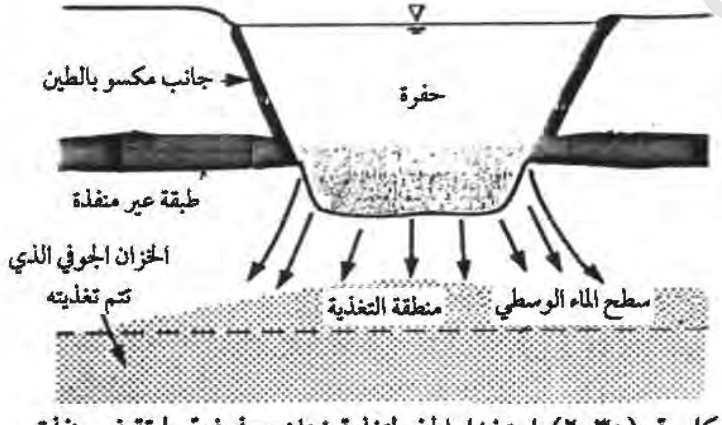
بهذه الطريقة يتم تحسين مجرى الوادي لزيادة قدرة الرشح عن طريق بناء سدود وحواجز رملية أو حصوية في مجرى الوادي أو توسيع مجري الوادي بحيث تزداد المساحة التي يتم رشح المياه منها (الشكل رقم ٢٩ , ٢). كما إن تخفيض سرعة المياه تسمح بفترة بقاء أطول للمياه مما يزيد معدل الرشح، ويتم تخفيض سرعة المياه من خلال إقامة الحواجز في مجرى الوادي للاستفادة من أكبر كمية ممكنة من مياه السدود.



الشكل رقم (٢,٢٩). طريقة نشر المياه داخل المجرى المائي.

٢- التغذية من خلال الحفر (Recharge Through Pits)

هذا النوع من التغذية يتطلب مساحة سطحية أقل من أحواض النشر لأن الرشح يتم من جدران الحفرة بسبب أن التوصيل الهيدروليكي الأفقي أكبر من الرأسي، ويمكن عن طريق الحفر تجنب المشاكل المرتبطة بالبخر التي تكون كبيرة في حالة أحواض النشر، وهذه الطريقة مفيدة خاصة في حالة محدودية الأرض المتوفرة للنشر أو عندما تمنع طبقة طين أو أي طبقة غير منفذة رشح الماء إلى أسفل، كما أن الحفر أقل حساسية للانسداد لأن الطمي يهبط إلى قاع الحفرة ويترك الجوانب مما يسمح بالرشح عبر هذه الجوانب. ومن الممكن أحياناً تجفيف الحفرة ونقل الترسبات والسلت منها، كما يجب تنظيف الحفرة من النباتات قبل الاستخدام ومن حين لآخر. ويوضح الشكل رقم (٢,٣٠) مخطط تصميم حفر تغذية المياه الجوفية أو ما يعرف بالبحيرات، ويوضح الشكل رقم (٢,٣١) إحدى الحفر أو البحيرات التي تم إنشاء لتغذية المياه الجوفية.



الشكل رقم (٢,٣٠). استخدام الحفر لتغذية خزان جوفي فوق طبقة غير منفذة.

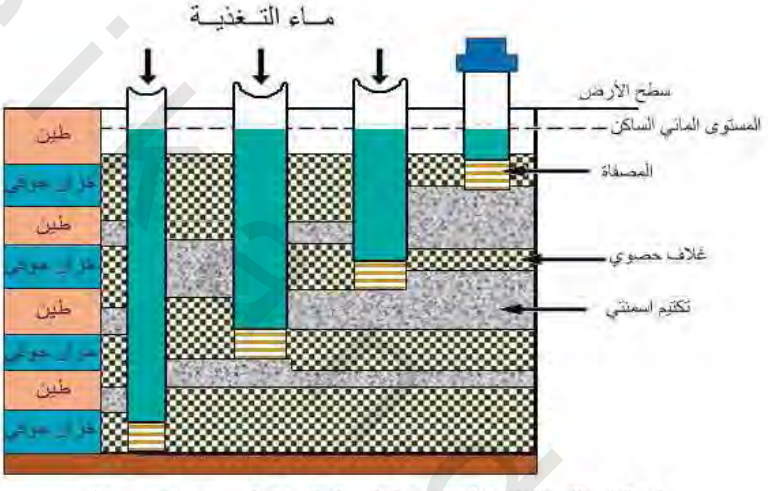
الشكل رقم (٢,٣١). حفرة لتجميع مياه السيول لتغذية المياه الجوفية.

٣- آبار (أنابيب) التغذية الاصطناعية

تستعمل أبار أو أنابيب الحقن لتغذية الطبقات المائية التي يكون فيها استعمال أحواض التغذية غير عملي، وآبار الحقن تعتبر من أهم الطرق المستعملة في التغذية الاصطناعية للطبقات المائية الجوفية، ويجب أن تكون المياه المستعملة في هذه الطريقة ذات نوعية جيدة ويجب أن تكون مواصفاتها مطابقة لمواصفات مياه الشرب.

ويتم ذلك بتركيب أنابيب التغذية الاصطناعية في أحواض السدود ومجاري الأودية عند تخزين وحصاد مياه الأمطار لتغذية الطبقات الجوفية بمياه الأمطار والسيول. كذلك يمكن وضع أنابيب ذات أقطار كبيرة إلى داخل التربة مزودة بمحابس ذات ارتفاعات مختلفة بأعماق تتراوح بين ٣٠-٤٠ م وذلك لدخول المياه من على سطح الأرض ثم تسربها من خلال الفتحات التي تكون تحت سطح التربة حتى يتم تغذية المياه الجوفية، كما في الشكل رقم (٢,٣٢). ولا تستخدم آبار التغذية بشكل واسع بسبب تكلفة الإنشاء والتشغيل العاليتين مقارنة بالطرق الأخرى، وتستخدم آبار التغذية غالباً لحجز ماء البحر أي منع اختلاط ماء البحر بالماء العذب. وبعض آبار التغذية تخترق عدة طبقات، وفي كل طبقة تركب مصفاة وتحاط بغلاف حصوي ويتم فصل كل خزان جوفي عن الخزان الآخر باستخدام طبقة أسمنتية بين الخزانات حول حفرة التغذية. ويوضح الشكل رقم (٢,٣٣) بئر تغذية مركبة بعدة ثقوب وعدة مصافي تخترق طبقات حاملة للمياه ذات مواصفات مختلفة.

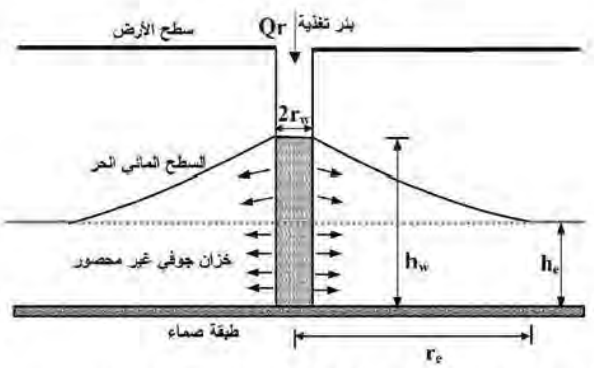
الشكل رقم (٢,٣٢). تغذية المياه الجوفية باستخدام أنابيب التغذية الصناعية.



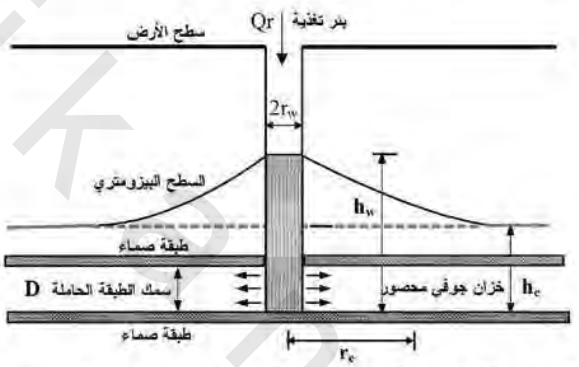
الشكل رقم (٢,٣٣). بئر تغذية مركبة بعدة ثقوب وعدة مصافي.

وتستعمل آبار الحقن من أجل تخزين المياه تحت الأرض وإعادة استعمالها عند الحاجة. وقد يتم استعمال هذه الطريقة في المناطق التي تحدث فيها فيضانات فجائية في المناطق الجافة بحيث تحجز المياه خلف سدود معدة مسبقا، ثم يتم حقنها إلى الماء الجوفي. أو في مناطق المدن التي تزداد فيها مياه الأمطار التي تجري في شوارعها أثناء العواصف المطرية، لذلك فإن بالإمكان جمع هذه المياه عن طريق شبكات مجاري خاصة بمياه الأمطار ثم حقنها إلى الماء الجوفي.

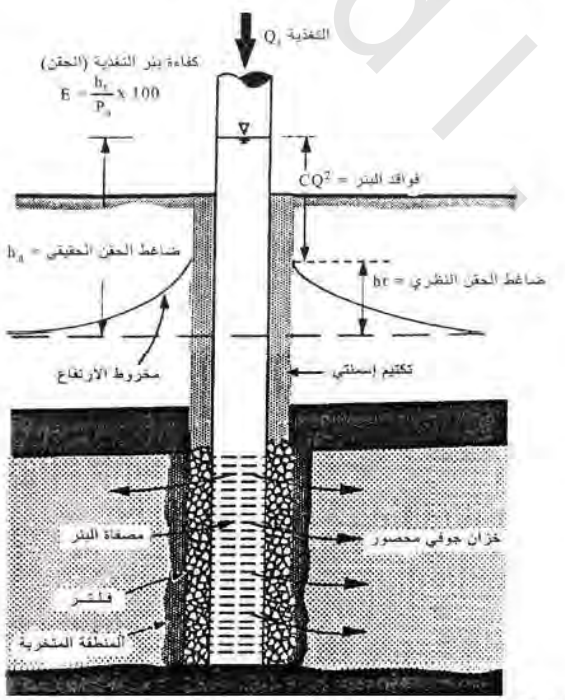
عند حقن البئر بالماء يتشكل مخروط التغذية وهو شبيه بمخروط الهبوط في بئر السحب ولكنه معكوس حول منطقة أنبوب البئر (الشكلين رقمي ٢,٣٤ و ٢,٣٥).



الشكل رقم (٣٤, ٢أ). مخروط التغذية في الخزانات الجوفية غير المحصورة.



الشكل رقم (٣٤, ٢ب). مخروط التغذية في الخزانات الجوفية المحصورة.



الشكل رقم (٣٥, ٢). مكونات بئر تغذية في خزان جوفي محصور.

obeikandl.com

وإن معادلة منحنى التغذية يمكن اشتقاقها بطريقة مشابهة لحالة الضخ. فللخزان الجوفي المحصور باعتبار معدل التغذية Q_r في حالة بئر تغذية يخترق كل الطبقة وفي حالة السريان المستقر تأخذ الصيغة التالية:

$$Q_r = \frac{2\pi KD(h_w - h_o)}{\ln(r_o/r_w)} \qquad (٢,١)$$

أما بالنسبة لأبار التغذية التي تخترق خزان غير محصور فتأخذ الصيغة التالية:

$$Q_r = \frac{\pi K(h_w^2 - h_o^2)}{\ln(r_o/r_w)} \qquad (٢,٢)$$

حيث إن:

Q_r = معدل التغذية للبئر (م٣/ يوم)

K = معامل التوصيل الهيدروليكي للطبقة الحاملة للمياه (م/ يوم)

r_w = نصف قطر البئر (م)

h_w = ارتفاع الماء في البئر عن الطبقة الصماء (م)

r_o = نصف قطر دائرة التأثير (م)

h_o = ارتفاع الماء في نهاية منطقة التأثير عن الطبقة الصماء (م)

(٢,٧) حركة مياه التغذية الاصطناعية في التربة

(٢,٧,١) العوامل المؤثرة على حركة مياه التغذية الاصطناعية في التربة

حركة مياه التغذية إلى أسفل مرتبطة بعدة عوامل مثل:

١- معامل التوصيل الهيدروليكي للتربة.

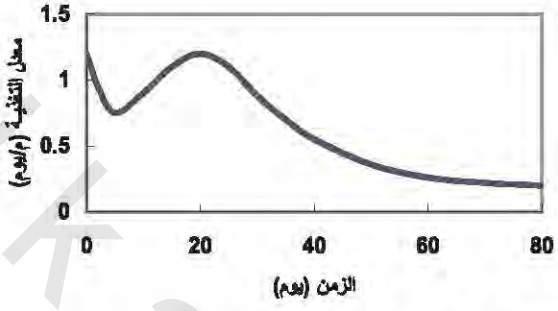
٢- وجود غازات في التربة غير المشبعة.

٣- عوامل تتعلق بتغيرات في بنية التربة خلال عملية الرشح.

إن معدل التغذية أي معدل الرشح يتناقص عند نشر المياه وبدء الرشح، ثم يبدأ بالتزايد بعد عدة ساعات، ويعود أخيراً إلى الانخفاض في معظم الحالات، ويمكن أن تحدث زيادة مؤقتة ثانوية في معدل الرشح، وتتكرر هذه العملية بعد جفاف المياه المنتشرة، ولكنها تعود بمعدلات رشح أقل عادة بسبب نقل المواد الناعمة من السطح أو انتفاخ حبيبات الطين في التكوين، أما الزيادة المؤقتة الأولى فتنتج عن الطرد التدريجي للغازات الموجودة في فراغات

obeikandl.com

التربة، ويعود الهبوط الأخير في معدل التغذية (الرشح) إلى التغيرات الفيزيائية والكيميائية لقطاع التربة الطبيعي، والنمو المتزايد للبكتريا وتجمع الخلايا النباتية الذي ينشأ عن أعماق قليلة. ويجب أن تجفف أحواض نشر المياه من فترة إلى أخرى وتنظف لإعادة قدرة الرشح للتربة من جديد، لأن النمو البكتيري يتحطم بشكل كبير بالأكسدة، ويبين الشكل رقم (٢,٣٦) علاقة معدل التغذية مع الزمن.



الشكل رقم (٢,٣٦). علاقة معدل التغذية مع الزمن.

كما أن استخدام الماء المحتوي على الكلور يزيد معدلات الرشح بسبب تثبيط نشاط البكتيريا في إغلاق وانسداد الفراغات، ويحدث الانسداد clogging في عملية نشر المياه عندما يحتوي الماء على جزئيات صلبة عالقة، وقد يتم إغلاق فراغات التربة بالقرب من السطح بالسلت والطين، وأن الجزئيات الناعمة يمكن أن تخترق أعماق التربة ويتم انسدادها بالمواد الأصلية وتخترق الجزئيات عمقاً يصل إلى ٢٠ م في الترب المسامية. وأن الماء المحتوي على مواد عالقة أقل من ١٠٠٠ ملجم/ لتر يعتبر مقبولاً لإجراء تغذية بطريقة النشر.

معدلات التغذية

أوضح العالم Todd (١٩٨٠) أن قيمة معدلات الرشح أو التغذية في الترب الطمية يعتمد على ميل الأرض. ويمكن حساب معدلات الرشح للميول من ١,٠٪ إلى ١٠٪ باستخدام المعادلة التالية:

$$W = 0.65 + 0.56\ S \qquad (٢,٣)$$

حيث إن:

S = ميل الأرض (٪).

W = معدل الرشح الرأسي (م/ يوم).

إن معدل التغذية النموذجي في أحواض النشر يتراوح بين ٠,٣ – ١,٢ م/ يوم، وللتربة الطينية يكون معدل الرشح في حدود ٠,١٥ – ٠,٣٠ م/ يوم، ويقل معدل الرشح بصفة عامة بنقصان حجم جزئيات التربة.

كما أن معدلات الرشح العالية تكون في حالة النباتات الطبيعية غير الكثيفة لأن النباتات الكثيفة تثبط الرشح، كما أن زيادة المسامية الفعالة للتربة عن طريق تناوب التجفيف والنشر (التبليل) وبالتالي تساعد هذه العملية على زيادة كميات الرشح وتسرب المياه التي تصل إلى الخزان الجوفي المراد تغذيته إضافة إلى أن عملية التجفيف تكفل القضاء على نمو الميكروبات التي تغلق مسام التربة في منطقة نشر المياه.

(٢,٧,٢) المحافظة على معدلات التغذية Maintaining Recharge Rates

أثبتت العمليات التالية نجاحها في المحافظة على معدلات التغذية في أحواض نشر المياه:

١- الترحيل الدوري للمواد الناعمة المترسبة على سطح الأحواض بالكشط، ويكون أكثر فاعلية في الأراضي التي يكون فيها حجم الحبيبات خشناً.

٢- وضع طبقة من الفلتر في الحوض وتستبدل بين فترة وأخرى.

٣- منع الماء العكر من دخول أحواض النشر.

٤- يجب أن يدخل ماء التغذية إلى حوض النشر من أدنى نقطة لمنع عمليات النحت وإغلاق مسامات التربة أو الإغلاق البيولوجي ويمكن إضافة مواد كيماوية أو عضوية إلى سطح التربة لزيادة الرشح.

٥- الحد من وجود نباتات مائية حتى نمنع إغلاق مسامات التربة أو الإغلاق البيولوجي.

٦- يمكن إضافة بعض المواد الكيماوية أو العضوية إلى سطح التربة في حوض النشر لزيادة الرشح.

٧- عدم استعمال المياه المحتوية على مواد معدنية في التغذية الاصطناعية.

(٢,٧,٣) طرق قياس معدل التغذية

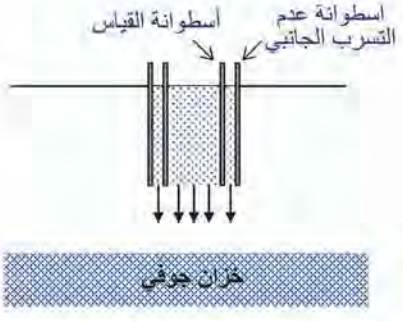
يتم قياس معدل التغذية (الرشح) أو ما يطلق عليه اختبار الرشح بعدة طرق منها:

١- اختبار الملء الكامل لحوض النشر، وهو يعطي أكثر النتائج فاعلية وواقعية، وإذا كانت تكلفة نقل المياه إلى أحواض النشر عالية أو إذا كانت الأرض غير ذات قيمة فإن طريقة الامتلاء الأقل من الملء الكامل يمكن أن تفي بالغرض.

٢- طريقة بركة الاختبار، وهي تحتاج لزمن طويل، وقياس تغيرات معدل الرشح مع الزمن واكتشاف المناطق شبه المعلقة وتعيين تأثير التغذية على منسوب سطح الماء الأرضي (الشكل رقم ٢,٣٧).

٣- اختبار مقياس الرشح (المرشح)، ويمكن من خلاله تحديد معدل الرشح، والجهاز عبارة عن أسطوانة معدنية قطرها من ٢٠ – ٤٠ بوصة توضع في أول طبقة تؤدي إلى الطبقة المشبعة، ويوضع داخلها حجماً معين من المياه ثم يراقب رشح المياه من هذه الأسطوانة لأسفل، وهذه الطريقة مناسبة للمناطق التي تكون الطبقة العليا أقل نفاذية من الطبقة السفلى. كما يمكن استخدام اسطوانتين حول بعضهما البعض لتجنب الحركة الجانبية حول السطح (الشكل رقم ٢,٣٨)، وتتضمن خطوات الاختبار ملء الأسطوانة بالماء وقياس انخفاض مستوى الماء بها مع الزمن. ويجب طرح مقدار التبخر من الكمية المفقودة من الماء بالاسطوانة للحصول على الرشح الصافي.

الشكل رقم (٢,٣٧). طريقة قياس معدل التغذية باستخدام بركة الاختبار نتيجة وجود طبقة معلقة.



الشكل رقم (٢,٣٨). طريقة قياس معدل التغذية باستخدام اسطوانتين.

(٨ , ٢) تلوث المياه الجوفية

أدت الزيادة الهائلة في عدد السكان والتقدم الصناعي والتقني والتوسع الزراعي والتوسع العمراني في القرن العشرين، إضافة إلى عدم اتباع الطرق المناسبة في معالجة مصادر التلوث وانعدام التخطيط السليم، إلى تلوث الموارد المائية واستنزافها. ويمكن اعتبار مشكلتي التلوث واستنزاف الموارد المائية هي المشكلات الرئيسة سواء في العالم الصناعي المتقدم أو في الدول النامية.

ويعرف التلوث بأنه وجود مادة أو مواد غريبة في المياه، والملوثات هي المواد والميكروبات أو الطاقة التي تلحق الأذى بالإنسان وتسبب له الأمراض. والمياه الملوثة تضر بصحة البيئة وتؤدي إلى حدوث تغير في درجة حرارة الماء وتغير رائحته وطعمه ولونه. ويقصد أيضاً بتلوث المياه وجود تغيير في مكونات المجرى المائي أو الطبقة الجوفية الحاملة للماء أو تغيير حالته بطريق مباشر أو غير مباشر بسبب نشاط الإنسان بحيث تصبح المياه أقل صلاحية للاستعمالات الطبيعية المخصصة لها سواء للشرب أو للزراعة أو للأغراض الأخرى. وهذا يظهر عن طريق تحديد نوعية المياه ولتحديد نوعية المياه لابد من إجراء اختبارات كيميائية وفيزيائية أو حيوية بهدف تحديد صلاحية المياه.

ويعتبر التلوث المائي خطير جداً خاصة وأنه لا يعرف الحدود الإقليمية أو السياسية وإنما ينقل من منطقة لأخرى. فقد أثر تلوث مياه نهر الفرات في تركيا على نوعية المياه في كل من سوريا والعراق. ويؤثر تلوث نهر الراين في فرنسا على كل من ألمانيا وهولندا، كذلك أدى شح مياه نهر الكولورادو في الغرب الأمريكي على المكسيك.

يُعدّ تلوث المياه السطحية والمياه الجوفية وكذلك تلوث الأنهار والبحيرات من أخطر أنواع تلوث المياه على الإطلاق، لأنه يؤثر على مياه الشرب والمياه المستخدمة في الزراعة والري. وينتج هذا التلوث عن عدة مصادر، منها صرف الملوثات الكيميائية المختلفة الناتجة عن المصانع، والصرف الصحي في هذه الأنهار والمحيطات. كما أن مخلفات الصرف الزراعي، المحملة بالعديد من الأسمدة العضوية، ومياه السيول المحملة بالمواد الذائبة العضوية والكيميائية، تعد من المصادر الخطيرة لتلوث مياه الأنهار والبحيرات، التي لا يمكن تحديد كميتها أو التحكم فيها. إلاّ أنه في العصر الحديث، ومع ازدياد النشاط الصناعي وتلوث الجو، أصبحت مشكلة الأمطار الحمضية من الأخطار التي تهدد مصادر المياه العذبة في العالم، بصفة خاصة في البلدان الصناعية.

منذ أمد بعيد كانت الآبار من مصادر المياه النقية، التي لا يمكن تلوث مياهها نتيجة للتأثير الترشيحي للتربة على المياه المترسبة، غير أن هذا الاعتقاد تغير الآن ففي كثير من الحالات، تكون الآبار المستخدمة قريبة من سطح

الأرض، كما هو الحال في الآبار غير العميقة، وتزداد فرصة تعرضها للتلوث البيولوجي أو الكيميائي. أمّا في حالة الآبار العميقة، وهي التي يزيد عمقها عن ٨٠ م، فتقل فرص التلوث فيها، لأن المياه تمر في هذه الحالة على طبقات مسامية نصف نفاذة، تعمل في كثير من الأحيان على ترشيح الماء وتخليصه من معظم الشوائب. غير أن الشواهد، التي تجمعت في السنوات القليلة الماضية، دلت على أن بعض المبيدات الحشرية والمواد الكيميائية، وجدت طريقها إلى الطبقة الحاملة للمياه في باطن الأرض. وتعد هذه المعلومات العلمية الحديثة في غاية الخطورة. إذ تشير الدلائل إلى تعرض المخزون الكبير للأرض من الماء العذب، إلى التلوث من مصادر عديدة. تتعدد المصادر المسببة لتلوث المياه الجوفية. فمنها ما يعود لعوامل طبيعية، ومنها ما يعود لمجموعة متنوعة من أنشطة الإنسان.

(٩ , ٢) مصادر تلوث المياه الجوفية

إن تعرض المياه الجوفية في الآبار للتلوث يصبح أمر خطير ويصبح تنظيفها عملية شاقة وباهظة التكلفة. هناك مصادر عديدة للتلوث من أهمها:

١- الأنشطة الزراعية

حيث يؤدي استعمال الماء بالطرق القديمة، مثل الغمر أو الاستعمال المفرط للمياه، مع سوء استخدام المبيدات الحشرية والأسمدة، إلى زيادة تركيز الأملاح والمعادن والنترات في المياه الجوفية، بصفة خاصة إذا لم تتوفر أنظمة الصرف الزراعي العلمية.

٢- استخدام آبار الحقن

وهي آبار تستخدم لحقن النفايات الصناعية والإشعاعية، في الطبقات الجوفية العميقة الحاملة للمياه المالحة. إلاّ أنه قد ينتج عن ذلك تسرب هذه النفايات إلى الطبقات العليا الحاملة للمياه العذبة عن طريق الأنابيب غير المحكمة، أو عن طريق سريانها في اتجاه الطبقات الحاملة للمياه العذبة، عن طريق التصدعات في الطبقات غير المنفذة.

٣- بيارات الصرف

عند حفر البيارات غير المصمتة قريباً من آبار المياه كوسيلة للتخلص من الفضلات والمياه المستعملة يحدث تسرب من هذه البيارات لآبار المياه وتلوثها جرثومياً وكيميائياً.

٤- تداخل المياه المالحة

تعلو المياه الجوفية العذبة في المناطق القريبة من البحر المياه المالحة أو في وضع متوازن في بعض الطبقات المائية في بعض المناطق ومع شدة السحب والاستخدام المفرط للمياه العذبة يختل التوازن فتتسرب المياه المالحة من البحر في اتجاه الطبقات الحاملة وبالتالي يحدث خلط لمياه الطبقات مما يتسبب في ملوحة وتردي نوعية المياه.

٥- تداخل الآبار

يؤدي تقارب الآبار من بعضها البعض إلى حدوث تداخل مخاريط الانخفاض، أي أن كل بئر تصبح واقعة في نطاق نصف قطر التأثير للبئر الأخرى. وهنا تؤثر الآبار على بعضها فيحدث هبوط فجائي لمستويات المياه في المنطقة يسمح بتداخل المياه المالحة.

٦- التلوث البترولي

وهذا النوع ينتج من مصادر متنوعة مثل التسرب من خزانات محطات الوقود ومحلات تغيير الزيوت وغسيل السيارات وكذلك عند التخلص من المخلفات البترولية برميها في الأودية أو في حفر عميقة.

٧- الأمطار الحمضية

تتكون الأمطار الحمضية في الأقاليم الصناعية حيث يحتوي هواء تلك المناطق على الغبار وأكسيد النيتروجين وأكسيد الكبريت والتي تهطل على شكل أمطار حمضية خاصة في الدول الأوروبية وكندا والولايات المتحدة الأمريكية، وبعد سقوط الأمطار وبوصولها سطح الأرض فإن الملوثات تنتقل إلى المياه السطحية.

٨- التخلص السطحي من النفايات

ويحدث هذا، غالباً، في البلاد الصناعية، حيث تدفن هذه البلاد نفاياتها الصناعية، في برك تخزين سطحية. فعلى سبيل المثال، يتم التخلص من حوالي ٣٩٠ مليون طن من النفايات الصلبة في الولايات المتحدة الأمريكية، عن طريق دفنها في أماكن مخصصة على سطح الأرض. كما يجري التخلص من حوالي ١٠ آلاف مليون جالون من النفايات السائلة عن طريق وضعها في برك تخزين سطحية. وقد يؤدي عدم إحكام عزل هذه البرك، إلى تسرب هذه النفايات إلى الطبقة الحاملة للمياه العذبة، حيث يعد ١٠٪ من هذه النفايات ذات خطورة حقيقية، على صحة الإنسان والبيئة.

وعند حدوث تلوث للمياه الجوفية، يصعب، إن لم يكن مستحيلاً، التخلص من هذا التلوث، أو إجراء أي معالجة للمياه الموجودة في الطبقات الحاملة. ومما يزيد الأمر تعقيداً، وجود هذه المياه في باطن الأرض وبطء

حركتها، ذلك أن سرعة سريان هذه المياه في باطن الأرض، لا يتجاوز عدة أمتار في اليوم، أو ربما عدة أمتار في السنة، تبعاً لمكان المياه الجوفية ونوعها. وهذا يعني مرور السنين الطوال قبل التخلص من أي تلوث، أو قبل اكتشاف أي تلوث. مما يؤدي إلى انتشاره عبر المجاري والأنهار، الجارية في باطن الأرض.

أشكال التلوث المائي

١- التلوث الفيزيائي

ويحدث نتيجة عمليات الانجراف المائي وبخاصة في الأراضي المحروثة والمعراة من الغطاء النباتي وفي مناطق المناجم والصناعات التعدينية.

٢- التلوث الكيميائي

ويحدث نتيجة وجود مواد كيماوية سامة مذابة في الماء مثل أملاح الكبريتات والنيترات ومركبات الفوسفور والرصاص والزئبق وغيرها.

٣- التلوث الإشعاعي

ويحدث بسبب الإشعاعات النووية التي تحدث بسبب التجارب النووية أو انفجار بعض المفاعلات النووية كما حصل في الولايات المتحدة وأوكرانيا.

٤- التلوث الحراري

يحدث هذا التلوث بسبب إلقاء المياه المستخدمة في تبريد المصانع داخل البحار أو مجاري الأنهار، مما يؤدي إلى رفع درجة حرارة الماء وبالتالي طرد الأكسجين وعدم صلاحيته للحياة النباتية والحيوانية.

التلوث الكيميائي للمياه الجوفية في المملكة

يعتبر التلوث الكيميائي للمياه الجوفية في المملكة هو الشكل الأكثر شيوعاً في أشكال التلوث الأربعة السابقة، حيث يندر حدوث تلوث للمياه الجوفية نتيجة التلوث الإشعاعي أو الحراري أو الفيزيائي.

ويجب أن يحظى التلوث الكيميائي للمياه الجوفية في المملكة بعناية واهتمام بالغين حيث أنه لا يقل أهمية عن تلوث المياه السطحية، كما أن حجم المياه السطحية كمورد مائي أقل من المياه الجوفية، وحيث توجد مناطق كثيرة في المملكة تعتمد اعتماداً كلياً على المياه الجوفية في الشرب والاستخدامات الطبيعية الأخرى.

قديماً قبل تعدد الملوثات وانتشارها كان تلوث المياه الجوفية بالكيماويات شيئاً لا يذكر نظراً لقلة الملوثات الكيماوية وتحلل الكثير منها بسرعة وعدم إعطائها الفرصة لتتخلل مسام التربة وتصل إلى المياه الجوفية وتلوثها، كما

أن التربة السطحية كانت تساعد بدرجة ما في إزالة بعض الملوثات من المياه السطحية قبل تسللها إلى باطن الأرض وذلك عن طريق الادمصاص أي التصاق جزيئات المواد الملوثة بحبيبات التربة السطحية، أو بعزلها عن طريق عمليات الترشيح، أو بالتبادل الأيوني. ولكن الآن ازدادت المواد الكيماوية والسموم الاقتصادية وتنوعت بدرجة كبيرة وانتشرت في كل أرجاء المعمورة، واخترقت كل الحواجز، وأصبحت مقدرة التربة على تنقية المياه وحجز ما بها من ملوثات محدودة. ويمكن حصر مصادر التلوث الكيميائي للمياه الجوفية في النقاط التالية:

العمليات الزراعية

حيث يلجأ الكثير من المزارعين إلى إضافة كميات كبيرة من الأسمدة الكيماوية والمبيدات الحشرية بهدف زيادة المحصول، وبالطبع فإن الكمية الزائدة من هذه المواد الكيماوية تذوب في المياه السطحية وتتخلل مسام التربة إلى أن تصل إلى المياه الجوفية وتلوثها.

مياه المجارى والبيارات

المقصود بالمجاري شبكات الصرف الصحي، حيث توجد أنابيب ضخمة تمر فيها المخلفات المتنوعة، وفي كثير من الحالات تصب هذه الأنابيب في مصارف أو قنوات إما مكشوفة أو مغطاة، وقد تمتد هذه المصارف أو القنوات لمسافات طويلة قبل الوصول إلى محطات المعالجة "إذا كانت هناك محطات معالجة".

أما البيارات: عبارة عن حفر في باطن الأرض بأعماق متفاوتة، تستعمل للتخلص من الفضلات والمياه المستعملة، وتكثر في القرى وبعض المدن. فقد تتسرب بعض المواد العضوية المتحللة والمواد الكيماوية من هذه المصارف أو البيارات إلى المياه الجوفية وتلوثها. وكثيراً ما نجد مضخات رفع المياه بالقرب من البيارات، وهذا أمر خطير خاصة إذا استعملت تلك المياه للشرب. وفي بعض الأماكن توجد بيارات لتخزين المياه النقية، إن عملية التخزين بهذه الطريقة تصبح سيئة للغاية إذا لم تراع فيها احتياطات شديدة، فهناك الكثير من الكائنات الدقيقة التي لا تجد أي صعوبة في الوصول إلى تلك البيارات حيث إن الماء وسط ممتاز لتكاثر تلك الكائنات.

ظاهرة تداخل المياه المالحة

وتقتصر هذه الظاهرة على مناطق المياه الجوفية القريبة من البحار والمحيطات أو في بعض الآبار السطحية بالمناطق الداخلية، إذ يؤدى السحب المستمر للمياه العذبة الجوفية من تلك المناطق إلى تسرب المياه المالحة من البحر إليها. وبمرور الوقت تصير المياه الجوفية مالحة بعد ما كانت عذبة، وعليه تصبح غير صالحة للشرب أو للاستخدامات الأخرى.

آبار الحقن

تستخدم تلك الآبار للتخلص من النفايات الإشعاعية والصناعية والكثير من المواد السامة. ويتم ذلك بحقن تلك الملوثات في أنابيب تمتد لأعماق كبيرة في جوف الأرض إلى أن تصل للطبقات الجوفية المحتوية على مياه مالحة. ويحدث التلوث للمياه العذبة التي عادة ما توجد في الطبقات العلوية إذا ما كان هناك تسرب في الأنابيب يؤدى إلى تسرب الملوثات المحقونة إلى المياه، أو حدوث تصدع في الطبقات غير المنفذة (الفاصلة بين المياه العذبة والمالحة) يؤدي إلى سريان الملوثات في اتجاه طبقات المياه العذبة.

التخلص السطحي من النفايات

وتنتشر هذه الظاهرة في كثير من الدول الصناعية الكبرى، حيث يتم التخلص من النفايات الصلبة بدفنها في باطن الأرض على أعماق مختلفة، أما النفايات السائلة فتلقى في برك تخزين سطحية متباينة الأعماق. ويؤدي سقوط الأمطار وارتفاع منسوب المياه الجوفية إلى ذوبان بعض هذه المخلفات وتسربها إلى المياه الجوفية العذبة. وقد تتسرب بعض المواد الكيميائية من برك التخزين إلى تلك المياه وتلوثها. وتلجأ بعض الدول الصناعية الكبرى الرأسمالية إلى دفن مخلفاتها المتنوعة الخطيرة جداً في أماكن معينة من أراضي الدول النامية الفقيرة مقابل مبلغ من الدولارات، أو صفقة من الصفقات.

وفي المملكة لم يقتصر تأثير التنمية في موارد المياه الجوفية على استنزاف مياهها وخفض مستواها وجودتها، وإنما تعدى ذلك إلى تلوث مياهها بوصول نسبة من الملوثات إلى تكويناتها الحاملة للمياه خاصة الملوثات السائلة من مياه الصرف الصحي التي وصلت إلى هذه التكوينات من عدة طرق:

١- مياه الصرف الصحي التي تصرف في القنوات المكشوفة والأفلاج والأودية التي تمر بالقرب من الأحياء السكنية والمزارع والمصانع.

٢- مخلفات الزيوت ونفايات الورش الصناعية التي ترمى في القنوات المكشوفة وبطون الأودية القريبة من المناطق الصناعية.

٣- تعمد حفر آبار دخل الأحياء السكنية القريبة من مكاشف الطبقات الحاملة للمياه لاستخدامها لتصريف الفائض من مياه الصرف الصحي في منازل بعض السكان.

٤- كميات الرشح المتزايدة من نظام البيارات داخل المدن والقرى القريبة باتجاه مكاشف الطبقات الحاملة للمياه، التي نرى أثر ارتشاحها في جوانب الآبار التقليدية أو العيون وأحياناً جوانب الأودية ويرجع ذلك إلى النفاذية العالية لصخور الطبقات الحاملة للمياه.

أما ما يتعلق بالنفايات الصلبة فإن مكبات النفايات التي تنتشر حول مدن وقرى المملكة العربية السعودية خاصة المدن الكبرى مثل الرياض وجدة والدمام وغيرها من المدن الرئيسة تُنشأ دون ضابط أو دراسة مسبقة لتنظيمها ودون استخدام أساليب الطمر الصحي للنفايات، مما يجعلها تؤثر على مكاشف الطبقات الحاملة للمياه القريبة منها أو التي أنشئت فوقها مما دفع المسئولين للقلق على موارد المياه الجوفية في الوزارات المتخصصة، حيث ظهر أن العصارة الناتجة من تفاعل المواد الكيميائية داخل مكبات النفايات تصل إلى تكوينات المياه الجوفية من خلال ما تقوم به الأمطار من تسريع وصولها ومن ثم النفوذ إلى مياهها، كما أن الآبار المهجورة التي أهملت نتيجة انخفاض مستوى المياه أصبحت مرمى لكثير من النفايات المختلفة والمتنوعة، فالآبار التي تقع بالقرب من المناطق الصناعية ومراكز خدمات السيارات أصبحت مرمى للزيوت والشحوم والإطارات ومياه غسيل السيارات وغيرها من مخلفات المناطق الصناعية، والآبار المهجورة التي تقع في المزارع أو بالقرب منها أصبحت مرمى لبقايا المخلفات الزراعية مثل بقايا المبيدات والمخصبات والأسمدة الكيميائية والحاويات التي تخزن فيها، والآبار المهجورة بالقرب من المدن الرئيسة تستخدمها صهاريج الصرف الصحي للتخلص من مياه الصرف الصحي التي تنقلها، والآبار المهجورة بالقرب من مشاريع الإنتاج الحيواني أو مشاريع الدواجن ترمى فيها مخلفات الحيوانات ومخلفات الدواجن.

من خلال ما سبق أدركت المملكة العربية السعودية ممثلة بوزارة الزراعة والمياه ثم وزارة المياه والكهرباء بعد ذلك بالخطر الذي يهدد مخزون المياه الجوفية في المملكة العربية السعودية، وتبين أن التقارير والدراسات التي ظهرت في بداية خطط التنمية التي تقول أن موارد المياه الجوفية ستكفي المملكة لمائة سنة، أن ذلك لم يتحقق وظهرت الآثار السلبية لخطوات التنمية السريعة خاصة في مجال التنمية الزراعية على موارد المياه الجوفية باستنزافها أو تلوثها، لذا باشرت المملكة العربية السعودية بسن النظم والقوانين الخاصة بحماية موارد المياه محاولة الحد من هذا الاستنزاف والتلوث، ويمكن وضع التوصيات التالية الخاصة بالحد من ظاهرة تلوث وانخفاض جودة المياه الجوفية:

١- توعية المزارعين من القطاعين الحكومي والخاص بأهمية المحافظة على موارد المياه الجوفية.

٢- توعية المزارعين ومتعهدي حفر الآبار بالطرق السليمة لحفر الآبار وحمايتها وعزلها.

٣- سن النظم والقوانين التي تساعد على ردم الآبار المهجورة بطرق علمية صحيحة خاصة في المزارع التقليدية.

٤- سن النظم والقوانين التي تمنع رمي النفايات السائلة والصلبة في الآبار المهجورة.

٥- ضبط كميات المياه المستخرجة من آبار التكوينات الحاملة للمياه غير المتجددة من خلال تركيب أجهزة قياس كمية المياه المستخرجة.

٦- منع تحويل الأراضي الزراعية إلى مخططات سكنية أو مناطق صناعية.

٧- حماية مكاشف تكوينات موارد المياه الجوفية الرئيسة من الامتداد العمراني والصناعي.

٨- التوسع في إنشاء شبكات الصرف الصحي في المدن والقرى القريبة من مكاشف التكوينات الحاملة للمياه عالية النفاذية أو التي نشأت في صدوع أو انكسارات.

٩- عدم السماح بإنشاء مكبات النفايات إلا بعد خضوعها لشروط الطمر الصحي السليم.

١٠- منع إنشاء المناطق الصناعية ومراكز خدمات السيارات بالقرب من المزارع أو في بطون الأودية.

١١- تفعيل نظام (حرم الوادي) ومنع استغلال الأراضي الواقعة داخل حرم الوادي في أنشطة تنموية تؤدي إلى وصول الملوثات إلى مصادر المياه الجوفية.

١٢- التوجيه بعدم ردم فوهات العيون المائية وتركها كمعلم من معالم التوعية بأخطار الاستنزاف التي تعرضت لها موار المياه الجوفية في المملكة العربية السعودية.

١٣- دعم إنشاء مراكز الأبحاث والمختبرات المتخصصة في العناية بموارد المياه الجوفية في القطاعين الحكومي والخاص وتفعيل المراقبة المستمرة لتكوينات المياه الجوفية وحمايتها من التلوث.

١٤- دعم البحوث والدراسات الميدانية التي تهتم بدراسة موارد المياه الجوفية وتنميتها وحمايتها من التلوث في الجامعات السعودية ودعم إنشاء أقسام متخصصة في ذلك.