الفصل السادس

الميـــاه الأرضيـــة

تتحكم الظروف المناخية والطبوغرافية والجيولوجية فى توزيع المياه الأرضية فبينما لا تسمح التضاريس المركبة ذات الارتفاعات والانخفاضات فى احتباس نفاذ مياه الأمطار خلال الصخور فإن الغالبية العظمى لمياه الأمطار تمر خلال الصخور عند سقوطها فى الوديان. كذلك تسمح التراكيب الجيولوجية بتخزين هذه المياه فى مناطق معينة بصخور القشرة الأرضية، بينما بعض التراكيب الأخرى لا تلائم تجمع هذه المياه.

وعند دراسة المياه الأرضية يجب تحديد العوامل التى تؤثر على ارتفاع وانخفاض مستواها فى مواقع المنشآت الهندسية الهامة كالسدود والخزانات والأنفاق ومشروعات الرى والصرف وغيرها.

مصادر المياه الأرضية:

١ - مياه الأمطار والثلوج والندى ويطلق عليها المياه الجوية: (Meteoric Water).

٢ - مياه تتبقى بعد عملية تبلور المعادن من الصهارة التى تتداخل فى الصخور (Magmatic Water) ولهذه المياه درجة حرارة عالية وقد يتسرب جزء منها إلى المستويات القريبة من سطح الأرض، حيث تختلط بالمياه الجوية، وتظهر فى صورة ينابيع أو مياه تحمل بعض الأملاح المذابة، ومن أمثلتها ينابيع حلوان الكبريتية والعين السخنة قرب مدينة السويس.

٣ - مياه تحفظ بين طبقات الصخور الرسوبية أثناء ترسيبها، وخاصة فى بعض الصخور المسامية مثل الحجر الرملى الذى يوجد عادة على هيئة عدسات كبيرة محاطة بصخور غير مسامية وتختزن فيها المياه غير الجارية والتى يطلق عليها المياه المقرونة (Connate Water) أو مياه الترسيب.

مياه الأمطار (Rain Water)

تمثل مياه الأمطار أكبر نسبة من مصادر المياه الأرضية. وتسقط الأمطار من السحب بشكل نقط مائية متفاوتة الحجم، ولا يزيد قطرها غالبًا عن ثلاثة ملليمترات، وأحيانًا لا يصل المطر للأرض وذلك إما بتأثير دفع التيارات الهوائية الصاعدة، وإما لتبخير المطر قبل وصوله إلى الأرض.

ويختلف معدل سقوط الأمطار من مكان لآخر اختلافًا واضحًا، وتقدر كمية الأمطار الساقطة بسمك طبقة الماء (بالملليمتر) التى يتركها المطر على سطح مستو.

وتقاس كمية الأمطار بأجهزة خاصة تسمى: (مقاييس الأمطار) وأبسطها عبارة عن مخبار معدنى طوله ٤٥ سم، وقطره ١٢ سم بداخله وعاء آخر تتجمع فيه مياه الأمطار بواسطة قمع

على فوهته. ويوضع الجهاز على أرض مستوية بعيدًا عن الأشجار والمنشآت لتفادى التكثف، ويدفن إلى ثلثه فى الأرض لتفادى التبخر صيفًا والتجمد شتاء. وفى بعض البلاد التى تتجمد فيها المياه يمكن اعتبار كل ١٠ سم^{٣} من الثلج تكافىء ١ سم^{٣} من الماء.

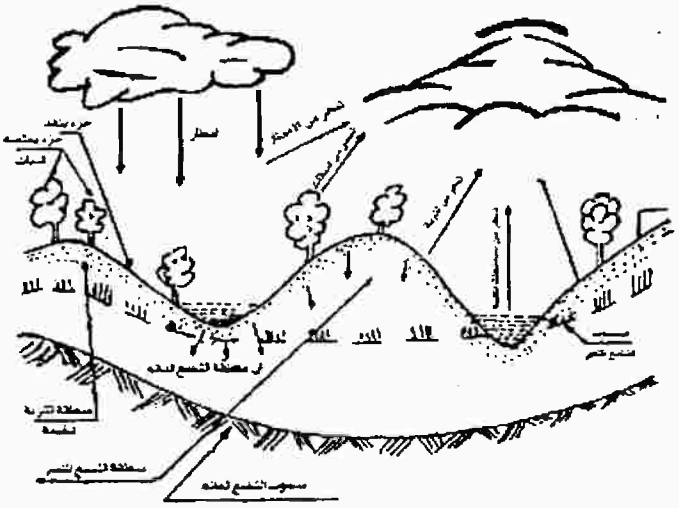
والعادة المتبعة هى أن يحسب مقدار المطر اليومى من مجموع ما يسقط فى أربع وعشرين ساعة ابتداء من الساعة الثامنة صباحًا، وفى بعض المناطق الجافة نسبيًّا يفضل الحصول على كمية المياه المتجمعة خلال أسبوع كامل.

وتسجل كمية الأمطار الساقطة على ساعة إسطوانية بجهاز يسمى (الهيتوجراف) وذلك لمعرفة ميعاد سقوط الأمطار أو انقطاعها. ويمكن بسهولة حساب المتوسطات والمعدلات الشهرية والسنوية عن الأرصاد اليومية للأمطار والثلوج التى تقوم بها محطات الأرصاد الجوية فى العالم، وكذلك تحديد عدد الأيام الممطرة فى كل فصل، والنهايات العظمى والصغرى لكمية الأمطار الساقطة.

وتوضع نتائج هذه الأرصاد على خرائط تسمى خرائط خطوط المطر المتساوى.

العوامل التى تؤثر على توزيع مياه الأمطار:

عندما تسقط مياه الأمطار على صخور القشرة الأرضية فإن جزءًا منها يعود مباشرة إلى الهواء على هيئة بخار ماء، وآخر يمتصه النبات أو يستعمله الإنسان، والحيوان. بينما ينساب جزء ثالث على هيئة روافد صغيرة تتجمع مكونة الأنهار، كما يتسرب جزء آخر إلى داخل صخور القشرة الأرضية خلال الصخور المسامية ويوضح شكل (٦٧) دورة المياه الجوية، ومن أهم العوامل التى تؤثر فى توزيع مياه الأمطار هو الانسياب، والفاقد بالتبخر. والماء النافذ خلال صخور القشرة الأرضية وهو المصدر الرئيسى للمياه الأرضية.

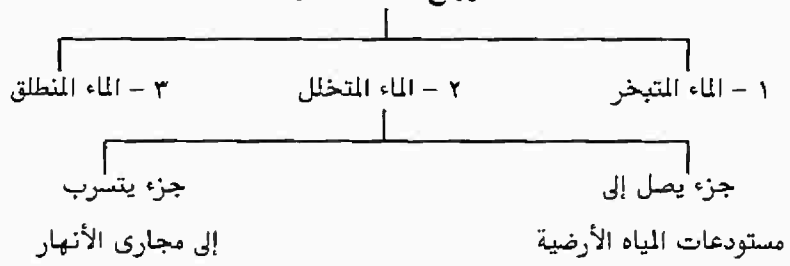


شكل رقم (٦٧): دورة المياه الطبيعية.

ويختلف تأثير هذه العوامل باختلاف فصول السنة واختلاف الظروف الطبوغرافية للمنطقة التى تسقط عليها الأمطار. ويبين الجدول (٢٦) طريقة توزيع مياه الأمطار.

جدول رقم (٢٦)

توزيع مياه الأمطار



الماء المتبخر (Evaporated Water)

ويختلف مقدار التبخر باختلاف سرعة الهواء، ودرجة حرارة الجو ورطوبته، والضغط الجوى، وطبيعة السطح المعرض للتبخر.

فزيادة سرعة الهواء وارتفاع درجة الحرارة والجفاف وقلة الضغط الجوى من العوامل التى تساعد على سرعة التبخر.

ويختلف سمك طبقة الماء المتبخر فى العام تبعًا للموقع الجغرافى، وأيضًا تبعًا لطبيعة المكان. ففى بعض الأماكن لا يزيد سمك طبقة الماء المتبخر عن نصف متر فى العام، بينما قد يزيد سمكها عن ثلاثة أمتار أو أكثر فى بعض الأماكن الأخرى.

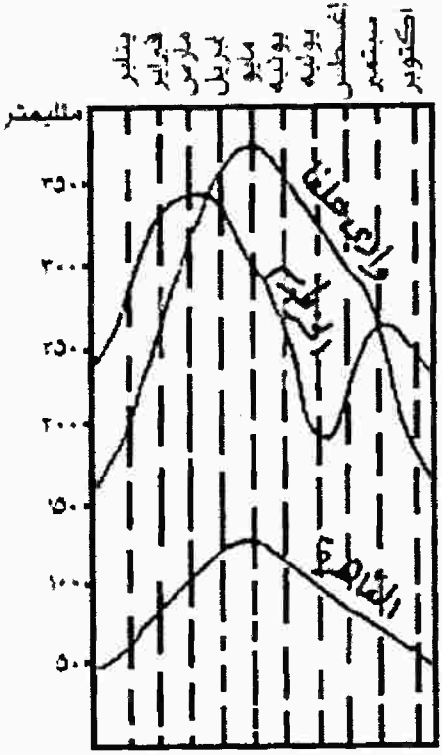
ويقاس مقدار الماء المتبخر باستعمال أجهزة خاصة، توضع داخل أكشاك مع الترمومترات كجهاز (بيشى) (وجهاز ويلد). أو يقاس بطريقة مباشرة من الخزانات والأحواض.

ويزداد مقدار التبخر على العموم أثناء النهار، وفى فصل الصيف، ويقل أثناء الليل، وفى فصل الشتاء، وكذلك تؤثر درجة استواء سطح الأرض على كمية المياه المتبخرة.

ويوضح شكل (٦٨) معدل التبخر الشهرى لبعض البلاد.

الماء المتخلل (Percolating Water)

تقل كمية الماء المتخلل فى المناطق المغطاة بالأشجار والنباتات الكثيفة، ويرجع ذلك إلى امتصاص جزء كبير من هذه المياه بواسطة النباتات، وتؤثر طبيعة الصخور وتراكيبها فى كمية الماء المتخلل.



شكل رقم (٦٨): معدل التبخر الشهرى.

الماء المنطلق (Run-off Water)

تتسبب المناطق شديدة الانحدار فى انسياب كميات كبيرة من مياه الأمطار، خصوصًا إذا كان سفح الجبل عاريًا من النباتات.

ويختلف معدل انسياب مياه الأمطار من منطقة لأخرى حسب طبوغرافية المنطقة وطبيعة الصخور الموجودة بها.

معامل سريان المياه الأرضية:

يستخدم هذا المعامل لوصف مدى قابلية طبقة ذات سمك معين على مرور المياه خلالها، وهو يساوى معامل النفاذية مضروبًا فى سمك الطبقة الحاملة للمياه. أما معامل النفاذية للصخر فإنه يبين مدى قابلية الطبقة الحاملة للمياه، لمرور الماء بها تحت تأثير ميل هيدروليكى.

وتنقسم الصخور من حيث نفاذيتها إلى قسمين هما:

١ - صخور منفذة:

وقد تكون مسامية أو غير مسامية بها فواصل وشقوق، وتنفذ المياه خلال المسام أو الشقوق والفواصل إذا كانت مسام الصخور ضيقة أو غير مسامية.

وتعتبر التربة وهى عبارة عن المواد المفتتة التى توجد على السطح العلوى للقشرة الأرضية من أكثر الصخور مسامية ونفاذية حيث يمر خلالها جزء كبير من مياه الأمطار فإذا وصلت إلى حالة التشبع تسربت المياه إلى الداخل خلال الصخور الصلبة للقشرة الأرضية.

٢ - صخور غير منفذة:

وهى عادة غير مسامية، وأحيانًا تكون مسامية ولكن مسامها فى منتهى الدقة بحيث لا تسمح للمياه بالمرور خلالها. وتتميز الصخور غير المنفذة (سواء كانت مسامية أم غير مسامية) بعدم وجود شقوق أو فواصل بها.

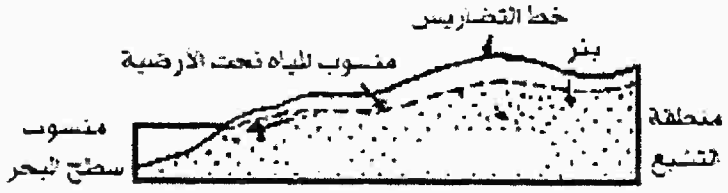
ويعتبر الصلصال من الصخور غير المنفذة التى تحتوى على مسام متناهية فى الدقة، ولكن إذا احتوت الصخور الصلصالية أو الطباشيرية على شقوق وفواصل تسمح للمياه بالمرور خلالها فإنها تعتبر عندئذ صخورًا منفذة.

ومن أهم العوامل التى تؤثر على نفاذية الصخور حجم الحبيبات، الذى يؤثر بالتالى على حجم المسام الصخرية، ويعتبر الرمل والزلط والحجر الرملى من الصخور التى تتميز بمساميتها ونفاذيتها، ويختلف مقدار النفاذية باختلاف حجم الحبيبات.

حركة المياه الأرضية:

تعرف المياه التى تتخلل التربة والصخور التى تحتها بالمياه الأرضية أو المياه تحت الأرضية.

ويعرف السطح العلوى لهذه المياه بمستوى المياه الأرضية أو منسوب التشبع (Underground Water table) كما يتضح من شكل (٦٩).



شكل رقم (٦٩) : منسوب المياه الأرضية.

ومستوى المياه الأرضية ليس مستقيمًا ولا أفقيًا، ولكنه فى كثير من الأحوال يتأثر بشكل سطح الأرض، إلا إذا حال بينه وبين ذلك طبقة غير منفذة. وتوجد بصخور القشرة الأرضية ثلاثة مناطق متميزة بالنسبة لوجود المياه الأرضية:

١ - المنطقة الجافة أو منطقة عدم التشبع (Zone of non-saturation).

٢ - منطقة التشبع المتغير (Zone of Intermittent saturation).

٣ - منطقة التشبع الدائم (Zone of permanent saturation).

والمياه الأرضية دائمة الحركة فى صخور القشرة الأرضية، وتتجه فى كثير من الأحيان ناحية البحر، ولكن قد يتغير اتجاه حركتها نتيجة تأثير التراكيب الجيولوجية المحلية التى تمر فيها المياه.

وتتوقف حركة المياه الأرضية وانتشارها فى الصخور على عدة عوامل أهمها:

١ - مسامية الصخور (Porosity).

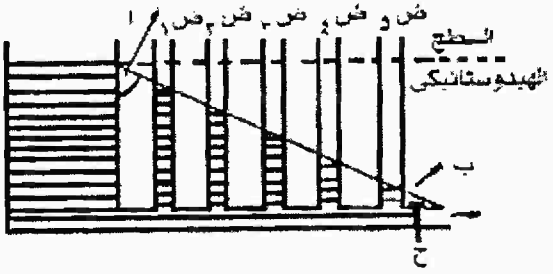
٢ - نفاذية الصخور (Permeability).

٣ - الانحدار الهيدروليكى (فرق علو الضغط).

٤ - درجة حرارة المياه الأرضية.

الانحدار الهيدروليكى: (فرق علو الضغط)

يمكن توضيح ارتفاع مستوى المياه الأرضية فى الصخور إذا تصورنا مجموعة من أجهزة قياس الضغط (Piezometer) كما فى شكل (٧٠) تمتد من أنبوبة أفقية متصلة بقاع خزان مائى، وفى نهاية الأنبوبة الأفقية صنبور (ح). فإذا كان الصنبور مقفلا فإن ارتفاع الماء فى الأنابيب الرأسية المتصلة بالأنبوبة الأفقية يرتفع إلى نفس مستوى الماء فى الخزان ويطلق على هذا المستوى السطح الهيدروستاتيكى للماء. ولكن إذا كان الصنبور مفتوحًا فإن الماء يجرى فى الأنبوبة الأفقية وبذلك تتغير الظروف فى الأنابيب الرأسية ويصبح ضغط الماء مختلفًا فى كل منها ويسمى السطح المائل (أ ب) منسوب الماء الجارى ويمثل انحدار هذا الخط الانحدار الهيدروليكى أو المعامل الهيدروليكى.



شكل رقم (٧٠): الانحدار الهيدروليكى.

ويعرف الفرق فى الارتفاع بين السطح الهيدروستاتيكى والسطح المائل (أ ب) وهو منسوب الماء الجارى عند كل نقطة بفرق علو الضغط عند هذه النقطة.

ويتوقف الانحدار الهيدروليكى على سرعة سريان الماء فى الأنبوبة الأفقية، فكلما زادت سرعة الماء كلما انخفض منسوب الماء فى الأنابيب الرأسية. ويوضح ارتفاع عمود الماء فى كل أنبوبة رأسية مقدار الضغط فى هذه الأنبوبة (Pressure head).

ويلاحظ أنه فى حالة وجود خزان للمياه الأرضية فى طبقة من الصخور الرملية ليس لها مخرج على سطح الأرض، يكون مستوى المياه الأرضية فى هذا الخزان منطبقًا مع السطح الهيدروستاتيكى. أما إذا كان للمياه الأرضية مخرج على سطح الأرض فإن مستوى المياه الأرضية يأخذ شكل الانحدار الهيدروليكى الذى يتوقف على مقدار الضغط فى طبقة الصخور الحاملة للمياه.

وإذا كانت الصخور الحاملة للمياه رملية تحتوى على عدسات من الصلصال والطين الصفحى، كما هو الحال فى كثير من مناطق وجود المياه الأرضية، فإن مستوى المياه الأرضى يكون متعرجًا أو غير منتظم:

ولقد تمكن دارسى (Dacry) سنة ١٨٥٦ من التوصل إلى المعادلة الآتية لحساب سرعة المياه الأرضية:

$$ع = م \left(\frac{هـ}{ل}\right) \qquad (١)$$

حيث ع = سرعة المياه الأرضية بالمتر فى اليوم.

م = مقدار ثابت يعتمد على طبيعة الصخور التى تمر فيها المياه الأرضية (مسامية الصخور ونفاذيتها).

هـ = فرق علو الضغط مقدرًا بالمتر من الماء.

ل = المسافة التى تنتقل إليها المياه بالمتر.

ويبين جدول (٢٧) السرعة المتوسط للمياه التى تمر فى بعض الصخور المنفذة:

جدول رقم (٢٧) السرعة المتوسطة للمياه التى تمر فى بعض الصخور المنفذة

نوع الصخر	حجم الحبيبات مم	السرعة المتوسطة بالمتر فى اليوم والميل الهيدروليكى ١٪
الرمال الناعمة	من ٠,٠٠٥ إلى ٠,٢٥ مم	٠,٠٢١ متر فى اليوم
الرمال المتوسطة	من ٠,٢٥ إلى ٠,١٥ مم	٠,٣٥ متر فى اليوم
الرمال الخشنة	من ٠,٥ إلى ٢,٠ مم	٢,١١ متر فى اليوم
الزلط	من ٢,٠ إلى ١٠,٠ مم	١٠,٠ متر فى اليوم

يلاحظ أن المعادلة رقم (١) لم تأخذ فى الاعتبار تأثير درجة حرارة المياه الأرضية على سرعتها ولقد توصل هازن (Hazen) سنة ١٨٩٢ من استنتاج المعادلة الآتية:

$$ع = م_{١} \left(\frac{هـ}{ل}\right) ق_{١٠}^{٢} \ (٠,٧٠ + ٠,٠٣ د) \qquad (٢)$$

حيث:

$ق_{١٠}$ = الحجم المتوسط للحبيبات الصخرية بالمم

د = درجة حرارة المياه الأرضية، درجة مئوية

ومما يجب مراعاته عند تطبيق المعادلتين (١)، (٢) أن السرعة التى نحصل عليها تمثل سرعة عمود من الماء له نفس مقطع الطبقة المنفذة التى يمر بها.

ولإيجاد السرعة الحقيقة للمياه التى تمر خلال مسام الطبقة المنفذة يجب الأخذ فى الاعتبار مقدار النفاذية.

فإذا رمزنا للسرعة الحقيقية خلال المسام ($ع_{س}$) وسرعة المياه الأرضية (ع) ومقدار النفاذية (ن) فإن:

$$ع_{س} = \frac{ع}{ن}$$

$$ع_{س} = \frac{م_{١} \times هـ \times ق_{١٠}^{٢}}{ن \ ل} \ (٠,٧٠ + ٠,٠٣ د) \qquad (٣)$$

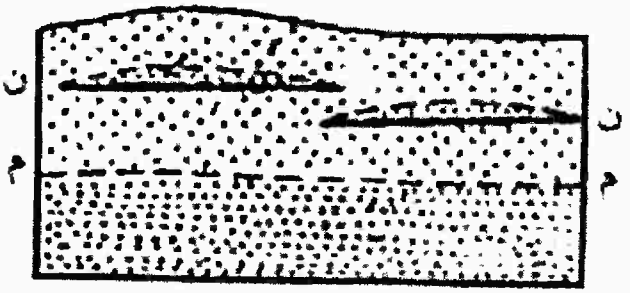
منسوب المياه الأرضية

يمكن تعيين منسوب المياه الأرضية بقياس سطح الماء فى الآبار، ثم توقع البيانات التى تحدد هذا المستوى خرائط كنتورية للمنطقة، وبعد ذلك يتم توصيل النقط ذات المنسوب الواحد لنحصل على كنتورات المنسوب المائى (Groundwater contour).

وتحمل المنطقة الواقعة بين سطح الأرض ومنسوب المياه الأرضية مقادير من المياه تقوم بتوصيلها إلى منطقة التشبع وتعرف هذه المياه بالمياه الموسمية (Vadose Water) وتسبب الأمطار ارتفاعًا مؤقتًا فى منسوب المياه الأرضية كما هو موضح بالشكل (٧١) حيث يمثل الرقم (١) المنسوب الأصلى للمياه الأرضية والرقم (٢) المنسوب بعد ارتفاعه نتيجة سقوط الأمطار.

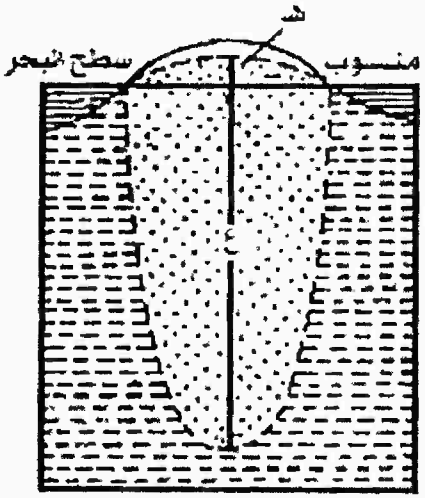
شكل رقم (٧١) : ارتفاع مؤقت فى منسوب المياه الأرضية.

وكذلك يتسبب وجود طبقة غير منفذة محدودة الامتداد بين الصخور الحاملة للمياه فى تغيير المنسوب الأصلى للمياه الأرضية كما هو موضح بالشكل (٧٢).



شكل رقم (٧٢) : تغيير منسوب المياه الأرضية.

ويتميز منسوب المياه الأرضية عند التقائه بساحل البحر بشكل قطع ناقص وذلك نتيجة التقاء المياه المالحة بالمياه الأرضية. كما هو موضح بالشكل (٧٣).



شكل رقم (٧٣) : منسوب المياه الأرضية عند التقائه بمياه البحر.

ويرجع السبب فى ذلك إلى أن المياه الأرضية العذبة تطفو على مياه البحر المالحة الأكثر منها كثافة، ويحدث فى كثير من الأحيان أن تختلط المياه المالحة والعذبة فـى المنطقة الواقعة بين النوعين من المياه.

فإذا كانت ث = كثافة ماء البحر.

ع = ارتفاع عمود الماء المالح فإن هذا العمود يكون فى حالة اتزان مع عمود من المياه الأرضية العذبة ارتفاعه ع + هـ.

∴ ث × ع = (ع + هـ) × ١

$$\therefore ع = \frac{هـ}{ث - ١} \qquad (٤)$$

فإذا علم أن ث = ١,٠٢٥

فإن ع = ٤٠ هـ

وتؤثر حركات المد والجزر على منسوب المياه القريبة من الشاطىء، ويلاحظ ذلك بوضوح فـى الآبار التى تحفر فى المناطق الشاطئية، وتسمى هذه الآبار عادة بالآبار الجزرية (Tidal wells).

الينابيع

تظهر المياه الأرضية على شكل ينابيع مختلفة تبعًا للظروف الطبوغرافية والجيولوجية المناسبة لظهور هذه الينابيع وأهم أنواعها:

١ - ينابيع الطبقات.

٢ - ينابيع الوديان.

٣ - ينابيع الفوالق.

٤ - الينابيع الارتوازية.

١ - ينابيع الطبقات

وتظهر هذه الينابيع إذا لم تتمكن المياه الأرضية من النفاذ إلى منطقة التشبع الدائم نتيجة وجود طبقة غير منفذة أسفل الطبقة الحاملة للمياه، وينتج عن ذلك ظهور المياه على هيئة ينبوع أو ينابيع فى المستوى الذى تلتقى الطبقتان فيه كما هو موضح بالشكل (٧١) عند (ع).

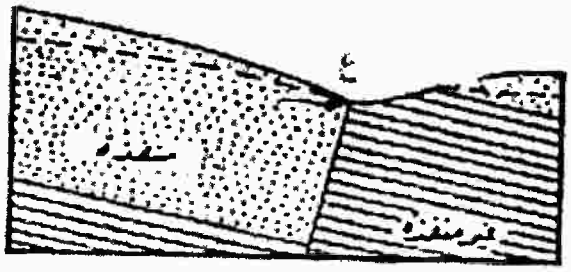
٢ - ينابيع الوديان

تظهر هذه الينابيع، موسميًا، نتيجة لارتفاع منسوب المياه الأرضية بزيادة الأمطار، ويسبب الارتفاع فى منسوب المياه الأرضية ظهور المياه فى الوديان الجافة كما هو موضح بالشكل (٧١) عند نقطة (ع). كما يوضح الشكل (٧٤) أيضًا تأثير ارتفاع منسوب المياه الأرضية الذى يؤدى إلى ظهور المياه بالوديان الجافة.

شكل رقم (٧٤): ظهور المياه فى الوديان الجافة نتيجة ارتفاع منسوب المياه الأرضية.

٣ - ينابيع الفوالق

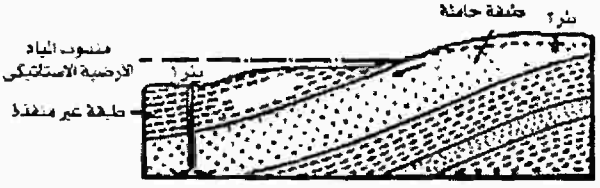
عندما تتسبب الفوالق فى وجود طبقة غير منفذة للمياه كما هو موضح بالشكل (٧٥)، أمام الطبقة الحاملة للمياه فإن ذلك يؤدى إلى تدفق المياه من مستوى الفالق عند النقطة (ع).



شكل رقم (٧٥): ينابيع الفوالق.

٤ - الينابيع الارتوازية

يظهر هذا النوع من الينابيع إذا كانت الطبقة الحاملة للمياه مغطاة بطبقة غير منفذة كما هو موضح بالشكل (٧٦).



شكل رقم (٧٦): الينابيع الارتوازية.

فالبئر رقم (١) يمثل الينابيع الارتوازية والتى يساعد على ظهورها وجود أى كسر فى صخور الطبقة غير المنفذة فتندفع المياه طبيعيًا تحت تأثير فرق علو الضغط عند فوهة البئر عند منسوب المياه الأرضية.

أما بالنسبة للبئر رقم (٢) فإنه يصل من سطح الأرض إلى منسوب المياه الأرضية ويمكن الحصول منه على المياه الأرضية ولكنها لا تندفع من البئر على شكل ينبوع كما هو الحال فى البئر رقم (١) بل تحتاج إلى عملية ضخ صناعى.

الآبار

يعتبر حفر الآبار من أنسب الطرق للحصول على كميات مناسبة من المياه الأرضية.

ويعرف البئر الذى لا يزيد عمقه عن ٣٠ مترا بأنه (بئر ضحل) وهو يبطن عادة بالطوب أو بالخرسانة أو أى مادة مناسبة.

ويراعى عند تبطين الآبار أن يكون الجزء الذى يعلو الطبقة الحاملة للمياه مبطنًا بمادة غير منفذة للمياه وذلك لتجنب تلوث مياه البئر من الطبقات السطحية التى قد تكون محملة ببعض المياه غير النقية.

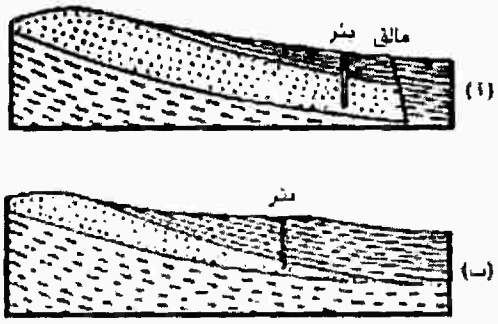
وتعتبر الآبار الضحلة مناسبة للحصول على كميات محدودة من المياه، تكفى عادة لمنزل واحد أو لمزرعة صغيرة، ويوضح شكل (٦٩) بئرًا ضحلاً، ويلاحظ أنه لا يصل إلا إلى الجزء العلوى من منطقة التشبع. وأهم عيوب هذه الآبار أنها تتأثر باختلاف منسوب المياه الأرضية، كما أنها تتعرض للتلوث بالمياه السطحية.

لذلك يراعى عند اختيار مواقع حفر مثل هذه الآبار أن تكون فى الوديان. وإذا لوحظ وجود أى تلوث فى مياه البئر وجب تعميقه مسافة كافية للوصول إلى المياه النقية وذلك لأن مرور المياه خلال الطبقات الصخرية يتيح لها نوعًا من الترشيح الطبيعى ويجعلها أكثر نقاوة.

وينتج عن مرور المياه فى بعض الطبقات مثل الحجر الجيرى عسرًا مؤقتًا أو دائمًا نتيجة إذابة بيكربونات أو كبريتات أو كلوريد الكالسيوم أو المغنسيوم فتسبب البيكربونات عسرًا مؤقتًا، وذلك لأنه يزول بغليان الماء، أما الكبريتات والكلوريد فتسبب عسرًا دائمًا لا يزول إلا بعد معالجتها بالكيماويات مثل إضافة كربونات الصوديوم.

وفى بعض الأحيان يمكن الحصول على المياه الأرضية بواسطة إدخال ماسورة مدببة بها ثقوب عديدة من سطح الأرض إلى الطبقة الحاملة، ثم ترفع بواسطة طلمبة يدوية وتتبع هذه الطريقة إذا كان عمق الماسورة لا يزيد عن ٨ أمتار، ولكنها لا تكون مناسبة إلا للحصول على كميات قليلة ومؤقتة من المياه.

ويعتبر اختيار مواقع الآبار من أهم العوامل التى تؤثر فى مقدار ونوع المياه الأرضية، لذلك يجب دراسة جيولوجية المنطقة المراد حفر آبار بها دراسة وافية قبل اختيار المواقع المناسبة لحفر الآبار فيها. ويوضح شكل (٧٧) تأثير بعض التراكيب الجيولوجية على اختيار مواقع الآبار.

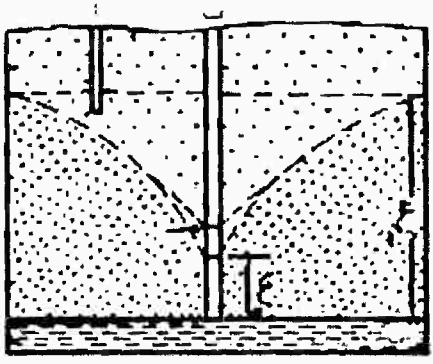


شكل رقم (٧٧): تأثير العوامل الجيولوجية على اختيار مواقع الآبار.

وعندما يضخ الماء فى بئر معينة ينخفض مستوى التشبع فى المنطقة التى حول البئر ويأخذ شكل مخروط الاستنفاذ.

وتتسطح جوانب هذا المخروط كلما زادت نفاذية الصخور الحاملة للمياه، ويزداد انحدار جوانبه كلما قلت نفاذية هذه الصخور.

ويتضح من الشكل (٧٨) أن منسوب المياه يزداد عمقاً نتيجة ضخ المياه من البئر (ب) حتى يصل إلى المنطقة (٢) التى يطلق عليها منسوب الضخ فإذا توقفت عمليات ضخ المياه من البئر لفترة معينة ارتفع منسوب المياه الأرضية مرة أخرى ليصل إلى النقطة (أ) التى يطلق عليها المنسوب فى فترة التوقف عن الضخ. وبالطبع يزداد ارتفاع منسوب المياه الأرضية تدريجيا إذا كانت عمليات الضخ متوقفة حتى يصل إلى المنسوب الأصلى للمياه الأرضية.



شكل رقم (٧٨): مخروط الاستنفاذ.

وفى كثير من الأحيان يتسبب مخروط الاستنفاذ الذى يتكون حول الآبار العميقة فى جفاف الآبار الضحلة ويظهر ذلك بوضوح فى الشكل (٧٨) حيث يمثل البئر (أ) بئرًا ضحلا يجف فيه الماء نتيجة عمليات الضخ المستمرة فى البئر العميق (ب).

وتوضح المعادلة الآتية العلاقة بين كمية الماء التى يمكن سحبها من البئر أو تصرف البئر وأبعاد مخروط الاستنفاذ.

$$ص = ط \times ن \left(\frac{ع_1^{\,2} - ع_2^{\,2}}{\frac{م}{ب}\ لو} \right) \qquad (٥)$$

حيث:

ص = تصرف البئر بالجالونات فى اليوم.

ط = النسبة التقريبية.

ن = معامل نفاذية الصخور الحاملة للمياه.

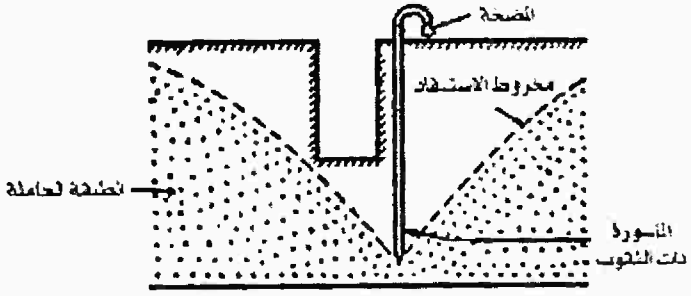
$ع_1$ = ارتفاع مستوى التشبع من الطبقة غير المنفذة.

$ع_2$ = ارتفاع مستوى الضخ من الطبقة غير المنفذة.

م = قطر مخروط الاستنفاذ عند مستوى التشبع.

ب = قطر البئر.

ويمكن الاستفادة من مخروط الاستنفاذ فى تجفيف الحفر اللازمة للمنشآت الهندسية مثل عمليات الحفر اللازمة للأساسات والأنفاق وغيرها ويتضح ذلك من الشكل (٧٩).



شكل رقم (٧٩): مخروط الاستنفاذ فى تجفيف أعمال الحفر.

الأملاح المذابة فى المياه الأرضية وأهميتها

تنقسم المياه الأرضية تبعًا لكمية الأملاح المذابة فيها إلى أربعة أنواع هى:

١ - مياه عذبة Fresh water

وهى تحتوى على أقل من جرام واحد فى اللتر وتستخدم فى أغراض الشرب والزراعة وفى خلطة الخرسانة وأعمال البناء. وكذلك تستخدم فى المراجل البخارية لتوليد الكهرباء من البخار وفى الأغراض الصناعية المختلفة.

٢ - مياه قليلة الملوحة Brackish water

وهى تحتوى على كمية من الأملاح تتراوح بين جرام وعشرة جرامات فى اللتر وتستخدم أحيانًا فى رى بعض المزروعات مثل الأرز.

٣ - مياه مالحة Saline water

وتحتوى على كمية من الأملاح تتفاوت بين ١٠ إلى ٥٠ جرامًا فى اللتر.

٤ - مياه عالية الملوحة Brines

وتحتوى على أكثر من ٥٠ جرامًا فى اللتر وتحتوى المياه الأرضية على كمية ضئيلة من الأملاح وأهمها كلوريدات وكبريتات وبيكربونات الصوديوم والكالسيوم والمغنسيوم بالإضافة إلى الألمونيوم والحديد والمنجنيز وبعض الغازات مثل الأكسجين وثانى أكسيد الكربون وأحيانًا كبريتيد الهيدروجين.

وتعتمد بعض الخواص الأساسية للمياه الأرضية مثل القلوية والملوحة والعسر المؤقت أو المستديم على نوع وكمية الأملاح التى توجد بالماء، كما تحدد هذه الصفات إمكانيات استخدام المياه لأغراض الشرب والبناء والزراعة والصناعة. ويوضح الجدول (٢٨) بعض الأملاح المذابة فى المياه الأرضية ومدى تأثيرها على خواص هذه المياه.

جدول (٢٨): الأملاح المذابة فى المياه الأرضية

	الصوديوم	الكالسيوم	الماغنسيوم
كلوريد	٥ ص كل	× كا كل ٢ / ٥	× مغ كل / ٥
كبريتات	٥ ص٢ كب أ٤	× كا كب أ٤ / ٥	× مغ كب أ٤ / ٥
بيكربونات	× ص (يد ك أ٣) / •	+ كا (يد ك أ٣)٢ / •	+ مغ (يد ك أ٣)٢ / •

٥ خواص الملوحة للماء
• خواص قلوية
+ عسر مؤقت
× عسر مستديم

المياه الأرضية فى مصر

توزيع المياه الأرضية فى مصر:

(أ) الدلتا ووادى النيل.

(ب) الصحراء الشرقية وشبه جزيرة سيناء.

(جـ) الصحراء الغربية.

(د) المنطقة الساحلية.

(أ) الدلتا ووادى النيل:

تكون الرواسب النهرية فى وادى النيل والدلتا مستودعًا للمياه الأرضية التى تصل إليها من مياه نهر النيل نفسه وترعه الرئيسية، كما تصل كمية من المياه الأرضية عن طريق الوديان الصحراوية الكبيرة مثل وادى قنا ووادى أسيوط خلال صخور الحجر الرملى النوبى التى تحف بالوادى من حدود السودان حتى جنوبى مدينة إسنا.

وغنى عن القول أن هطول الأمطار على مصر، بصفة عامة، نادر جدًّا، هذا فيما عدا المنطقة الساحلية للبحر الأبيض المتوسط والهضبة الشمالية ولهذا فإن مياه الأمطار لا تساهم فى موارد المياه الأرضية فى وادى النيل والدلتا إلا قليلا.

وقد تحتوى المياه الأرضية فى وادى النيل على كميات من الأملاح تزيد بكثير عما تحتويه مياه النيل. ويرجع ذلك إلى أنها قد تذيب كميات إضافية من الأملاح أثناء مرورها بالطبقات المختلفة فى طريقها إلى الآبار. أما إذا كانت الطبقات التى تمر فيها المياه الأرضية لا تحتوى على أملاح فإنها تصل الآبار ولها نفس ملوحة مياه نهر النيل تقريبًا (تتراوح بين ١٣٠ - ٢٦٠ جزءًا فى المليون).

ويمكن القول - عمومًا بأن غالبية مياه الآبار فى وادى النيل والدلتا صالحة للشرب.

(ب) الصحراء الشرقية وشبه جزيرة سيناء:

تعتبر مياه الأمطار التى تسقط فوق المناطق الجبلية فى الصحراء الشرقية وشبه جزيرة سيناء من أهم مصادر المياه الأرضية، ومن الجدير بالذكر أن مياه الأمطار فى الصحراء الشرقية أقل منها فى شبه جزيرة سيناء وتستخرج المياه الأرضية فى الصحراء الشرقية من الآبار التى تحفر فى الوديان. وتستمد هذه الآبار مياهها من طبقات الرمل والحصى الموجودة بالوديان.

وتتوقف كمية هذه المياه ونوعها بطبيعة الحال على كميات مياه الأمطار ومعدل سقوطها.

وتوجد بالصحراء الشرقية بعض الينابيع التى تظـهر فيـها ميـاه وفـيرة جيـدة وتسـتمد هـذه الينابيع مياهها من طبقات الحجر الرملى النوبى الواقعة وسط جبال البحر الأحمر.

وتستخرج المياه الأرضية فى شبه جزيرة سيناء من الآبار التى تحفر فى الوديان الرئيسية كما هو الحال فى مناطق الطور ووادى فيران والعريش وغيرها.

(جـ) الصحراء الغربية:

لاقت الأبحاث الخاصة بالمياه الأرضية فى الصحراء الغربية اهتمامًا يفـوق مـا لاقتـه المنـاطق الأخرى ويرجع ذلك إلى وفرة هذه المياه من ناحية، ولوجود عدد من الواحات فى هذه الصحراء من ناحية أخرى.

وتستخرج المياه الأرضية من الصحراء الغربية بواسطة الآبار الارتوازية التى تحفر فى صخـور الحجر الرملى النوبى.

وتستخرج المياه الأرضية بكميات وفيرة مـن الواحـات الخارجـة والداخلـة ويليـها الواحـات البحرية وواحة سيوة وأخيرًا واحة الفرافرة التى تقل فيـها كميـات الميـاه الأرضيـة المسـتخرجة نسبيًا بالرغم من وجود مساحات واسعة بها من الأراضى الصالحة للزراعة.

ومن حيث نوع المياه، فمياه الواحات الداخلة والخارجة والبحرية جيـدة جـدًا ومياه واحـة الفرافرة جيدة، أما مياه واحة سيوة فمالحة. ويرجع ذلك إلى أن المياه الأرضية فى هـذه الواحـة تخترق طبقات التكاوين الطباشيرى والأيوسينى والميوسينى إلى أن تصل إلى سطح الأرض.

(د) المنطقة الساحلية:

تتكون هذه الطبقة غالبًا من كثبان رملية تتخللها معظم مياه الأمطار التى تسقط فوقها مكونـة طبقة من المياه العذبة تطفو فوق المياه المالحة.

وتستخرج المياه الأرضية من هذه المنطقة بواسطة الآبار قليلـة العمـق (الضحلـة) ومياه الآبـار الساحلية فى شـبه جزيرة سـيناء أكثر ملوحة من مياه الآبار السـاحلية فـى الصحـراء الغربيـة، كما أنها تحتوى على كميات أكثر من الكبريتات.

ولقد أثبتت الأبحاث عن المياه الأرضية فى المنطقة الساحلية من الصحراء الغربية عن وجـود منطقة مياه أرضية جاثمة (Perched water) مخزونة فى أحواض تركيبية تحت سطح الأرض.

أهمية المياه الأرضية فى مصر

تعتمد بعض المشروعات الكبرى فى جمهورية مصر العربية على المياه الأرضية. وأهم هذه المشروعات هى:

(أ) مشروعات الرى.

(ب) الشرب والأغراض المنزلية.

(جـ) الصناعة.

(أ) الرى

تعتمد بعض مشروعات الرى الكبرى كلية على المياه الأرضية، ومن أهم هذه المشروعات:

١ - مشروع الوادى الجديد.

٢ - مشروع وادى النطرون.

٣ - مشروع طريق مصر الإسكندرية الصحراوى.

وتعتمد بعض المشروعات على المياه الأرضية فى الرى الإضافى، ومن أمثلتها الأراضى التى تعتمد على مياه الأمطار أساسًا وتروى إضافيًا بالمياه الأرضية، ومن أمثلتها المنطقة الساحلية الشمالية الواقعة شرق الدلتا وغربها، كذلك الأراضى التى تعتمد أساسًا على مياه النيل وتروى إضافيًا بالمياه الأرضية وهذه بدورها يمكن تقسيمها إلى قسمين هما:

- أراضٍ تروى ريًّا إضافيًا مباشرًا، وهى التى يلجأ أصحابها إلى حفر آبار بها للمعاونة فى ريها.

- أراضٍ تروى ريًا إضافيا غير مباشر وهذا النوع لا تقوم به إلا الحكومة نفسها إذ تنشئ بعض الآبار بجوار الترع وترفع منها المياه وتلقى بها فى الترع لاستكمال النقص فى مياه الرى.

١ - مشروع الوادى الجديد:

تختزن المياه الأرضية فى الوادى الجديد فى صخور الحجر الرملى النوبى. ويختلف سمك الطبقة الحاملة للمياه من مكان لآخر. وقد قدر أقصى سمك لها بحوالى ١٤٠٠ متر وتمتاز أجزاء الخزان المسامية بأنها حاملة للمياه تحت ضغط مرتفع يسمح بخروجها على شكل نافورات عند حفر الآبار فى الواحات والمنخفضات، ويقصر ضغطها عن دفعها إلى سطح الأرض فى بقية

الصحراء الغربية، وقد قدرت المياه الأرضية فى هذا الخزان بحوالى ٥,١٥٠,٠٠٠ متر مكعب يوميًا وهذه الكمية تكفى لرى حوالى ٥٠٠,٠٠٠ فدان.

٢ - مشروع وادى النطرون:

يعتبر وادى النطرون أقرب منخفضات الصحراء الغربية إلى النيل. إذ يقع؛ غرب النيل بحوالى ٤٠ كيلومتر عند منصف طريق القاهرة الإسكندرية الصحراوى. وهو يتميز عن غيره من المنخفضات بوجود سلسلة من البحيرات المالحة على محوره البالغ طوله ٥٠ كيلومترا والموازى للطريق الصحراوى.

ويعتبر المنخفض المصرف الطبيعى للمياه الأرضية فى غرب الدلتا.

وتتحرك المياه الأرضية من غرب الدلتا إليه حتى تصل إلى سلسلة بحيرات النطرون، حيث تتبخر تاركة ما حملت من أملاح، ولذا يزداد تركيز الأملاح فى البحيرات.

ويعتمد مشروع وادى النطرون على حفر آبار الحصول على المياه الأرضية قبل وصولها للبحيرات واستخدامها فى الرى. ولقد تم زراعة ٦٠٠٠ فدان بالمياه التى رفعت آليًا من الآبار والخنادق البسيطة.

٣ - مشروع طريق مصر اسكندرية الصحراوى:

أجريت عدة محاولات للاستفادة من الأراضى الواقعة على جانبى طريق القاهرة - الإسكندرية الصحراوى بزراعتها بالاعتماد على المياه الأرضية. وتقدر المساحة التى زرعت بهذه المياه حتى الآن بحوالى ٣٠٠٠,٠ فدان وتعتمد هذه الأراضى فى ريها على حوالى - ٤٠ بئرًا كان أعمقها ٢٢٠ مترًا فى حين يبلغ متوسط عمق الآبار ١٠٠ متر فقط. وقد بلغ أقصى تصرف لهذه الآبار حوالى ٨٠٠ متر مكعب/ساعة.

الرى الإضافى المباشر

من أهم المناطق التى استخدمت فيها الآبار لرى الأراضى هى:

(أ) منطقة رى الحياض فى صعيد مصر: التى حفرت فيها كثير من الآبار التى تدار بموتورات ديزل تستخدم للحصول على ما يلزم من مياه الرى الإضافى.

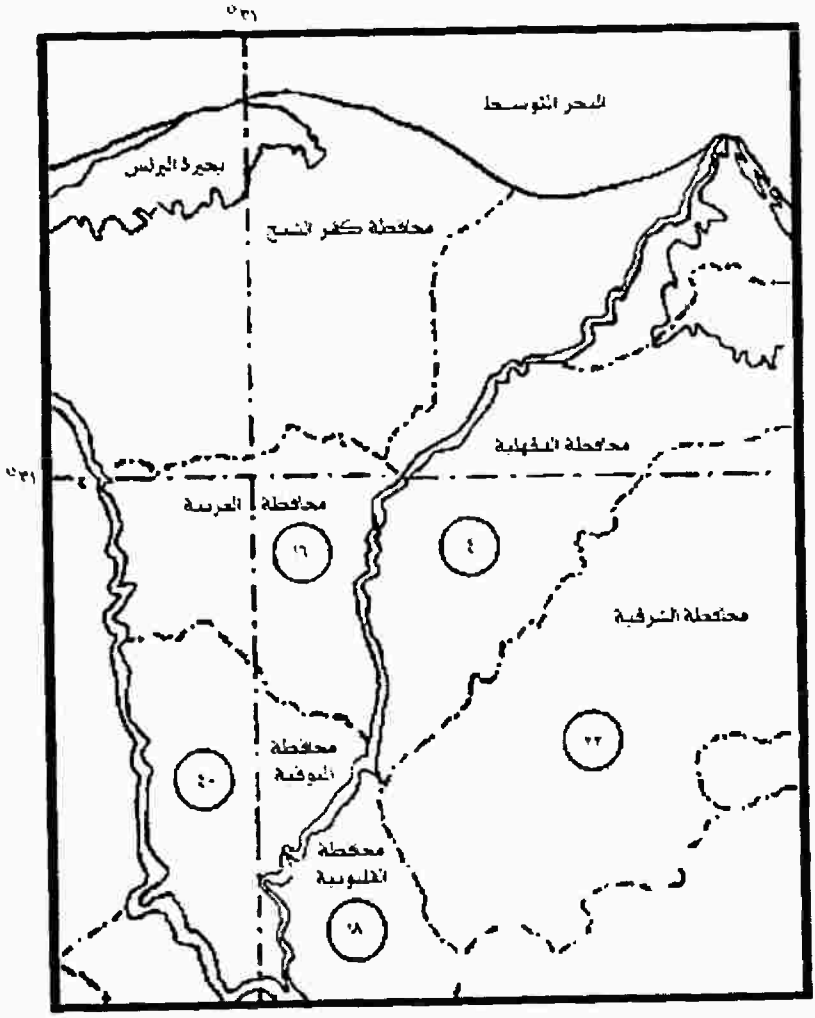
(ب) أراضى شمال الوجه القبلى: ويستكمل المزارعون ما يحتاجون إليه من المياه لرى أراضيهم من ذلك العدد الضخم من الآبار التى حفرت يدويًا.

(جـ) فى الدلتا: عند نهايات بعض الترع حيث يلاقى بعض المزارعين صعوبة فى الحصول على كمية المياه اللازمة لرى أراضيهم، يقومون بحفر الآبار لاستكمال ما يلزمهم للرى من المياه الأرضية.

الرى الإضافى غير المباشر

قامت وزارة الرى باستغلال المياه الأرضية للرى الإضافى غير المباشر وذلك بحفر الآبار ورفع المياه منها إلى الترع لاستكمال، كميات مياه الرى المتاحة من النهر بالمياه الأرضية. ويوضح الشكل (٨٠) ما تم تنفيذه من محطات فى كل محافظة من محافظات الوجه البحرى.

ويتراوح عمق هذه الآبار من ٨٠ مترًا إلى ١٠٠ متر، ويصل إنتاج المحطة من المياه الأرضية حوالى ١٠٠٠ متر مكعب / ساعة.



شكل رقم (٨٠): خريطة تبين عدد الآبار التى حفرت فى كل محافظة للرى الإضافى غير المباشر.

(ب) استخدام المياه الأرضية فى الشرب والأغراض المنزلية

استخدمت المياه الأرضية كوسيلة لحل مشكلة تضخم السكان ورفع مستوى المعيشة وذلك بتهجير بعض سكان المناطق المكتظة إلى قرى بالأراضى الجديدة وتوفير احتياجاتهم من مياه الشرب والأغراض المنزلية الأخرى وذلك مثل ما حدث فى مديرية التحرير والوادى الجديد ووادى النطرون والساحل الشمالى.

وقد بلغ ما حفر من آبار لهذا الغرض ما يقرب من ١٠٠٠ بئر كان متوسط أعماقها حوالى ٦٠ مترًا وبلغ إنتاج البئر حوالى ٣٩ لترًا فى الثانية.

ولقد استخدمت المياه الأرضية للمعاونة فى تدبير احتياجات المنازل والمرافق العامة فى المدن الكبيرة أيضًا إلى حد أن بلغ ما أنشئ منها فى إحدى هذه المدن حوالى ١٠٠ بئر وبلغ إنتاج الواحدة من المياه حوالى ٢٠٠ متر مكعب/الساعة.

(جـ) الصناعة

تستخدم المياه الأرضية فى إمداد بعض الصناعات بكل ما يلزمها من المياه سواء للتصنيع أم للمرافق داخل مناطق التصنيع.

ولعل أبرز الصناعات التى تستخدم فيها المياه الأرضية لتغطية كافة احتياجاتها، سواء للمرافق، أم لمعالجة وتركيز الخامات نفسها هى مشروع حديد الواحات البحرية الذى يعتمد على أكثر من بئر حفر لعمق ٤٢٠ مترا. وتمكنت المياه بفعل ضغطها الذاتى من الوصول إلى ٢٨ مترًا من سطح الأرض، وتستخدم طلمبات الأعماق فى رفع هذه المياه ودفعها إلى حيث تستخدم المياه الأرضية فى معالجة الخام وإلى المنشآت السكنية للمشروع. ويقتصر استخدام المياه الأرضية فى الصناعة على المناطق البعيدة عن وادى النيل، إذ لا يكاد يخلو مصنع أو منطقة صناعية فى وادى النيل من آبار للمعاونة فى تدبير الاحتياجات المائية.

ويرجع ذلك إلى قلة تكاليف إنشاء الآبار وصغر حجم المنشأة الصناعية بالمقارنة إلى تكاليف أية عملية لمعالجة مياه النيل لتخليصها مما يعلق بها من رواسب وكائنات بكتريولوجية ولا يقتصر استخدام المياه الأرضية على المياه العذبة فقط، بل يحدث فى بعض الأحيان أن تحفر آبار للحصول على المياه المالحة للصناعة مثل ما تقوم به بعض شركات الملاحات من حفر الآبار للحصول على مياه مالحة لاستخدامها فى تغذية البحيرات الصناعية التى يتم فيها زيادة تركيز درجة ملوحة مياه البحر تدريجيًا تمهيدًا لترسيب ملح الطعام.

***

1. Attia, "M.I Groundwater in Egypt: Bulletin of the Egyptian Descrt Institute, V. 4, no. I, (1954).

2. Arab Engineering Confernce "New Valley project. Ten Years Groundwater rescarch program", Bagdad, December, (1964).

3. Fourmarier, p., Hydrogeology: Paris, (1959).

4. Idris, H., Undergroundwater in Service of land Development in U.A.R.: Ministry of Irrigation, Cairo, (1965).

5. Lehman, H.R., Rocks and Groundwater for Structural Engineers; Springer Verlage, Vienna, (1960).

6. Shata,m pavalov, M., and K. Saad, preliminary Report on Geology, Hydeology, Groundwater Hydrology of the Wadi El-Natrun and Adjacent Areas: Bulletin of the Egyptian Desert Institute, Cairo, (1962).

٨ - المياه الأرضية فى مصر: للمهندس محمود إبراهيم عطية، نشرة الاتحاد المصرى لصناعة التعدين والبترول من ص ٩١ إلى ص ١١٣، العدد الثامن، يونية (١٩٥٣).

٩ - أبحاث الندوة العلمية والتطبيقية عن المياه الجوفية فى ج.م.ع. الجمعية العربية للتعدين والبترول (أربعة أجزاء)، مايو (١٩٧٠).