الفصل الثالث عشر

السـدود والخزانـات

إن تحديد مواقع السدود والخزانات وطرق إنشائها يعتبر أحد التطبيقات الهامة لعلوم الأرض، لأن الدراسات والاختبارات الجيولوجية ضرورية لاختبار مواقعها وتصميمها وتحديد نوع الأساسات ومعالجة مشاكل الترسيب، وتسرب المياه التى كثيرًا ما تحدث فى حالة السدود والخزانات.

ومن هذا يتضح أن تطبيق الأسس الجيولوجية فى البحوث الخاصة بإنشاء السدود والخزانات قد أصبحت من الدراسات الهامة، والتى على ضوء نتائجها يمكن تقرير ما إذا كان موقع السد مناسبًا أو لا، مع الأخذ فى الاعتبار النواحى الاقتصادية للمشروع وكذلك المميزات الهامة للتصميمات المختلفة للسدود والخزانات، وجدير بالذكر أنه من العسير جدًّا تواجد موقعين متشابهين تمامًا فى الطبيعة، ولذلك كان من الصعوبة تحديد طرق قياسية لهذه الدراسات. ونتيجة للتقدم العلمى فى طرق الكشف الجيوفيزيقى وأجهزة الحفر واختبار الخواص الطبيعية والميكانيكية للصخور، أصبح أمام المهندسين مجال كبير لاختبار أفضل الطرق والآلات تبعًا لظروف الإنشاء أو تطوير الطرق المعروفة واستحداث وسائل أخرى أكثر تقدمًا منها وأقل تكلفة من الناحية الاقتصادية. وعند إجراء الدراسات والاختبارات الجيولوجية فى موقع السد يجب مراعاة الدقة فى أخذ النتائج والمعلومات اللازمة للمنشآت الملحقة بالسد أو الخزان مثل أنفاق توليد الكهرباء والممرات الداخلية مع مراعاة العوامل التى يمكن أن تنشأ من تأثير الزلازل والحركات الأرضية على هذه المنشآت الحيوية.

الأنواع العامة للسدود

تقسم السدود من الوجهة الإنشائية إلى الأنواع العامة الآتية:

(أ) السدود الخرسانية Concrete Dams

ويمكن تقسيمها من حيث التصميم إلى الأنواع الآتية:

١ – السدود التثاقلية Gravity Dams

٢ – السدود الكتفية Buttress Dams

٣ – السدود القبوية Arch Dams

(ب) السدود الترابية Earth Dams

ويمكن تقسيمها إلى الأنواع التالية :

١ – السدود الترابية Earth Dams

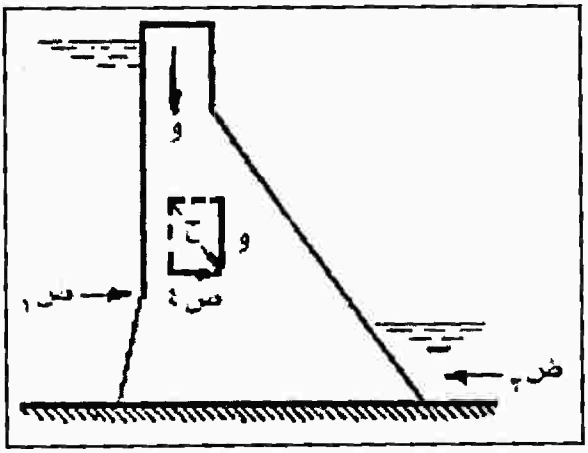
١ – السدود الركامية (مثل السد العالى) Rock Fill Dams

وفيما يلى المميزات الهندسية الهامة لكل من الأنواع السابقة :

(أ) السدود الخرسانية

١ - السدود التثاقلية:

وتتميز هذه السدود بحالة الاتزان الاستاتيكى تحت تأثير وزن المواد المكونة لهيكل السد. وتستخدم الخرسانة العادية فى بناء قاعدة السد وليس من الضرورى أن تكوم من الخرسانة ذات الجودة العالية حيث إن هذه القاعدة تقاوم التهشيم، وتقام هذا الأنواع من السدود على أساسات أرضية وإن كان من المفضل هندسيًا أن تنشأ فوق طبقات صخرية. ويوضح الشكل (١٣٢) مقطعًا فى أحد هذه السدود.



شكل رقم (١٣٢): مقطع فى سد تثاقلى

و = وزن الخزان. ح = محصلة القوى.

ض ١ = ضغط المياه فى الخزان. ض ٢ = ضغط المياه الخلفى.

و : وزن الخزان.

ض١ : ضغط المياه فى الخزان.

ض٢ : ضغط المياه الخلفى.

ح: محصلة القوى.

٢ - السدود الكتفية:

يمكن اعتبار هذا النوع من السدود الخرسانية صورة متطورة من السدود التثاقلية. فقد أمكن تقليل حجم الخرسانة العادية المستخدمة فى الإنشاء عن طريق الاستعانة بالخواص الميكانيكية للخرسانة المسلحة والنظريات المستحدثة فى المنشآت. لهذا تمكن المهندسون من الاستغناء عن بعض الأجزاء فى السدود التثاقلية والاستعاضة عنها بالهياكل القبوية أو الكمرات المنشأة من الخرسانة المسلحة فى التدعيم ضد الإجهادات الداخلية المتولدة فى السدود. ومن المميزات الهامة لهذا النوع من السدود ضمان حالة الاتزان ضد الانزلاق والانقلاب وذلك عن طريق تصميم جانبه المواجه للمنبع بميل قدره ١ : ١ وعلى أن ترتكز الشريحة المكونة للسد على الجانب المواجه للمصب عن طريق مسند كتلى (Massive Buttress). وقد أمكن تقليل مقدار القوى المؤثرة على السدود التثاقلية عن طريق توزيع قاعدة المسند الكتلى. والخرسانة المستخدمة فى هذا النوع يجب أن تكون ذات كفاءة عالية ولصغر حجم المقادير المطلوبة منها كان هذا النوع من السدود أنسب للمناطق التى يندر فيها الحصى أو الركام الصخرى، وكذلك يمكن إنشاؤها على قواعد لا تصلح لإقامة السدود التثاقلية وهناك عدة تصميمات لهذا النوع من السدود أهمها:

١ - السدود ذات السطح المستوى Flat Deckdam

٢ - السد ذات الأكتاف الدائرية Round Head Buttress

٣ - السد القبوى المركب Multiple Arch Dam

٣ - السدود القبوية:

كان للأبحاث العلمية التى أجريت على خواص الخرسانة المسلحة وسلوكها وكذلك التقدم العلمى فى نظريات الإنشاء تأثير كبير على هذا النوع من السدود. فقد أصبح من الممكن فى ظروف معينة الجمع بين خواص الخرسانة المسلحة وبعض خواص الهياكل القبوية واستخدام ذلك فى تقليل حجم المواد المطلوبة لإنشاء السد. وقد وجد أن هناك علاقة طردية بين نصف قطر الانحناء (Radius of Curvature) وبين مقدار الخرسانة المطلوبة.

ولما كان المقطع القوى أكبر من المقطع المسطح كانت هناك قيمة لنصف قطر الانحناء يتساوى عندها مقدار الخرسانة المستخدمة سواء كان السد قبويًا أم تثاقليًا. فلو فرضنا أن نصف قطر الانحناء ١٧٠ مترًا وأن ذلك يقابل زاوية مركزية قدرها ١٢٠°، فإن المسافة بين الكتفين تساوى ٢٨٠ مترًا تقريبًا. لذلك يمكن القول بأن السدود القبوية تكون عادة اقتصادية فى حالة المجارى المائية الضيقة وحيث إن أكتاف السد فى هذا التصميم يجب أن تتحمل الإجهادات المتولدة نتيجة لخزن المياه كان من الضرورى تقريبًا باستخدام الأساسات فى بعض الأحيان.

(ب) السدود الترابية

١ - السدود الترابية:

تقام السدود الترابية من المواد المفككة كركام الصخر، الزلط الرمل، أو الحجر الطيني. ويتحدد ارتفاع السد طبقًا لما تسمح به الظروف الاقتصادية للمشروع وقد يصل في بعض الأحيان إلى ٧٠ مترًا. وقد لا تتحمل السدود الترابية الضغوط التي تنتج عن زيادة المياه المخزونة. لذلك يجب الأخذ في الاعتبار طرق حماية السد ضد التيارات الناتجة من حركة هذه المياه وكذلك ضد حركة الثلوج، ويفضل إنشاء هذه السدود في المناطق التي يسهل فيها الحصول على المواد اللازمة لبناء السد لكبر حجم كمية المواد المطلوبة. وحيث إن الضغوط المؤثرة على السدود الترابية تكون عادة منخفضة لذلك فإن جميع أنواع الأساسات تكون صالحة لها.

ونظرًا لمرونة تغيير هيكل السد طبقًا لظروف الإنشاء وعدم وجود الأماكن المناسبة لبناء الأنواع الأخرى من السدود فإن الاتجاه يكون غالبًا إلى إقامة السدود الترابية التي تعتبر غشاءً مسامياً يعمل على منع التسرب من الخزان وعكسه في اتجاه مستوى التيار خلال قدم الخزان (Foot of the Dam) ويجب اتخاذ الاحتياطيات اللازمة لضمان سلامة السد إذا ما حدث تسرب سريع وذلك عن طريق وضع طبقة غير مسامية (ستارة) تحت أساسات السد. وأهم طرق إنشاء السدود الترابية هي:

(أ) طريقة الترسيب الهيدروليكي (Hydraulic Fill): حيث تنقل المواد اللازمة للإنشاء إلى موقع السد على هيئة مواد عالقة.

(ب) طريقة الدمك (Roll Fill Dam) : حيث تستخرج المواد اللازمة للإنشاء من أماكن قريبة لمكان السد ثم دمكها بالهرس.

٢ - السدود الركامية:

وتقام هذه السدود من ركام الصخر وتتكون عادة من الأجزاء الآتية:

١ - الجزء الأساسي ويتكون من ركام الصخر.

٢ - الوجه الأمامي للسد: ويجب أن يكون غير مسامي ويتكون عادة من الطمي أو الخرسانة المسلحة أو الصلب.

٣ - حائط من الحجر ينشأ بين الجزئين ١، ٢.

ومن أهم مميزات السدود الركامية ومن أمثلتها السد العالي، أنها تتحمل الهزات الأرضية أكثر من أي نوع آخر من السدود.

القوى المؤثرة على السدود

تقع السدود تحت تأثير العديد من القوى، وفيما يلى القوى المؤثرة على السدود الخرسانية:

١ - القوى الناتجة عن ضغط الماء.

٢ - القوى الناتجة عن ضغط الأرض.

٣ - القوى الناتجة عن ضغط الثلوج.

٤ - القوى الناتجة عن ضغط وزن المواد المستخدمة فى بناء السد.

٥ - القوى الناتجة عن رد فعل الأساس.

٦ - القوى الناتجة عن الحركات الأرضية.

القوى الناتجة عن ضغط الماء:

تشمل هذه القوى الضغوط الآتية:

١ ضغط مياه الخزان والمياه الخلفية:

ويكون هذا الضغط عادة هيدروستاتيكيًا متساويًا فى جميع الاتجاهات ويمكن حسابه باستخدام قوانين الهيدروليكا. وقد تؤثر القوى الناتجة عن هذا الضغط فى اتزان الخزان فتسبب تزحلقه على الأساسات أو انقلابه على خط مواز لمحوره. وفى حالة السدود القبوية تتعادل القوى المسببة أو التى قد تسبب التزحلق برد الفعل الناتج عن التدعيم بالأكتاف أو بالقوى الاحتكاكية بين جسم السد والأساسات كما هو الحال فى السدود الكتفية، أما فى حالة السدود التثاقلية فتتعادل هذه القوى مع القوى الناتجة عن وزن جسم السد. وكذلك فعل التدعيم الناتج عن الأساسات.

ويجب عند إعداد تفاصيل التصميم لأى من هذه السدود عدم إهمال القوى الديناميكية الناتجة عن حركة المياه فى الخزان.

٢ - القوى الرافعة:

وتنتج هذه القوى عن خاصية نفاذية جسم السد والأساسات. فالمياه عند قاع السد تكون تحت ضغط يعادل ارتفاع عمود الماء عندها. فإذا استطاعت المياه النفاذ خلال مسام السد والشقوق التى توجد به أو بالأساسات نشأ ما يعرف بالقوى الرافعة. وحيث إن ضغط الوسائل ينتشر هيدروستاتيكيًا فإن مركبة القوى الرأسية الناتجة عن ضغط الماء والتى تؤثر بدورها فى

السد تناسب مع ارتفاع منسوب المياه المخزون. وقد تؤثر أيضًا على السد قوة مماثلة ناتجة عن ضغط المياه فى مجرى التيار على قاع السد وتتناسب مع علو منسوبها فى المجرى.

وهناك عدة أسباب تجعل المهندسين يميلون إلى فرض أن القوى الرافعة تؤثر على السطح الكلى للأساسات وأهم هذه الأسباب أن نسبة الفجوات فى السطح وكذلك فى السد تختلف لدرجة كبيرة مع العلم بأن القوى الرافعة تعمل على طول هذه الفتحات. وحيث إن منسوب مياه الخزان يكون دائمًا أكبر من المياه الخلفية. فإن القوى الرافعة تكون أكبر عند قمة الخزان كلما اتجهنا نحو قدم الخزان إلا أنها عمومًا تتوقف على مقدار تصريف المياه.

وتميل القوى الرافعة إلى تقليل الوزن المؤثر للسد وتزيد من الميل نحو الانزلاق والانقلاب، وتعادل هذه القوة بزيادة كتلة السد إذا سمحت الظروف الاقتصادية بذلك وإلا كان التحكم فى مثل هذه القوى عن طريق التحكم فى تصريف المياه فزيادة التصريف تقلل مقدار القوى الرافعة المؤثرة على جسم السد. وكثيرًا ما يلجأ المهندسون إلى تقليل هذه القوى وإضعاف تأثيرها فى السدود التثاقلية عن طريق مجموعة من الثقوب تحفر فى اتجاه مصب النهر وتعرف بثقوب التصريف، أما فى حالة السدود الكتفية فيمكن إغفال هذه المشكلة لأن هناك ضغوطًا أكثر أهمية خاصة إذا كانت أساسات السد مكونة من مواد طبقية بعضها نفاذ والآخر غير نفاذ.

القوى الناتجة عن ضغط الأرض:

يتعرض السد لهذه القوى خاصة عند حدوث الترسيب فى منطقة التخزين أو عندما تمتلىء حفر الأساسات من الخلف بمواد رسوبية. ويمكن حساب هذه القوى بواسطة قانون رانكن لتقدير الضغوط الأرضية (Rankine Fornula).

القوى الناتجة عن ضغط الثلوج:

وتنشأ هذه القوى عندما يكون الخزان فى حالة تجمد كامل، وتكون درجة الحرارة مائلة للهبوط المستمر حيث يتقلص الغطاء الثلجى وتظهر فيه بعض الشقوق، عندئذ تندفع المياه إليها وسرعان ما تتجمد. وعندما ترتفع درجة الحرارة يصبح الغطاء الثلجى أكبر من الخزان وتنشأ نتيجة لذلك الضغوط التى تعرف بضغط الثلوج والتى تؤثر على السد واتزانه، وتصل هذه الضغوط إلى أكبر قيمة لها عندما يكون الغطاء الثلجى أكبر ما يمكن.

القوى الناتجة عن المواد المستخدمة فى بناء السد:

وتؤثر هذه القوى على قاعدة السد نتيجة لوزن المواد المستعملة فى البناء وفى حالة عدم توافر المعلومات المطلوبة لحسابها يمكن تقديرها بمعدل ٢٤٠٠ كجم/متر^{٣}.

القوى الناتجة عن رد فعل الأساسات:

تتعرض أساسات السد إلى القوى الآتية:

١ - القوى الاستاتيكية الناتجة عن وزن مواد السد.

٢ - القوى الأفقية الناتجة عن ضغط المياه.

٣ - القوى الانقلابية الناتجة عن ضغط المياه، ويجب أن يكون تأثير محصلة هذه القوى فى الثلث الأوسط من السد حتى يمكن ضمان حالة الاتزان الاستاتيكى للسد. لهذا تتعادل هذه القوى بقوى أخرى مساوية لها فى المقدار وتؤثر فى الاتجاه العكسى. فالقوى الرأسية تعادل بقوى تحمل مياه الأساسات لضغط والقوى الأفقية تعادل بقوة تحمل هذه المواد للقص.

أما عن القوى الانقلابية فقد أثبتت التجارب والخبرة المكتسبة فى بناء السدود أن الانقلاب لا يحدث للسد إلا بعد أن يتعرض جزء من السد أو من الأساسات لقوى القص. لذلك يفضل دائمًا أن يؤخذ فى الاعتبار عند تصميم الأساسات قوة تحملها لإجهاد القص.

ويعتبر كل من السد والأساسات أجسامًا مرنة تتعرض للانفعالات والتشوه، لذلك كان من الضرورى فى حالة الإنشاءات الكبيرة أخذ هذه الانفعالات فى الاعتبار وقد أصبح من الصعب الآن تعيين معامل المرونة للأساسات نظرًا لتعدد أنواع الصخور المستخدمة فى الإنشاء.

القوى الناتجة عن الحركة الأرضية:

مما لا شك فيه أن القوى الناتجة عن الحركات الأرضية لها تأثير كبير فى تقليل فرص الأمان للسدود. وإن كانت فى بعض الأحوال أقل ضررًا من القوى المذكورة سابقًا. وما زالت الخبرة هى أهم المصادر فى تأمين السدود ضد هذه القوى على الرغم من وجود بعض الطرق العلمية لتقديرها. ومن المستحسن تجنب بناء السدود فى مناطق الفوالق والصدوع أو الأماكن القريبة من البراكين النشيطة.

مشاكل التسرب فى السدود

التسرب ظاهرة معروفة فى السدود الخرسانية لكنها تعد ظاهرة خطيرة عند حدوثها فى الأساسات، وحتى يمكن التحكم فيها ومعالجتها يجب معرفة الظروف الجيولوجية والهندسية معرفة تامة، فمن المعروف أنه لا توجد فى الطبيعة مادة غير مسامية تحت الضغط الهيدروليكى الموجود تحت السد لهذا فإن التسرب فى السدود ظاهرة واجبة الدراسة.

وهذه الظاهرة غير مرغوب فيها لأنها تؤدى إلى فقدان بعض المياه. وإذا زادت السرعة ربما تسببت فى إزالة بعض المواد المفككة فى مجارى تحدثها تسمى بالفجوات الأنبوبية (Piping)

مما قد يؤدى إلى انهيار المنشأة. وليس فى الإمكان منع ظاهرة التسرب خلال الأساسات ولكنَّ هناك طرقًا كثيرة لمتابعة سرعة التسرب حتى لا تسبب خسائر اقتصادية جسيمة.

ويمكن التحكم فى التسرب عن طريق نفاذية المواد المستعملة فيها وذلك عن طريق الحقن بالضغط (Pressure Grouting) وهو عبارة عن ضغط مواد لاحمة سائلة فى الفجوات. ولا تقلل هذه العملية النفاذية فحسب ولكنها تزيد أيضًا من قوة تحمل الأساسات.

وفى حالة السدود الترابية المنشأة للأغراض التى يهم فيها فقدان مقدار من المياه، يجب التحكم فى التسرب بل يجب التصرف فى المياه بطريقة تمتع حدوث الفجوات الأنبوبية ويمكن الوصول إلى ذلك عن طريق إنشاء مصرف أو حفر بعض الآبار فى اتجاه المصب وكثيرًا ما يستخدم فيها شبكة من الصلب لمنع حبيبات التربة من النفاذ.

أما الأساسات الضعيفة أو التى تتأثر بالتشقق فيمكن تقويتها أو لحام الشقوق الموجودة بها عن طريق إحدى عمليات التقوية (Consolidation) أو التغطية (Blanket) فتغطى قاعدة السد بسلسلة من الثقوب غير العميقة ثم يضخ الأسمنت أو أحد المواد اللاحمة الأخرى خلال الثقوب تحت ضغط لسد كل الفجوات الموجودة، ويجب مراعاة أن يكون الضغط كافيًا لتسرب المادة اللاحمة دون الإضرار بالأساسات نفسها أو زيادة حجم الشقوق الموجودة. ولهذا يجب قبل القيام بهذه العملية معرفة مواقع الفواصل والشقوق ومناطق الضعف الأخرى معرفة دقيقة ومن المعروف أن الحجر الرملى المسامى غير قابل للمعالجة بالحقن بالأسمنت وذلك لأن الأسمنت يتكون حول حواف الفجوات دون أن يصل إلى الفجوات نفسها. وقد تحقق بعض النجاح فى حقن مثل هذه الصخور بمواد كيميائية حيث يتحلل أحد المحاليل المراد حقنها ويتفاعل مع محلول آخر ليكون مواد ثالثة غير قابلة للذوبان. أما فى حالة الفجوات الكبيرة التى قد لا يمكن حقنها، فإنها تملأ بالحجر الطينى أو الخرسانة أو الأسفلت.

الاختبارات الجيولوجية لمواقع السدود

يمكن تحديد الدراسات والاختبارات الجيولوجية التى يجب إجراؤها عند إنشاء السدود كالآتى:

أولا: اختبارات ما قبل التصميم وأهم هذه الاختبارات ما يلى:

١ - ترسم خريطة طبوغرافية للموقع ثم يحدد عليها مبدئيًا المواقع المختلفة التى تصلح لإقامة السد.

٢ - ترفع المنطقة جيولوجيًا على الخريطة الطبوغرافية، ويوضح بها أماكن توفر مواد البناء الخام وقربها من المواقع المختارة لإقامة السد.

٣ – توضع على الخريطة الفوالق والفواصل والطيات وغيرها من التراكيب الجيولوجية. وإذا كان السد المزمع إنشاؤه من النوع القبوى يجب تحديد اتجاه الفواصل ومناطق الضعف لأن انطباق الفواصل أو مناطق الضعف مع مركبة إجهاد القص الناتج عن ضغط المياه على السد يؤثر تأثيرًا مباشرًا على سلامته وخاصة إذا كانت الظروف الطبوغرافية مناسبة لإقامة السد.

٤ – إذا كان الموقع مغطى بالرواسب النهرية، يجب تقرير سمكها بقدر الإمكان ويظهر أهمية ذلك فى الظاهرة المعروفة باسم (Scour and Fill Process) التى تعتمد إلى حد كبير على حجم وسرعة الفيضان وكذلك كمية ونوع المواد الطينية.

٥ – تؤخذ بعض العينات الأسطوانية عن طريق آبار الحفر وتوقع أماكنها على الخريطة وذلك لتحديد:

(أ) عمق الغطاء الصخرى.

(ب) عمق الصخور التى يحب إزاحتها.

(جـ) التراكيب الجيولوجية غير الظاهرة على السطح.

(د) خواص الطبقة الصخرية التى سوف ينشأ عليها السد.

(هـ) نفاذية المواد المستخدمة فى الأساسات.

٦ – تعيين نفاذية الصخور المستخدمة فى الأساسات بواسطة اختبار الضغط.

٧ – الاختبارات المعملية للعينات الأسطوانية التى نحصل عليها من الموقع وأهمها:

(أ) قدرة مقاومة القص.

(ب) قدرة مقاومة الضغط المحبوس وغير المحبوس.

(جـ) شدة الترابط مع الخرسانة.

(د) مقاومة الجفاف والرطوبة والتجمد والانصهار.

ويجب أن يخرج المهندسون من هذه الدراسات والاختبارات التى تجرى قبل البدء فى التصميم بالنتائج التالية:

(أ) تحديد أنسب المواقع لإقامة السد.

(ب) تحديد أنسب أنواع السدود بالنسبة لظروف المنطقة واقتصاديات المشروع.

(جـ) وضع الخطوط العامة للأساسات وطرق معالجتها.

(د) تقدير عمليات الحفر ومقدار المواد اللازم إزاحتها للوصول للقاعدة الصخرية للسد.

(هـ) وضع برنامج الاختبارات والأبحاث التفصيلية المطلوبة لوضع التصميم الكامل للسد مع تفصيلات التصميم.

ثانيًا: الاختبارات المطلوبة للتصميم:

تعتبر هذه الاختبارات امتدادًا للدراسات السابقة، إلا أن أهميتها ترجع إلى مقدار المعلومات التى يمكن الحصول عليها للمنطقة بأكملها وتشمل هذه الاختبارات أخذ العينات الأسطوانية عن طريق آبار الحفر بحيث تغطى المنطقة وكذلك اختيار مواقع أساسات محطات توليد الكهرباء وغيرها من المنشآت.

ثالثا: الاختبارات المطلوبة خلال فترة الإنشاء:

تتطلب فترة الإنشاء إجراء المزيد من الدراسات التكميلية والتى تبين مدى تطابق نتائج الدراسات السابقة لمواقع الحقل وكذلك تمد المهندسين والمنفذين بالنتائج التفصيلية اللازمة، وكأمثلة لهذه الاختبارات يجب رفع المنطقة جيولوجيًا بعد عمل الحفر المطلوبة للأساس وعمل نماذج مجسمة لبيان كل التفاصيل الجيولوجية للمنطقة حيث إن هذه التفاصيل ذات أهمية كبرى نوع الأساس وطريقة معالجته وكذلك مدى مطابقة فروض التصميم للواقع. وبدراسة الخريطة والنماذج الجيولوجية يستطيع المصمم أن يخفض تقديره لقوة تحمل الأساس إذا كانت المسافات بين مناطق الضعف كبيرة نسبيًا، بينما قوة تحمل الأساس يمكن اعتبارها مساوية لقوة تحمل عينات الصخر للتكسير وذلك عندما تكون التشققات الموجودة فى الصخر ضعيفة وبعيدة عن بعضها.

أمثلة لبعض السدود

السد العالى

يعتبر السد العالى نموذجًا مثاليًا للمراحل التى يمر بها السد عند تصميمه. فقد مر السد العالى بعدة بحوث ودراسات بهدف اختيار أنسب التصميمات وأصلحها:

(أ) اختيار نوع السد:

بناء على الدراسات والبحوث التى قدمها المختصون تقرر أن يكون السد العالى من النوع الركامى مكونًا من صخور الجرانيت والرمال والطمى وعلى أن يزود بنواة صماء من الطفلة مع فرشة أفقية وقاطع رأسى للمياه يتم إنشاؤه عن طريق الحقن.

(ب) اختيار الموقع:

اختير موقع السد العالى جنوب خزان أسوان بمسافة قدرها ٦,٥ كم باعتباره أنسب وأصلح المواقع للأسباب الآتية:

١ - ضيق مجرى النيل نسبيًّا.
٢ - قربه من المواد اللازمة للإنشاء.
٣ - استيعاب حوض التخزين لكميات ضخمة من المياه.
٤ - الاستفادة من خور كندى فى تقليل مكعبات حفر قناة التحويل.
٥ - قرب الموقع من مدينة أسوان.

(جـ) وصف السد:

السد العالى عبارة عن سد ركامى كبير يقفل مجرى النيل ويبلغ طوله ٣٨٣٠ مترًا منها ٥٢٠ مترًا بين ضفتى النيل ويمتد الباقى على هيئة جناحين على جانبى النهر ويبلغ عرضه عند القاع ٩٨٠ مترًا ويتدرج على هيئة هرم إلى أن يصل عند القمة ٤٠ مترًا. ويبلغ ارتفاعه ١١١ مترًا فوق قاع النيل يرتفع منسوبه عن سطح البحر ٨٥ مترًا فيكون ارتفاع السد ١٩٦ مترًا عن سطح البحر.

يتكون جسم السد من ركام الجرانيت والرمال والطمى ويتوسطه نواة من الطين الأسوانى مانعة لتسرب المياه، تتصل فى الأمام بستارة أفقية مانعة للمياه أيضًا.

ولما كان قاع النيل الذى يرسو عليه السد العالى مكونًا من مواد رسوبية زود السد بستارة رأسية قاطعة تمتد أسفل النواة إلى مسافة ١٧٠ مترًا بعمق الطبقة الرسوبية حتى تصل إلى الطبقة الصخرية. وتكون هذه الستارة بواسطة التخريم والحقن بمواد مانعة لتسرب المياه كالطين الأسوانى وبعض المواد الكيمائية كالسليكا والبنتونيت ومواد أخرى ويبلغ عرض الستاوة أسفل النواة ٤٠ مترًا ويقل هذا العرض تدريجيًا مع العمق حتى تصل إلى ٥ أمتار عند التقائها بالطبقة الصخرية.

قناة التحويل والأنفاق:

تقع قناة التحويل فى الضفة الشرقية وتتكون من قناة أمامية مكشوفة وأخرى خلفية يصل بينهما الأنفاق الرئيسية المحفورة فى الصخر تحت الجناح الأيمن للسد ويبلغ الطول الكلى لقناة التحويل ١٩٥٠ مترًا منها ١١٥٠ مترًا طول القناة الأمامية، ٤٨٥ مترًا طول الخلفية ٣٢٥ مترًا طول الأنفاق.

ويبلغ عدد الأنفاق ستة وهى تصل بين القناتين الأمامية والخلفية وقطاعها مستدير وقطره ١٥ مترًا ومبطنة بالخرسانة المسلحة.

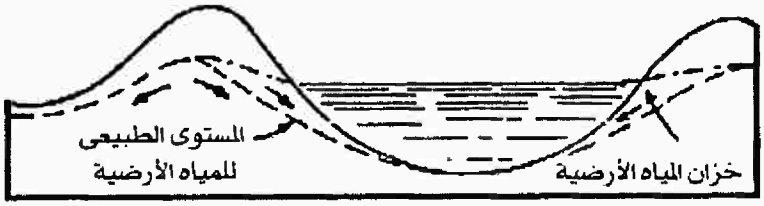
الخزانات

من المعروف أن الغرض الأساسى من إنشاء الخزانات هـو خـزن الميـاه لاسـتخدامها، وحتـى تقوم الخزانات بهذه الوظيفة يجب أن يكون معدل التسرب من الخزان أقل من معـدل انسـياب المياه إليه. ولما كانت مشكلة التسرب إحدى النقاط الهامة التى تبحث عند دراسة هيدرولوجيـة المياه الأرضية، كان ضروريًا إجراء هذه الدراسات. والطريق الطبيعى فى مثل هـذه الدراسـة هـو تحديد موقع حركة المياه الأرضية تحت الظروف الطبيعيـة فـى منطقـة الخـزان وكذلـك دراسـة التغيرات التى قد تطرأ على المنطقة نتيجة لملء الخزان بالمياه.

ولفهم ظاهرة التسرب من الخزان يجدر دراسة مدى تأثيرها بمنسوب الميـاه الأرضيـة وكذلـك نوع الصخور الحاوية.

١ - حالة ارتفاع منسوب المياه الأرضية:

يبين الشكل (١٣٣) مقطعا فى خزان تحت طبقة من المواد غير المسامية ويلاحظ فى مثل هذه الحالة أن مستوى المياه الأرضية قريب من السطح بل ويتبـع طبوغرافيـة المنطقـة. وعندمـا يمـلأ الخزان لمنسوب أقل من مستوى تقسيم المياه (Ground Water Divides) فإنـه لا يحـدث تسـرب لمياه الخزان بل على العكس سوف تناسب المياه الأرضية إليه.



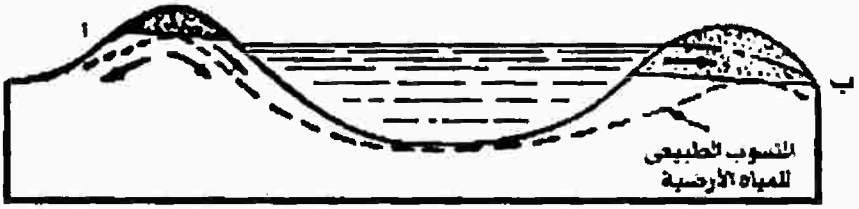
شكل رقم (١٣٣): مقطع فى خزان تحت طبقة من المواد غير المسامية.

أما فى حالة وجود التربة غير المتماسكة وكذلك المواد الناتجة عن تعريـة الصخـور الموجـودة على جوانب الخزان، فإنها تقوم بتخزين جزء من المياه يتوقف مقداره على جسم الطبقة وكذلك على نفاذية المواد المكونة لها.

أما إذا كان منسوب مياه الخزان أعلى من مستوى تقسيم المياه فقد يحدث هناك فقدان بعض المياه عن طريق التسرب يتوقف مقدارها علـى نفاذيـة المـواد وكذلـك علـى عـرض التقسـيم ومـن

المحتمل أن تكون هذه الخسارة كبيرة إذا كان التقسيم ضيقًا أو تعرض لعدة فوالق وفواصل. وفى بعض الأحيان يكون التقسيم جزءًا من الهيكل الجيولوجى الموجود بالمنطقة لهذا يجب الاهتمام بدراستها دراسة وافية كمصدر من مصادر التسرب. ويوضح الشكل (١٣٤) منطقة مستوى المياه الأرضية بها مرتفع وتحته طبقة مسامية.

ويلاحظ أن نسبة فقدان المياه بالتسرب تكون كبيرة عندما يكون منسوب مياه الخزان أعلى من أ – ب.



شكل رقم (١٣٤): منسوب المياه الأرضية فى خزان تحت طبقة مسامية.

٢ – حالة انخفاض المياه الأرضية:

من الظواهر المعروفة أن منسوب المياه الأرضية يكون عميقًا عند وجوده فى طبقة من المواد المسامية. وقد قسمت الصخور بالنسبة لهذه الظاهرة واحتمال حدوثها إلى الأقسام التالية:

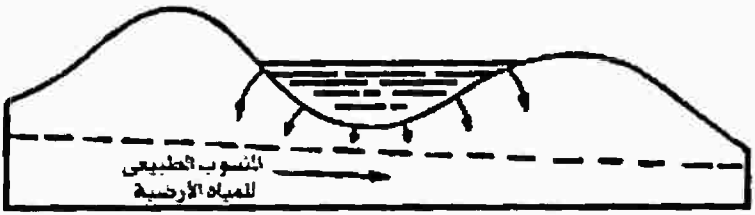
(أ) الصخور سهلة الذوبان، ومن أمثلتها الحجر الجيرى والجبس والملح.

(ب) البازلت الفجوى والبريشيا.

(جـ) الصخور المهشمة نتيجة للحركات الأرضية.

(د) طبقات الجلاميد الخشنة.

ويبين الشكل (١٣٥) الحركات السفلية لمياه الخزان نحو منطقة التشبع فى حالة وجود الخزان فى منطقة يكون مستوى المياه الأرضية بها عميقًا. كذلك يوضح الشكل حركة المياه من منطقة التشبع جانبًا فى اتجاه الميل الهيدروليكى للمنطقة. وعلى هذا تكون هناك كمية محدودة من المياه يفقدها الخزان وهذه الخسارة تتناسب مع الميل الهيدروليكى للمنطقة ونفاذية المواد الموجودة بها. والخبرات المكتسبة فى مثل هذه الخزانات هى المرشد الأساسى فى معرفة مقدار التسرب وكيفية معالجته، بجانب القيام بالاختبارات اللازمة لجمع هذه المعلومات من المنطقة.



شكل رقم (١٣٥): حركة المياه نحو منطقة التشبع.

طرق التحكم فى التسرب من الخزانات:

هناك عدة طرق يمكن بواسطتها منع وتقليل تسرب مياه الخزان ويتوقف اختيار طريقة المعالجة على ظروف الخزان وجيولوجية المنطقة الموجود بها، وفيما يلى بعض هذه الطرق:

(أ) إذا كانت مناطق التسرب محددة المعالم كما فى حالة الفوالق ومناطق القص فيمكن استخدام عملية الحقن بالأسمنت لمنع التسرب.

(ب) إذا كان التسرب من الخزان عن طريق التقسيم فيمكن معالجة ذلك بواسطة الحقن بالأسمنت أو بإنشاء الحوائط القاطعة (Cut off Walls).

(جـ) قد تكون الفتحات فى بعض الخزانات الموجودة فى طبقات الحجر الجيرى منتشرة لدرجة أنه من الأفضل عدم معالجتها أو حصرها قبل ملء الخزان. وتتم عملية المعالجة بعد ملء الخزان أولا وتحديد مواطن التسرب به، ثم يفرغ الخزان من المياه وتعالج مناطق التسرب وهذه الطريقة باهظة التكاليف ولا تستخدم إلا نادرًا.

(هـ) هناك اتجاه حديث فى معالجة التسرب عن طريق الأطماء (Silting) وذلك بإلقاء الطمى أو مواد ناعمة فى مجارى المياه المغذية للخزان فى هذه العملية.

الترسيب فى الخزانات:

تتعرض الخزانات لعمليات الترسيب التى تزداد مع مرور الوقت مما يؤدى إلى أن يفقد الخزان قيمته ويحدث معظم الترسيب فى أماكن التقاء الروافد المغذية للخزان به وعند هذه الأماكن يبدأ تكوين الدالات التى تمتد بعد ذلك إلى المناطق الأخرى بالخزان. هذا بخلاف تكوين طبقة من المواد العالقة بالمياه والتى سرعان ما تترسب فوق قطاع الخزان. وظاهرة الترسيب لا يمكن التحكم فيها، وإن كان من الممكن تقليلها باختيار أنسب الأماكن للخزان.

الفصل الثالث عشر: السدود والخزانات

1. Geology and Engineering for Dams and Reservoirs: Symposium of Technical Publications, No. 215, American Institute of Mining and Metallurigcal Engineers< New York, (1929).

2. Gignoux, M., The Ceology of Dams: Paris, (1955).

3. Mead, W.J., Geology of Dam Sites: Civil Engineering, v, 7 P. 331-334 & P. 392-395, (1937).

4. Stevens, J.G., The Silt Problems: American Society of Civil Engineers Transactions, v: 101, p. 207-288, (1936).

5. Walter, R.C., Dam Geology: Arnold, London, (1962).