

المحاضرة الثانية

الدراسات التفصيلية لموقع إنشاء السد :

بعد أن يتم اختيار الموقع الأكثر ملاءمة لإنشاء السد عليه ، يجب إجراء مجموعة من الدراسات التفصيلية على هذا الموقع وذلك لتحديد العوامل والثوابت الأساسية التي ستدخل في تصميم السد ، وهذه الدراسات تتناول ما يلي :

١- الدراسات الطبوغرافية :

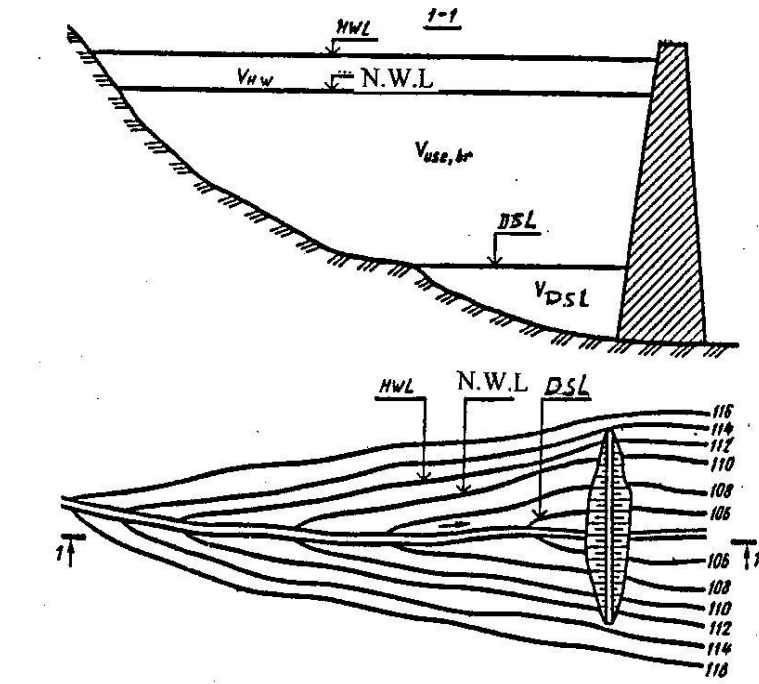
آ- مخطط الحوض الساكب :

على المخطط الطبوغرافي للحوض الساكب (خطوط كونتور كل 10 m) وبمقياس 1:10,000 أو 1:20,000 يتم توقيع موقع السد وبالتالي تحديد المساحات من الحوض الساكب التي ستؤمن التغذية المائية لبحيرة التخزين كما أنه يمكن إسقاط بحيرة التخزين على هذا المخطط ، وتحديد امتدادها وبالتالي معرفة المساحات التي ستغمرها .

ب- مخطط بحيرة التخزين وموقع السد :

على مخطط طبوغرافي (خطوط كونتور 2 ÷ 1 m) بمقياس 1:2000 أو 1:1000 لبحيرة التخزين يتم تحديد المساحات التي تغمرها البحيرة وكذلك منه يتم حساب حجم التخزين . ويتم على المخطط توقيع موقع السد وبالتالي معرفة أبعاده بدلالة منسوب قمته وبالتالي تحديد حجم الأعمال الترابية في السد ، ومناسيب التخزين في البحيرة :

H.W.L : منسوب الفيضان ، N.W.L : منسوب التخزين الطبيعي ، D.S.L : منسوب الحجم الميت ، شكل (١-٢) .



الشكل (٢-١)

مخطط طبوغرافي موقع عليه السد والبحيرة ومقطع طولي فيهما

٢- الدراسات الجيوتكنيكية :

إن هذه الدراسات تهدف إلى تحديد ما يلي :

أ- درجة كتامة جوانب الحوض حيث ستتشكل بحيرة التخزين أي معرفة نوعية طبقات جوانب البحيرة وقياس معامل النفوذية K فيها .

. التربة كتيمة : $K < 10^{-8} \text{ cm/s}$

. التربة ضعيفة الكتامة (نصف كتيمة) : $10^{-6} < K < 10^{-4} \text{ cm/s}$

. التربة نفوذة : $K \geq 10^{-4} \text{ cm/s}$

ب- المواصفات الجيوتكنيكية للأرضيات التي سينشأ عليها السد :

تتقسم أرضيات التأسيس إلى نوعين :

١- أرضيات ترابية تبنى عليها السدود الترابية .

٢- أرضيات صخرية تبنى عليها السدود البيتونية الثقيلة .

في حالة الأرضيات الترابية يتم إجراء سبور ميكانيكية توزع على منطقة التأسيس كاملة وذلك للتعرف على نوعية مختلف طبقات التربة المختلفة المؤلفة للأساس وعمقها وذلك لعمق

يعادل تقريباً ارتفاع السد ، وباعتبار أن احتمال وجود طبقات قابلة للانضغاط أسفل هذا العمق لا يؤثر على استقرار السد . بعد معرفة أنواع الطبقات يتم القيام بأخذ عينات من كل طبقة وتجري على هذه العينات التجارب المخبرية التالية :

نسبة الرطوبة – الوزن النوعي – التحليل الحبي – حدود أتريرغ – قابلية الانضغاط – التماسك – زاوية الاحتكاك الداخلي – درجة الامتصاص النوعية q ، إن نتائج هذه التجارب تسمح بتعيين وبشكل دقيق نوعية مختلف الطبقات كما أنها تسمح بإعطاء فكرة عن درجة نفاذيتها وعن بعض مواصفاتها الميكانيكية .

في حالة الأرضيات الصخرية الدراسات الجيوتكتيكية تتناول ما يلي :

- تحديد عمق الطبقة الصخرية أو أعماق الطبقات المختلفة .
 - تحديد نوعية كل طبقة وحالتها من حيث احتوائها على شقوق تتطلب الحقن الإسمنتي .
 - تحديد مقاومة طبقات الأساس الصخرية ودرجة قساوتها . والإجهادات المسموح بها .
- يتم تحديد المواصفات السابقة بإجراء سبور آلية تخترق مختلف الطبقات .

ج- الخواص الجيوتكتيكية للمواد الترابية التي ستستخدم في بناء السد :

إن نوعية هذه المواد تختلف باختلاف نوعية السد ، ونميز الحالات التالية :

- السدود الترابية :

إن نوعية المواد الترابية المتوفرة في الموقع أو بالقرب منه والتي ستستخدم لإنشاء السد تؤثر مباشرة في تصميم السد ، إذ أن ميل جوانب السد الترابي تتعلق بنوعية المواد الترابية الداخلة في بناء السد إضافة إلى أن احتواء السد الترابي على نواة كتيفة أم لا يتعلق بدرجة كتامة هذه المواد يصار عادةً إلى اختيار مجموعة من المقالع القريبة من الموقع يتم إجراء سبور فيها وبأعماق مختلفة من 5÷10 m وأخذ عينات منها لإجراء تجارب عليها (الوزن النوعي – درجة الرطوبة – تركيبها الحبي) الغاية من ذلك هو اختيار المقالع المناسبة التي تعطي مواد ترابية تؤدي إلى إنشاء سد بأقل كلفة اقتصادية .

يفضل عادةً المواد الترابية التي تعطي تدرّج حبي جيد ومتجانسة وبالتالي إنشاء سد ترابي متجانس ويتحقق ذلك عندما قيمة عامل التجانس :

$$\eta = \frac{d_{60}}{d_{10}} \leq 3$$

أما إذا كان $\eta > 3$ فالترربة غير متجانسة حيث :

d_{60} , d_{10} : أقطار الحبيبات التي نسبتها الوزنية على التوالي 10 % , 60 % من وزن العينة المدروسة .

إن المواد الترابية المختارة يجب أن لا تحتوي على حبيبات صلبة ذات أقطار $d > 100 \text{ mm}$ لأنها تحول دون الرص الجيد للردميات الترابية ، وأن لا تحتوي على مواد عضوية أو قابلة للانحلال .

لتأمين الكتامة في السدود الترابية يجب أن لا تقل نسبة العناصر الناعمة ذات القطر $d \leq 0,08 \text{ mm}$ عن النسبة 4 % في المواد الترابية المراد استخدامها في بناء السد . في حالة عدم وجود هذه النسبة من المواد الناعمة يتم تأمين الكتامة عن طريق إنشاء عنصر مضاد للرشح (نواة مركزية- شاشة) من تربة غضارية ناعمة .

- السدود البيتونية :

لتنفيذ السدود البيتونية يجب أن تتوفر في الموقع مواد البحص والرمل التي تدخل في تركيب البيتون . ويجب أن لا تحتوي هذه المواد على مواد عضوية قابلة للانحلال أو مواد جبسية وتجري على هذه المواد تجارب مخبرية لتحديد الخلطة البيتونية المثالية (نسب المزيج رمل + بحص + إسمنت + ماء) .

- السدود الركامية :

تختلف المواد اللازمة لإنشاء السد الركامي بحسب نوعية هذا السد ركامي مع نواة مركزية - ركامي مع حاجز من البيتون الإسفلتي - ركامي مع شاشة غضارية أو ستارة من البيتون أو البيتون الإسفلتي .

إن كافة أنواع الصخور يمكن اعتبارها صالحة لإنشاء السد الركامي (صخور رسوبية - صخور اندفاعية بازلت - غرانيت ...) عدا تلك التي تحتوي على مواد معدنية قابلة للانحلال أو التفتت تحت تأثير العوامل الجوية .

بالنسبة للعنصر الكتيم تختلف خواص مادته حسب نوعه (غضار - بيتون - بيتون إسفلتي) .

٣- الدراسات الهيدرولوجية :

تهدف الدراسات الهيدرولوجية اللازمة لإنشاء السدود في تحديد ما يلي :

- الحجم المائي السنوي من المياه التي تجري في المجرى المائي عند موقع إنشاء السد . أي حجم الجريان المائي السنوي الذي يؤدي دوراً في تحديد حجم التخزين من البحيرة وبالتالي تحديد ارتفاع السد .

- دراسة الفيضانات التي تهدف إلى تحديد :

- التدفق الأعظمي للفيضان من أجل أزمنة تكرار مختلفة .
- الحجم المائي المرافق لكل فيضان .

حيث تفيد هذه الدراسة في تصميم منشأة المفيض ومنشآت التحويل المؤقتة للمجرى المائي أثناء فترة الاستثمار .

١- دراسة حجم الجريان السنوي :

تهدف هذه الدراسة إلى معرفة فيما إذا كان حجم الجريان السنوي والذي سيتم تخزينه في بحيرة التخزين سيكون كافياً لإملاء هذه البحيرة بالحجم المائي المطلوب ، ومنه تحديد أبعاد البحيرة وكذلك منسوب التخزين الأعظمي وبالتالي ارتفاع السد .

في حالة الأحواض الساكنة الكبيرة والتي يتوفر فيها مجرى مائي دائم الجريان فإن الحصول على حجم الجريان السطحي الحاصل أثناء العام الواحد يمكن أن يتم عن طريق رصد التدفقات التي تجري في هذا المجرى أثناء العام (محطات هيدرومترية مختلفة ومتباعدة على المجرى) وإيجاد مجموعها الذي يعتبر الحجم القابل للتخزين .

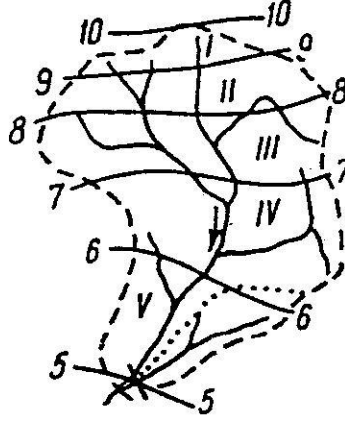
٢- حساب الوارد المائي لبحيرة التخزين :

لتقدير حجم الجريان السنوي الوارد إلى بحيرة السد هناك عدة طرق تقريبية ومنها :

- الطريقة الأولى : حساب معدل الجريان السنوي بوجود قياسات لمدة طويلة :

- الطريقة الثانية : تحديد معدل الجريان حسب الخرائط :

تعتبر هذه الطريقة الأكثر انتشاراً وهي عبارة عن خريطة يرسم عليها خطوط تساوي متوسطات الجريان السنوي وتستخدم لدى غياب القياسات الهيدرومترية للنهر . يحدد معدل الجريان السنوي بحسب خارطة خطوط تساوي الجريان لأجل مركز الحوض الساكن غير المدروس .



الشكل (٢-٢)

مخطط تحديد معدل الجريان السنوي حسب خارطة خطوط تساوي الهطول أو معدل الجريان

لأجل ذلك وقبل كل شيء من الضروري إحاطة الجريان على الخارطة حتى انغلاق الحوض الساكب .

نحدد خطوط تساوي الجريان (معدلات الهطول) على الحوض الساكب فإن المعدل المتوسط للجريان السنوي $\bar{M}$ يحسب بالمعادلة :

$$\bar{M} = \frac{M_1.f_1 + M_2.f_2 + \dots + M_n.f_n}{F} \quad \text{l/s.Km}^2 \quad (2-6)$$

حيث $M_1, M_2, \dots, M_n$ متوسط موديل الجريان بين خطي تعادل جريان متجاورين يقطعان الحوض الساكب .

$f_1, f_2, \dots, f_n$ المساحات المتوافقة بين خطوط تعادل الجريان .

F : مساحة الحوض الساكب الكلية .

بهذا فإنه بتعيين قيمة متوسط موديل الجريان لعدة سنوات للنهر يمكن تعيين $\bar{Q}$ تدفق الجريان السنوي الوسطي بالعلاقة :

$$\bar{Q} = \frac{\bar{M}.F}{1000} \quad \text{m}^3/\text{s} \quad (2-7)$$

- الطريقة الثالثة :

إن تقدير حجم الجريان يصبح أكثر تعقيداً عندما لا يحتوي الحوض الساكب على مجرى مائي أو في حالة عدم توفر قياسات مائية على المجرى المائي والحصول على قيمة حجم الجريان المائي السنوي يمكن أن يتم في هذه الحالة بتطبيق العلاقة النظرية التالية :

$$V = 1000 C_y.P.A$$

(2-8)

حيث :

V : حجم الجريان السطحي السنوي m^3 .

C_y : عامل الجريان السطحي الوسطي السنوي .

P : الهطول المطري الوسطي السنوي للحوض mm .

A : مساحة الحوض الساكب Km^2 .

للحصول على P من الضروري تحديد وسطي الهطول المطري لكافة محطات قياس الهطول المتوفر في الحوض وأخذ القيمة الموزونة لها بطريقة خطوط تساوي الهطول ، أو بطريقة Thiessen .

إن تطبيق هذه العلاقة والحصول على قيمة الجريان السطحي السنوي قريبة من الواقع يتعلق بمدى دقة تحديد قيمة C_y الخاصة بالحوض الساكب المدروس . ولكن من الصعب تحديد قيمة C_y لأنها تتعلق بمجموعة من الخصائص الطبيعية للحوض والتي أهمها شكل الحوض - نوعية غطاؤه السطحي ، الميل الطبيعي لسطحه - كثافة الشبكة الهيدروغرافية .

يضاف إلى ذلك بأنه في أحواض المناطق الجافة وبسبب صعوبة قياس عامل الجريان السطحي الذي يظهر على شكل سيول فإنه ليس هنالك سوى دراسات محدودة لقيمة العامل C_y فيها. بشكل عام يمكن اعتبار قيمة $C_y < 0,1$ ويمكن اعتبار قيمة وسطية له بحدود $C_y = 0,05$.

٣- دراسة الفيضانات :

إن دراسة الفيضانات الواردة إلى موقع إنشاء السد من الحوض الساكب المغذي له تخدم الأغراض التالية :

- تصميم المنشآت المؤقتة لتحويل المجرى المائي أثناء فترة تنفيذ السد .
- تصميم منشأة المفيض للسد .
- تحديد الحجم المائي للفيضان التصميمي والذي سيتم استيعابه في بحيرة التخزين أمام السد .
- لذلك فطريقة دراسة تدفق الفيضانات تختلف وحسب نوعية الجريان السطحي في الحوض الساكب إذا أنه يمكن التمييز بين حالتين من الجريان :
- جريان دائم يظهر على شكل نهر .
- جريان سيلبي يظهر على شكل سيول ناتجة عن حدوث عواصف مطرية .

آ- حالة السدود المقامة على نهر :

من الطرق المتبعة في التحليل الإحصائي للفيضان هي :

- الطريقة التجريبية .
- الطريقة التجريبية المعدلة لـ Vente chow .
- التوزيع الاحتمالي لغوص Gaus distribution .
- التوزيع الاحتمالي لـ غالتون Gauss –Log distribution .
- التوزيع الاحتمالي لـ كامبل Gumble distribution .
- التوزيع الاحتمالي لـ Gumble – Log distribution .

تسمح الطريقة التجريبية بالحصول على تقدير سريع وسهل للعلاقة بين تدفق الفيضان وزمن التكرار .

ب- حالة السدود المقامة على مجاري سيلية (مناطق جافة) أو على مجاري مائية لا يتوافر لها قراءات :

في هذه الحالة يتم الحصول على تدفقات الفيضان بطريقة غير مباشرة أي بالرجوع إلى العواصف المطرية التي تولد الجريان السطحي (أو السيلي) . لذلك فإن العلاقة التي تربط بين التدفق الأعظمي للجريان السيلي الناتج عن عاصفة مطرية وبين شدة العاصفة .

$$Q_m = 10^3 \frac{C_r \cdot i \cdot A}{3600} \quad (2-10)$$

حيث Q_m : تدفق الفيضان m^3/s .

C_r : عامل الجريان السطحي الآتي .

i : الشدة المطرية للعاصفة المولدة للفيضان .

A : مساحة الحوض الساكب (Km^2) أو مساحة الجزء من الحوض الذي يقع أعلي من موقع السد .

وتقتض هذه العلاقة بأن شدة الهطول المطري تبقى ثابتة أثناء حدوث العاصفة المطرية المولدة للفيضان وهي تساوي الشدة الوسطية للعاصفة المطرية والتي تعطى بالعلاقة :

$$i_m = \frac{h}{t_p} \quad (2-11)$$

h : مقدار الهطول المطري الكلي للعاصفة المولدة للفيضان mm .

t_p : زمن العاصفة المطرية (hour) .

وعليه فإن العلاقة (2-10) تكتب بالشكل :

$$Q_m = 10^3 \frac{C_r \cdot h \cdot A}{3,6 \cdot t_p} \quad (2-12)$$

فمن المعروف بأنه في الأحواض الساكنة تبلغ قيمة تدفق الجريان السيلي ذروتها عندما تكون مدة العاصفة المطرية (t_p) مساويةً إلى مدة زمن التركيز (t_c) والذي يعرف بأنه الزمن الذي يستغرقه ماء المطر الهاطل في النقطة الأبعد من الحوض الساكن للوصول إلى النقطة المعتبرة منه أو إلى مخرج الحوض الساكن في حالة وقوع السد عند نهاية الحوض . وعليه فتطبيق العلاقة (2-12) يتطلب معرفة C_r (عامل الجريان الآني) و t_c زمن التركيز والشدة الوسطية للعاصفة المطرية i_m .

أ- عامل الجريان السطحي C_r : هو النسبة بين حجم الجريان السطحي لفيضان ما وحجم الهطول المطري المتساقط على الحوض المؤدي إلى حدوث الفيضان قيمة عامل الجريان C_r تتبع إلى نوعية الغطاء الترابي والنباتي للحوض الساكن وتعطى وفق الجدول (٢-٢) اقتراح Richards من أجل الفيضانات الهامة .

جدول (٢-٢) قيم عامل الجريان السطحي C_r للعاصفة وفقاً لنوعية الغطاء للحوض الساكن

نوعية الغطاء للحوض الساكن	الأحواض الكبيرة	الأحواض الصغيرة
صخري كثيم	0,8	1
صخري ضعيف الكتامة	0,6	0,8
صخري ومغطى جزئياً بغطاء أخضر (غابات ، مزروعات)	0,4	0,6
تربة زراعية كثيمة	0,3	0,4
تربة زراعية غير كثيمة	0,2	0,3
غابات كثيفة	0,1	0,2

ب- زمن التركيز t_c :

يعطى وفق العلاقة التجريبية التالية :

$$t_c = \frac{4\sqrt{S} + 1,5L}{0,8\sqrt{H}} \quad (2-13)$$

حيث S : مساحة الحوض الساكن (Km^2) .

L : طول المجرى في الحوض حتى موقع السد (Km) .

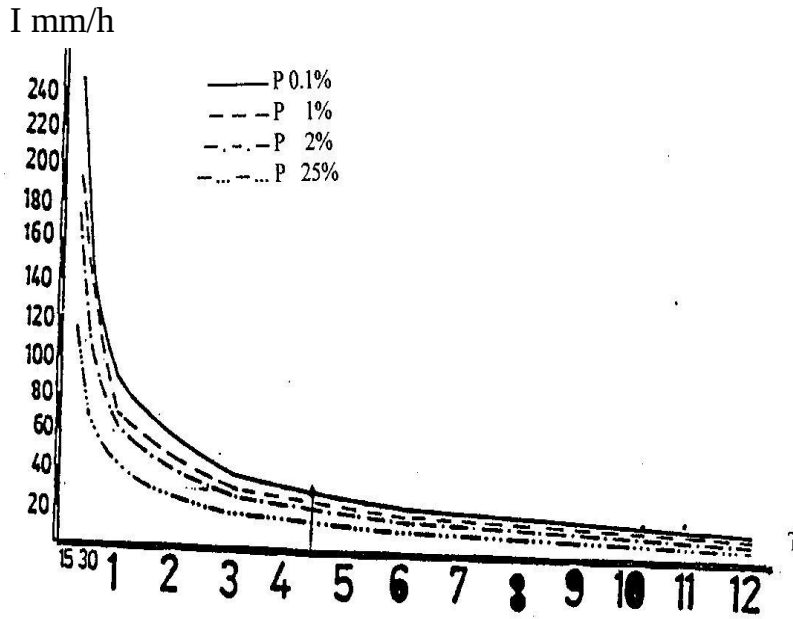
H : الفرق بالمنسوب بين منبع النهر (بداية المجرى) ومنطقة إنشاء السد.

ج- الشدة الوسطية للعاصفة المطرية :

يفترض لتقدير تدفق الفيضان بأن شدة الهطول تبقى ثابتة خلال فترة العاصفة المطرية استناداً لذلك فإن الشدة المطرية التي تدخل في حساب الفيضانات هي الشدة الوسطية للعاصفة المطرية .

على مختلف العواصف المطرية المولدة للفيضانات تجري دراسات إحصائية لتحديد العلاقة بين شدة الهطول واحتمال الحدوث ومن ثم اختيار شدة العاصفة المطرية ذات احتمال حدوث معين وذلك عند حساب تدفق الفيضان الذي على أساسه سيتم تصميم منشأة المفيض .

وكمثال على ذلك الشكل (٢-٥) يبين مخطط الشدة المطرية باحتمالات مختلفة $P_{25\%}$, $P_2\%$, $P_{0.1\%}$ لمنطقة (حوض الأبرش) .



الشكل (٢-٥) مخطط الشدة المطرية باحتمالات مختلفة (حوض الأبرش)

بعد تحديد العوامل السابقة . تقدير قيمة تدفق الفيضان يتم وفق العلاقة (2-3) وعندما $t_p = t_c$ يمكن الاعتماد على العلاقة التجريبية في حساب التدفق التصميمي الأعظمي للحوض الساكب .

$$Q_{\max} = I_{\max} \cdot C_r \cdot A \cdot K \quad (2-14)$$

حيث A : مساحة الحوض (Km^2) .

C_r : عامل الجريان السطحي .

K : ثابت يأخذ القيمة $K = 0,278$ للتحويل إلى m^3/sec .

$I_{\max}$: الشدة المطرية الموافقة لاحتمال الحدوث المعتبر mm/hour .

٤ - حساب المخزون الصافي السنوي لبحيرة السد :

معلومات عامة عن الحوز العلوي للسد :

مواصفات مناسيب الماء في الحوز العلوي للسد : الحجم الميت - المفيد - الحجم الاحتياطي للبحيرة .

في الحالة العامة يفرق بين مواصفات ثلاثة مناسيب للماء في الحوز العلوي للسد كما في الشكل (٦-٢) .

- منسوب الحجم الميت (D.S.L) Dead Storage Level .

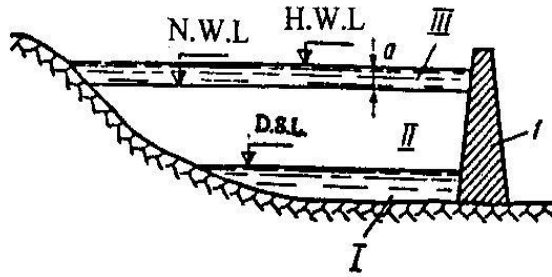
- منسوب التخزين الطبيعي (N.W.L) Normal Water Level .

- منسوب الفيضان (H.W.L) Head Water Level .

- منسوب الماء خلف السد (I.W.L) .

يعلو منسوب الماء الفيضاني فوق منسوب التخزين الطبيعي بمقدار $a \text{ m}$

ويسمى الارتفاع العابر لمنسوب الماء في الحوز العلوي .



الشكل (٦-٢) مواصفات مناسيب الماء في الحوز العلوي للسد

I- الحجم الميت II- الحجم المفيد III- الحجم الاحتياطي (الفيضاني)

$a = 0,2 \div 0,7 \text{ m}$ من أجل موجة فيضانية $P_{1\%}$ أما في حالة موجة فيضانية $P_{0,1\%}$ أو $P_{0,01\%}$

فإن الارتفاع يصل إلى $1 \div 3 \text{ m}$ فوق منسوب N.W.L .

تحدد المناسيب المذكورة أعلاه ثلاثة مواشير مائية في البحيرة :

الموشر I- الحجم الميت ، II- الحجم المفيد ، III- الحجم الفيضاني الاحتياطي .

بالمقارنة مع مواصفات مناسيب الماء في الحوز العلوي للسد والحجوم الناتجة عنها نبين ما يلي :

١- الحوز العلوي للسد (البحيرة) يمكن أن تملأ تدريجياً بالرواسب الناتجة عن الجرف . وحجمها خلال فترة 50 سنة يعطي الحجم الميت في البحيرة . وبذلك من السهل تحديد منسوب DSL . في بعض الحالات يحدد منسوب الحجم الميت بمنسوب عتبة المأخذ المائي أو المفرغ الذي يعلو منسوب قاع البحيرة .

٢- الحجم المفيد : هو حجم البحيرة الذي يستخدم لأغراض اقتصادية (ري- توليد طاقة كهربائية ... وغيرها) حيث في فترة الجفاف من السنة يعطى الماء إلى الحوز السفلي بواسطة المأخذ المائي . أما خلال فترة الفيضان فيمكن إملاء الحجم المفيد والفائض يمر عبر المفيضات الجانبية .

إن القيمة الضرورية للحجم الميت والمنسوب NWL المحدد لهذه القيمة تحسب مع اتخاذ الاعتبارات الاقتصادية المختلفة والوارد المائي والظروف الطبوغرافية لمنطقة السد . لدى تصميم السد فإن المنسوب NWL يجب اعتباره من المعطيات .

٣- إن قيمة الحجم المتوضع بين المنسوبيين NWL و DSL يحدد لأن قيمة المنسوب DSL معلومة وكذلك NWL .

٤- أما منسوب الماء الفيضاني يحصل عندما تمرر جميع فتحات المفيضات المائية ما يسمى بالتدفق الأعظمي الفيضاني .

٢-٢-٣-٥ توضع الرسوبيات أمام السد (في البحيرة) ومعالجة هذه الظاهرة :

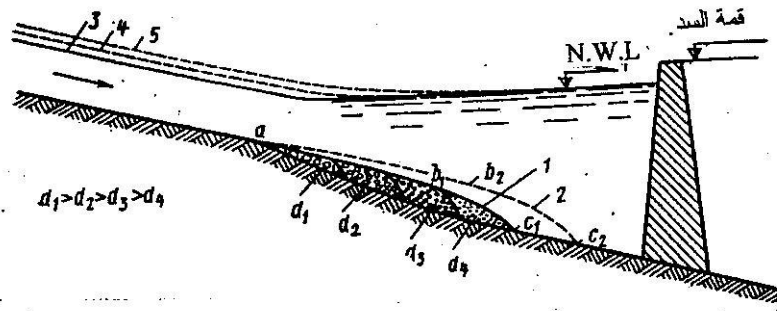
في الحالة العامة فإن التيار المائي الداخل إلى بحيرة السد يمكن أن ينقل مواد عالقة ومواد متحركة على القعر .

بمقدار الاقتراب إلى السد فإن سرعة حركة الماء تنقص لذلك فإن المواد المنقولة بالتيار يمكن أن تتوضع في البحيرة .

في البدء فإن الرواسب الخشنة تتوضع بشكل رئيسي في أعلى البحيرة وتتناقص أحجام الرواسب كلما تقدمنا في المجرى باتجاه السد .

يبين الشكل (٩-٢) المنحني $a \ b_1 \ c_1$ المحيط ببعض الحجوم من الرواسب المتوضعة حتى اللحظة t_1 كما هو مبين على الشكل فإن :

$d_1 > d_2 > d_3 > d_4$ حيث d قطر حبات الرواسب .



$$d_1 > d_2 > d_3 > d_4$$

الشكل (٩-٢) مخطط توضع الرواسب في بحيرة السد

١- سطح الرواسب المتوضعة في البحيرة في اللحظة الزمنية t_1 . ٢- سطح الرواسب المتوضعة في البحيرة في اللحظة الزمنية t_2 . ٣- منسوب الماء في الظروف الطبيعية . ٤- منسوب الماء في اللحظة الزمنية t_1 . ٥- منسوب الماء في اللحظة الزمنية t_2 .

مع مرور الزمن للحظة t_2 فإن توضع الرواسب يقترب من السد وفق الخط $a \ b_2 \ c_2$ مع ارتفاع الرواسب يرتفع منسوب الماء أمام السد . خط 5,4 .

البحيرة تمتلئ بالرواسب بعد زمن معين يقدر بـ :

$$T = \frac{V}{S} \text{ (سنة)}$$

V : حجم البحيرة .

S : حجم الرواسب المتوضعة بالسنة .

يلاحظ أحياناً بأن البحيرة تمتلئ بالرواسب خلال زمن قصير مثلاً بحيرات عدد من السدود في البادية امتلأت بالرواسب بشكل كامل خلال بضعة سنين . وهناك بحيرات لا تمتلئ عملياً بالرواسب مثل بحيرة سد بولدير (Boulder) على نهر كولورادو بالولايات المتحدة الأمريكية . حيث حسبت مدة امتلاء البحيرة بـ ٤٤٥ سنة .

إن ظاهرة امتلاء البحيرات بالرواسب تعتبر الأساس في تحديد عمر السد . وهناك عدة

تدابير لمعالجة هذه الظاهرة ولكنها غير فعالة في وقتنا الحاضر منها :

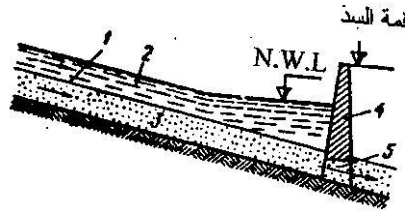
آ- تنظيف البحيرة بمساعدة طرق ميكانيكية (جرافات) .

ب- غسل الرواسب المتوضعة أسفل البحيرة بواسطة فتحات سفلية بالسد . في هذه الطريقة يحصل هدر كبير بمياه البحيرة وزد على ذلك بأنه يتم التأثير فقط على الرواسب القريبة من الفتحة .

من التدابير الأكثر فعالية في الوقت الحاضر ضد ظاهرة الرواسب في البحيرات نذكر :

آ- تنظيم المجرى من أعلى النهر بحسابات تقلل من كمية الجرف .

ب- عدم إملاء البحيرة بالماء عندما يحتوي على كمية كبيرة من الرواسب ، أي تفتح البوابات السفلية فتخرج الرواسب تحت ضغط الماء . شكل (٢-١٠) يعتبر هذا التدبير المذكور خطراً بعض الشيء حيث أن البدء بإملاء البحيرة بعد انتهاء الفيضان يمكن أن لا يؤدي إلى إملاء البحيرة بالماء بشكل كامل .



الشكل (٢-١٠) طرد الرواسب من فتحات سفلية

١- سقف الرواسب ٢- تيار الماء الصافي ٣- تيار المواد العالقة ٤- السد ٥- فتحة طرد