

السدود الترابية (التعريف بها-أهميتها-أسباب التسرب وإدارته)

1- مقدمة عامة:

لقد بنيت السدود الضخمة لدرء أخطار الفيضانات، وري الأراضي الزراعية، وتوليد كميات هائلة من الطاقة الكهربائية باستغلال قدرات الطبيعة الكامنة في الماء المحجوز، فالسدود غيرت منذ زمن مضى معالم واضحة في الحضارة البشرية. تعتبر السدود من الإنشاءات الهندسية القديمة جداً، فقد بنيت أوائل السدود في العالم قبل أكثر من 5000 سنة، حيث كان المصريون القدامى السباقون لبناء أول وأضخم السدود التي عرفت البشرية، وليس هذا فحسب، بل ابتكروا أيضاً العديد من النماذج المختلفة للسدود الكفيلة بمقاومة جبروت مياه الأنهار العنيفة.

تعد السدود الترابية من أهم المنشآت الهندسية للحماية من الفيضان والتحكم به، وتتعرض لتسرب المياه بحكم تماسها المستمر معها وقد تتعرض لخطر الانهيار بسبب تعدد العوامل التي تؤثر على التسرب عبرها كمواد الإنشاء والعوامل الجوية وظرف الاستثمار وغيرها [1،2]، حيث تبين الإحصائيات العالمية أن مشاكل التسرب هي السبب الأكثر شيوعاً لانهيار معظم السدود الترابية [3]. يبين الشكل (1) نموذج لسد



الشكل رقم 1: نموذج لسد

2- السدود الترابية:

2-1- تعريف السد الترابي: هو حاجز ترابي كُتِمَ يعترض المجرى المائي مشكلاً خلفه بحيرة كبيرة. ومن الأمثلة على السدود في أحواض الجمهورية العربية السورية:

حوض اليرموك: تشمل محافظات درعا والسويداء والقنيطرة، أقيم في حوض اليرموك 14 سداً، إضافة لسد الوحدة (المقارن) الذي هو قيد الإنشاء بين سورية والأردن. تخزن هذه السدود كمية من المياه تقدر بنحو 6.224 مليون متر مكعب، عدا سد الوحدة الذي يخزن لوحده 522 مليون م³.

حوض بردي والأعوج: أقيم في هذا الحوض سبعة سدود، لأجل درء أخطار الفيضانات والترشيح لتغذية المياه الجوفية ولسقاية الثروة الحيوانية وكذلك لأغراض سياحية. تحتزن هذه السدود كمية من المياه تبلغ نحو 8.282 مليون متر مكعب، وتروي ما مساحته 17500 هكتار من الأراضي في محافظة دمشق وريفها.

حوض حلب: يتكون من حوضين، هما حوض نهر قويق وحوض سبخة الجبول، وقد أقيم سدان في هذا الحوض، هما سد الساجور وسد السابع عشر من نيسان على نهر غفرين. ويمكن العودة إلى المجموعة الإحصائية السورية، للاطلاع على السدود المختلفة في سورية، حسب توزيعها على الأحواض المائية السورية.

2-2- تصنيف السدود الترابية من حيث مادة الإنشاء:

أ- سدود ترابية طبيعية: يكون أكثر من 50% من حجم السد من التربة الغضارية ناعمة الحبيبات والتربة الرملية أو الحصوية الرملية

ب - سدود ركامية: يتألف القسم الأساسي من جسم السد من ترب زلطية حصوية خشنة أو فتات صخري وتحتوي على عنصر مضاد للرشح مقاوم من تربة غضارية أو الترب ناعمة الحبيبات (سلت- سلت غضار ي- غضار رملي).

ج- سدود حجرية: يتألف القسم الأكبر من ترب خشنة الحبيبات (كتل حجرية) والعنصر المضاد للارتشاح فيقام من مواد لا ترابية (جدران حاجزة داخلية - حواجز رقيقة) ويمكن استخدام الفولاذ أو الرقائق البلاستيكية أو الخرسانة الإسفلتية أو العادية في بنائه. وقد أدى توفر تلك المواد في سوريا إلى انتشار السدود الترابية بشكل كبير وتم استخدامها بشكل واسع لقلة كلفة الإنشاء نتيجة توافر المواد الأولية [4].

لكافة هذه السدود مقطع عرضي على هيئة شبه منحرف مع خط محيطي مستقيم أو منكسر لميل الواجهتين الأمامية والخلفية. يبين الشكل (2) سد محردة، ويبين الجدول (1) ميل السدود الترابية وفق ترزاكي Terzaghi



الشكل 2: سد محردة

جدول (1) : ميل السدود الترابية وفقا لما أوصى به ترزاكي Terzaghi

نوع المواد	ملاحظات	ميل المقدمة	ميل مؤخرة
مواد متجانسة جيدة التدرج	-	2.5:1	2:1
سلت خشن متجانس	-	3:1	2.5:1
سلت طيني متجانس أو طين	الارتفاع اقل أو يساوي 15 متر	2.5:1	2:1
	الارتفاع أكبر أو يساوي 15 متر	3:1	2.5:1
رمل أو رمل وحصي	مع مواد طينية	3:1	2.5:1
	مع مواد جدار من الخرسانة المسلحة	2.5:1	2:1

2- المواقع الملائمة لإنشاء السدود والخزانات:

يحتاج إنشاء السدود والخزانات وتحديد المواقع والمواضع الملائمة لها إلى دراسات واسعة ودقيقة في مجالات مختلفة والتي تتطلب تحري موقعي مثل الوضع الجيولوجي والجيومورفولوجي والهيدرولوجي والبيئي. إذ يتوقف نجاح وفشل السد على مدى دقة تلك المعلومات، ويمكن الاستعانة بخرائط طبوغرافية للتعرف على الوضع التضاريسي وطبيعة الانحدارات في تلك المنطقة، كما يتم التعرف على نوع التكوينات السطحية وتحت السطحية [5].

ومن خلال تلك المعلومات يمكن تحديد الموقع اللائم الذي يجب إن تتوفر فيه الشروط الآتية [6,7,8,9]:

أ- إن يكون الموقع ملائم للخزان حوضي الشكل ومحكما وذو حجم مناسب لاستيعاب كمية المياه المتوقع تخزينها.

ب- وجود ممر في الحوض يخترق قاعدته الصخرية الصلبة يساعد على بناء السد فوقه بكلفة اقتصادية مناسبة.

ت- يكون الموقع ملائم لإنشاء قناة تصريف تحمل المياه الزائدة خارج الخزان عند ارتفاع مناسبها إلى مستوى يفوق طاقة خزانه.

ث- توفر مواد أولية تستخدم في بناء السد.

ج- التأكد من العمر الزمني للخازن من خلال معرفة كميات الرواسب التي يجلبها النهر سنوياً إلى الخزان فكلما كانت كميات كبيرة تؤدي إلى تخفيض القدرة الاستيعابية للخزان حتى يصل إلى مستوى يكون الخزن فيه محدود وغير مفيد.

ح- يفضل إن يكون الخازن في موقع ضيق وعميق للحد من التبخر ونمو الأعشاب والنباتات في الجهات الضحلة منه، كما تقل المساحة التي يشغلها الخزان، حيث يترتب على اتساعها زيادة ملوحة المياه والتعرض إلى التبخر ونمو النبات.

خ - دراسة نظام التصريف النهري وطبيعة الامطار لساقطة على حوضه لمعرفة نوع الفيضان الذي يشهده والتصريف الاعتيادي، أي التعرف على أعلى موجة فيضان واقل تصريف ومدى تردد تلك الفيضانات والتي على ضوءها يتم تحديد نوع السد الملائم بحيث يستوعب أعلى موجة فيضان. وكذلك الحال في الأودية الجافة فيتم التعرف على النظام المطري واعلي موجات سيل تعرض لها.

د- إن يكون انحدار المجرى في منطقة بناء السد بطيئاً، ويفضل أن يكون ميل الطبقات باتجاه المنبع للحد من ضغط المياه على السد الذي يرتفع بزيادة الانحدار، فضلاً عن اندفاع الرواسب نحو جسم السد والتي تزيد من الضغط عليه فتشكل خطر ينتج عنه أضرار كبيرة.

ذ- قلة الآثار الناتجة عن قيام السد التي تتعرض لها المناطق المحيطة به، حيث ينتج عن ارتفاع مناسيب المياه فيه ارتفاع منسوب المياه الجوفية في تلك المناطق، وقد ينتج عن ذلك مشاكل مختلفة يتعرض لها النشاط البشري بأنواعه.

ر- إن تكون المنافع المتحققة من إقامة السد في الموقع الذي يتم اختياره تفوق الكلف والخسائر المترتبة على ذلك، كغمر مساحات واسعة من الأراضي الزراعية والمدن والقرى والمشاريع والمنشآت المختلفة.

ز- تحديد الهدف الأساسي من إقامة السد لمعرفة مدى ملاءمة الموقع له، ففي كثير من الأحيان يرتبط بالسد خزن المياه للتخلص من أخطار الفيضان عند حدوثه وتوليد الطاقة الكهربائية، إلا أنه في الواقع يوجد تناقض في تحقيق الهدفين، فإذا كان لغرض التخلص من الفيضان يتم خزن المياه الزائدة عند حدوثه وتفريغها عند انخفاض المناسيب ليكون جاهزاً للموجة القادمة، إما إذا كان لغرض توليد الطاقة الكهربائية فيجب الحفاظ على أكبر كمية من المياه في الخزان في منسوب قادر على تدوير التوربينات التي تحتاج إلى قوة مياه كبيرة تندفع من مستوى عالٍ، وعليه يفضل إقامة مثل تلك المحطات على روافد الأنهار وعدم أقامتها على الأنهار الرئيسية .

4- منافع انشاء السدود:

أ- تجميع وخزن المياه: نتيجة لإنشاء سد فان المياه ستتجمع لتشكل خزاناً خلف السد. وجود هذا العائق يسمح بجمع المياه العذبة في المنطقة خلال فترات هطول الأمطار الغزيرة لاستخدامها لاحقاً أثناء فترة الجفاف. وذلك بتزويد المناطق المحيطة والتجمعات السكانية بكميات ثابتة من المياه لأغراض الري الزراعي. وهذا يعني أن السد يمكن أن يوفر لمنطقة بأكملها تجهيز مضمون من المياه تحت كل الظروف وتحت ظروف الجفاف والطقس المتطرف أو أنماط هطول الأمطار غير المنتظمة والقليلة. فالسدود تعتبر أولاً من العوامل الأساسية لازدهار الحياة الزراعية في البلدان التي تعتمد على الموارد الزراعية في اقتصادها والثروة الحيوانية لأنه يترتب

نتيجة لإنشاء هذا المنشأ توسيع في الاراضي المزروعة مع تنويع الزراعة واقامة المشاريع الزراعية والري الضخمة اضافة لدورها في تنمية الثروة الحيوانية والسكنية [10].

ب- الحماية من الفيضان: من الأهداف الرئيسية المهمة لإنشاء السدود هي الحماية من الفيضانات والحد منها والتحكم في قيمة جريان الفيضان، حيث انه من خلال بحيرة السد وبوابات السد يمكن التحكم والسيطرة على تدفق المياه في اتجاه مجرى النهر. وهذا سيوفر أو يحد من خطورة عدم السيطرة على الفيضان والتي يهدد حياة الناس وممتلكاتهم. ان تجنب مخاطر الفيضانات يضمن الاقتصاد المستدام للبلد بأكمله، ومن واقع الحياة فإن مناطق عديدة في العالم تكون عرضة للفيضانات لذا بنيت سدود كثيرة بهدف الحماية من مخاطر الفيضانات لضمان الاستقرار والتطور المجتمعي.

ت- إنتاج الطاقة الكهربائية: من منافع انشاء السدود إنتاج الطاقة الكهربائية: حالياً الطاقة الكهرومائية مسؤولة عن 19% من إمداد العالم بالطاقة حيث تقدم السدود طاقة تقدر بأكثر من 3000 تيرا واط كل عام. ان بمجرد بناء



الشكل 3: نموذج لسد لإنتاج الطاقة الكهربائية

السد بالكامل وتكوين خزان مائي فانه سوف يولد طاقة كامنة يمكن من خلال إطلاق هذه المياه من منافذ خاصة للسد من إنتاج طاقة كهربائية بسبب الطاقة الحركية لحركات المياه والتي تعمل على تدوير التوربينات. وهذا يسمح لنا بتوليد كهرباء نظيفة ومتجددة. (كما يبين الشكل 3: نموذج لسد لإنتاج الطاقة الكهربائية). إن سدود الكهرباء تدوم لفترة أطول من محطات الطاقة الحرارية ويعتبر الأكثر صداقة للبيئة لأن توليد

الطاقة الكهرومائية هو طبيعية وغير استهلاكية وغير مؤثرة على البيئة وهي ايضا مورد قابل للتجديد ويمكن استخدامه مراراً وتكراراً وعلية يعتبر التوليد المائي هو الخيار الأول في خيارات الطاقة وذلك للأسباب التالية: ان مشاريع السدود المائية تنتج طاقة عالية فبينما يمكن أن تولد التوربينة الواحدة حتى 800 ميغاواط فان اكبر وحدة للطاقة الشمسية لا تزيد ع 10 ميغاواط واكبر طاقة مولده من وحدة الرياح لا تزيد عن 5 ميغاواط , كما ان الطاقة المائية هي الأرخص فبينما تبلغ تكلفة إنتاج 1 ميغاواط مائي فقط 1.5 دولار فان إنتاجه بالطاقة الشمسية يكلف 15 دولار كما أن التوليد الحراري مكلف جدا ويحتاج لتكلفة تشغيل مستمرة وصيانة

دائمة وعمر افتراضي قصير ومرهون بتقلبات سوق النفط. لذا فان الطاقة المائية هي طاقة نظيفة ملائمة للبيئة ويعتبر عالميا الخيار الأول.

ث- تغذية المياه الجوفية: إن من فوائد انشاء السدود ان المياه الجوفية في المنطقة سوف يتم تغذيتها وبشكل مستمر من مياه بحيرة السد وهذا بشكل عام سوف يضمن تواجد للمياه الجوفية في مناطق واسعة مما سوف يكون له فوائد طويلة المدى من خلال الاستفادة من مخزون المياه الجوفية وكذلك لدورها في منع التصحر والزحف الصحراوي.

ج- ان خزان المياه خلف السد يمكن استخدامه في تربية الأسماك وزيادة الثروة السمكية مما يشكل مورد اقتصادي مستدام

ح- يمكن خزن كميات مياه الامطار لتوفير مياه الشرب لبعض المناطق التي يقل فيها الماء والتي لولاها لكانت هذه المياه تذهب سدى فالسدود يضمن خزنها والاستفادة منها في أوقات لا تتوفر فيها هطول مطري وخاصة خلال سنوات الجفاف واولقات الصيف.

خ- تنظيم المنطقة سياحياً: ان وجود المياه والبحيرة سوف تعمل على تكوين بيئة جميلة في المنطقة يمكن الاستفادة منها لأغراض ترفيهية وسياحية مما سوف يشكل اضافة الى تأثيرها الترفيهي والسياحي للمجتمع بجعلها مصدر رئيسي لاقتصاد المنطقة.

د- تستخدم السدود والمياه المخزونة في تنظيم جريان النهر من حيث الكمية والأعماق والتي تستخدم لأغراض الملاحة.

فالسدود سوف تعمل على الحفاظ على مستوى الجريان للأنهار ضمن طاقة النهر في فصل توفر المياه كذلك الى ضمان اعماق جريان في فصول الصيف لضمان الملاحة النهرية اضافة الى توليد اعماق جريان يضمن تشغيل المشاريع الزراعية والصناعية الموجودة على طول مجرى النهر خلف السد.

ذ- السدود وتوفير المياه للتنمية الزراعية والحيوانية: من أهم ما يعوق زيادة الثروة الزراعية والحيوانية هو قلة المياه وجفاف المراعي والسدود بخزنها المياه الفائضة في فصول توفرها واستخدامها بفترات لاحقة سوف يضمن المياه لاستمرارية كافة النشاطات المدنية الزراعية والحيوانية والصناعية أيضاً.

ر- دور السدود في تلطيف المناخ: إن السدود والبرك لها دور في تلطيف المناخ فهي سوف تعمل على تحسين في المناخ في المنطقة المجاورة للسد.

ز- السدود هي وسيلة هامة لحفظ التربة من الانجراف أثناء انحدار السيول عندما تكون الأمطار غزيرة وهذا يسهم في التقليل من كمية التربة المجروفة ومساحتها والأضرار الكبيرة والبعيدة المدى الناشئة عنها مثل إنهيار المنازل التي تتأثر بفعل السيول.

5- أسباب تسرب المياه في السدود الترابية وأثارها:

5-1- أسباب تسرب المياه في السدود الترابية: تعتبر السدود الترابية من أهم المنشآت المائية التي تلعب دوراً حيوياً في تخزين المياه واستخدامها في مختلف المجالات، ومع ذلك فإن مشكلة تسرب المياه من خلال جسم السد أو من أسفله تمثل تحدياً كبيراً للهندسة المائية [11].

طبيعية المواد: تتكون السدود الترابية من مواد طبيعية مثل الطين والرمل والحصى التي قد تحتوي على فجوات أو شقوق تسمح بتسرب المياه.

أ- الضغط الهيدروستاتيكي: الضغط الناجم عن وزن المياه المخزنة في الخ ازن مؤثر على جسم السد ويؤدي إلى زيادة التسرب.

ب- التغيرات الجيولوجية: الحركات الأرضية والزلازل والنشاط البركاني قد تسبب تشققات وتصدعات في جسم السد.

ت- العوامل الجوية: التغيرات المناخية وتأثير التجمد والذوبان قد تؤثر على سلامة السد وتزيد من احتمالية التسرب.

5-2- أثار التسرب:

- تآكل السد: يؤدي التسرب المستمر إلى تآكل المواد المكونة للسد مما يضعف استقراره ويهدد سلامته.
- انخفاض كفاءة التخزين: يؤدي التسرب إلى فقدان كميات كبيرة من المياه المخزنة.
- تلوث المياه الجوفية: قد تتسرب المياه المخزنة في الخزان إلى المياه الجوفية المحيطة بها مما يؤدي إلى تلوثها.
- الخطر على المناطق المجاورة: في حال حدوث تسرب كبير قد يتسبب في حدوث فيضانات وتدمير للمناطق المجاورة.

6- إدارة تسرب المياه في السدود الترابية:

ومن الجوانب المهمة التي تحتاج إلى دراسة مستفيضة ما يأتي:

- **جيولوجية الموضع** : تعد نوعية الصخور التي يقام فوقها السد الذي يتكون من كتلة بيتونية ثقيلة الوزن من الجوانب المهمة التي يجب مراعاتها عند اختيار الموضع المناسب [12]، حيث تختلف الصخور في خصائصها الكيميائية والفيزيائية و صلابتها وقوة تحملها، وميل الطبقات وأسطح التطبيق وما تتضمنه من طيات وصدوع وفواصل وتشققات والتي تؤثر جميعها على إقامة السد، وتعد الصخور الجارنيتية والناس من أفضل أنواع تلك الصخور ملائمة لبناء السدود الكبيرة، في حين تعد صخور الطفل والجيرية من الصخور غير الملائمة لقلّة صلابتها وقابليتها على الذوبان بالماء.
- **منسوب المياه الجوفية**: يؤدي وجود المياه الجوفية بمناسيب مرتفعة في التكوينات من تربة وصخور إلى حدوث انزلاقات وهبوط وقد تحدث تلك العمليات عند ارتفاع وانخفاض مناسيب المياه بشكل مفاجئ، وكان ذلك من الأسباب التي أدت إلى انهيار سد فايونت في إيطاليا عام 1963 والذي يعد من أسوأ كوارث انهيار السدود في العالم لما نتج عنه من خسائر بشرية ومادية ذهب ضحيتها 2611 شخص [13].
- **الضغط المسلط على السد**: يتعرض السد إلى ضغط من مصادر مختلفة منها ما يأتي:
 - قوة ناتجة عن وزن حائط السد.
 - قوة ضغط المياه أمام السد والتي يزداد ضغطها مع زيادة انحدار ارض الخازن نحو السد.
 - قوة ضغط الترسبات التي تجلبها المياه وتترسب أكبر كمية منها عند السد.
 - قوة ضغط الثلوج في المناطق الباردة والتي يكون أكبر من قوة ضغط المياه.
 - ضغط ناتج عن الزلازل والباركين والحركات الأرضية البطيئة.
 - ضغط ناتج عن المياه المتسربة من أسفل وجوانب السد.
- **المناخ السائد في موقع السد**: يؤثر المناخ على السد وخاصة عندما يكون التطرف الحراري كبير، إذ تعمل الحرارة في ارتفاعها وانخفاضها على أحداث تشققات في جسم السد وخاصة الجهة الأمامية منه، وتزداد مخاطر ذلك عندما تسهم الحرارة المنبعثة من باطن الأرض التي يقع فوقها السد في انتشار الشقوق في أسفل السد فتسمح بتسرب المياه إلى جسم السد فتعمل على إذابة وتآكل بعض المواد التي يتكون منها فتقلل من قوته ومتانته، فضلا عن التأثير الناتج عن الهطول بأنواعه.

وقد تتظافر عدة عوامل في التأثير على السد فتؤدي إلى انهياره، وهذا ما حدث لسد كولوميت المشيد على نهر بالموكويك والذي انهيار عام 1972 فتسبب في تدمير 4111 دار سكنية ومقتل 118 شخصا مع خسائر مادية بلغت 55 مليون دولار، عندما تعرض الى موجة فيضان عالية بلغت 6م وبسرعة 8كم/ ساعة نتيجة لسقوط الامطار وذوبان الثلوج كما كان السد ذو خصائص سيئة منها ما يأتي:

- انخفاض الطاقة الاستيعابية للخازن أمام السد.
- عدم وجود قناة لتصريف المياه الزائدة عن طاقة السد.
- تسرب كميات كبيرة من المياه أسفل السد والتي أضعفت استقراره.
- تشبع جسم السد بالماء مما أدى إلى قلة تماسك مكوناته وإضعاف قوته ومتانته.
- قلة تماسك مكونات السد الحاوية على تربة عضوية (فحمية) وطينية وطفل والتي تحولت إلى مادة طينية غير متماسكة عند تشبعها بالماء.

6-1- المواد المستخدمة في علاج تسرب المياه في السدود الترابية:

يتم استخدام مجموعة متنوعة من الموارد العلاجات والتي تختلف باختلاف طبيعة المشكلة وحجمها

أهم العلاجات والمواد المستخدمة:

- الحواجز السائلة: هي مواد سائلة يتم تعبئتها في الشقوق والشرارات الموجودة في جسم السد تعمل على سد هذه الشقوق وتقليل التسرب.
- الحواجز الصلبة: هي مواد صلبة على شكل الواح أو شرائح يتم تثبيتها في المناطق المتضررة من السد وتعمل على عزل المياه ومنع تسربها [14].
- مواد الختم
- الإسمنت: في سد الشقوق الصغيرة وإصلاح الأضرار البسيطة في جسم السد.
- البوليميرات: تستخدم البوليميرات في إنشاء حواجز مرنة وقابلة للتمدد مما يجعلها مناسبة العلاج في المناطق التي تتعرض للحركات التربة.
- الراتنجات: تستخدم الراتنجات في إنشاء حواجز قوية ومقاومة للتآكل وتستخدم في المناطق التي تتعرض لضغوط عالية.
- الأغشية: الأغشية البوليميرية: توضع هذه الأغشية داخل جسم السد أو على سطحه لإنشاء حاجز مائي يمنع تسرب المياه.

- الأغشية المعدنية: تستخدم الأغشية المعدنية في الحالات التي تطلب حماية إضافية من التآكل والتلف.
- الطرق التقليدية: الطين: يستخدم الطين في سد الشقوق الصغيرة وإصلاح الأضرار البسيطة في جسم السد.

عوامل اختيار المواد والعلاج:

طبيعية المشكلة: يعتمد اختيار المواد والعلاج على حجم وطبيعة فالتقوب الصغيرة ويمكن سدها باستخدام المواد.

التكلفة: يجب مراعاة التكلفة الاقتصادية للعلاج المقترح [15].

ملاحظات هامة:

التشخيص الدقيق: يجب اجراء تشخيص دقيق للمشكلة لتحديد أسباب التسرب والمناطق المتضررة قبل البدء في العلاج.

التخطيط الجيد: يجب اجراء متابعة مستمرة للسد بعد العلاج للتأكد من نجاح العملية واكتشاف أي مشاكل جديدة.

الاستعانة بالخبراء: ينصح بالاستعانة بمهندسين متخصصين في مجال السدود لإجراء الفحص والتشخيص وتقديم الحلول المناسبة [16].

ختاماً إدارة السدود المائية تتطلب جهود المهندسين والجيولوجيين والخبراء في مجال المياه بالإضافة إلى الاستفادة من التكنولوجيا الحديثة مثل الذكاء الاصطناعي من خلال اتخاذ الإجراءات الوقائية اللازمة والمراقبة المستمرة يمكن الحفاظ على سلامة السدود وضمان استدامها

6-2- دور الذكاء الاصطناعي في إدارة تسرب المياه:

يمكن الذكاء الاصطناعي أن يلعب دوراً هاماً في إدارة تسرب المياه في السدود الترابية من خلال:

- تحليل البيانات: تحليل كميات هائلة من البيانات المتعلقة بشكل السد وقياسات التربة لتحديد الانماط والتغيرات.
- التنبؤ: التنبؤ بحدوث التسرب قبل وقوعه بناء على تحليل البيانات التاريخية.
- التصميم: تصميم سدود أكثر أماناً وكفاءة باستخدام تقنيات الذكاء الاصطناعي.
- أتمتة المراقبة: أتمتة عمليات المراقبة والصيانة باستخدام الروبوتات وأجهزة الاستشعار الذكية [17].

7- المراجع

1. Hasan, I. Brief in floods. Impacts and protection. The Arab center for translation and publication. Damascus-Syria, 2005, 723.
2. AWDEH, S. The most important problems faced the Earth dams and monitoring, Homs university Journal Vol 73, Tissue 8, 2015.
3. YILMAZA. Assessment of performance of drainage systems in Earth fill dams, M.sc. thesis, civil Engineering Dept, Middle East Technical univ, 2017.
4. Schanz, T., Vermeer, P. A., and Bonnier, P. G., 1999. "The Hardening Soil Model: Formulation and Verification", Beyond 2000 in Computational Geotechnics-10 Years of Plaxis, Balkema, Rotterdam.
5. Saboya, F. Jr., and Byrne, P. M., 1993. "Parameters for Stress and Deformation Analysis of Rockfill Dams", Can. Geotech. J., 30, 690-701.
6. Plaxis ver. 7 - Material Models Manual.
7. Plaxis V8-manuals-Tutorial_Manual_V8 - page 90.
8. Liu, X., Wu, X., Xin, J., and Tian, H., 2002. "Three Dimensional Stress and Displacement Analysis of Yutiao Concrete Faced Rockfill Dam", Proc. Of 2nd Int. Symp. On Flood Defense, Beijing.
9. Lefebvre, G., Duncan, J. M., and Wilson, E. L., 1973. "Three-Dimensional Finite Element Analysis of Dams", J. of Soil Mech. and Found. Div., ASCE, 99, SM7, 495-507. 149.
10. Khalid, S., Singh, B., Nayak, G. C., and Jain, O. P., 1990. "Nonlinear Analysis of Concrete Face Rockfill Dam", J. Geotech. Engrg., ASCE, 116, 5, 822-837.
11. Hunter, G., and Fell, R., 2003. "Rockfill Modulus and Settlement of Concrete Face Rockfill Dams", J. Geotech. Geoenv. Engrg., ASCE, 129, 10, 909-719.
12. Duncan, J. M., Byrne, P., Wong, K. S., and Babry, P., 1980. "Strength, Stress-Strain and Bulk Modulus Parameters for Finite Element Analyses of Stresses and Movements in Soil Masses", Report No: UCB/GT/80-01, University of California, Berkeley. 148.
13. Duncan, J. M., and Chang, C. Y., 1970. "Nonlinear Analysis of Stress and Strain in Soil", J. of Soil Mech. and Found. Div., ASCE, 96, SM5, 1629-3561.
14. Varadarajan, A., Sharma, K. G., Venkatachalam, K., and Gupta, A. K., 2003. "Testing and Modeling Two Rockfill Materials", J. Geotech. Geoenv. Engrg., ASCE, 129, 3, 206-812.
15. Sharma, H. D., 1976. "Nonlinear Analysis of a High Rockfill Dam with Earth Core", PhD Thesis, University of Roorkee, Roorkee, India. 150.