ادارة غسل الرسوبيات في خزانات السدود، سد الموصل حالة تطبيقية

ثائر محمود الطائي
استاذ مساعد مهندس
كلية الهندسة / جامعة الموصل

الرسوبيات في الخزانات:

هنالك بعض الفوائد لعمليات الترسيب في الخزانات وخاصة التي تحدث في مواقع متقدمة من بحيرات السدود ومداخل الخزانات منها :

1. تكون دلتا وجزرات في تلك المواقع والتي ستوفر مواطن بيئية متنوعة لعدد من النباتات المائية والطيور والاسماك والاحياء القاعية والعضوية.

2. نتيجة ازالة المواد العالقة من المياه المطلقة من السدود نتيجة ترسبها في الخزانات فأن هذه المياه المطلقة ستكون صافية خالية من المواد الرسوبية وبالتالي ستكون هنالك حاجة قليلة لمتطلبات تصفية المياه من الرواسب في محطات الاسالة مؤخر الخزانات وكذلك سوف لن يكون هنالك مشاكل انسدادات في منظومات الري او الاسالة المستخدمة مؤخر السدود كما ستكون مجاري المياه في هذه المناطق ملائمة لاغراض السياحة.

وفي نفس الوقت هنالك تأثيرات سلبية لعمليات الترسيب الحاصلة في خزانات السدود منها:

1- انخفاض حجم الخزين المائي الحي للخزانات .

2- زيادة احتمالية حدوث فيضانات مقدم الخزانات نتيجة ارتفاع مناسيب المياه هناك بسبب الترسبات.

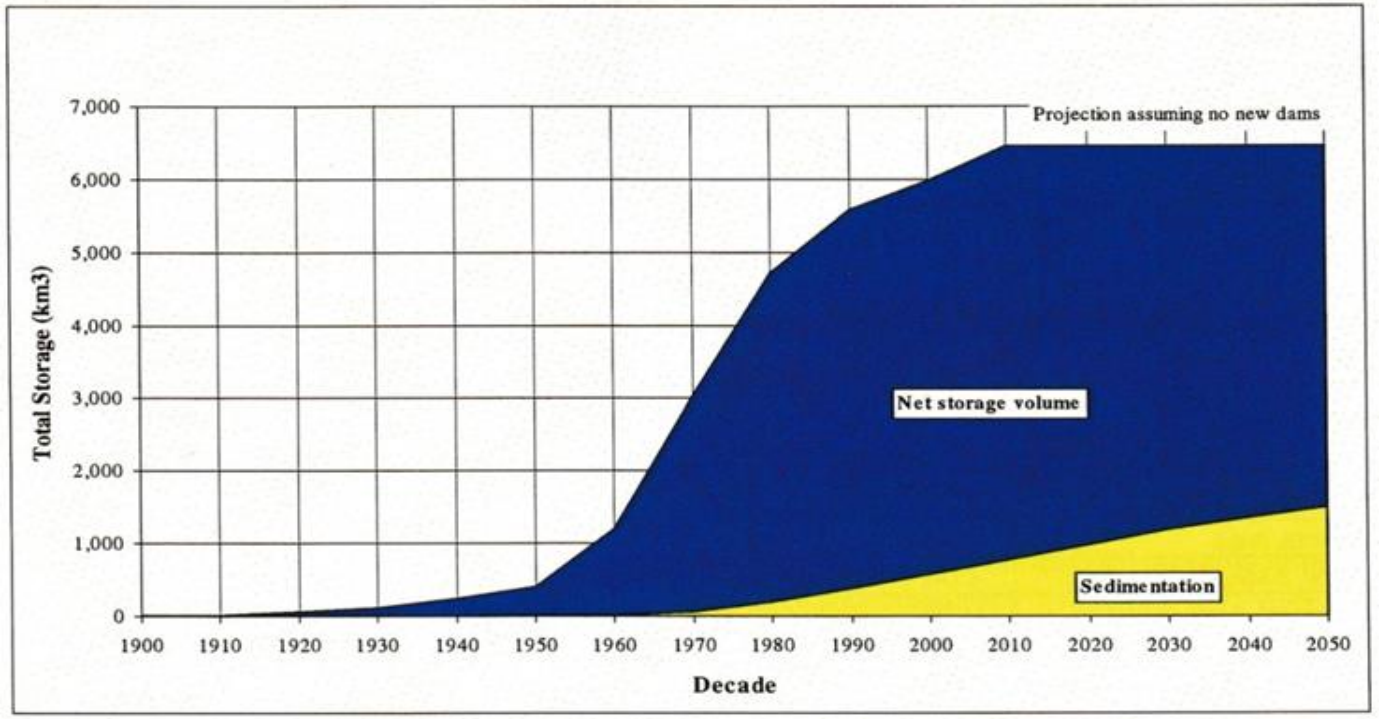
3- حدوث النحر Erosion مؤخر السدود في مجاري الانهار نتيجة ظهور ظاهرة النهر الجائع Sediment hungry riverنتيجة اطلاق مياه صافية ذات طاقة نحر عالية (Stream Power) ستؤدي الى حدوث مشاكل تعرية مؤخر السدود يمكن ان تؤثر على استقرارية منشات السد كما ستكون هذه المياه خالية من المعادن الاساسية والغرينية التي كانت تتواجد في مياه الفيضان قبل انشاء السد والتي كانت تترسب على ضفتي النهر.

اهمية دراسة الرسوبيات في الخزانات

- لم تعطى دراسات الرسوبيات في الخزانات الاهتمام الذي تستحقه في اكثر سدود العالم وخاصة في العراق والتي تعتبر ذات اهمية كبيرة في مثل هذه المشاريع الستراتيجية وذلك لعمليات الترسيب التي تتم تحت سطح مياه الخزانات وتاثيرات هذه الرسوبيات المتراكمة على تشغيل المنشآت الهيدروليكية للخزانات التي قد تمتلئ بالرسوبيات وتؤدي الى مشاكل عديدة واهمها هبوط في حجم الخزين الحي وبالتالي انحسار العمر الاقتصادي للخزان.

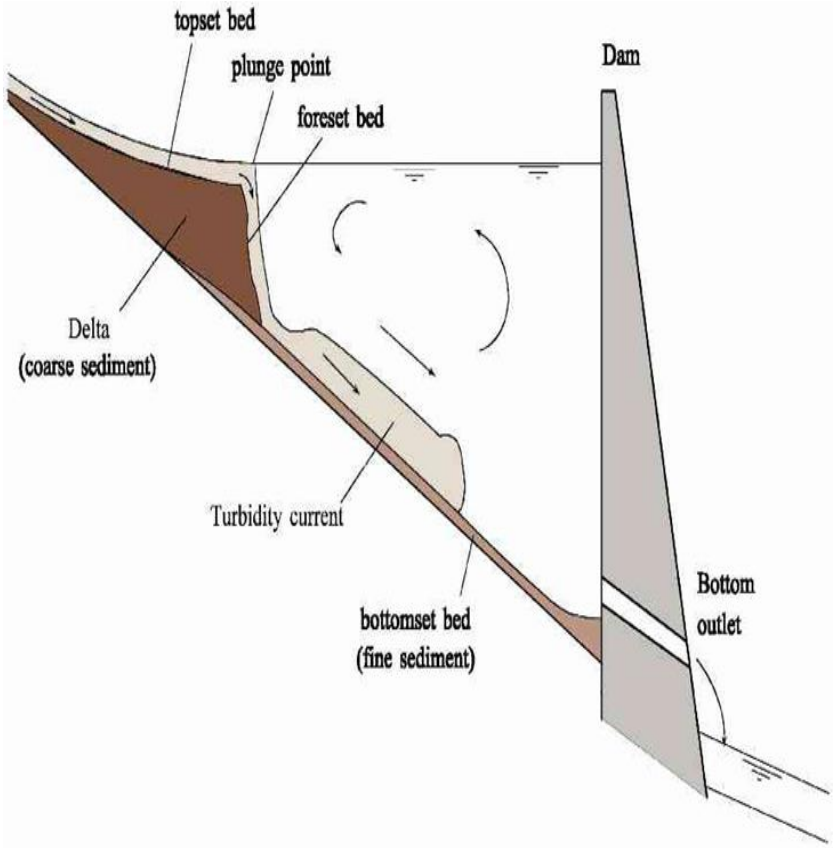
- يفقد سنويا في العالم حوالي (0.5-1)% من المياه العذبة المخزونة في الخزانات نتيجة هذه الرسوبيات وهذا يعني انه بوجود الان حوالي 50000 سد كبير في العالم يفقد منها 250-500 سد سنويا بسبب الرسوبيات والتي تعني خسارة مادية ومالية كبيرة.

الشكل يوضح فقدان الخزين المائي في الخزانات نتيجة عمليات الترسيب في السدود

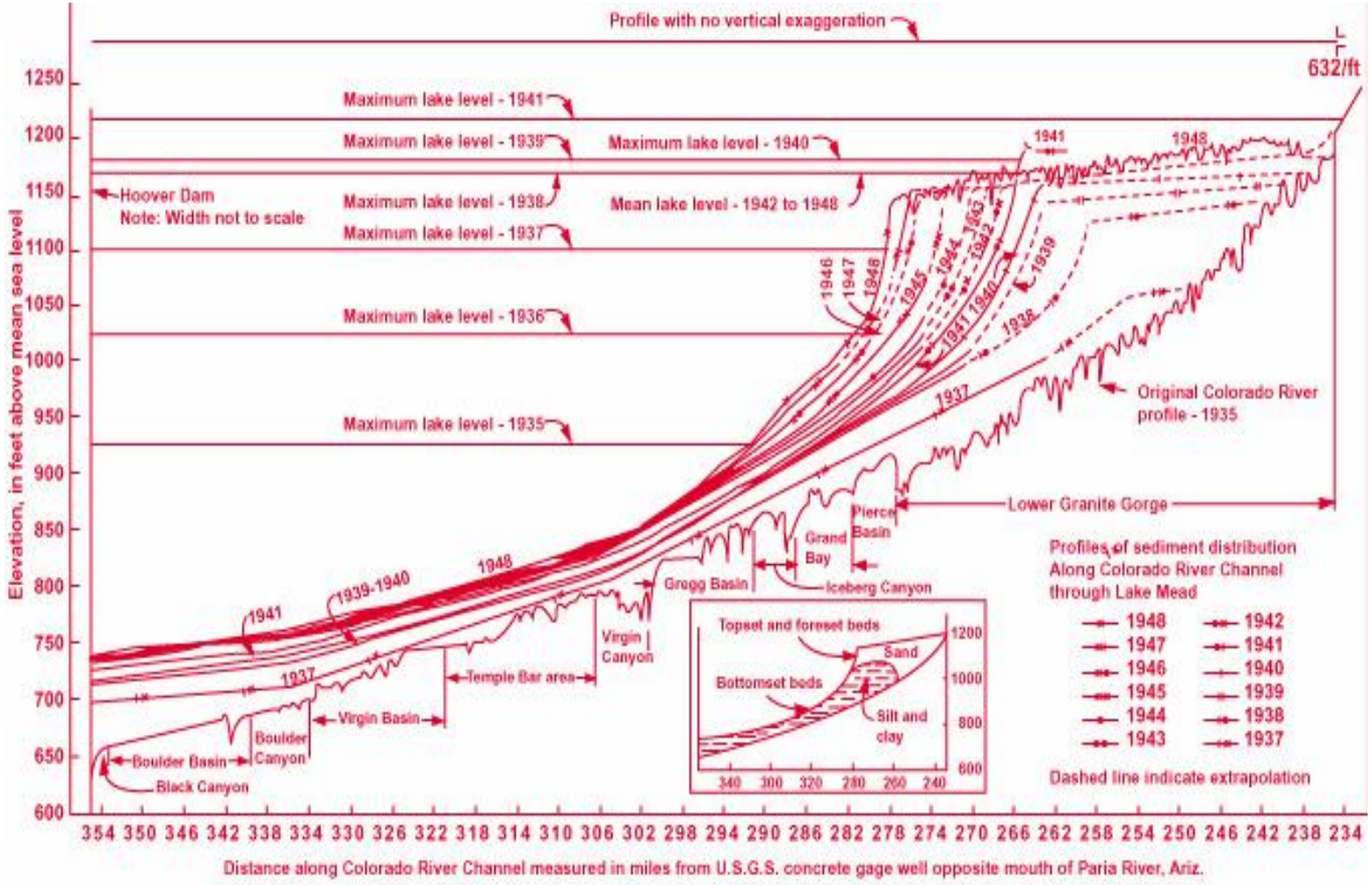


ميكانيكية الترسيب في الخزانات:

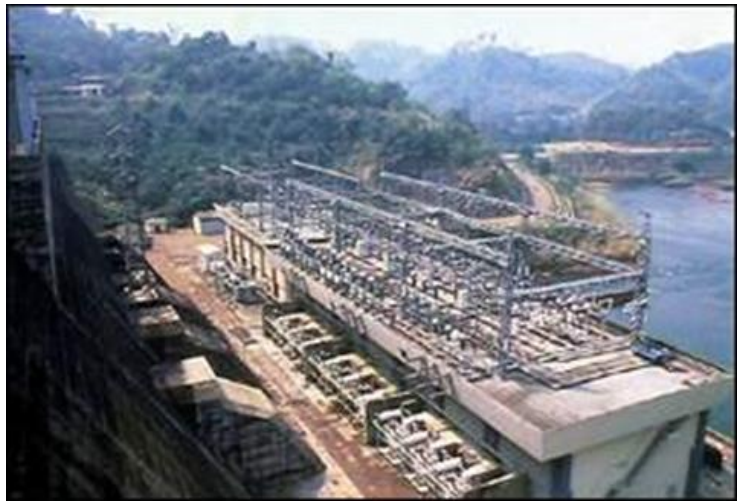
- يحدث الترسيب في الخزانات عندما يلتقي جريان النهر بمياه الخزان الساكنة مؤدية الى:
- 1. هبوط سرعة الجريان وبالتالي بدأ المواد الرسوبية الخشنة بالترسيب في مواقع متقدمة من الخزان مكونة دلتا والتي تعمل على رفع مناسيب الفيضان مقدم الخزان بينما تنتقل المواد الناعمة داخل الخزان وقد تترسب في م

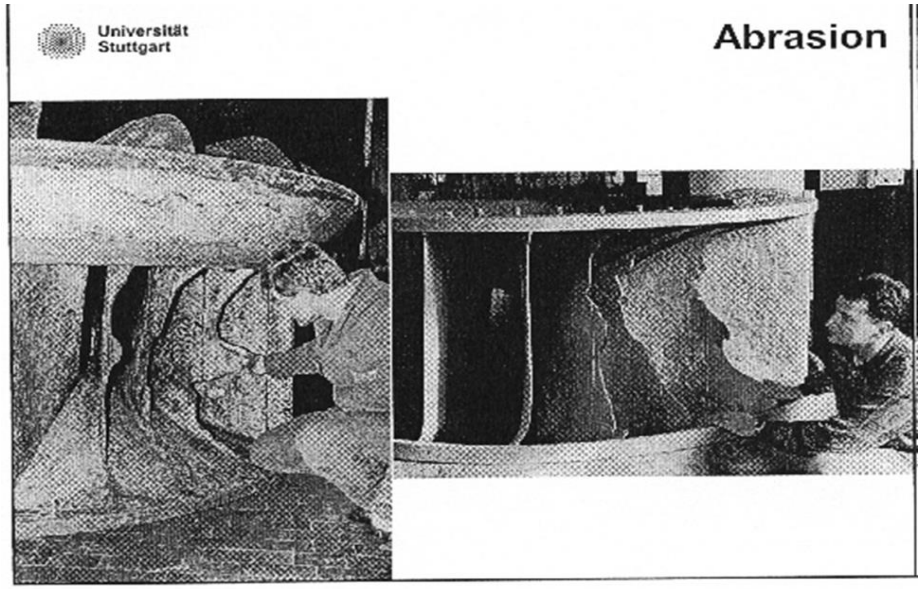


الرسوبيات في خزان كاماتيفا في زمبابوي



تراكم الرسوبيات في خزان سد هوفر المنشا على نهر كولورادو في امريكا خلال فترة عشرة سنوات من اشتغاله



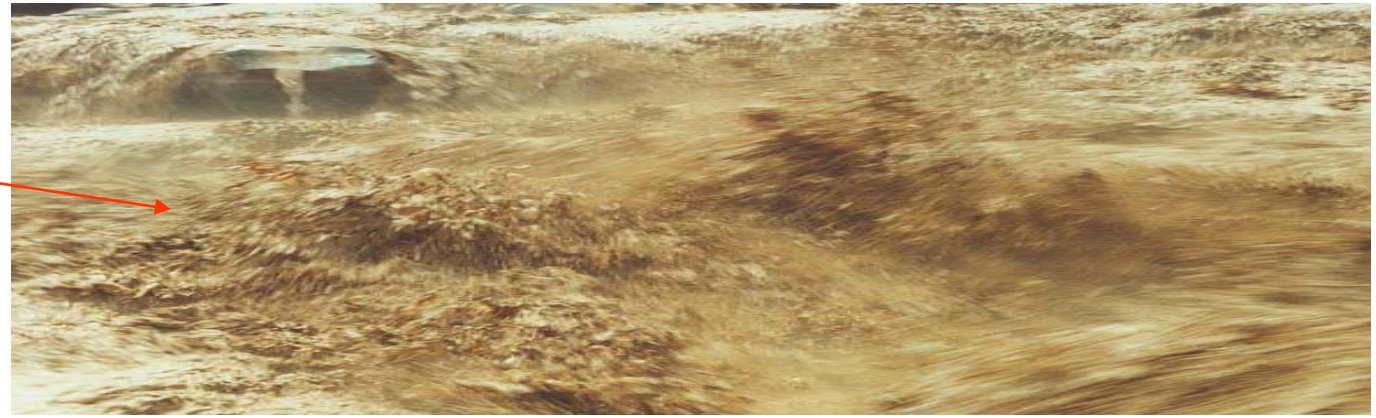


2. قد تقوم المواد الرسوبية الناعمة الزاحفة باتجاه جسم السد بسد فتحات المآخذ الهيدروليكية والانفاق في منشات محطات الضخ داخل الخزان وتقليل كفاءتها وقد تؤدي الى تدمير التوربينات في محطات التوليد الكهرومائية.

العوامل المؤثرة على كمية الرسوبيات المنقولة الى داخل الخزانات:

- حجم حوض البزل الى الخزان.
- نوع الصخور والتربة المكونة للحوض.
- كثافة وديان حوض البزل Drainage density.
- ميل حوض البزل Slope of basin .
- شدة وكمية الامطار الساقطة Rainfall intensity .
- الغطاء النباتي Vegetation cover.

أراضي جرداء



جريان الرسوبيات نتيجة عمليات التعرية

وتتزايد احتمالية عمليات النحر التي تؤدي الى زيادة الانتاج الرسوبي في الخزانات في الاراضي الغير مزروعة والغير مخدومة من قبل الانسان مع تواجد الحفر والمقالع وغيرها من النشاطات البشرية غير الزراعية .

ادارة الرسوبيات في الخزانات:

- لتعويض النقص الحاصل في الخزين المائي سنوياً نتيجة الرسوبيات قد يتطلب انشاء ما يقارب 250-500 سد اضافي في العالم ولكن في نفس الوقت قد لا تتوفر مواقع جيدة لانشاء هذه السدود والتي تكلف مبالغ طائلة وقد ينتج عن انشاءها في مواقع غير صحيحة مشاكل بيئية واجتماعية وازمات سياسية.

- في نفس الوقت هنالك بعض التقنيات قد تعتبر غير مكلفة اقتصادياً ويمكن اعتمادها من قبل المختصين في ادارة الخزانات والتي تقلل وتمنع فقدان الخزين المائي او تستعيد جزء من حجم الخزين المفقود في الخزانات نتيجة الرسوبيات وأحد هذه التقنيات هي عمليات (غسل الرسوبيات) حيث اثبتت هذه التقنية فعاليتها الفنية في العالم باستعادة جزء كبير من الخزين المائي المفقود نتيجة الرسوبيات كما في حدث في سد تربيلا في الباكستان عام 1979.

سد تربيلا (الباكستان)

تقنيات ادارة الرسوبيات في الخزانات:

1. ازالة الرسوبيات المتجمعة في الخزانات خلال اجراء عملية غسل الرسوبيات في الخزانات flushing processes

2. تقليل عمليات وفرص الترسيب في الخزانات خلال عمليات الدفق الفيضي sluicingخلال اطلاق موجة الفيضان الداخلة الى الخزان كليا مباشرة خارج الخزان عن طريق فتحات المنافذ السفلى .

3. تحويل واطلاق التصاريف العالية المحملة بالرسوبيات الى مؤخر الخزان قبل دخولها الخزان وذلك بانشاء مجرى تحويلي Bypass من مقدم الخزان الى مؤخره.

4.تحديد مواقع تجمعات الرسوبيات في الخزانات وازالتها بواسطة طرق الحفر الميكانيكية والهيدروليكية . excavation

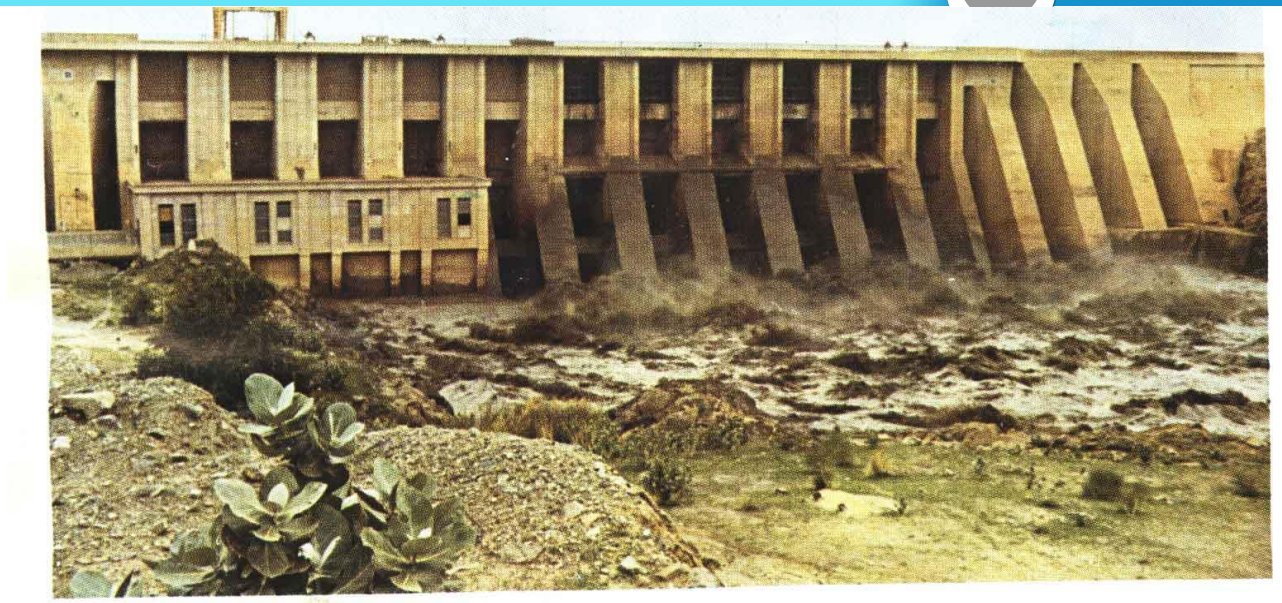
الدفق الفيضي Sluicing :

هي عملية امرار مياه الفيضان الداخلة الى الخزان المحملة بالرسوبيات كليا مباشرة الى خارج الخزان اثناء موسم الفيضان دون خزنها وبدون تخفيض منسوب مياه الخزان وقد تستمر هذه العملية عدة اسابيع من السنة

غسل الرسوبيات Flushing

- هي عملية تخفيض منسوب المياه في الخزان بشكل كلي او جزئي بشكل كفوء في اي وقت لاعادة نحر الترسبات المتجمعة في قعر الخزان وغسلها خارج الخزان خلال فتحات المنافذ السفلى Bottom outlets نتيجة زيادة في سرعة الجريان داخل الخزان.

- وبهذا يكون الفرق بين الدفق الفيضي والغسل هو ان الدفق الفيضي يقوم بدفع المواد الناعمة فقط المتواجدة مع مياه الفيضان الداخلة الى الخزان دون الحاجة الى تخفيض منسوب الخزان بينما يتم الغسل بدفع المواد الناعمة والخشنة معا مع تخفيض المنسوب في اوقات مختلفة من السنة.



عملية غسل الرسوبيات في سد خشم الجربة في عام 1995 في السودان

انواع عمليات الغسل Types of Flushing

- يصنف الغسل الى صنفين :

1. الغسل تحت الضغط Flushing under pressure
2. الغسل الحر Free flow flushing

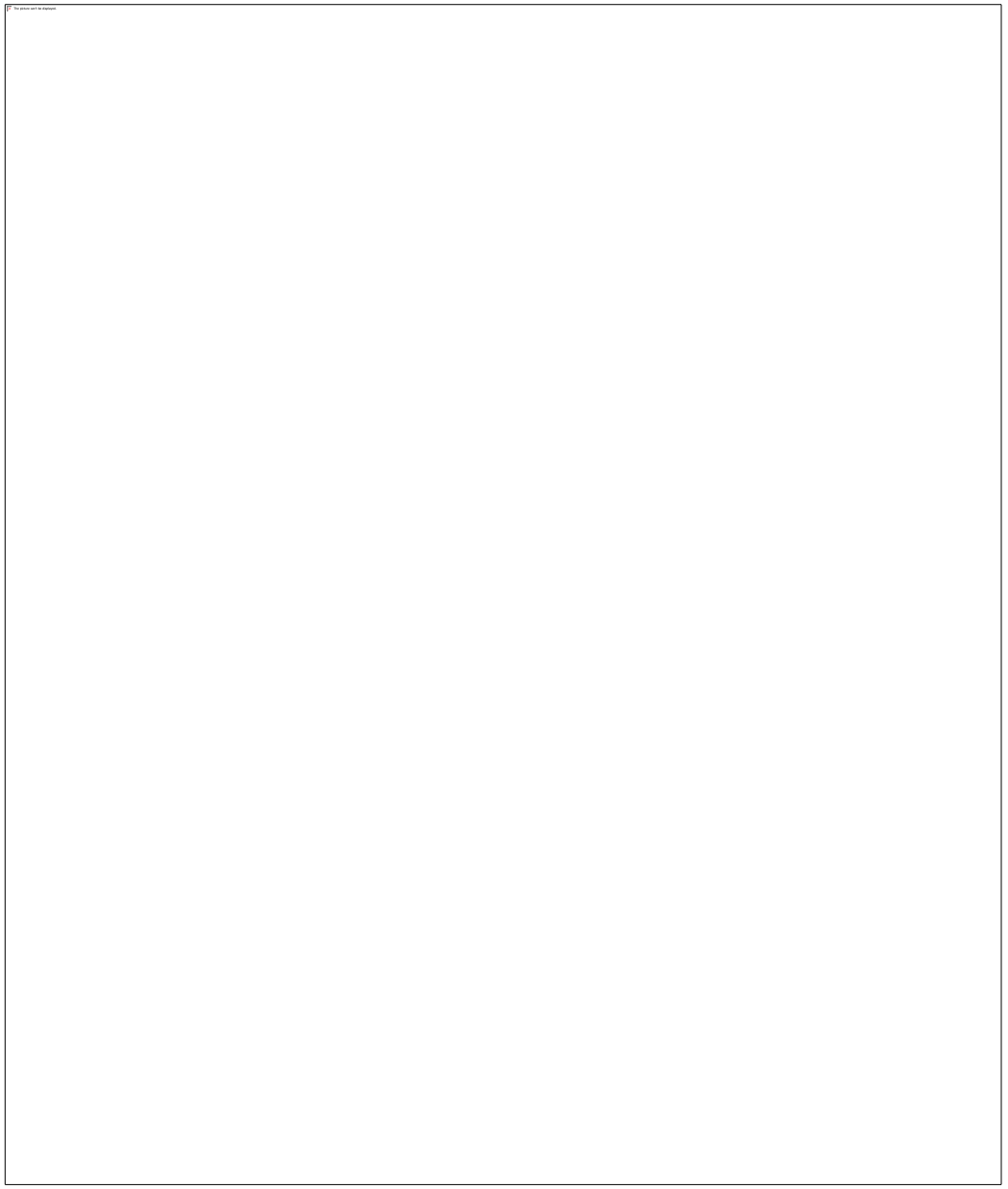
تتم عملية الغسل تحت الضغط عند اجراء الغسل بدون تخفيض لمنسوب المياه في الخزان في اي وقت من اوقات السنة وقد تسبب العملية على نحر جزء الرسوبيات القريب من جسم السد فقط وتفضل الطريقة في الخزانات التي يكون فيها نسبة (C/I) قليلة مع وجود فتحات كبيرة للغسل.

- بينما تتم عملية الغسل الحر عندما يتم تخفيض منسوب المياه في الخزان واطلاق جميع المياه المخزونة خارجا وبهذا ستمثل المياه الداخلة للخزان انذاك قوى نحر ذات طاقة عالية وسوف يكون هناك جريان حر كحالة جريان النهر الاصلي قبل ملئ الخزان. وتفضل هذه الطريقة في الخزانات التي تكون فيها تصاريف المياه الداخلة السنوية للخزان كبيرة لتعويض النقص الحاصل في مياه الغسل.

ميكانيكية عملية الغسل :

باحثون كثيرون قاموا بتحليل ودراسة ميكانيكية عملية غسل الرسوبيات في الخزانات وقاموا بتصنيف هذه العملية الى ثلاث اصناف:

- **الصنف الأول:** عندما تتم عملية الغسل مع بقاء منسوب المياه في الخزان مرتفعاً Flushing Under Pressureحيث تكون سرعة الجريان في الخزان قليلة جداً لتحريك الرسوبيات وخاصة الخشنة منها باستثناء المواقع القريبة من فتحات المنافذ السفلى للغسل حيث يتم نحر وتحريك المواد الرسوبية الموقعية القريبة من هذه المنافذ فقط ومن ثم اطلاقها خارج الخزان
- **الصنف الثاني:** وهي عندما يتم الغسل مع هبوط منسوب المياه في الخزان الى مناسيب متوسطة حيث تزداد سرعة الجريان في مقدم الخزان لتقوم بنقل وتحريك الرسوبيات الخشنة الى مواقع قريبة من فتحات الغسل في جسم السد.
- **الصنف الثالث:** عند تخفيض منسوب المياه في الخزان الى مناسيب فتحات المنافذ السفلى حيث يتم نحر جميع الرسوبيات المتجمعة قرب المنافذ السفلى ومن ثم اطلاقها خارج السد.



وقد استنتج الباحثون على أن منسوب المياه في الخزان يجب أن يتم تخفيضه الى منسوب فتحات المنافذ السفلى حتى تكون عملية الغسل فعالة(Fig. a).

وأن تخفيض منسوب المياه لمديات متوسطة (Fig. b) سيؤدي الى زيادة نحر المواقع القريبة من فتحات الغسل فقط مع انتقال الرسوبيات المتجمعة في مواقع متقدمة من الخزان الى الامام وبالتالي سوف تترسب قرب منافذ السد مؤدية الى بعض الانسدادات في المنافذ السفلى (Fig.c)

العناصر الاساسية في تحديد كفاءة الغسل المقرة من قبل المركز العالمي لبحوث التعرية والترسيب :IRTCES

تعتمد كفاءة الغسل في الخزانات على عدة عناصر:

1. الموقع الطوبوغرافي للخزان 2. شكل الخزان 3.سعة المنافذ السفلى 4. منسوب المنافذ السفلى

5. الخواص الرسوبية للمياه الداخلة للخزان 6. برنامج تشغيل الخزان 7. وقت الغسل خلال السنة

8.التصريف المستخدم للغسل 9. منسوب المياه اثناء الغسل 10.والزمن اللازم للغسل.

وحسب المركز العالمي لبحوث التعرية والترسيب (IRTCES, 1985) هنالك متطلبين اساسيين يمكن اعتمادهما لتحديد كفاءة الغسل الناجح:

1 . ان الرسوبيات المغسولة والمارة خلال فتحات المنافذ السفلى للسد يجب ان تساوي او تزيد عن الكميات المترسبة بين فترات الغسل وتقاس بالعلاقة sediment balance ration (SBR)

2. ان حجم الخزين الذي يمكن استعادته او صيانته خلال عملية الغسل يجب ان يعادل جزء كبير من حجم الخزان الاصلي قبل حدوث عملية الترسيب فيه، ويقاس حجم الخزين المستعاد بالعلاقة (LTCR) long term capacity ratio

الهدف من البحث الحالي :

إستنباط قيم بعض المعايير الهيدروليكية والهيدرولوجية لعملية غسل الرسوبيات في الخزانات وتطبيقها على خزان سد الموصل في العراق لتخمين الجدوى الفنية لعملية غسل الرسوبيات فيه.

البيانات:

تم اعتماد بيانات هيدروليكية وهيدرولوجية وطوبوغرافية وتشغيلية عن مايقارب 94 خزان (سد) في العالم تمت عمليات الغسل في قسم منهم بنجاح وقسم منهم لم تنجح بالاعتماد على الدراسات التي قامت بها اللجنة الدولية للسدود الكبيرة ICOLD

تحليل البيانات:

تم تحليل البيانات وبالاعتماد على بعض العلاقات الاساسية والمعايير التي اعتمدت من قبل المركز العالمي لبحوث التعرية والترسيب IRTCES,1985 وهي :

(SBR) sediment balance ratio

(LTCR) long term capacity ratio

(DDR) draw down ratio

كما تم التوصل من تحليل البيانات الى معايير اخرى تتعلق باشتغال الخزانات والنظام الهيدرولوجي والمناخ ومواقع المنافذ السفلى واتجاهها وسعتها وكما يلي:

(SBR) Sediment balance ratio

هي نسبة الموازنة الترسيبية وهي التي تحدد كفاءة الغسل وهي (كمية الرسوبيات المغسولة الى كمية الرسوبيات المترسبة في الخزان بين فترات الغسل.

تم اعتماد العلاقات التجريبية التي تحدد كمية الترسبات المغسولة والمترسبة بالاعتماد على بعض العلاقات الاساسية التي وضعت من قبل IRTCES,1985 وهي:

SBR= Qs n Tf / N Min TE

حيث ان:

Qs تصريف الرسوبيات المغسولة (طن/ ثانية)

Tf زمن الغسل (يوم)

Min كمية المياه الداخلة للخزان (طن /سنة)

TE كفاءة الترسيب (نسبة الرسوبيات المترسبة على سعة الخزان)

n هي عدد الثواني في اليوم (86400)

N الفترة بين اوقات الغسل (سنة)

والعلاقة الاساسية التي اعتمدت من قبل المركز العالمي للتعرية والترسيب والتي تحدد تصريف الرسوبيات المغسولة هي:

$$Qs = \text{function of } \Psi\ (Q_f\ S\ /W)$$

حيث ان:

ψ هو ثابت يعتمد على حجم مواد الرسوبيات (D50)

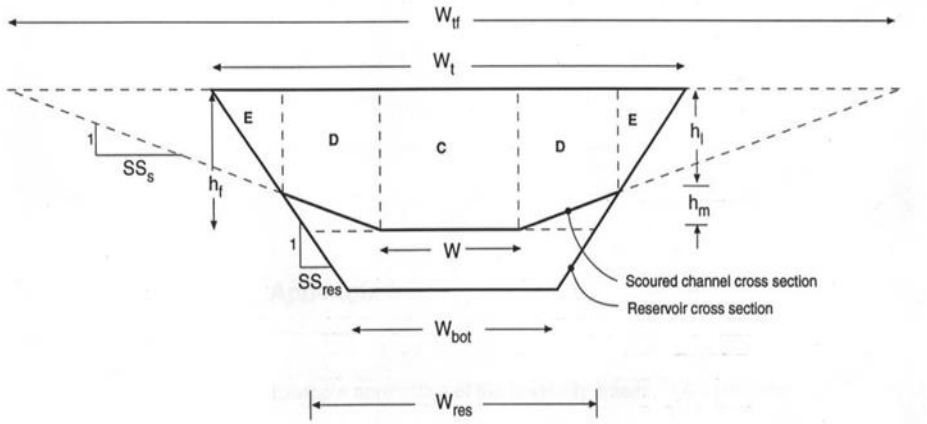
S ميل قعر الخزان

W عرض مقطع الجريان اثناء الغسل

Q_f التصريف المستخدم في الغسل

(LTCR) Long term capacity ratio:

وهي السعة الخزنية المتبقية بعد عملية الغسل على السعة الاصلية للخزان قبل حدوث الترسيب حيث يمكن الحصول على السعة المتبقية من المقاطع النهائية لعمليات المسح بعد الغسل الفعلي ، ويمكن حسابها من العلاقات التي اعتمدت من قبل المركز العالمي لبحوث التعرية والترسيب ايضا.



وللحصول على غسل ناجح تم التوصل من تحليل بيانات السدود الى ان وجوب ان تكون LTCR > 0.7

DDR (Draw down ratio)

- وهي نسبة الهبوط في مياه الخزان اثناء الغسل ويمكن حسابه من العلاقة التالية:

- $\mathbf{DDR} = 1 - (E_{lf} - E_{lmin})/(E_{lmax}-E_{lmin})$

- حيث ان:
- E_{lf} = منسوب المياه اثناء الغسل
- E_{lmin} = اقل منسوب في الخزان
- E_{lmax} =اقصى منسوب في الخزان

- وللحصول على غسل ناجح تم التوصل الى وجوب ان تكون: **DDR > 0.8**

- **(Capacity inflow ratio) C/I**
  - وهي نسبة السعة الخزنية للخزان الى معدل حجم المياه السنوية الداخلة للخزان.
  - وللحصول على غسل ناجح فقد تم التوصل الى وجوب ان يكون **C/I < 0.3**

- **(Sediment potential) SP**
  - وهي نسبة كمية الترسبات السنوية الداخلة الى السعة الخزنية الاصلية
  - لغسل ناجح تم التوصل الى وجوب ان تكون هذه النسبة: **SP > (1)%**

Hydraulic operation condition

- للحصول على غسل كفوء تم التوصل الى وجوب ان تساوي تصاريف الغسل مرتين على الاقل من المعدل السنوي للجريان الداخل للخزان ($Q_f > 2\ Q_{in}$)

- كذلك وجوب ان يساوي حجم مياه الغسل على الاقل 10% من معدل حجم الجريان السنوي الداخل للخزان ($V_f/V_{in} > 10\%$)

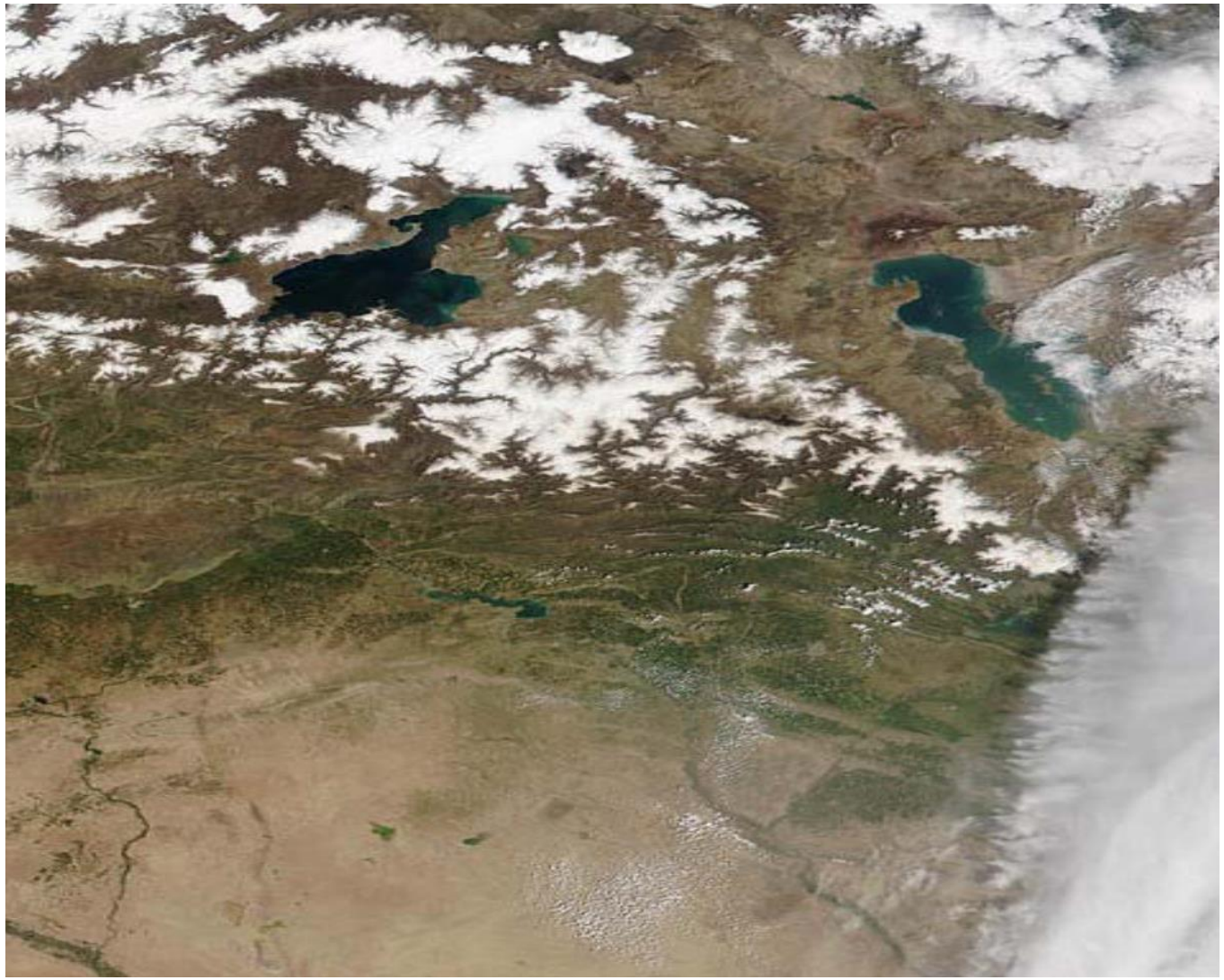
- **(Shape of reservoir)**

- تم التوصل الى ان الغسل الكفوء يحدث في الخزانات الضيقة التي لها ميول جانبية وميل طولي شديد اكثر من الخزانات العريضة الضحلة وخاصة اذا كانت نسبة عرض الخزان الى طوله اقل من 0.1 $W/L < 0.1$

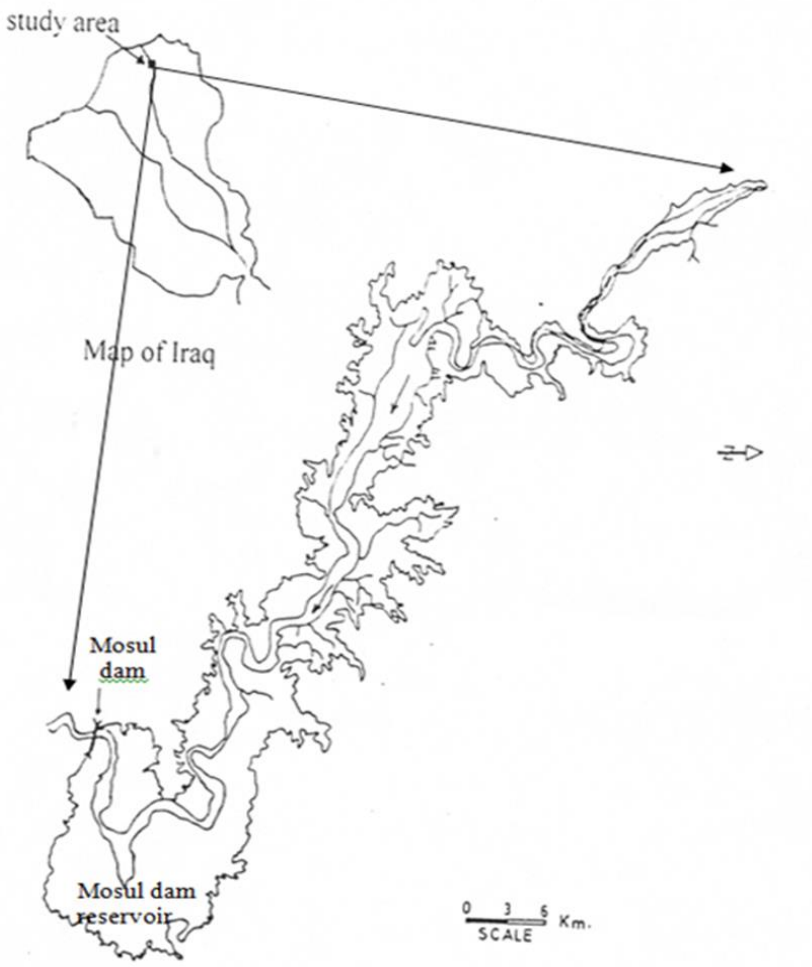
Quantity of water available for flushing

- تم التوصل الى ان الخزانات التي تقع ضمن مواقع ومناخات يتواجد فيه هيدروغرافات سنوية منتظمة للجريان مع وجود فيضانات موسمية تعتبر من الظروف الهيدرولوجية المناسبة للغسل وذلك لامكانية اعادة ملئ الخزان بعد تفريغه بعملية الغسل ويمكن ان تتمثل مثل هذه الظروف الهيدرولوجية بوجود ذوبانات للثلوج السنوية في الربيع والصيف في حوض التغذية لمقدم الخزانات كما في منابع نهر دجلة في تركيا.

صورة توضح حوض تغذية نهر دجلة في تركيا وتراكمات الثلوج فيه



امكانية غسل الرسوبيات في سد الموصل (Mosul Dam)



يعتبر سد الموصل في العراق من السدود متعددة الاهداف ومنها السيطرة على فيضان نهر دجلة وتوليد الطاقة الكهربائية وكذلك تزويد مشاريع الري بالمياه.

- بعد مرور اكثر من 35 عام على تشغيل سد الموصل (منذ عام 1985) ولعدم انجاز أي مسح مورفولوجي مقطعي كامل لقعر الخزان وذلك لمعرفة كمية وعمق الرسوبيات في الخزان ومدى تاثيرها على عمر الخزان التصميمي باستثناء بعض التخمينات التي اعتمدت على مسح بسيط لبعض المقاطع القريبة جدا من جسم السد وبعض المسوحات الرقمية لبرامج حاسوبية يتوقع الان بوجود تراكم كميات من الترسبات في خزان السد والتي ربما قد تؤدي في المستقبل الى مشاكل تشغيلية كما تم ذكرها في بداية العرض.
- وان اقتراح انجاز عملية غسل الرسوبيات من الخزان تعني تفريغ الخزان كليا او جزئيا وهذا يعني خسارة كميات كبيرة من المياه قد تتطلبها المحطة الكهربائية لتوليد الكهرباء وكذلك مشاريع الري مؤخر السد ومنها مشروع ضخ ري الجزيرة الشمالي في العراق ومشاريع مياه الاسالة للمدن الواقعة على نهر دجلة .
- لهذا وقبل اقتراح اجراء عملية الغسل في سد الموصل تم تطبيق المعايير المستنبطة من تحليل البيانات التي تم جمعها من العديد من خزانات العالم التي تم اجراء فيها عمليات الغسل على خزان سد الموصل للتوصل الى تخمين اولي لجدوى تطبيق عملية غسل الرسوبيات فيه.

نتائج قيم تطبيق معايير الغسل في سد الموصل:

- يوضح الجدول نتائج قيم المعايير المستحصلة من تطبيق معايير غسل الرسوبيات في العالم على خزان سد الموصل في العراق ومقارنتها مع قيم معايير الغسل الناجح في السدود التي تم التوصل اليها في هذا البحث.

SBR	DDR	LTCR	Q_f/Q_{in}	V_f/V_{in} %	TE %	SP %	Shape W/L	C/L
31.5	0.7	0.75	5	53	95	0.5	0.062	0.6
7<	0.7<	0.7<	2<	10<	5<	1<	0.1>	0.3>

الاستنتاجات

من خلال تحليل البيانات الخاصة بالخزانات التي تم جمعها في البحث وتطبيقها على سد الموصل فقد تم التوصل الى بعض المعايير الاساسية التشغيلية والتصميمية لاعتمادها في عمليات غسل الرسوبيات الناجح منها:

1. ضرورة تخفيض منسوب المياه في الخزان الى ادنى المستويات اثناء اجراء غسل الرسوبيات.
2. ضرورة زيادة تصاريف الغسل المطلقة لاقصى حد (معايير تشغيلية) .
3. ضرورة زيادة ابعاد فتحات الغسل (معايير تصميمية).
4. ضرورة تخفيض موقع فتحات الغسل لادنى منسوب (معايير تصميمية) .
5. ضرورة ملاءمة موقع الفتحات مع اتجاه الخزان بشكل عام (معايير طوبغرافية).
6. ضرورة زيادة زمن الغسل (معايير تشغيلية).
7. اجراء عملية الغسل في المواسم التي ياتي بعدها مواسم جريانات عالية تدخل الخران كذوبان الثلوج في احواض تغذية هذه الخزانات وذلك لاعادة ملئها من جديد (معايير تشغيلية).

8. وجود تضيق في الخزان وزيادة في شدة ميل الضفاف (معايير طوبغرافية).
9. بزيادة ميل قعر الخزان (معايير طوبغرافية)
10. كلما كان شكل الخزان مستقيما (معايير طوبغرافية).
11. كلما كانت الرسوبيات ناعمة (معايير تتعلق بنوع الرسوبيات)..
12. كلما تعرضت الرسوبيات الى اقل انضغاط (أي اقل وقت للإقامة في الخزان) Residence Time (معايير تتعلق بظروف الترسيب وتشغيل الخزان).
13. اخيرا ضرورة ان تكون قيم معايير الغسل المحسوبة لاي سد اكبر اوتساوي القيم التي تم التوصل اليها في البحث الحالي في جدول النتائج وهذا ماتمت ملاحظته عند تطبيقها على سد الموصل بشكل عام واستنتاج وجود جدوى من عملية الغسل فيه.

التوصيات:

من خلال تطبيق المعايير الفنية لعمليات غسل الرسوبيات والتي تم التوصل اليها في البحث على خزان سد الموصل:

1. يوصي الباحث بتطبيق عملية الغسل في خزان سد الموصل في المستقبل حيث يمكن ان تنجح الى حد ما مع انجاز عمليات مسح لقعر الخزان بعد الغسل للتاكد من نجاح عملية الغسل.

2. يوصي بتقييم التاثيرات البيئية لعملية الغسل في سد الموصل على مجرى النهر مؤخرالخزان.

الفائدة العملية من نتائج البحث:

ان قيم المعايير الحالية التي تم إستنباطها لعمليات غسل الرسوبيات في الخزانات ستساعد المهندسين العاملين في حقل تصاميم السدود والخزانات والمشغلين للسدود معرفة كفاءة او الجدوى الفنية من عملية الغسل قبل تنفيذ عملية الغسل على السد المعني واخذها بنظر الاعتبار عند اختيار موقع السد وخلال مرحل التصاميم والتي سيتم الاخذ بنظر تصميم فتحات سفلى خاصة للغسل لها في جسم السد المزمع إنشاءه لتنفيذ عمليات الغسل.

انتهى
شكرا لاصغائكم