جامعة دمشق كلية الهندسة المدنية

دراسة سلوك الغضار في السدود الترابية وآثرها على التشوهات

إعداد المهندسة : أسيل بركات

الدكتور المشرف : إبراهيم حمود

الدكتور المشرف المساعد: محمد عماد مشلح

Damascus University
Faculty of Civil Engineering

STUDY THE BEHEVIOR OF CLAY IN THE EARTH DAMS AND ITS IMPACT ON DISTORTIONS

Prepared by : Eng.Aseel Brakat

Supervised by: Dr.Ibrahim Hammoud

Damascus 2014

جامعة دمشق كلية الهندسة المدنية

دراسة سلوك الغضار في السدود الترابية وآثرها على التشوهات

أعدت هذه الرسالة لنيل درجة الماجستير في الهندسة المدنية قسم الجيوتكنيك

إعداد المهندسة : أسيل بركات الدكتور المشرف : إبراهيم حمود

الدكتور المشرف المساعد: محمد عماد مشلح

Damascus University
Faculty of Civil Engineering
STUDY THE BEHEVIOR OF CLAY IN THE EARTH DAMS AND ITS IMPACT ON
DISTORTIONS
A thesis prepared to get master degree in Civil Engineering Department of Geotechnical
Engineering
Prepared by : Eng.Aseel Brakat
Supervised by : Dr.Ibrahim Hammoud
Damascus 2014
_aacoue 2014

الفصل الأول تعريف بالسد موضوع البحث

1-1 مقدمة عامة:

لقد بنيت السدود الضخمة لدرء أخطار الفيضانات، وري الأراضي الزراعية، وتوليد كفايات 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 جدا، فقد بنيت أوائل السدود في العالم قبل أكثر من 5000 سنة ، حيث كان المصريون القدامي السباقون لبناء أول وأضخم السدود التي عرفتها البشرية، وليس هذا فحسب ، بل ابتكروا أيضا العديد من النماذج المختلفة للسدود الكفيلة بمقاومة جبروت مياه الأتهار العنيفة .

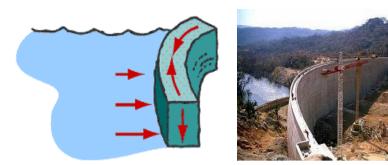


الشكل رقم (1-1): السدود

1-2 أنواع السدود:

• السدود القوسية : Arch dams

يرتبط تصميم السدود دائما وكأي إنشاء هندسي بجيولوجية المنطقة وطبيعة التربة والتضاريس، يعتبر من أبسط أشكال السدود وأقلها تكلفة من حيث المواد والتصميم من أي نمط من أنماط السدود الأخرى ، وأشهر أمثلته سد الأتازار El Atazar Dam في إسبانيا . يستخدم هذا النوع من تصميم السدود في الأماكن الضيقة والصخرية ، حيث يكون السد على شكل قوس منحني يحجز خلفه الكميات الهائلة من مياه الأتهار.

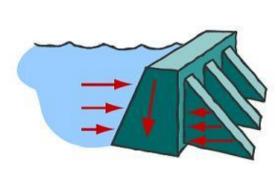


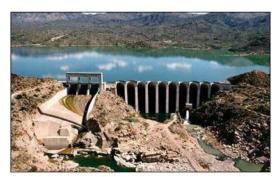
الشكل رقم (2-1): السدود القوسية

توزع القوى: يقوم الشكل الهندسي المقوس للقوس بالانضغاط خلال عملية ضغط المياه المحجوزة خلف السد، حيث تقوم المياه بتطبيق ضغوط كبيرة على السطح الخلفي المحدب للجدار، مما يسبب انضغاط القوس الجداري باتجاه التماسك والتقارب للمادة الجدارية من بعضها البعض بسبب شكلها الهندسي الواضح في الشكل رقم (2-1). أما وزن السد فيضغط أيضا على القاعدة المصممة أساسا لهذا العمل الإتشائي الضخم.

• السدود المدعمة Buttress dams:

قد تكون هذه السدود منبسطة قليلا أوكثيرا أو مقوسة ، لكن هناك دائما أساسيات تصميمية تميزها عن غيرها وهي سلسلة من الدعائم أو التعزيزات (تستخدم لنقل القوى المؤثرة على الجدار الى منطقة أخرى أكثر قوة وتحمل كالأرض أو أساسات داعمة أخرى) حيث تقوم هذه الدعائم الإنشائية بتقوية ودعم بناء السد من الجهة الخارجية في اتجاه مجرى النهر. من أهم الأمثلة على السدود المدعمة بدعائم إسمنتية هو سد بارتليت في ولاية أريزونا الأمريكية.





الشكل رقم (1-3): السدود المدعمة

توزع القوى:

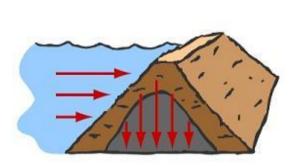
بحسب التصميم الهندسي لهذه الأنماط من السدود ، تقوم المياه بتوليد قوى ضغط كبيرة ناتجة عن وزنها باتجاه جدار السد مسببة دفعه أو انقلابه بينما تقوم الدعائم في الجهة المقابلة برد فعل معاكس تماما في محاولة لتثبيت البناء في مكانه تماماً ، بينما يكون وزن كامل الدعائم مطبقا بالكامل إلى الأرض كما في الشكل رقم (1-3).

• السدود الردمية Embankment dam

وهي سدود ضخمة مكونة من الصخور والأتربة ، حيث تعتمد هذه السدود على أوزانها الهائلة في مقاومة القوى الهائلة الناتجة عن المياه المحجوزة ، وما يميز هذه السدود هو كثافة المادة داخلها ، فالعازل الداخلي يمنع ترشح أو تسرب المياه

عبر بناء السد.

تعتبر السدود الناتئة التي تتميز بالإنشاء الضخم الذي يحجز خلفه المساحات الزائدة من المياه أشهر أنواع هذه السدود أحد الأمثلة سد نيو واديل New Waddell Dam في الشكل رقم (1-4).





الشكل رقم (1-4): السدود الردمية

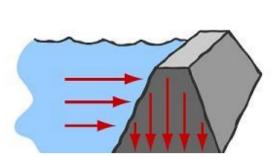
توزع القوى:

تدفع قوى ضغط المياه على طول الجدار باتجاه دفعه للانقلاب ، في حين يعمل الوزن الهائل لمادة السد أو الجدار على تثبيت الجدار في مكانه بسبب الجاذبية التي تدفعه باتجاه الأرض بشكل دائم وعلى طول حائط السد .

• سدود الجاذبية Gravity dams

وهي سدود ضخمة تقوم بمقاومة القوى الجبارة للمياه بشكل كلي من خلال أوزانها (قوة الجاذبية الأرضية للجدار المانع الإسمنتي المصمم بطريقة هندسية ذات قواعد ضخمة ومتوازنة .

تتم عملية تشكيل الإسمنت من خلال تفاعلات كيميائية تعطي كميات كبيرة من الطاقة الحرارية .وعندما يتم تبريد الإسمنت يترافق تدريجيا بانكماش للمادة ، تترافق هذه التقاصات للمادة عند التبريد المفاجئ أو الغير منتظم بتشققات في المادة قد لاتكون ذات أهمية في حال عمليات الصب الجدارية البسيطة ولكنها تشكل كارثة في حالة السدود التي تستهلك 12 مليون يارد مكعب من الإسمنت كما في سد غراند غولي Grand Coulee في العاصمة واشنطن ، حيث يعتبر هذا السد أحد أضخم الإنشاءات الإسمنتية في العالم ، لذلك يتم التحكم بشكل دقيق أثناء عملية إنشاء هذه السدود ، ففي مثالنا هذا قام المهندسون بضخ مياه باردة خلال شبكة معقدة من الأتابيب في الخرسانة الإسمنتية للمساعدة في تبريد الإسمنت خلال تصلبه ، وهذه العملية بالإضافة الى الحماية من حدوث التشققات الإسمنتية من شأنها أن تسرع عملية التبريد التي من الممكن أن تستغرق أكثر من 200 عام فيما لو تركت لتبرد بشكل حر في الطبيعة.





الشكل رقم (1-5): سدود الجاذبية

1-3 السدود في سورية:

إن بناء السدود لحجز المياه في سورية ظاهرة قديمة، ففي العهد الروماني أنشئت مجموعة من السدود في مناطق مختلفة من سورية، مازالت آثار بعضها حتى الوقت الحاضر، ولعل خير شاهد على ذلك (سد الباردة) في البادية السورية ، وقد عملت سورية على استثمار مياه الأنهار والسيول عن طريق مشروعات كبرى للري، تمثلت تلك المشروعات بإقامة السدود على مجاري الأنهار والسيول وشق القنوات، منها للري أو لسقاية وتنمية الثروة الحيوانية أو لاستغلال مياهها في توليد الكهرباء. تتوزع الثروة المائية في تغذيتها ومصادر مائها، منها ما يتغذى بمياه الأمطار والتلوج كحوض حوران والساحل وحوض دمشق والبادية وحوض حلب، ومنها ما تشكل مياه الأنهار الداخلية أو الأنهار الخارجية مصادر تغذيتها الرئيسة.

تتوزع السدود في سورية حسب الأحواض المائية التابعة لمحافظات القطر على النحو الآتي:

حوض الفرات: يعد من أهم الأحواض المائية السورية، وقد تم إنشاء سلسلة من السدود في الأراضي السورية على نهر الفرات، الهدف منها ري الأراضي وتوليد الطاقة الكهربائية وتربية الأسماك وتنظيم جريان النهر لمنعه من تدمير القرى والمزارع أثناء فيضانه.

يحجز كمية من المياه تصل إلى 14 مليار م3 في بحيرة الأسد التي تبلغ مساحتها 630كم2 وطولها 80كم بعرض متوسط قدره 8كم. يروي سد الفرات مساحة من الأراضي السورية تصل إلى 640ألف هكتار ويولد طاقة كهربائية تراوح مابين 100.800 ألف كيلوواط ساعي . ومن السدود المهمة في على نهر الفرات، سد البعث الذي يحجز كمية من المياه تصل نحو 90مليون م3، يقع إلى الشرق من سد الفرات

حوض دجلة والخابور: ينظم جريان نهر الخابور للاستفادة القصوى من مياهه لإرواء الأراضي الممتدة من منطقة رأس العين وحتى بلدة البصيرة، وقد نفذ إثنا عشر سداً على نهر الخابور إضافة لسدين هما قيد التنفيذ، أما كميات المياه المختزنة فتصل لنحو 1.4مليار م3، وتقدر المساحة التي تروى من هذه السدود بنحو 109.025 ألف هكتار. أما نهر دجلة فقد أقيم في حوضه سبعة سدود، ستة منها تروى الأراضي بالراحة، وسد واحد تُضخ مياهه بشبكات الري هو سد السفان.

حوض العاصي: أقيم في وادي العاصي 39 سداً لغايات توليد الطاقة والري ودرء أخطار الفيضان وسقاية المواشي والشرب والترشيح لتغذية .

المياه الجوفية ، وقد زادت الطاقة التخزينية لهذه السدود عن 708.689مليون متر مكعب، تروي مساحة 123.680ألف هكتار، ويعد كل من سد بحيرة قطينة وسد الرستن في محافظة حمص و سد محردة في محافظة حماه من أهم السدود في هذا الحوض.

حوض الساحل السوري: يشمل كلاً من محافظتي اللاذقية وطرطوس. نفذ في هذا الحوض 13سداً، إضافة لأربعة سدود قيد التنفيذ، لتخزين كمية من المياه تصل لنحو 524مليون متر مكعب، لغايات الري والشرب وتوليد الطاقة الكهربائية.

حوض البادية: تم تنفيذ مجموعة من السدود الصغيرة في حوض البادية السورية، وصل عددها إلى 37 سداً، تخزن كمية من المياه تصل لنحو 67.855 مليون متر مكعب من المياه لأجل الشرب وتربية المواشي والترشيح ودرء أخطار الفيضانات المفاجئة.

حوض اليرموك: يشمل محافظات درعا والسويداء والقنيطرة ، أقيم في حوض اليرموك 41سداً، إضافة لسد الوحدة (المقارن) الذي هو قيد الإنشاء بين سورية والأردن . تخزن هذه السدود كمية من المياه تقدر بنحو 224.6مليون متر مكعب، عدا سد الوحدة الذي يخزن لوحده 225 مليون م 3 .

حوض بردى والأعوج: أقيم في هذا الحوض سبعة سدود، لأجل درء أخطار الفيضانات والترشيح لتغذية المياه الجوفية ولسقاية الثروة الحيوانية وكذلك لأغراض سياحية. تختزن هذه السدود كمية من المياه تبلغ نحو 8.282مليون متر مكعب، وتروى ما مساحته 17500هكتار 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 عفرين. ويمكن العودة إلى المجموعة الإحصائية السورية، للإطلاع على السدود المختلفة في سورية، حسب توزيعها على الأحواض المائية السورية.

1-4 السدود الترابية:

تعريف السد الترابي: هو حاجز ترابي كتيم يعترض المجرى المائي مشكلاً خلفه بحيرة كبيرة .

1-4-1 تصنيف السدود الترابية من حيث مادة الإنشاء:

2 - سدود ركامية: يتألف القسم الأساسي من جسم السد من ترب زلطية حصوية خشنة أو فتات صخري و تحتوي على عنصر مضاد للرشح ئمقام من تربة غضارية أو الترب ناعمة الحبيبات (سلت- سلت غضاري- غضار رملي). 3- سدود حجرية: يتألف القسم الأكبر من ترب خشنة الحبيبات (كتل حجرية) و العنصر المضاد للارتشاح فيقام من مواد لا ترابية (جدران حاجزة داخلية - حواجز رقيقة) و يمكن 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.

لكافة هذه السدود مقطع عرضي على هيئة شبه منحرف مع خط محيطي مستقيم أو منكسر لميل الواجهتين الأمامية و الخلفية .

1-4-1 استقرار المنحدرات:

تعريف انهيار السدود: يمكن تعريف الانهيار بأنه حركة أحد أجزاء السد أو أساساته ، حيث أن السد لا يستطيع الاحتفاظ بالماء وعلى العموم ينتج عن الانهيار تدفق كميات كبيرة من المياه مما يعرض حياة الناس وممتلكاتهم للخطر. ولكن يمكن القول بأن التقدم العلمي وطرق التصميم والبناء والمراقبة والصيانة كلها عوامل ساهمت في التقليل من حوادث الانهيارات.

• أسباب الانهيارات:

تعود الأسباب إلى ما يلى:

- 1. ارتفاع منسوب المياه فوق السد: وهو أكثر الأسباب شيوعاً في السدود الترابية أو الصخرية حيث تأخذ المياه بجرف المواد، وذلك لعدم تقدير كميات الفيضانات الكبرى سابقاً التي ستحدث مستقبلاً بالشكل الصحيح.
- 2. الحت الداخلي: حيث تتسرب المياه من داخل السد وتحمل معها المواد مما يحدث تجاويف داخلية تؤدي إلى انهيار السد.
 - 3. عدم ثبوت بناء السد وخاصة عند حدوث زلزال يفوق ما صمم عليه السد لتحمله
 - 4. الانهيار بفعل الإنسان.
 - حوادث الانهيارات:
- 1. حوادث الانهيار أثناء الننفيذ: معظم حوادث الانهيار التي حدثت أثناء ننفيذ بناء السدود كانت نتيجة لأحد الأسباب التالية:
 - خطأ في التصميم .
 - خطأ في التنفيذ .
 - عدم كفاية مجرى التحويل ليتسع الفيضان القادم.
 - تأخير في البناء لأسباب غير معروفة .

2. حوادث الانهيار أثناء أو بعد التعبئة الأولى للسد:

- عدم إجراء الدراسات الكافية قبل التصميم.
- الانهيار لأسباب ليست من مسؤولية المصمم أو المقاول مثل الهزات أو الانزلاقات الأرضية وإمكانية حدوث هذه الظواهر
 يجب أن تؤخذ بالحسبان.
 - عدم توافر دقة الفحص والمراقبة المستمرة لمدة عام على الأقل بعد أن يصل السد إلى أعلى مستوى له .
 - عدم التراص (Compaction) الكافي هذا يدل على خطأ في التصميم الذي لم يجري التحاليل الكافية لمواد البناء وأساسات السد وهي دلالة على ضعف البناء وينتج عنها تشقق.

3. حوادث الانهيار خلال تشغيل السد:

قسم ترزاكي العوامل المؤثرة على استقرار المنحدر إلى عوامل داخلية و عوامل خارجية فالعوامل الخارجية تؤثر على استقرار المنحدر فهي تزيد من اجهادات القص المطبقة على طول سطح الانزلاق للمنحدر الترابي أو الصخري بينما تسبب العوامل الداخلية في إنقاص مقاومة القص في التربة.

والجدول التالي يبين أهم العوامل الخارجية و الداخلية المسببة في انهيار المنحدرات:

الجدول رقم (1-1): العوامل المسببة للانهيار

العوامل الداخلية	العوامل الخارجية
 انتفاخ الترب الغضارية نتيجة امتصاص الماء 	1. القوى الخارجية كحمولات الماء أو الثلوج أو الأبنية
2. ازدياد ضغط ماء المسام	2. زيادة وزن وحدة الحجم نتيجة ازدياد الماء بالتربة
3. تحطم هيكل التربة بفعل القوى الديناميكية أو الهزات	3. انسلاخ جزء من المنحدر بالتعرية أو الحفر عند قدم
الأرضية	المنحدر
4. الشقوق السطحية بتعاقب الجفاف والرطوبة	4. شقوق شدية في بنية المنحدر
 تشكل عدسات جليدية 	5. قوى دفع الماء في الشقوق
6. تحطم المواد الملاطية (الروابط) في بنية التربة	6. التغير الذي يصاحب الانهيار المتزايد في الترب
	الحساسة
	(ظاهرة الزحف)
7. انعدام الصعود الشعري بتأثير الجفاف	/
8. عوامل التجوية العضوية والكيميائية	/

• أشكال انهيار المنحدرات:

- 1. السقوط: هي الحركة السريعة أو الانهيار المفاجىء للكتل الترابية أو الصخرية بطريقة السقوط الحر بالهواء أو بطريقة التدحرج أي سقوط بالانقلاب بدون أن يكون هناك حاجة لتشكل سطح انهيار أو اتصال بين الكتل المنهارة و الثابتة.
- 2. الجريان: يحدث بالترب الغضارية المشبعة أو القريبة من الإشباع و يمثل بالحركة البطيئة الناتجة عن تحريض إجهاد قص منخفض ودائم أو هزة أرضية أو بسبب الرطوبة الزائدة عن حد السيلان للتربة, مما يكسب التربة خواص للزوجة العالية و هناك أشكال من الجريان كجريان الأتقاض و جريان الوحل و هو يخص الترب الغضارية أو الترب اللوس و الترب المفكك
- 3. الانزلاق: وهو أكثر حالات الانهيار مصادفة و ينتج عن زيادة في اجهادات القص على طول سطح أو سطوح متعددة, ويلعب التوضع والشروط الجيولوجية دورا" كبيرا" في تحديد سطح الانرلاق ومن أشكال الانهيار بالانزلاق أ- انزلاق انتقالي: يحدث هذا الانزلاق على طول سطحا النطبق في أماكن للتصدعات و الفوالق دون أن يغير كثيرا" في كتل بقية المنحدر ويكون سطح الانزلاق في الغالب موازي لسطح المنحدر و يمكن تقسيمه إلى انزلاق بالكتل أو انزلاق صفيحي بشكل بلاطة أو انزلاق متعدد الكتل.
- ب- انزلاق دوراني: يتميز بانهيار كتلة من التربة على طول سطح انزلاق محدد و بشكل خاص في الترب الغضارية المشددة طبيعيا" والترب المتماسكة الطرية ومن أشكاله انزلاق دوراني سطحي _ انزلاق دوراني مار من القدم _ أو مار من تحت القدم _ انزلاق دوراني متعدد يمثل سلسلة انزلاقات متتابعة بالترب المتماسكة بشكل خاص
 - ج انزلاق مركب: والذي يكون مؤلف من انزلاق انتقالي مستو ودوراني معا ".

• تحليل الاجهادات الكلية و الأجهادات الفعالة:

يتألف الإجهاد الإجمالي المؤثر في نقطة ما من مستو ما ضمن الردميات الترابية المرصوصة من الإجهاد الكلي المتبادل بين حبيبات التربة و يدعى بالإجهاد الفعال و من ضغط السائل المسامي و يدعى بالضغط المسامي و بما انه لا يمكن أن تتشأ بالسائل المسامي أي مقاومة قص فان الأجهادات الفعالة هي التي تقاوم لوحدها اجهادات القص و تتعلق اجهادات القص عند الانهيار في مستوي ما ضمن الردميات طرديا" بالإجهاد الفعال الناظمي على هذا المستوي و يعبر عنه بالعلاقة التالية:

$$\tau = c' + (\sigma - v) * tg \varphi = c' + \sigma' * tg \varphi$$

حيث:

 τ : إجهاد القص عند الانهيار (مقاومة القص).

'c : تماسك التربة الموافق للإجهاد الفعلي.

φ: زاوية الاحتكاك الداخلي الموافق للإجهاد الفعال.

σ: الإجهاد الكلي الناظمي على سطح الانهيار (سطح الانزلاق).

v: الضغط المسامى المؤثر على سطح الانهيار.

'٥: الإجهاد الفعال المؤثر على سطح الانزلاق.

يمكن تطبيق هذه المعادلة فقط بحالة كون مسامات التربة مملوء إما بالماء أو بالهواء و هي غير صحيحة تماما" بحال كون المسامات مملوء بالماء و الهواء معا" و ذلك لأن الضغط بالماء المسامي مختلف عن الهواء المسامي و لكن بما أن الضغوط المسامية في سد ترابي ليست عالية حتى نعيرها ذلك الاهتمام الكبير إلا إذا كانت الردميات مشبعة بالماء تقريبا".

الفرضيات الأساسية في دراسة توازن المنحدرات :

1. يحدد الانهيار وفق سطح انزلاق معين و يمكن اعتباره انزلاقا" في المستوي و قد يكون شكله مستويا" أو منحنيا ".

2. تتحرك الكتلة المنزلقة كجسم مرن – صلب ، ودرجة التغير التي تصيب حدود تلامسه مع الكتلة الثابتة لا تغير من فرضيات المسالة.

3. مقاومة القص في المنحدر متجانسة و متماثلة الخواص ، أي خواص القص على طول سطح الانزلاق مستقلة عن منحى و اتجاه هذا السطح.

4. يتحدد عامل الآمان ضد الانزلاق بطريقة التوازن الحدي ، أي بالنسبة بين مقاومة القص الوسطية لتربة المنحدر (τf) إلى إجهاد القص الوسطي المطبق (τm)أي عامل الآمان هو النسبة بين القوى المثبتة إلى القوى الزالقة وتحدد قيمته وفق ما يلى :

1- عندما يكون سطح الانهيار بالانزلاق الدوراني فان عامل الآمان يساوي:

(القوى الزالقة) / (القوى المثبتة)

2- عندما يكون الانهيار بشكل انزلاق انتقالي مستو:

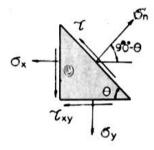
(القوى المسببة للانتقال) / (القوى المانعة للانتقال)

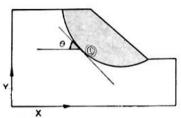
و يمثل Fs عامل الأمان الحقيقي اللازم لثبات المنحدر فعندما يكون : هذا العامل اصغر من الواحد يكون سطح الانزلاق

غير مستقر , أما لما يكون مساوي للواحد فان المنحدر بحالة توازن حدي , و عندما يكون هذا العامل أكبر من الواحد يكون المنحدر مستقر و آمن.

- طريقة العناصر المحدودة:

تحليل توازن المنحدرات بتحليل الإجهاد بالعناصر المحدودة المثلثية وبطريقة التوازن المحدود. ويبين الشكل التالي الإجهادات المؤثرة في نقطة ما من سطح الانهيار وعلينا حساب الإجهادات σx, σy, τxy بطريقة العناصر المحدودة





الشكل رقم (1-6): الإجهاد في النقطة على سطح الانميار

إذا شكل سطح الانهيار زاوية θ مع المستوي الأفقي فيمكن حساب الإجهادين الناظمي والقاص عند سطح الانهيار بالصيغتين التاليتين على النتالي:

$$\sigma_{n} = \oint (\sigma_{I} + \sigma_{w}) - \oint (\sigma_{I} - \sigma_{w}) \cos 2\theta + \tau_{IW} \sin 2\theta$$
$$\tau = -\tau_{IW} \cos 2\theta - \oint (\sigma_{I} - \sigma_{W}) \sin 2\theta$$

وبما أننا نقوم بحساب كل الإجهادات المؤثرة على سطح الانهبار من تحليل العناصر المحدودة فإنه يمكن حساب الإجهادات الناظمية والقاصة عند أي نقطة على سطح الانهبار من العلاقتين السابقتين ومن هذه الإجهادات المحسوبة يمكن تعيين متانة القص S في كل النقاط الناتجة حسب نظرية مور كولومب كما يلي:

 $S = c + \sigma n \tan \phi$

يمكن إيجاد متانة القص الكلية بجمع متانة القص والإجهاد في كل النقاط على سطح الاتهيار ويصبح عامل الأمان كالتالي

$$F = \frac{\sum (c + \sigma_n \tan \phi) \Delta l}{\sum \tau \Delta l}$$

حيث :

طول القطعة من سطح الانزلاق. ΔL

1-5 معلومات عن السد المدروس:

في هذا البحث سيتم تسليط الضوء على نوع خاص من السدود الترابية والذي ينحصر دوره بدرء خطر الفيضانات ورفع منسوب المياه الجوفية في آبار المزارعين خلف السد وذلك بالاستفادة من وجود طبقة تأسيس صرفة .

السد المدروس هو سد أبو بعرة ، (حيث تم الحصول على المعلومات المتعلقة بالسد من الشركة العامة للدراسات المائية بحمص)، يقع إلى الشرق مباشرة من قرية معرين بمحور غرب شرق بطول 724 م، وارتفاع مطلق 234.5 م, ويقع بين

خطي عرض: 3893.5-3893 وطول 377.5-378.5. يمتد حوض التخزين نحو الجنوب من المحور بمسافة 3-2 كم، أنشئ السد بهدف تجميع مياه الفيضانات المطرية وترشيحها لدعم مناسيب المياه الجوفية. السد يعتبر ترابي متجانس، تخزينه الأعظمي 7.8 م. م3، بارتفاع 24.5 م.

يلاحظ في حوض التخزين ثلاث مناطق بالقرب من محور السد:

1- منطقة سرير النهر: بارتفاع مطلق حوالي 210 م، في المجرى وحتى 219 م، على الجانب الأيسر، و 221 م، على الجانب الأيمن وبمسافة تقدر حوالي 213 م.

 $^{-2}$ منطقة شبه سهلية : ارتفاعها المطلق بين $^{-22}$ منطقة شبه سهلية : ارتفاعها المطلق بين $^{-22}$ م، بمسافة $^{-21}$ م، بمسافة $^{-22}$ م، بمسافة $^{-22}$ م، بمسافة $^{-22}$ م، بمسافة $^{-22}$

3- منطقة هضابية على الجانبين تتجاوز ارتفاعاتها المطلقة 260 م.

1-5-1 الظروف الجيولوجية والهيدروجيولوجية والتكتونية المحيطة بالمشروع:

موقع السد عبارة عن وادي تغمره اللحقيات الرباعية (alluvial vally) من الحقب الرابع, عرضها ما بين 1000-500 م، على الجانب الأيمن للنهر خاصة في المنطقة القريبة من جنوب محور السد ، وهي مؤلفة من غضار رملي سيلتي مع حصى مختلفة الأشكال والحجوم . كما يلاحظ أيضاً توضعات كونغلوميراتية قاسية على شكل شريط يحاذي النهر وجانبه الأيمن ملاطها كربوناتي وعناصرها كلسية وسيليسية تقطعها الأودية الصغيرة التي تصب في النهر . يحيط بهذه التوضعات الرباعية صخور كلسية ودولوميتية من عمر السينومانيان – تورونيان (الحقب الثاني)، ذات الكارست المتطور وهي بشكل عام تميل باتجاه المجرى وإلى الشمال بحوالي 7-5 درجات . يلاحظ في المنطقة عدد من الاضطرابات التكتونية كالصدوع والفوالق والتي تأخذ اتجاهات مختلفة تظهر بوضوح في الصخور الكلسية المجاورة للنهر والناتجة عن انهدام الغاب الرئيسي مع وجود مناطق كارستية وشقوق كبيرة حيث لوحظ منذ التحريات الأولية وجود فجوات بأقطار بلغ أقصاها 4 م ، متواجدة في الأعماق من 30-20 م . كما أنه من الملاحظ من التحريات الأولية في الجزء الأيسر من محور السد وعند العمق من 50-60 م ، طبقة رمل غضاري كربوناتي حصوي من المرجح أنه عبارة عن فجوة كارستية كبيرة امتلأت بهذه المواد وظهرت أثناء الحفر كطبقة غير متوقعة .

جيولوجياً وهيدروجيولوجياً: ينتشر نوعان من الرسوبيات في منطقة المحور والأماكن المجاورة: رسوبيات السينومانيان - تورونيان، والرسوبيات المتمثلة باللحقيات الرباعية.

الأولى: تشكل صخر الأساس مؤلفة من الصخر الكلسي- الدولوميتي الكارستي المشقق والمعتبر حامل مائي غزارته مرتبطة بالهاطل المطري و مياه النهر أثناء الجريان.

الثانية: مؤلفة من غضار سيلتي على السطح ثم رمل مع غضار حصوي وغضار سيلتي حصوي . المياه هنا مسامية خاصة في الطبقات العليا وتتم تغذيتها عن طريق الهاطل المطري ومياه النهر خلال فترة الجريان وكذلك من المياه المتواجدة في الصخور الكلسية الكارستية في مناطق التماس. لوحظ وجود حامل مائي ضمن هذه التوضعات في أبار محور السد تراوحت أعماقها أثناء فترة التحريات مابين 26.2-21.6 م، كما لوحظ أن منسوب الماء في المنطقة المحيطة بالسد أثناء التحريات الأولية تراوح مابين 50-20 م، ومنسوب مطلق 203-185 م، أما حركة المياه فهي باتجاه المجرى وإلى الشمال بشكل عام.

1-5-1 توصيف مشكلة السد:

إثر أول موسم تخزيني وتحديدا في النصف الثاني من نيسان 1988، وفي عام الانتهاء من تنفيذ السد واستلامه ، امتلأت البحيرة للمرة الأولى وظهرت رشوحات خلف السد مع تدفق للمياه من آبار الأهالي الواقعة خلف السد , ولقد تكررت الظاهرة أيضاً إثر كل موجة فيضانية أو موسم تخزيني أدى إلى الوصول إلى مناسيب أعلى من 228 م، (2003–2002)، ولمناسب أعلى منسوب تخزين معين .

في أيلول عام 1987، قامت مديرية استصلاح الأراضي بتنفيذ مجموعة سبور جيوكوبائية على الجانب الأيمن وفي الوادي قرب المحور وبينت هذه الدراسة وجود فالقين متقاطعين باتجاهات شمال – شمال شرق (north-north east)، و غرب جنوب غرب (west-sw)، حيث كانت توجد مجموعة فجوات كارستية، كما أن الدراسة أوضحت وجود منطقة نفوذة بسماكة أكبر من 50 م، مؤلفة من صخور كلسية حوارية معرضة لتشكل عمليات كارستية، وصخور كلسية مشققة جداً. مثل هذه المناطق تتكشف بين المنسوبين 225-215 م. الطبقة الكلسية الحوارية مغطاة بطبقة ذات درجة كارست ضعيف مشققة جداً على شكل صخور كلسية بلورية والتي تعتبر ممرات مفضلة لحركة المياه ياتجاه العمق وتطوير العمليات الكارستية الشاقولية . الطبقة الأساس تعتبر كلسية أيضاً لكنها مشققة جداً ومعزولة على شكل بلوكات الأمر الذي يساعد على رشح المياه من السطح (حسب الدراسة).

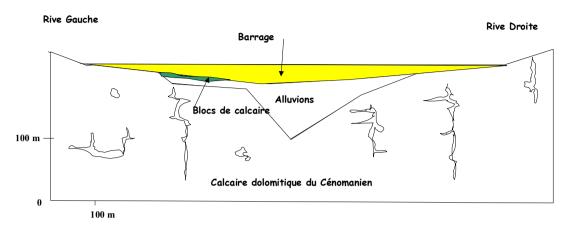
الطبيعة الجيولوجية للتوضعات على الجانب الأيسر من النهر مختلفة تماماً عنها في الجانب الأيمن حيث التوضعات الألوفية (بفعل الأنهار) مثل الغضار والغضار الرملي والغضار الرملي المبحص هو المسيطر والذي يغطي الصخور الكلسية المخلعة . سماكة التوضعات هذه من 40-18 م، تم تحديد المنطقة الأخطر أي منطقة تقاطع الفالقين ونفذت عملية تكتيم على شكل بطانة غضارية مغطاة بالبحص على مساحة بحدود 80*200 م عام 1991 ، على أمل أن تتابع في السنوات اللاحقة بحيث تتم تغطية الفالق بشكل كامل وحسب ما تسمح به الامكانات المادية ولكن لم ينفذ بعد ذلك أي عمل .

إن السيناريو الممكن توقعه في مثل هكذا حالة، أنه مع ارتفاع منسوب التخزين في البحيرة نتيجة لأي موجة فيضانية إلى منسوب أعلى من 228 م، تحصل عملية رشح شاقولية ومن ثم حركة مياه باتجاه المجرى وشمالاً عبر الصخور الكلسية المكرستة بشدة الأمر الذي يؤدي إلى زيادة الضغط على المياه المتواجدة في منطقة الآبار، والمتوقع أنها مخترقة لطبقة الصخور الكلسية المشار إليها جزئيا أو كليا، ومن ثم حصول عملية تدفق المياه منها، ولكن يبقى هذا السيناريو افتراضي ويحتاج إلى ما يؤكده أو يعدله أو يلغيه .

1-6 هدف البحث:

الوصول إلى تفسير لسلوك السد في الواقع من خلال دراسة تجريبية لمواد السد للحصول على البرامترات اللازمة لاستخدامها في عملية نمذجة السد.

يوضح المصور التالي المقطع الجيولوجي للسد:



الشكل رقم (1- 7): المقطع الجيولوجي

- صور توضح طبقات التربة بالقرب من السد وتوضعاتها ، والتصدعات في هذه الطبقات :



الشكل رقم (1-8) : طبقات التربة وتصدعاتها

- صور توضح الأماكن التي أخذت منها العينات ، والآبار البيزومترية :



الشكل رقم (1-9) : أماكن العينات والآبار البيزومترية

الفصل الثاني التجارب الفيزيائية والميكانيكية

: مقدمة

من أجل إعداد نموذج لسد ما فإننا بحاجة لقيم ومعلومات عن البارمترات الأساسية المستخدمة في النمذجة ، لذا فإننا في هذا الفصل سنجري التجارب الفيزيائية والميكانيكية اللازمة من أجل النمذجة .

خلال زيارة ميدانية لموقع السد موضوع الدراسة قمنا بإحضار العينات التي سنجري عليها التجارب المخبرية (الفيزيائية والميكانيكية) حيث تم تصنيف العينات تبعاً للموقع والعمق من خلف السد ومن جسمه (والتي صادفت وقت عمل آبار بيزومترية للسد من قبل الشركة العامة للدراسات بحمص) وتمت دراسة خواص المواد بتجارب مخبرية فيزيائية وفق نظام ASTM المعتمد عالمياً ، وتجارب ميكانيكية باستخدام تجارب القص المستوي المباشر .

تم إجراء عدد كبير من التجارب المخبرية ومن ثم قمنا بدراسة إحصائية نتج عنها القيم المتوسطة الممثلة للواقع والتي سيعرض جزء منها، مع العلم أنه تم استثناء مجموعة من القيم الشاذة (غير المنطقية) لم يعرف سببها .



الشكل رقم (2-1): صور العينات المأخوذة من الموقع من قاعدة السد (طبقة الأساس)



الشكل رقم (2-2): صور العينات المأخوذة من الموقع من جسم السد

2-2 دراسة الخواص الفيزيائية:

2-2-1 الرطوبة الطبيعية:

طريقة التجربة: توزن الجفنة فارغة ثم توزن مع العينة وتوضع بالفرن مدة 24 ساعة ثم توزن من جديد فتكون الرطوبة هي نسبة وزن الماء إلى وزن الأجزاء الصلبة، تم إجراء العديد من التجارب فكانت النتائج كما يلي:

الجدول رقم (2-1): الرطوبة الطبيعية

بة %	الرطو	لوزن بعد التجفيفg	وزن الجفنة مع العينةg	وزن الجفنة فارغةg	رقم التجربة	اسم العينة
	9.501	28.53	30.13	11.69	1	B2
9.907	9.611	28.27	29.68	13.6	2	DZ
	10.61	30.37	32.08	14.25	3	12.5-10
	9.402	42.52	44.61	20.29	1	B2
8.643	8.995	36.1	38.07	14.2	2	DZ
	7.533	43.26	45.41	14.72	3	15.5-12
	8.824	45.59	48.26	15.33	1	B2
8.833	8.295	53.74	56.42	21.43	2	DZ
	9.38	37.88	40.09	14.32	3	17.5-15

2-2-2 الوزن الحجمي:

W3 طريقة التجربة : توزن العينة المجذبة بالحالة الطبيعية W1 ثم توزن بعد تغليفها بالبرافين W2 ثم توزن بالماء المقطر W3 فيكون الوزن الحجمى الطبيعي $[W2-W3/\gamma w-(W2-W1)/\gamma p]$.

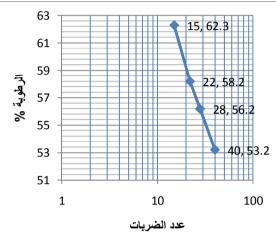
الجدول رقم (2-2): الوزن الحجمي

ىيg/cm3	الوزن الحجه	الوزن بالماءg	الوزن مع البرافينg	الوزن بالحالة الطبيعيةg	رقم التجربة	اسم العينة
	2.223	16.8	35.4	31.35	1	B2
2.22	2.236	34.5	73.7	64.3	2	DZ
	2.201	30.5	67.1	57.8	3	12.5-10
	2.188	20	43.7	38	1	B2
2.194	2.229	14.5	30.5	27	2	DZ
	2.164	29.9	69.7	58	3	15.5-12
	2.189	34.9	74.8	66.05	1	B2
2.196	2.201	40.5	83.5	75.8	2	DΖ
	2.199	34.75	73	65.3	3	17.5-15

2-2-3 حدود أتربرغ:

- التجربة رقم (1):

الجدول رقم (2-3): نتائج تجربة حدود أتربرغ رقم وخطها البياني



	حدود أنزبرغ – 1 –							
	2-4.	5	(العمق	B12	رقم العينة		
حد اللدونة Wp%		%W	Lä	حد السيوا		مراحل التجربة		
5	4	3		2	1	رقم الجفنة		
6.45	6.40	31.4	49	14.69	10.86	وزن الجفنة g		
15.69	26.43	44.2	22	36.96	28.67	وزن الجفنة مع العينة رطبة g		
13.41	19.04	39.0	65	28.38	21.70	وزن الجفنة مع العينة جافة g		
6.96	12.64	8.1	.6	13.69	10.84	الوزن الجاف g		
2.28	7.39	4.5	57	8.58	6.97	وزن الماء g		
32.76	53.20	56.	20	58.20	62.30	الرطوبة %		
	40.00	28.0	00	22.00	15.00	عدد الضربات		

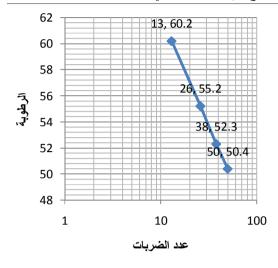
فكانت حدود السيولة واللدونة وقرينة اللدونة كما موضحة بالجدول:

الجدول رقم (2-4): قيم حدود أتربرغ لتجربة حدود أتربرغ رقم 1

57.00	حد السيولة WL%
32.76	حد اللدونةWP%
24.24	قرينة اللدونةIP%

- التجربة رقم (2):

الجدول رقم (2-5): نتائج تجربة حدود أتربرغ رقم 2 وخطها البياني



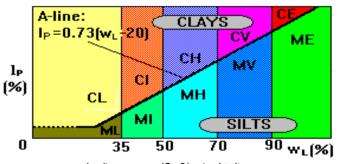
حدود أنزبرغ – 2 –							
	12.5-	-15	العمق	B2	رقم العينة		
حد اللدونة Wp%		WL%	حد السيولة هُ		مراحل التجربة		
5	4	3	2	1	رقم الجفنة		
10.94	14.43	14.76	5 14.29	15.34	وزن الجفنة g		
16.17	33.41	38.33	3 35.80	37.04	وزن الجفنة مع		
					العينة رطبة g		
14.96	25.15	28.30	26.56	27.36	وزن الجفنة مع العينة جافة g		
4.02	10.72	13.54	1 12.27	12.02	ي . و الوزن الجافg		
1.21	8.26	10.03	3 9.24	9.68	وزن الماءg		
30.10	50.40	52.30	55.20	60.20	الرطوبة%		
	50	38	26	13	عدد الضربات		

فكانت حدود السيولة واللدونة وقرينة اللدونة كما يلى:

2 قيم حدود أتربرغ لتجربة حدود أتربرغ رقم (2-6) الجدول رقم الجدول التجربة حدود أتربرغ التجربة حدود أتربرغ التجربة التحدول التحدول التحدود ال

55.50	حد السيولة WL%
30.10	حد اللدونة WP%
25.40	قرينة اللدونةIP%

مما سبق نجد أنه من أجل تصنيف التربة المدروسة نستعين بمخطط التصنيف للترب فنجد أن التربة المدروسة ذات تصنيف CH أي غضار عالى اللدونة .



الشكل رقم (2-3): تصنيف التربة

2-2 التحليل الحبى:

توزن الصينية فارغة ثم توزن مع العينة المجففة لمدة 24 ساعة ثم تتقع بالماء لمدة 24 ساعة وتغسل على منخل رقم 200 ثم توضع بالفرن لمدة 24 ساعة ثم تمرر على المناخل ويؤخذ المحجوز.

		بي	ي التحليل الح	منحنر	
	80	*			
المار %	-40				
2	0	10	1	0.1	0.01
		10	أبعاد الفتحة (مد)	0.1	0.01

20-	18m	العمق :		B1	رقم السبر
	420		الغسيل (gr)	و	
in	الفتحةmm	محجوز جزئي g	محجوز کلی g	المجموع %	المار %
2.5	63.2				100
2	50.8				100
1.5	38.1				100
1	25.4				100
3/4	19.05				100
0.5	12.7	14.38	14.38	6.2877	93.71
3/8	9.525	6.71	21.09	9.2217	90.78
4	4.763	24.18	45.27	19.794	80.21
10	2	49.24	94.51	41.325	58.68
20	0.85	51.16	145.67	63.695	36.31
40	0.42	31.28	176.95	77.372	22.63
60	0.25	20.2	197.15	86.205	13.8
100	0.147	16.61	213.76	93.467	6.533
200	0.074	14.94	228.7	100	0

ملاحظة: إن نسبة 45.6% من وزن العينة مر من المنخل رقم 200 عند غسلها

الجدول رقم (2-8): نتائج التجربة رقم 2 وشكل المنحني

	ببي	ي التحليل الح	منحن	
80 70 60 50 3 40 8 30 20				
	10	1	0.1	0.01
		أبعاد الفتحة (مم)		

	, , ,			
15.5-12m	العمق :		B2	رقم السبر
	857.21	الغسيل (gr)	زن العينة قبل	وز
الفتحة	محجوز جزئي g	محجوز کل <i>ي</i> g	المجموع %	المار %
12.7	62.4	62.4	30.165	69.83
9.525	66.96	129.36	62.535	37.46
4.763	27.99	157.35	76.066	23.93
2	21.67	179.02	86.542	13.46
0.85	16.86	195.88	94.692	5.308
0.42	5.44	201.32	97.322	2.678
0.25	2.53	203.85	98.545	1.455
0.147	1.82	205.67	99.425	0.575
0.074	1.19	206.86	100	0

ملاحظة: إن نسبة 75.9% من وزن العينة مر من المنخل رقم 200 عند غسلها

30 20 10 1 0.1 0.01

أبعاد الفتحة (مم)

الجدول رقم (2-9): نتائج التجربة رقم 3 وشكل المنحني

12.5-10m	العمق :		B2	رقم السبر
	924.18	، الغسيل (gr)	زن العينة قبل	ور
الفتحة	محجوز جزئي g	محجوز کل <i>ي</i> g	المجموع %	المار %
12.7	63.23	63.23	30.644	69.36
9.525	64.64	127.87	61.971	38.03
4.763	34.66	162.53	78.768	21.23
2	23.02	185.55	89.924	10.08
0.85	7.62	193.17	93.617	6.383
0.42	5.68	198.85	96.37	3.63
0.25	4.15	203	98.381	1.619
0.147	2.35	205.35	99.52	0.48
0.074	0.99	206.34	100	0

ملاحظة: إن نسبة 77.7% من وزن العينة مر من المنخل رقم 200 عند غسلها

منحني التحليل الحبي

المحني التحليل الحبي
المحني التحليل الحبي
المحني التحليل الحبي
المحني التحليل الحبي
المحني التحليل الحبي
المحني التحليل الحبي
المحني التحليل الحبي
المحني التحليل الحبي

الجدول رقم (2−10): نتائج التجربة رقم 4 وشكل المنحني

17.0-10111	. نحص		DZ	رے شیر
	553.01	الغسيل (gr)	زن العينة قبل	و(
الفتحة	محجوز جزئي g	محجوز كلي g	المجموع %	المار %
12.7		0	0	100
9.525	53.21	53.21	36.862	63.14
4.763	19.52	72.73	50.384	49.62
2	20.29	93.02	64.441	35.56
0.85	13.46	106.48	73.765	26.23
0.42	11.1	117.58	81.455	18.55
0.25	9.35	126.93	87.932	12.07
0.147	8.74	135.67	93.987	6.013
0.074	8.68	144.35	100	0

3-2 دراسة الخواص الميكانيكية:

R2

ر قد السير

2-3-1 مقدمة عن مقاومة التربة على القص:

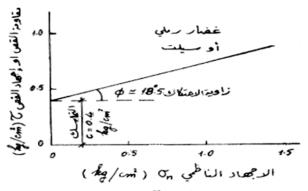
نعرف المقاومة ضد القص (Shear strength) لتربة ما , بأنها أكبر أجهاد قص يمكن أن تتحمله التربة حيث تنهار بعد ذلك و تعطى سطح انزلاق واضح.

و تتألف مقاومة القص من عاملين أساسيين:

1- الاحتكاك الداخلي Internal friction و هو المقاومة الناتجة عن تعشق (Interlocking) حبات التربة مع بعضها و احتكاكها ببعضها البعض.

2- التماسك Cohesion و هو المقاومة الناتجة عن القوى التي تحاول مسك الحبات مع بعضها ضمن كتلة ترابية. وبشكل عام تأخذ الترب الغضارية مقاومتها من كلا العاملين (التماسك و الاحتكاك) و يكون الاحتكاك مهملا في حالات خاصة . أما الترب الرملية فتعتمد مقاومتها بالدرجة الأولى على الاحتكاك الداخلى و قد يوجد فيها تماسك أحيانا".

– إن العلاقة مابين مقاومة القص للتربة و عاملي التماسك و الاحتكاك تعطى بقانون كولومب (Coulomb) ويوضحها الشكل رقم (2-4):



الشكل رقم (4–2) : مخطط اجهاد ناظمي – اجهاد قص $S=\tau=c+\sigma n.tq \Phi$

S: هي مقاومة التربة ضد القص .

τ: إجهاد القص

C: تماسك التربة .

ση: الإجهاد الناظمي المؤثر على التربة.

φ: زاوية الاحتكاك الداخلي للتربة و يمكن تمثيل هذه العلاقة تخطيطيا" حيث نرسم قيم S بدلالة قيم σn فنحصل على علاقة مستقيم

إن الإجهاد الناظمي المعطى بالعلاقة أعلاه لا يدخل في الحساب ضغط الماء المسامي U أي أن الإجهاد σn هو أجهاد كلي يؤثر على مستوى القص في الترب.

الماء هي: σ التي تعتمد المقاومة عليه و الإجهاد الكلي σ و ضغط الماء هي:

$$\sigma' = \sigma - U$$

يمكن إعطاء دستور كولومب بالعلاقة التالية:

S=C'+(
$$\sigma$$
-U).tg Φ '

حيث , Φ هي التماسك و زواية الاحتكاك باستعمال الاجهادات الفعالة بدلا "من الاجهادات الكلية و هذا ما أشار إليه العالم ترزاكي عام 1925 . تتبع قيم Φ , Φ إلى :

نوع التربة - كثافة التربة - درجة الرطوبة - سرعة التجربة - طبيعة التجربة .

2-3-2 قياس مقاومة القص

تقاس مقاومة القص في كل من المخبر و الحقل ، إن الاختبارات المخبرية تطبق على عينات من التربة ويجب أن تتم بطريقة تماثل الشروط الحقلية.

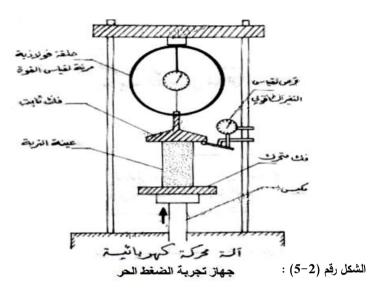
الاختبارات المخبرية الشائعة الاستعمال:

1- القص غير مباشر: بواسطة الضغط الحر أو الضغط ثلاثي المحاور.

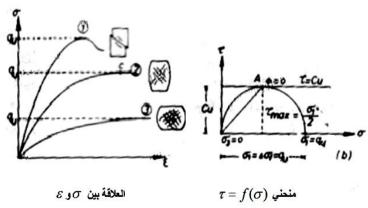
2- القص المباشر: بواسطة علبة القص أو المروحة الدوارة.

أ-الضغط الحر: (تجربة الضغط غير المحصور) Unconfined compression Test

هي تجربة سريعة يمكن الاستفادة منها في تعيين مقاومة التربة Cu,qu وعامل المرونة Eu في الشروط غير المصرفة (على المدى القريب). وهي حالة خاصة من تجربة الضغط ثلاثي المحاور حيث لا يطبق ضغط جانبي على العينة و تجرى هذه التجربة في حالة الترب الغضارية والمتماسكة المشبعة .



ويتراوح التقاصر النسبي أو التشوه النسبي المحوري عند الانهيار بين (8–3) للغضار القاسي المنحني (1) و بين (8–14) للغضار الثابت أو نصف القاسي المنحني (2) و بين (14–25%) للغضار الطري المنحني (3) ومن المنحني نحصل على مقاومة الضغط الحر 9 و الممثل لأكبر قيمة للإجهاد 1 و إذا أردنا رسم دائرة مور و باعتبار أن 1 و 3 و كفالدائرة تمر من المبدأ و مغلف الانهيار أفقي و مماس للدائرة في النقطة 1 و معادلته : 1 2 3 3

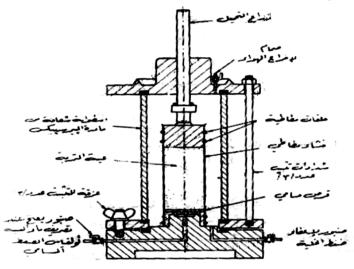


الشكل رقم (2-6): العلاقة بين الاجهاد والتشوه

مبدأ التجربة شبيه بضغط البيتون أو الحجارة أو غير ذلك من المواد إلا أنه يوجد جهاز خاص في حالة التربة يمكن استعمال في المخبر أو في الورشة . حيث يرسم الجهاز مخطط الإجهاد و التغيرات مباشرة على صفيحة ورقية , لكنه يمكن استعمال أي آلة أخرى لقياس مقاومة التربة للضغط الحر .

وتتألف عادة من فك متحرك بسرعة معينة كما في الشكل التالي. يضغط على العينة فتنتقل القوة إلى حلقة فولاذية مرنة . نتمكن من قياس التغيرات فيها من معرفة مقدار القوة المطبقة كما يجب قياس التغير الشاقولي وبالتالي حساب التغير النسبي

ب-تجربة الضغط ثلاثي المحاور Triaxial compression Test :



الشكل رقم (2-7): جهاز الضغط ثلاثي المحاور

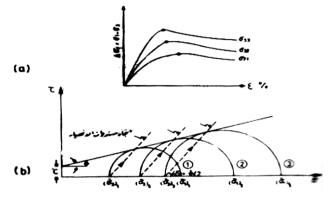
تعتبر هذه التجربة أكثر التجارب صلاحية لتعبين خواص القص و قياس التغيرات في العينة بتأثير الاجهادات المطبقة وتستخدم هذه التجربة من أجل حالات كثيرة و أغراض متعددة حيث توضع العينة ذات الشكل الاسطواني بعد تغليفها بغشاء مطاطي رقيق من اللاتكس ضمن حجيرة أو حلة اسطوانية و الجهاز موضح بالشكل رقم (2-7).

إن الغرض من الغشاء المطاطي تحقيق تجانس في توزيع الضغط على العينة وحمايتها من سائل الحجيرة ، أما الاقطار النظامية العينان العي

و بالنسبة لعينات الترب الخشنة فيجب أن لا تقل قطر العينة عن خمس مرات قطر أكبر الحبات فيها و يتراوح نسبة طول العينة إلى قطرها..

لإجراء التجربة تخضع العينة أولا لضغط خلية σ c متجانس و متماثل الخواص و يطبق هذا الضغط بواسطة الماء الموجود في الحجيرة أو أي سيائل خفيف كالغليسيرين كميا يستخدم الغيار أحيانا. و لكي نتهار العينة بالقص يطبق أجهاد محوري أضافي σ Δ بواسطة مكبس شاقولي مثبت أعلى الحجيرة ، و يتصل المكبس بحلقة قياس لتعيين القوى المطبقة خلال مراحل التجربة , وبما أن وضع العينة لا يسمح بتعريضها لأجهادات قص

و يمثل ضغط الخلية σ C الإجهاد الأساسي الأصغري , أما الإجهاد المحوري و الذي هو مجموع ضغط الخلية المنتظم و الضغط المحوري الإضافي Δ σ f . فيمثل الإجهاد الأساسي الاعظمي σ 1 و يدعى σ 1 بفرق الإجهاد الأساسي أو فرق أجهاد و يساوي للقوة الناظمية المطبقة مقسومة على مقطع العينة.



الشكل رقم (2-8): مغلف الانهيار

ولتمثيل النتائج نرسم منحني العلاقة بين التشوه النسبي المحوري بدلالة فرق الإجهاد لثلاث عينات متماثلة على الأقل. ومن أجل ضغوط خلية مختلفة , 3-3, 3-3, 3-3, 3-3, 3-3, 3-3, 3-3, و تعتبر ذروة كل منحني ممثلة لفرق الإجهاد الأعظمي و نحدد بالتالي 3-3 لكل تجربة ، و لرسم مغلف الانهيار نرسم دوائر المور المقابلة لقيم الإجهاد عند الانهيار و ذلك لثلاث عينات متماثلة حيث تخضع هذه العينات لثلاث ضغوط مختلفة و تتوقف شدة ضغط الخلية على طبيعة التربة و عمق العينة و نوع المسألة المدروسة .

و يمكن البدء بضغط خلية للعينة الأولى يساوي للضغط الشاقولي الفعال ثم الضغط الشاقولي الفعال kpa+ 100 للعينة الثانية ثم الضغط الفعال kpa+ 200 للعينات الثلاث, و من مغلف الانهيار يمكن تعيين زاوية مقاومة القص φ و التماسك C و في الترب المفككة فأن المغلف يمر بالمبدأ.

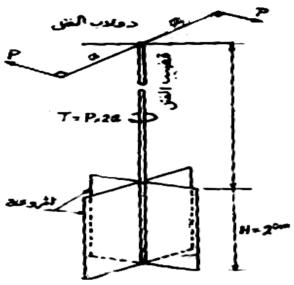
ج- القص المباشر Direct Shear Test :

• المروحة الدوارة: تتألف المروحة الدوارة من صفيحتين معدنيتين متصالبتين تغمسان في التربة المراد تعيين مقاومة القص فيها . ندير المروحة بسرعة زاوية معينة و نقيس مقدار زاوية الدوران و عزم الفتل الموافق حتى نصل إلى مرحلة الانكسار حيث تقص التربة بشكل اسطوانة دائرية ارتفاعها H و هو ارتفاع المروحة و قطرها D مساو لبعد المروحة كما في الشكل رقم (2−9) و تكون مقاومة القص S مساوية إلى :

$$S=(2.T)/[\pi.D^2(H+D/3)]$$

T: عزم الفتل عند الانهيار T=2.P.a باعتبار P هي القوة المطبقة .

A: ذراع القوة ، D,H: أبعاد المروحة .



الشكل رقم (2-9): المروحة الدوارة

تستعمل تجربة القص بالمروحة في حالة الترب الغضارية أو الترب السلتية و الرملية الناعمة ذات التماسك الضعيف و لكن لا تصلح هذه التجربة للترب البحصية نظرا" لوجود حبات ذات أقطار كبيرة تمنع المروحة من الدوران و تعطي بالتالي قيما" تختلف عن الواقع.

مزايا هذه الطريقة:

1. إمكانية إجراء التجربة في الورشة حيث ننزل المروحة إلى أسفل بئر السبر ثم نقوم بقص التربة و قياس مقاومتها في الطبيعة

2. عدم تخريب العينات المستخرجة , و بالتالي نحصل على نتائج واقعية صحيحة عن مقاومة التربة و خاصة في الترب الغضارية الحساسة.

• علبة القص:

في هذه التجربة يحدد مسبقا" مستوي القص . تؤثر على هذا المستوي قوتان (اجهادان) الإجهاد الناظمي من تأثير الحمولة الشاقوليـــة Pv واجهاد القص من تأثير الحمولة الأفقية Ph و تحسب هذه الاجهادات بسهولة كما يلى :

$$\tau$$
=Ph/A σ n=Pv/A

حيث A مساحة مقطع العينة , و تتطبق معادلة كولومب على هذه الاجهادات:

$\tau = c + \sigma n.tg \varphi$

و بما أنه يوجد مجهولان في هذه المعادلة لذلك علينا أن نجري على الاقل تجربتين لتحديد الإجهاد الناظمي σ n و أجهاد القص τ و بالتالي (C, ϕ) .

و بما أن نتائج التجربة مماثلة لبناء دوائر مور للحصول على C, φ لذلك يمكن وضع عدة قيم ل σ n مقابل τ ثم رسم خط مستقيم مارا" بالنقاط للحصول على ميل هذا الخط و نقطة نقاطعه مع المحور τ للحصول على σ .

كانت تعتبر هذه التجربة واسعة الانتشار و لكن الآن مع نقدم الإمكانيات العملية أصبحت أقل استعمالا" للأسباب التالية:

- 1. تتغير مساحة مقطع العينة خلال التجربة و لكن ربما لا تؤثر كثيرا" حيث أن معظم العينات تنهار بتأثير تشوهات بسيطة.
 - 2. أن السطح الفعلى للانهيار ليس مستويا" كما هو مفترض مسبقا" حسب طريقة إنشاء الجهاز .
 - 3. تستخدم التجربة عينات صغيرة بحيث تكون درجة الخطأ عالية إذا حصل أي شذوذ عن التجهيز الجيد لها.
 - 4. لا يمكن تحديد قيم E و الم من هذه التجربة.
 - 5. يتطلب حجم العينة عناية أكبر في حالة التجربة في شروط قياس الضغط المسامي .
 - 6. تطوير أجهزة الثلاث محاور .

2-3-2 دراسة التجارب الميكانيكية:

لقد تم إجراء تجربة القص المباشر على مجموعة من العينلت المأخوذة من جسم السد حيث تم استخدام السرعات البطيئة في هذه التجارب (القص البطيء) للوصول للبرمترات المهمة بالتصميم والموافقة لحالة سد منشأ مسبقاً منذو زمن بعيد نسبياً عن وقت الدراسة حيث أن استخدام القص السريع يوافق حالة ما بعد الإنشاء مباشرة .

تجربة القص المباشر: تم إجراء التجارب على ثلاثة مراحل من حيث سرعة القص

1.السرعة 0.5mm/min

0.2mm/min السرعة.2

3.السرعة 0.1mm/min

وذلك بهدف مقارنة عملية سلوك الجملة المدروسة مع الواقع ،وفي كل سرعة من السرعات السابقة يتم القص تحت الحمولات التالية:

$$4kg - 3kg - 2kg - 1kg$$

ملاحظة : إن وضع 1Kg في الجهاز يعادل تطبيق قوة 10Kgعلى العينة بسبب ذراع التكبير في الجهاز، كما أن سطح العينة 6 سم 6 سم.

فكانت النتائج على النحو التالي:

1.السرعة 0.5mm/min:

ملاحظات عن التربة المجرى عليها التجربة: لونها أحمر /بني من عمق 2- 4.5 م (B12)

الجدول رقم (2-11) : نتائج السرعة 0.5mm/min

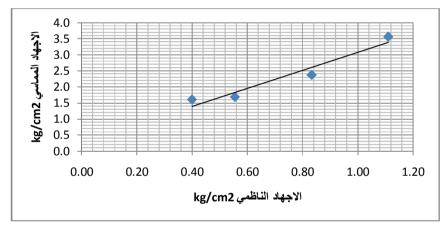
الاجهاد المماسي kg/cm2	القوة المماسية kg	القراءة	الاجهاد الناظمي المطبق	الوزن kg	السرعة
1.60	57.77	32.40	0.4 kg /cm2	10.00	0.5mm/min
1.68	60.61	34.00	0.56 kg /cm2	20.00	0.5mm/min
2.37	85.51	48.00	0.83 kg /cm2	30.00	0.5mm/min
3.56	128.19	72.00	1.11 kg /cm2	40.00	0.5mm/min

الجدول رقم (2-12): رطوبة العينة خلال إجراء التجربة

طوبة %	الر،	الوزن بعد التجفيف	وزن الجفنة مع العينة	وزن الجفنة فارغة	رقم التجربة	اسم العينة
	8.40	41.84	44.15	14.34	1	تربة حمراء
8.32	8.18	33.44	35.05	13.75	2	B12
	8.37	41.76	43.95	15.59	3	4.5-2

الجدول رقم (2-13): الوزن الحجمي للعينة خلال إجراء التجربة

جمي g/cm3	الوزن الح	الوزن بالماء	الوزن مع البرافين	الوزن بالحالة الطبيعية	رقم التجربة	اسم العينة
	1.937	12	30.84	25.93	1	تربة حمراء
1.99	2.011	18.8	46.95	39.13	2	B12
	2.033	30.5	75.98	62.9	3	4.5-2



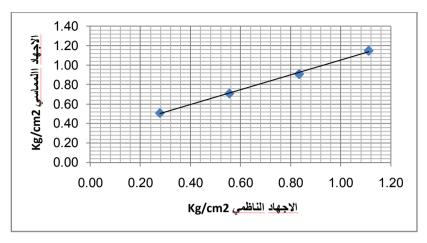
الشكل رقم (2-10): مخطط نتائج التجربة

2.السرعة 0.2mm/min :

ملاحظات عن التربة المجرى عليها التجربة: من عمق 5.5- 4.5 م (B2)

0.2mm/min الجدول رقم (14–2) : نتائج السرعة

				1	1	
الاجهاد المماسي2kg/cm	القوة المماسية kg	القراءة	الاجهاد الناظمي المطبق	الوزن kg	السرعة	رقم التجربة
0.51	0.14	0.00	0.28 kg/cm2	10.00	0.2mm/min	1
0.71	1.65	0.85	0.56 kg/cm2	20.00	0.2mm/min	2
0.91	2.80	1.50	0.83 kg/cm2	30.00	0.2mm/min	3
1.15	4.14	2.25	1.11 kg/cm2	40.00	0.2mm/min	4



الشكل رقم (2-11): مخطط نتائج التجربة

حيث يوضح الجدولين رقم (2-15 ، 2-16) رطوبة العينة ووزنها الحجمي عند إجراء التجربة كما يلي :

الجدول رقم (2-15): الرطوبة أثناء التجربة

% ā.	الرطوب	الوزن بعد التجفيف	وزن الجفنة مع العينة	وزن الجفنة فارغة	رقم التجربة	اسم العينة
	9.29	29.50	30.94	14.00	1.00	تربة حمراء
8.97	8.90	29.80	31.10	15.20	2.00	B2
	8.70	28.60	29.84	14.35	3.00	5.5-4.5

الجدول رقم (2-16): الوزن الحجمي أثناء التجرية

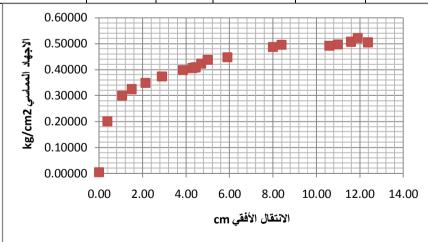
ىي g/cm3	الوزن الحجد	الوزن بالماء	الوزن مع البرافين	الوزن بالحالة الطبيعية	رقم التجربة	اسم العينة
	2.01	17.50	48.85	37.40	1.00	تربة حمراء
2.09	2.24	20.90	53.13	40.30	2.00	B2
	2.02	15.70	41.77	33.00	3.00	5.5-4.5

3. السرعة 0.1mm/min :

ملاحظات عن التربة المجرى عليها التجربة: من عمق 5.5- 4.5 م (B2)، ولها نفس الرطوبة والوزن الحجمي السابقتين.

0.1mm/min الجدول رقم (2–17) : نتائج السرعة

				<u> </u>			
الانتقال	kg/cm2الاجهاد المماسي	القوة المماسيةkg	القراءة	الاجهاد الناظمي المطبق kg /cm2	الوزنkg	السرعة	رقم التجربة
0.00	0.00389	0.1400	0.00	0.83	30.00	0.1mm/min	1.00
0.39	0.20151	7.2544	4.00	0.83	30.00	0.1mm/min	1.00
1.06	0.30032	10.8116	6.00	0.83	30.00	0.1mm/min	1.00
1.50	0.32503	11.7009	6.50	0.83	30.00	0.1mm/min	1.00
2.14	0.34973	12.5902	7.00	0.83	30.00	0.1mm/min	1.00
2.90	0.37443	13.4795	7.50	0.83	30.00	0.1mm/min	1.00
3.86	0.39913	14.3688	8.00	0.83	30.00	0.1mm/min	1.00
4.30	0.40654	14.6356	8.15	0.83	30.00	0.1mm/min	1.00
4.44	0.40901	14.7245	8.20	0.83	30.00	0.1mm/min	1.00
4.70	0.42384	15.2581	8.50	0.83	30.00	0.1mm/min	1.00
5.00	0.43866	15.7917	8.80	0.83	30.00	0.1mm/min	1.00
5.90	0.44854	16.1474	9.00	0.83	30.00	0.1mm/min	1.00
8.00	0.48806	17.5703	9.80	0.83	30.00	0.1mm/min	1.00
8.40	0.49646	17.8726	9.97	0.83	30.00	0.1mm/min	1.00
10.60	0.49300	17.7481	9.90	0.83	30.00	0.1mm/min	1.00
11.00	0.49794	17.9260	10.00	0.83	30.00	0.1mm/min	1.00
11.60	0.50783	18.2817	10.20	0.83	30.00	0.1mm/min	1.00
11.90	0.52265	18.8153	10.50	0.83	30.00	0.1mm/min	1.00
12.37	0.50536	18.1928	10.15	0.83	30.00	0.1mm/min	1.00
				•	•		

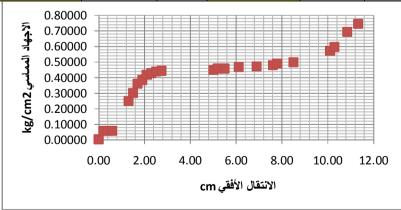


الشكل رقم (2-12): مخطط نتائج التجربة

نلاحظ أن العينة تسلك سلوك مرن - لدن تام ، وهذا يعني انه يمكننا استخدام قانون السلوك موهركولومب في النمذجة .

الجدول رقم (2-18) : نتائج السرعة 0.1mm/min

الانتقال	الاجهاد	القوة	القراءة	الاجهاد الناظمي	الوزنkg	السرعة	رقم
0.00	0.00389	0.1400	0.00	1.11	40.00	0.1	1.00
0.20	0.05824	2.0965	1.10	1.11	40.00	0.1	1.00
0.40	0.05824	2.0965	1.10	1.11	40.00	0.1	1.00
0.60	0.05824	2.0965	1.10	1.11	40.00	0.1	1.00
1.30	0.25092	9.0330	5.00	1.11	40.00	0.1	1.00
1.50	0.30032	10.8116	6.00	1.11	40.00	0.1	1.00
1.70	0.35961	12.9459	7.20	1.11	40.00	0.1	1.00
1.90	0.38431	13.8352	7.70	1.11	40.00	0.1	1.00
2.10	0.41890	15.0802	8.40	1.11	40.00	0.1	1.00
2.30	0.42878	15.4360	8.60	1.11	40.00	0.1	1.00
2.50	0.43866	15.7917	8.80	1.11	40.00	0.1	1.00
2.75	0.44360	15.9695	8.90	1.11	40.00	0.1	1.00
5.00	0.44854	16.1474	9.00	1.11	40.00	0.1	1.00
5.20	0.45842	16.5031	9.20	1.11	40.00	0.1	1.00
5.50	0.45842	16.5031	9.20	1.11	40.00	0.1	1.00
6.11	0.46830	16.8588	9.40	1.11	40.00	0.1	1.00
6.90	0.47324	17.0367	9.50	1.11	40.00	0.1	1.00
7.60	0.48065	17.3035	9.65	1.11	40.00	0.1	1.00
7.80	0.49053	17.6592	9.85	1.11	40.00	0.1	1.00
8.50	0.49794	17.9260	10.00	1.11	40.00	0.1	1.00
10.10	0.57205	20.5939	11.50	1.11	40.00	0.1	1.00
10.30	0.59676	21.4832	12.00	1.11	40.00	0.1	1.00
10.85	0.69557	25.0404	14.00	1.11	40.00	0.1	1.00
11.33	0.74497	26.8190	15.00	1.11	40.00	0.1	1.00



الشكل رقم (2-13) : مخطط نتائج التجربة

نلاحظ من المخطط أن العينة تسلك سلوك مرن – لدن تام ، وهذا يعني انه يمكننا استخدام قانون السلوك موهركولومب في النمذجة ، كما يلاحظ وجود عتبة لدونة كبيرة لتبدأ بعدها العينة بإعادة ترتيب جزيئاتها نتيجة لتصريف الماء مما يزيد تحملها للإجهادات مقابل انتقالات أقل، وهذا ما سنراه لاحقاً حيث تكون الإجهادات أعلى بوجود بئر (تصريف) مع انتقالات أقل.



الشكل رقم (2-14): بعض الصور للتجارب المنفذة في المخبر

2-4 استنتاج قيم البرامترات:

من خلال دراسة النتائج المخبرية تبين لنا أن سلوك الغضار المشكل لجسم السد يحقق معيار موهر كولومب ، وخاصةً وأن التشققات الموجودة على السطح الخلفي للسد تدل على وجود نقاط لدنة وبداية لدخول في مرحلة اللدونة ،أي أن السلوك في أغلب الأحيان مرن خطى – لدن لذا يمكننا استنتاج ما يلى:

1- يمكن دراسة جسم السد ضمن مسألة التشوهات المستوية .

2- يمكن استخدام معيار موهركولومب.

وعليه فإن البرامترات اللازمة لهذا السلوك هو التماسك وزاوية الاحتكاك بشكل أساسي من جهة ومن جهة ثانية بما أنه يوجد مياه جوفية والتربة مغمورة فلابد من معرفة معامل النفاذية للتربة بالإضافة إلى معامل المرونة ومعامل بواسون ،ولكن لم يتسنى لنا تحديد كل هذه المعاملات في مخبر كلية الهندسة المدنية لذا تم الاستعانة بنتائج التجارب المجراة على نفس العينات أثناء تتفيذ الآبار البيزومترية في الشركة العامة للدراسات المائية بحمص .

ويوضح الجدول التالي مجالات البرامترات الضرورية لعملية النمذجة حسب نوع التربة الموجودة بالسد والتي تم التحرك ضمنها خلال عملية تعديل مواصفات المواد أثناء النمذجة للاقتراب بالنموذج من الواقع .

الجدول رقم (2-19): قيم البرامترات

-5-5- (2° -) (5° -)						
الواحدة	القيم	الرمز				
Kg/cm2	0.11 - 0.53	С				
درجة	27 - 35	Ф				
_	0.3 - 0.35	V				
Мра	5 - 15	G				
Мра	13 - 40.5	E				
Cm/s	K= 0.058	سطح الأرض				
Cm/s	K= 2.16*10-6	عند عمق 20 م				

الفصل الثالث ______ النمذجة العددبة للسد

الفصل الثالث النمذجة العددية للسد

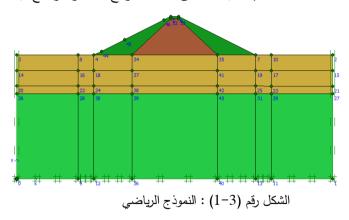
1-3 مقدمة:

بعد الزيارة الحقلية لموقع السد وإجراء السبور الكافية لمعرفة الطبقات وأخذ العينات وإجراء التجارب الفيزيائية عليها تم الحصول على المعطيات اللازمة لبدء عملية النمذجة من حيث البرامترات والشروط الحدية ، سيتم في هذا الفصل إعداد نموذج يمثل السد المدروس مع محاولة الاقتراب به من الواقع قدر الإمكان وذلك بتشكيل عدد كبير جداً من النماذج حتى تم التوصل إلى النموذج الأقرب للواقع من خلال البرامترات المستخرجة من الدراسة المخبرية كبوصلة توجيه نحو الاقتراب من الواقع .

3-2 إعداد النموذج الرياضي:

لقد تم اختيار برنامج PLAXIS في مجال تحليل النماذج الجيوتكنيكية حيث يعتمد هذا البرنامج على طريقة العناصر المحدودة في التحليل ، كما أنه يستطيع أن يحلل تأثير تغير ضغط الماء الصافي الناتج عن تغير مستوى الماء خلف السد وآثره على التشوه والاستقرار في المنشآت الجيوتكنيكية ويمكنه دراسة ظاهرة خاصة وهي امكانية ارتفاع أو نهوض الأرض خلف السد وذلك لأن التربة الناعمة الخفيفة لا يمكنها مقاومة الضغط العالي الذي يرتفع في الطبقات السفلى النافذة للماء (ذات النفوذية العالية) مما يؤثر في نقص استقرار السد

لقد تم حل المسألة بواسطة 2D النمذجة ثنائية الأبعاد فكان شكل النموذج كما هو موضح بالشكل رقم (1-3):



الشروط الحدية:

- الحدود الشاقولية للنموذج ممنوعة من الحركة الأفقية ، والحدود الأفقية ممنوعة من الحركة الشاقولية .
 - مستوى الماء هو بمستوى الماء الطبيعية .
 - حدود النموذج صرفة للماء بجميع الاتجاهات.

حيث أن: ارتفاع السد: 25م، عرض القاعدة: 105م، عرض الكتف أمام وخلف السد 50م. سماكة طبقة التأسيس العليا: 55م.

والواحدة المستخدمة في البرنامج: m - kn - day .

الفصل الثالث ______ النمذحة العدية للسد

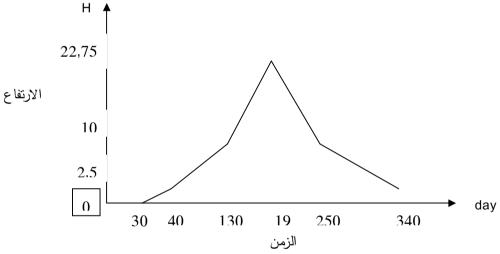
المرحلة البدائية initial phase : وهي عبارة عن حساب الاجهادات الأولية الناتجة عن الماء والوزن الذاتي .

المرحلة الأولى: بناء السد وذلك خلال شهر (30 يوم) .

المرحلة الثانية: حساب الوزن الذاتي بالاعتماد على Gravity loading وفي هذه المرحلة يتم تفعيل خيار Ignore المرحلة الثانية: حساب الوزن الذاتي ولا علاقة له بتصريف وجريان الماء في التربة.

المرحلة الثالثة: التعبئة حتى مستوى 2.5 م خلال 10 أيام وفي هذه المرحلة يتم إلغاء الانتقالات السابقة الحاصلة نتيجة حساب الوزن الذاتي

وذلك من خيار Reset displacements to zero حتى لا يؤثر على نتائج أملاء وتغريغ الماء ، وذلك لأن زمن دراستنا بعيد نسبياً عن زمن إنشاء السد .



الشكل رقم (2-3): رسم بياني يوضح خط إملاء وإفراغ السد

المرحلة الرابعة: التعبئة حتى مستوى 10 م خلال ثلاثة أشهر (90 يوم) .

المرحلة الخامسة: التعبئة حتى مستوى ينخفض عن ذروة السد 1.5 م وبالتالي يكون الماء عند مستوى 22.75 م وخلال (60 يوم).

المرحلة السادسة : التفريغ حتى مستوى 10 م خلال شهرين (60 يوم) .

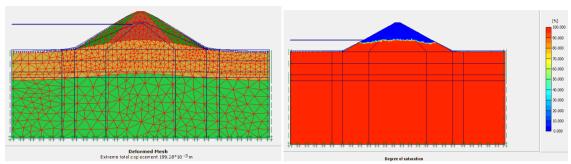
المرحلة السابعة: التفريغ حتى مستوى 2.5 م خلال ثلاثة أشهر (90 يوم) ، وهو مايوضحه الشكل رقم (3-2) .

3-3 إعداد النموذج الجيوتكنيكي:

تم اختيار النمذجة بواسطة الاجهادات المستوية الجيومترية و تقسيم النموذج إلى شبكة تعتمد 15-node element وهذا يكافئ حساب 12 إجهاد في النقطة الواحدة .

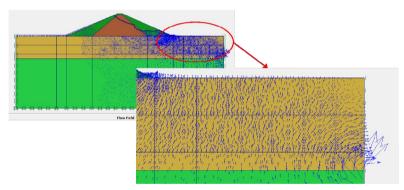
بعد البحث والتدقيق في برنامج PLAXIS والمراجع المتصلة به وجدنا أنه يجب الانتباه لمايلي:

1— أنه في كل مرحلة يتم إضافة منسوب ماء أمام السد يقوم البرنامج بوضع ضغط ماء اضافي خلف السد يعادل الضغط المضاف أمامه، مما يؤدي لإشباع كامل التربة حتى منسوب الماء المضاف وظهور تشوهات متناظرة أمام وخلف السد كما هو بالشكل (3—2)، لذلك يجب إلغاء ضغط الماء خلف السد الناتج من رفع منسوب الماء أمام السد .



الشكل رقم (3-3): تشوه متناظر للسد مع خط إشباع أفقى

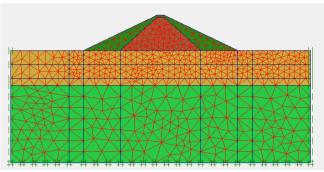
2- كنتيجة طبيعة لما سبق يقوم البرنامج بوضع ضغط ماء اضافي على جميع الحدود الخارجية للنموذج تعادل الضغط المضاف لذا يجب إعادة هذا الضغط ليكون مساوياً للضغط الماء عند سطح الأرض الطبيعية على طول الطبقة التأسيس العليا خلف السد (لأنها مصرفة) ليسمح للماء بالخروج من حدود النموذج الصرفة .



الشكل رقم (3-4): خروج الماء من الحدود الصرف للنموذج

3- عند اختيار phreatic level لتحليل اجهادات الماء لا ينتج لدينا مخطط لجريان الماء ، لذا يجب التحليل بالاعتماد على خيار Groundwater calculation والذي يأخذ بعين الاعتبار جريان الماء من الضغط العالي إلى الضغط المنخفض .

4- Mesh : حيث تم اختيار الدرجة الناعمة من أجل دقة النتائج ، بالإضافة لنكثيف شبكة جسم السد وتحته وعلى جانبيه بمسافة 20م.



الشكل رقم (3-5): شبكة التحليل

5- يتم حساب الإجهادات البدائية (الأساسية) للتربة والماء وبما أن سطح التربة غير مستوي بسبب وجود السد يتم حساب الوزن الذاتي للتربة بالاعتماد على Gravity loading .

6- كما يجب وضع عقدة على سطح السد الأمامي عند كل مستوي إملاء أو تفريغ لأن عدم وجودها يؤدي إلى أخطاء كبيرة بالتحليل ، علماً أن إحداثيات هذه النقاط من الأسفل للأعلى هي كالتالي : (55, 82.5) - (70, 90) - (70, 90) - (55.5) . المبدأ في الزاوية السفلي اليسرى للنموذج.

7- البرنامج يدرس مقطع بالنموذج وليس شريحة .

وقد كانت مواصفات المواد للنموذج الجيوتكنيكي كمايلي:

Material properties of the layer 1 الجدول رقم (1-3) : مواصفات مواد طبقة التأسيس السفلى

PARAMETER	NAME	VALUE	UNITE
Material Model	Model	Mohr – coulomb	-
Type of material behaviour	Type	Undrained	_
Soil unit weight above phreatic	γ unsat	16	KN / m ³
Soil unit weight below phreatic	γ sat	18	KN / m ³
Permeability in horizontal direction	K _x	10 ⁻⁶	M / day
Permeability in vertical direction	Κ _ν	10^{-6}	M / day
Young's modulus (constant)	E _{ref}	45000	KN / m^2
Poisson's ratio	N	0.22	_
Cohesion (constant)	C _{ref}	100	KN / m^2
Friction angle	Φ	45	درجة
Dilatancy angle	Ψ	5	درجة

الجدول رقم (2-3): مواصفات مواد طبقة التأسيس العليا

PARAMETER	NAME	VALUE	UNITE
Material Model	Model	Mohr – coulomb	_
Type of material behaviour	Type	Drained	_
Soil unit weight above phreatic	γ unsat	18	KN / m ³
Soil unit weight below phreatic	γ sat	20	KN / m^3
Permeability in horizontal direction	K _x	0.2	M / day

Permeability in vertical direction	K _y	0.2	M / day
Young's modulus (constant)	E _{ref}	40000	KN $/ m^2$
Poisson's ratio	N	0.25	_
Cohesion (constant)	C _{ref}	50	KN / m ²
Friction angle	Φ	35	درجة
Dilatancy angle	Ψ	5	درجة

الجدول رقم (3-3): مواصفات مواد نواة Material properties of the layer

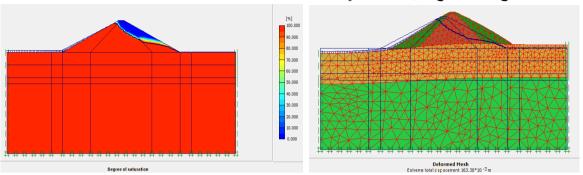
PARAMETER	NAME	VALUE	UNITE
Material Model	Model	Mohr – coulomb	_
Type of material behaviour	Type	Undrained	_
Soil unit weight above phreatic	γ unsat	19	KN / m ³
Soil unit weight below phreatic	γ sat	21	KN / m ³
Permeability in horizontal direction	K _x	10^{-5}	M / day
Permeability in vertical direction	K _y	10^{-5}	M / day
Young's modulus (constant)	E ref	30000	KN $/ m^2$
Poisson's ratio	N	0.32	_
Cohesion (constant)	C _{ref}	50	KN $/ m^2$
Friction angle	Φ	30	درجة
Dilatancy angle	Ψ	5	درجة

Material properties of the layer 4الجدول رقم (3–4) : مواصفات مواد جسم السك

PARAMETER	NAME	VALUE	UNITE
Material Model	Model	Mohr – coulomb	_
Type of material behaviour	Type	Undrained	_
Soil unit weight above phreatic	γ unsat	21	KN / m^3
Soil unit weight below phreatic	γ sat	22	KN / m^3
Permeability in horizontal direction	K _x	10^{-4}	M / day
Permeability in vertical direction	K _y	10^{-4}	M / day
Young's modulus (constant)	E ref	30000	$KN \ / \ m^2$
Poisson's ratio	N	0.28	_
Cohesion (constant)	C ref	10	KN $/ m^2$
Friction angle	Φ	35	درجة
Dilatancy angle	Ψ	3	درجة

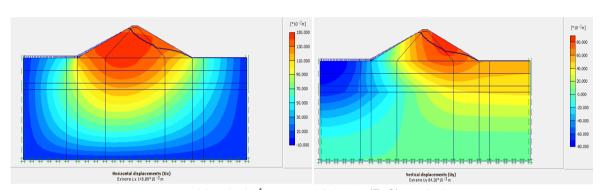
علماً أنه بعد كل نموذج يجب عمل نموذج تحديث للشبكة ونموذج تحقق من ميكانيزم الانهيار لكل مرحلة حساب (تعبئة أو تفريغ).

بعد تحليل النموذج كانت النتائج على الشكل التالي:

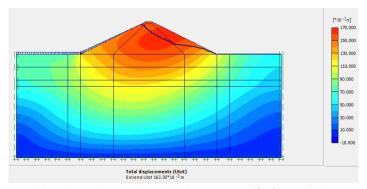


الشكل رقم (3-6): منطقية النموذج المشوه وانسيابية خط الرشح ودرجة الإشباع

- التشوهات باتجاه واحد وهو اتجاه دفع الماء حيث يوجد هبوط أمام السد وانتفاخ خلف السد مع إنزلاق أفقي وهو ما
 يلامس الواقع .
 - نلاحظ انسيابية خط الإشباع ، كما أن ضغط الماء فقط أمام السد .

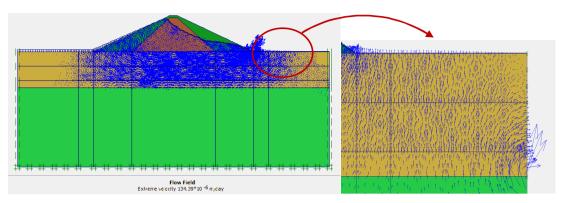


الشكل رقم (3-7): انسيابية الانتقالات الأفقية والشاقولية وواقعيتها



الشكل رقم (3-8): الانتقالات الكلية وقيمها ضمن الحدود المقبولة

- الانتقالات الأفقية والشاقولية والكلية واقعية وضمن الحدود المسموح بها.



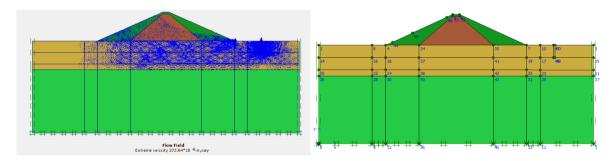
الشكل رقم (3-9): اتجاه وشكل جريان الماء

نلاحظ خروج الماء من قدم السد وهذا يخالف الواقع لذا سيتم تزويد النموذج ببئر تصريف ، وهو موجود بالواقع كما رأينا سابقاً في الزيارة الميدانية حيث أن الماء تخرج على مسافة 20-25 م من قدم السد عند التعبئة بمستويات إملاء أعظمية .

(2) النموذج رقم (4−3)

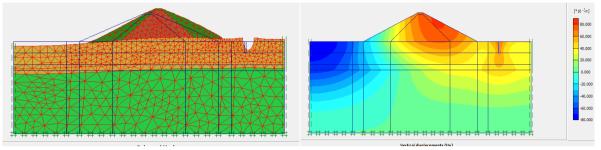
تم إضافة بئر التصريف بقطر 1م وارتفاع 10 م وعلى بعد 20 م من قدم السد ، على اعتبار أن المقطع يمر بمركز البئر، حيث تمت النمذجة بشكل مشابه لنمذجة وتد أو شداد في برنامج PLAXIS وهي من أشهر المسائل المحلولة بواسطة هذا البرنامج، حيث أن البرنامج ينمذج مقطع كما ذكرنا سابقاً وليس شريحة.

ولقد لعب النموذج الدور الحقيقي للبئر الذي تم مشاهدته بالواقع عند الآبار الخاصة بالسكان والتي تقع خلف السد من حيث خروج الماء منها. سيتم نمذجة البئر في (2D) ثنائي البعد .



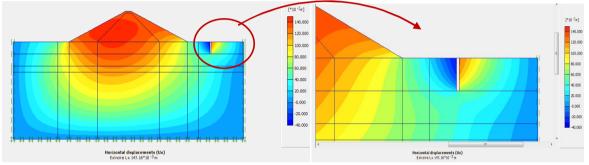
الشكل رقم (1-10): نموذج مزود ببئر قطر 1م واتجاه جريان الماء

- يلاحظ حركة جريان الماء وفورانه من آبار التصريف عند الإملاء بمستويات ماء أعظمية .



الشكل رقم (11-3): مخطط الانتقالات الشاقولية والنموذج المشوه

كان هذا التشوه الكبير بسبب عدم وجود تدعيم للبئر وحدوث جرف للتربة أثناء جريان الماء وخروجه من البئر.

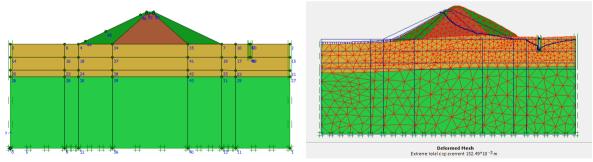


الشكل رقم (3-12): الانتقالات الأفقية

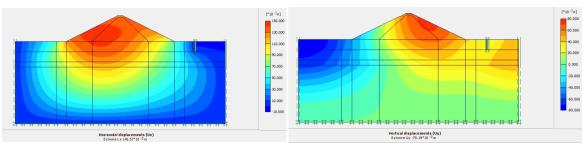
- نلاحظ أن الانتقالات الأكبر هي أفقية لذا فنحن بحاجة لتدعيم يمنع الحركة الأفقية (كقميص معدني مثلا ...) .

3 - 3 النموذج رقم (3) :

بناءً على دراسة النموذج السابق سيتم تدعيم البئر تدعيماً يمنع الحركة الأفقية بشكل جزئي أي بنسبة 75% ، حيث قمنا بتطبيق قوى أفقية على جدران البئر تعادل 0.75 من إجهاد التربة المزالة من البئر مع المحافظة على قابليته لتصريف المياه ، فكانت نتائج التحليل كما يلي :

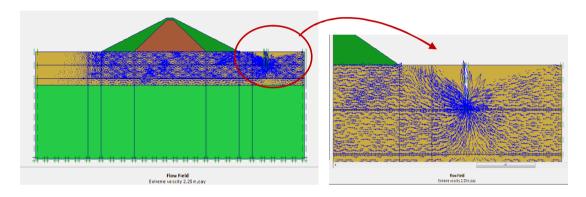


الشكل رقم (3-13) : نموذج مزود ببئر قطر 1م مع الندعيم والنموذج المشوه

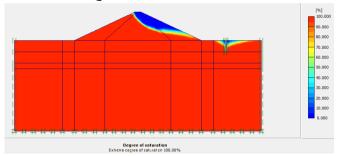


الشكل رقم (3-14): الانتقالات الشاقولية والأفقية

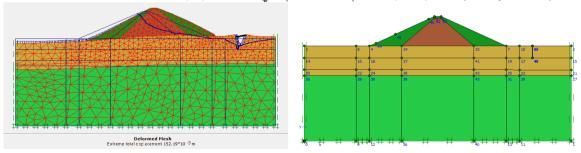
نلاحظ أن الانتقالات الأفقية انعدمت تقريباً أما الانتقالات الشاقولية أصبحت مقبولة جداً.



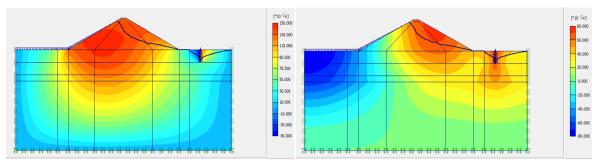
الشكل رقم (3-15) : اتجاه جريان الماء - يلاحظ أن جسم السد لا يتعرض لجريان الماء بشكل كبير مقارنة مع طبقة التأسيس .



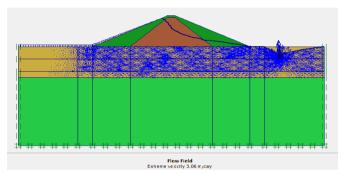
الشكل رقم (4): الشكل رقم (6-6): درجة الإشباع الشكل رقم (6-6): درجة الإشباع المنبحث إن كان بالإمكان إنشاء بئر بقطر 20 سم وبدون تدعيم أفقي وبنفس البارمترات .



الشكل رقم (3-17): نموذج مزود ببئر قطر 20 سم والنموذج المشوه



الشكل رقم (3-18): الانتقالات الشاقولية والأفقية

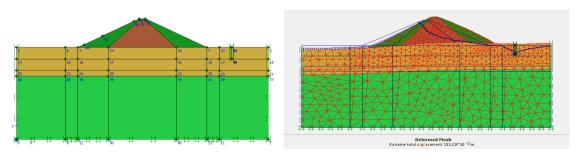


الشكل رقم (3-19): اتجاه جريان الماء

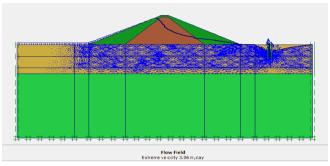
نستتج من دراسة النموذج السابق أن الانتقالات الأكبر هي أفقية لذا فنحن بحاجة لتدعيم يمنع الحركة الأفقية مهما كان قطر بئر التصريف.

3-7 النموذج رقم (5) :

نموذج مزود ببئر قطر 20 سم مع التدعيم الأققي بشكل جزئي أي بنسبة 75% ، حيث قمنا بتطبيق قوى أفقية على جدران البئر تعادل 0.75 من إجهاد التربة المزالة من البئر مع المحافظة على قابليته لتصريف المياه ، فكانت نتائج التحليل كما يلي :

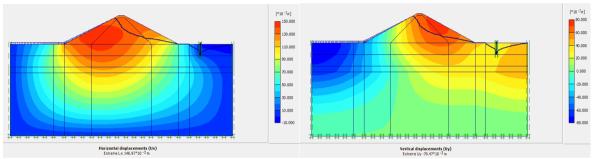


الشكل رقم (3-20): نموذج مزود ببئر قطر 20 سم مع التدعيم النموذج المشوه



الشكل رقم (3-21): اتجاه جريان الماء

نلاحظ زيادة سرعة جريان الماء عند تصغير قطر البئر بنسبة 35 % ولعل هذا يعود لتشكل الخاصة الشعرية نظراً لصغر قطر البئر مقابل طوله ، مما عمل على سحب للماء .



الشكل رقم (22-3): الانتقالات الشاقولية والأفقية

- نلاحظ أن الانتقالات الأفقية انعدمت تقريباً، أما الانتقالات الشاقولية فهي مقبولة جداً.

8-3 النموذج رقم (6) :

يمكن استخدام ميزة interface بين كتلة السد وطبقات التأسيس والتي تؤمن احتكاك بين السطوح يساعد في تخفيف الانتقالات الأفقية ، ولكنه حل غير مجدي في حالتنا هذه بسبب ما يلي :

ذكر في manuals — English — Reference_Manual_V8 — البرنامج معنا manuals البرنامج المياه وذلك للحفاظ على أpage 63) وذلك للحفاظ على المنابة السطوح

In conclusion:

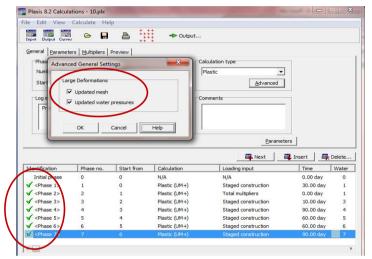
- An active interface is fully impermeable (separation of pore pressure degrees-of-freedom of node pairs).
- An inactive interface is fully permeable (coupling of pore pressure degrees-offreedom of node pairs).

3-9 النموذج رقم (7):

في هذا النموذج سيتم عمل تحديث للشبكة بعد عملية التحليل لأخذ التشوهات الناتجة بعين الاعتبار وتحديث الشبكة بما يناسب الوضع الجديد وذلك عن طريق Updated mesh and Updated water pressures

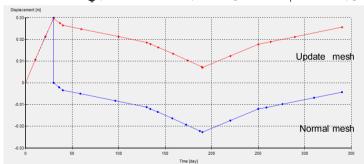
نكر في manuals → English → Reference_Manual_V8 → البرنامج page 93)

- Select Phase 1 and click on the Advanced button below the Calculation type list box. Check the Updated mesh and Updated water pressures options in the Advanced general settings window. Click <OK> to return to the calculation window.
- Repeat this step for all calculation phases 2, 3 and 4.



الشكل رقم (3-23): يوضح تحديث الشبكة لكافة المراحل بنجاح

نقارن بين الانتقالات الشاقولية لنقطة قدم السد قبل وبعد تحديث الشبكة فنجد مايلي:



الشكل رقم (3-24): مخطط الانتقالات الشاقولية لنقطة قدم السد قبل وبعد تحديث الشبكة مع الزمن

نلاحظ أن في Updated mesh and Updated water pressures لا يمكننا إعادة الانتقالات إلى الصفر بعد مرحلة بناء السد ، لذا كان لدينا هذا الانزلاق في المخططين وناتج عن تصفير الانتقالات بعد مرحلة البناء في mesh .

3−1 النموذج رقم (8):

في هذا النموذج سيتم التحقق من ميكانيزم الانهيار وذلك من خلال ميزة البرنامج Phi/c reduction لكل مرحلة من مراحل الحساب حيث أن الاستقرار النهائي ليس هو وحده المهم ولكن أيضاً الاستقرار خلال جميع المراحل:

To calculate the global safety factor for the road embankment at different stages of construction, follow these steps:

- Click on the Go to calculations program button to focus the Calculations window.
- We first want to calculate the safety factor after the first construction stage.
 Therefore introduce a new calculation phase and select Phase 1 in the Start from phase list box.
- In the General tab sheet, select a Phi-c-reduction calculation.
- In the Parameters tab sheet the number of Additional steps is automatically set to 100 (instead of the default value of 250). In order to exclude existing deformations from the resulting failure mechanism, select the Reset displacements to zero option. The *Incremental multipliers* option is already selected in the Loading input box. Click on the <Define> button to enter the Multipliers tab sheet.
- In the Multipliers window, check that the first increment of the multiplier that
 controls the strength reduction process, Msf, is set to 0.1. The first safety
 calculation has now been defined.

	Identification	Phase no.	Start from	Calculation	Loading input	Time
	✓ <phase 9=""></phase>	9	2	Phi/c reduction	Incremental multipliers	0.00 day
	✓ <phase 33<="" th=""><th>3</th><th>2</th><th>Plastic</th><th>Staged construction</th><th>10.00 day</th></phase>	3	2	Plastic	Staged construction	10.00 day
/	✓ <phase 10=""></phase>	10	3	Phi/c reduction	Incremental multipliers	0.00 day
l	✓ <phase 4=""></phase>	4	3	Plastic	Staged construction	90.00 day
	✓ <phase 11=""></phase>	11	4	Phi/c reduction	Incremental multipliers	0.00 day
	✓ <phase 5=""></phase>	5	4	Plastic	Staged construction	60.00 day
1	✓ <phase 12=""></phase>	12	5	Phi/c reduction	Incremental multipliers	0.00 day
\	✓ <phase 6=""></phase>	6	5	Plastic	Staged construction	60.00 day
\	√ <phase 17=""></phase>	13	6	Phi/c reduction	Incremental multipliers	0.00 day
	√ <phase 1=""></phase>	7	6	Plastic	Staged construction	90.00 day
		ع	لانهيار لجمي	التحقق من ميكانيزم ا	كل رقم (3-25) : يوضح	الش

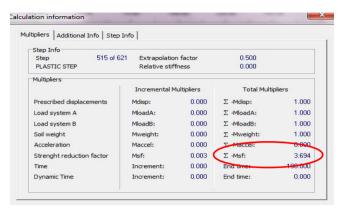
لقراءة عوامل الآمان:

نصت مراجع البرنامج أن القيمة Msf هي عامل الآمان للمرحلة المدروسة (Tutorial-manual-v8-page90)

The reduction of strength parameters is controlled by the total multiplier ΣMsf . This parameter is increased in a step-by-step procedure until failure occurs. The safety factor is then defined as the value of ΣMsf at failure, provided that at failure a more or less constant value is obtained for a number of successive load steps.

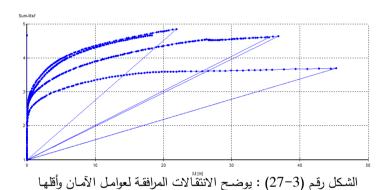
The safety factor can be obtained from the *Calculation info* option of the *View* menu. The *Multipliers* tab sheet of the *Calculation information* window represents the actual values of the load multipliers. The value of ΣMsf represents the safety factor, provided that this value is indeed more or less constant during the previous few steps.

وعند الإطلاع على النتائج وجدنا أن جميع عوامل الأمان أكبر من 4 ما عدا مرحلة التعبئة العظمى حيث كان كما يلي:



الشكل رقم (3-26): يوضح التحقق من عوامل الأمان

وهذا يدل على أن طريقة الإنشاء ووضع السد جيد .



ملاحظة: لا معنى فيزيائي لهذه الانتقالات كما ذكر في manuals → Reference_Manual_V8 → كما ذكر في manuals معادد و page91

Evaluation of results

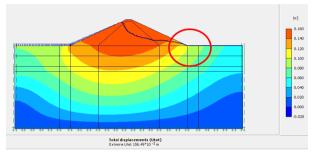
Additional displacements are generated during a phi-c-reduction calculation. The total displacements do not have a physical meaning, but the incremental displacements in the final step (at failure) give an indication of the likely failure mechanism. In order to view the mechanisms in the three different stages of the embankment construction, select the

الفصل الرابع الدراسة التحليلية للمخططات

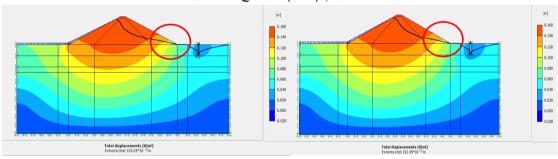
1-4 مقدمة :

بعد إنشاء النماذج الثلاثة المعتمدة والمار بمقاطع مختلفة من البئر المدعمة (قطر 0 – قطر 20 سم – قطر 1 م) وتحليلها سنقوم بهذا الفصل بدراسة تحليلية للمخططات الناتجة عن النماذج الثلاثة ومقارنتها ، ولقد تمت دراسة المخططات في هذا الفصل لمرحلة التعبئة الأعظمية حيث التشوهات والإجهادات الأكبر .

2-4 دراسة الانتقال مع الزمن: صور التغيرات اللونية للانتقالات الكلية



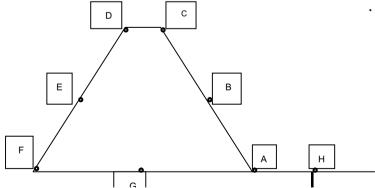
الشكل رقم (1-4): نموذج بدون بئر



الشكل رقم (2-4): نموذج مزود ببئر قطره 1 م الشكل رقم (2-4): نموذج مزود ببئر قطره 20 سم

نلاحظ من الصور تراجع وانحسار التدرجات اللونية ذات القيم العالية عند قدم السد في النماذج المزودة ببئر مما يدل على

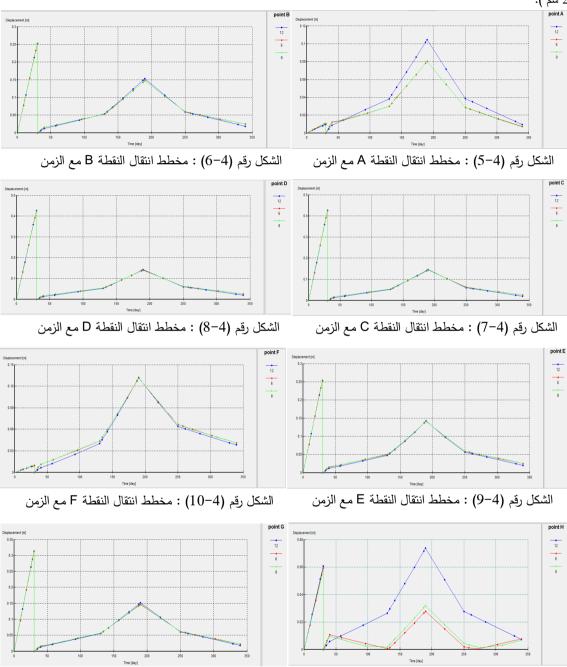
تراجع الانتقالات .



الشكل رقم (4-4): مخطط توضيحي للنقاط المميزة في جسم السد في مخططات الانتقالات

(حیث أن الرقم (12) یعبر عن نموذج بدون بئر، والرقم(6) یعبر عن نموذج مزود ببئر قطر 1 م، والرقم (8) یعبر عن نموذج مزود ببئر قطر 20 سم).

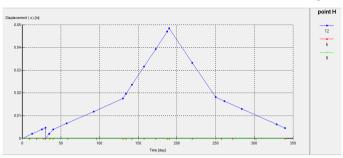
Pointa



الشكل رقم (4-11): مخطط انتقال النقطة H مع الزمن

الشكل رقم (4-12) : مخطط انتقال النقطة G مع الزمن

مخطط الانتقال الأفقى لرأس البئر:



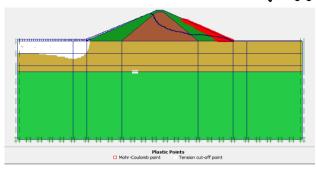
الشكل رقم (4-13): مخطط الانتقال الأفقى النقطة H مع الزمن

بعد دراسة المخططات نتج لدينا ما يلى:

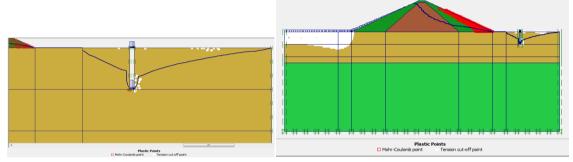
- زيادة الانتقالات ابتداءً من الصفر مع زيادة منسوب الماء خلال مراحل التعبئة ، وهكذا يستمر تزايد الانتقالات مع مراحل التعبئة وتراجعها مع عمليات التقريغ لكل نقاط جسم السد .
 - الانتقالات في نموذجي البئر أقل من الانتقالات في النموذج بدون بئر.
 - الفرق بالانتقالات بين وجود البئر وعدمه يكون أعظمياً عند قدم السد (A) ويقل تدريجياً باتجاه رأس السد .
 - تأثير البئر يكون كبير في النقاط المحيطة به لذا فهو يقلل من انتقالات قدم السد والتربة خلف السد بشكل ملحوظ .
 - الانتقالات في نموذجي البئر شبه متساوية أي أنه لا تأثير لكبر أو صغر قطر البئر على الاتتقالات في جسم السد .
- يفسر تراجع الانتقالات في حال وجود بئر مقارنة بعدم وجوده بسبب الضغط المسامي الذي يكون عالياً في قاعدة السد عند عدم وجود بئر مما يؤدي إلى رفع جسم السد وبالتالي سهولة حركته وانزلاقه ، في حين أن وجود بئر يؤدي إلى خفض الضغط المسامي وبالتالي زيادة الاحتكاك بين السد وقاعدته مما يؤدي إلى قلة الانتقالات .
- وجد أن الانتقالات المتبقية لجميع النقاط في نهاية مرحلة التفريغ الأخيرة أكبر بقليل من الانتقالات الناتجة عن عملية التعبئة الأولى ، وهو مجموع الانتقال الناتج عن بقاء الماء حتى منسوب 2.5م والانتقال متبقى نتيجة اللدونة .
- المخطط الأخير يظهر الإنتقال الأفقي في رأس البئر المدعم ضد الحركة الأفقية ، حيث يظهر حركة النقطة H بدون بئر وانعدامها عند وجود البئر المدعمة .

ملاحظة: إن تشوهات مرحلة بناء السد والتي تصل إلى قيمتها الأعظية لأكثر من 40 سم تقريباً عند رأس السد (أي النقاط C-D)، هي قيم غير واقعية وذلك لأننا في عملية النمذجة تم البناء في مرحلة واحدة لكامل ارتفاع السد مما نتج عنه هبوط كبير بينما بالواقع يتم بناءه على مراحل وعلى طبقات مع الرص والدحل فلا ينتج هبوط كبير في النهاية، ولكننا في هذه النماذج لم ندرس مرحلة البناء والاتضغاطية لأنه يفصلنا فترة زمنية كبيرة نسبياً عن مرحلة بناء السد في الواقع، لذا أهملنا هذه المرحلة وفي النمذجة قمنا بإلغاء الانتقالات بعد مرحلة البناء مباشرة (وننوه أن هذا الإجراء لا يؤثر على الإجهادات الناتجة عن هذه المرحلة – بمعنى آخر أن إلغاء الانتقالات لمرحلة ما لا يلغي الإجهادات الناتجة عنها).

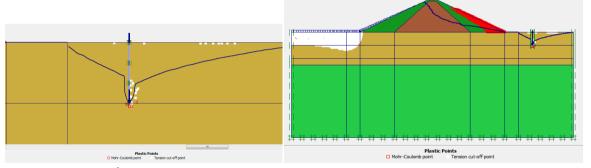
4-3 دراسة النقاط اللدنة وتوضعها:



الشكل رقم (4-14): نموذج بدون بئر



الشكل رقم (4-15) : نموذج مزود ببئر قطره 1 م وتوضع النقاط اللدنة أسفل البئر



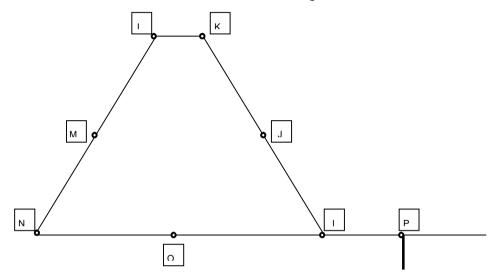
الشكل رقم (4-16): نموذج مزود ببئر قطره 20 سم وتوضع النقاط اللدنة أسفل البئر

من دراسة المصورات السابقة نجد ما يلى:

- نلاحظ أن النقاط اللدنة توضعت على السطح الخلفي للسد وهوما يوافق الواقع حيث وجدنا بالمشاهدات العينية وجود تشققات على السطح الخلفي للسد .
 - لم يخفف وجود بئر (بأي قطر كان) كثافة توزع النقاط اللدنة أو يغير من أماكن توضعها .
- ظهور نقاط لدنة أسفل البئر (نقاط انهيار موضعي) وذلك نتيجة حركة الماء وخروجها من البئر (ظاهرة فوران الماء).
- تصغير قطر البئر يؤدي إلى زيادة عدد النقاط اللدنة المتوضعة أسفله نتيجة زيادة فوران الماء وزيادة سرعة تصريف المياه بسبب ضيق فتحة البئر وظهور ما يشبه الخاصة الشعرية .

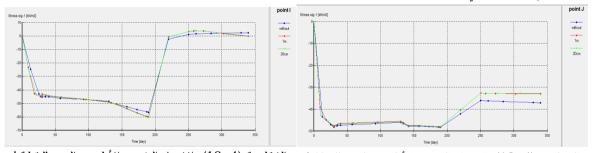
• إن المنطقة أمام جسم السد ظهر فيها منطقة شد بدلاً من ظهور منطقة ضغط ناتجة عن وزن الماء فوقها وذلك بسبب ما تتعرض له هذه المنطقة من جرف لجزيئات التربة بسبب جريان الماء وحركته باتجاه قدم السد ، ويحدث جرف التربة (شد الجزيئات) تحت تأثير الإجهاد الفعال حيث أن هذه الطبقة صرفة تسمح بجريان الماء .

4-4 دراسة الإجهادات الرئيسية مع الزمن:

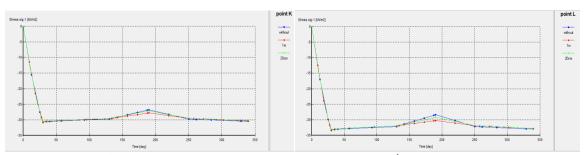


الشكل رقم (4-17): مخطط توضيحي للنقاط المميزة في جسم السد في مخططات الاجهادات

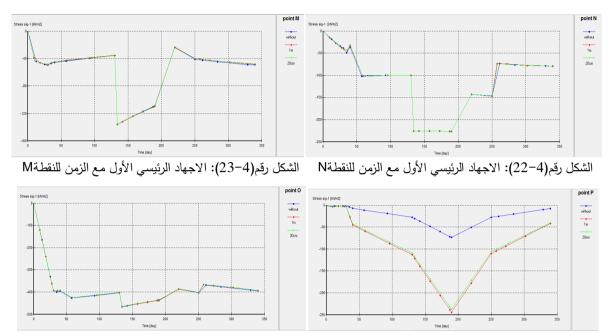
4-4-1 الإجهاد الرئيسى الأول 61:



الشكل رقم(4-18): الاجهاد الرئيسي الأول مع الزمن للنقطة ل الشكل رقم(4-19): الاجهاد الرئيسي الأول مع الزمن للنقطة ا

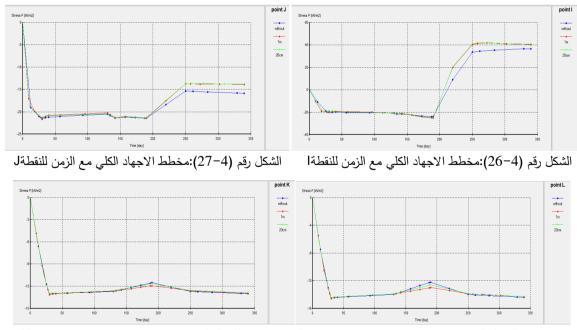


الشكل رقم(4-20): الاجهاد الرئيسي الأول مع الزمن للنقطة L الشكل رقم(4-21): الاجهاد الرئيسي الأول مع الزمن للنقطة K

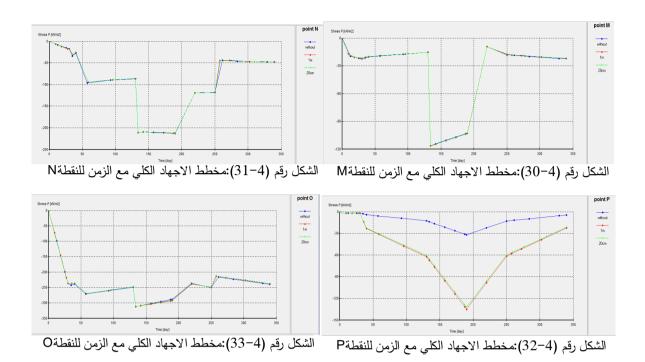


الشكل رقم(4-24): الاجهاد الرئيسي الأول مع الزمن للنقطة P الشكل رقم(4-25): الاجهاد الرئيسي الأول مع الزمن للنقطة O

4-4-2 الإجهاد الكلى الرئيسى:

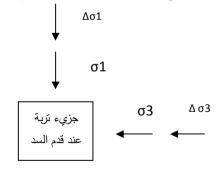


الشكل رقم (4-28):مخطط الاجهاد الكلي مع الزمن للنقطة L الشكل رقم (4-29):مخطط الاجهاد الكلي مع الزمن للنقطة K



بدراسة المخططات السابقة نتج ما يلي:

- إن قدم السد يتعرض لتزايد بالإجهاد الرئيسي الأول مع تقدم عملية البناء ومن ثم مع عمليات التعبئة ، ليبدأ بالتتاقص مع عمليات التفريغ ، أما الإجهاد الرئيسي الثالث فإن يزداد بشكل طفيف مع عمليات البناء والتعبئة ليبدأ بالتتاقص مع عملية التفريغ ، ويفسر هذا الفرق الكبير في السلوك بين الإجهادين بالرسم التوضيحي التالي :



الشكل رقم (4-34): مخطط توضيحي للجزيء التربة

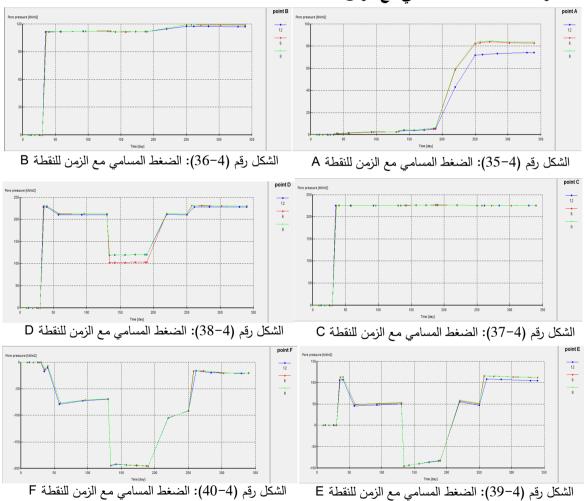
إن عملية البناء والتعبئة تزيد بشكل رئيسي σ1 (إجهادات ضاغطة) بينما يكون تأثيرها على σ3 تأثير طفيف ناتج عن التوسع الجانبي الذي تولده الضغوط الشاقولية السابقة ، وعند عملية التفريغ تظهر إجهادات شد كبيرة بالإجهادين الرئيسيين وهذا ما يوضحه الإجهاد الكلى الرئيسي وبشكل خاص عند عملية التفريغ الأول .

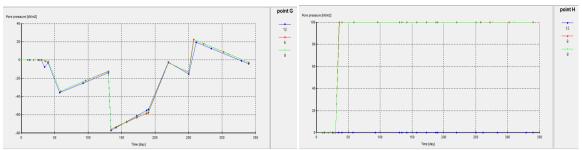
- مجمل نقاط السد المميزة باستثناء قدم السد ورأس البئر تتعرض لزيادة بالإجهادات خلال عمليات البناء والتعبئة ثم تعود للتتناقص مع عمليات التفريغ .

- إن نقاط رأس السد هي الأقل تعرض لتغير الإجهادات بسبب موقعها العالي عن تأثير المياه ، كما يوضحه مخطط الإجهاد الكلى الرئيسي .

- إن تغير الإجهادات الرئيسية في رأس البئر (النقطة P) خلال خلال عمليات البناء طفيفة جداً بسبب بعد موقعها نسبياً، ونتيجة لهذا الموقع فإن الإجهاد σ3 الناتج عن التوسع الجانبي يكون تغيره معدوماً تقريباً في مراحل التعبئة والتقريغ في النموذج بدون بئر.
 - إن النماذج المزودة ببئر تتعرض لإجهادات رئيسية كبيرة خلال مراحل التعبئة والتفريغ لقربها من مكان تصريف الماء .
 - إن النموذج المزود ببئر قطره 20سم تعرض لإجهادات رئيسية أقل مع أنه ذو سرعة تصريف أعلى .

1-4 دراسة ضغط الماء المسامى مع الزمن PORE PRESSURE :





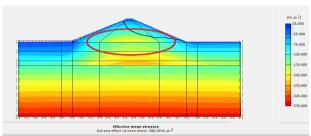
الشكل رقم (4-41): الضغط المسامذي مع الزمن للنقطة H الشكل رقم (4-42): الضغط المسامي مع الزمن للنقطة G

من دراسة المخططات السابقة نجد مايلي:

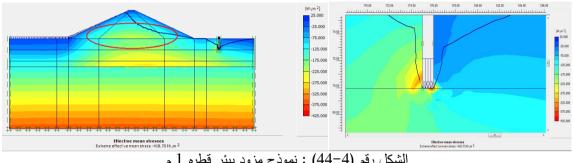
- إن الضغط المسامي لنقاط السطح الخلفي للسد يختلف تماماً عن مقابلتها من السطح الأمامي بسبب وجود الماء أمام السد فقط ،أي أن السطح الخلفي هو دائماً فوق خط الإشباع بينما السطح الأمامي يملك نقاط فوق خط الإشباع وآخرى تحته. مما يؤدي لتغير القيم أمام السد حسب المرحلة من تعبئة أو تفريغ مما يعطي تنوع كبير لمخططات نقط السطح الأمامي للسد أما نقط السطح الخلفي فلا تتأثر بمنسوب الماء أمام السد لأنها دائماً فوق خط الإشباع.
- الضغط المسامي يزيد مع زيادة منسوب الماء خلال عملية التعبئة وينقص مع نقصان منسوب الماء خلال عملية التفريغ وذلك في كل النقاط وخاصة المعرضة للماء على السطح الأمامي للسد .
 - B-C نقاط فوق خط الاشباع دوماً لذا فإن الضغط المسامي فيها موجب دوماً.
- E نقاط على السطح الأمامي للسد يكون الضغط المسامي فيها موجب طالما أنها فوق خط الإشباع ، ويتزايد الضغط المسامي مع اقتراب خط الإشباع منها بسبب تقدم عمليات التعبئة حتى يتجاوزها عند النقطة صفر تاركاً النقطة تحته مولداً ضغطاً مسامياً سالباً ، ليعود لتتاقص مع عمليات التفريغ .
- وجود بئر يقلل من الضغط المسامي في النقاط القريبة من البئر مثل قدم السد ، ويزداد نقص الضغط المسامي مع إنقاص قطر البئر ، حيث أن وجود البئر يحسن من سرعة التصريف وخاصة إذا صغر قطره كما وجدنا سابقاً .
 - نقص كبير بالضغط المسامي في قدم السد عند أول تفريغ مقارنةً بالتفريغ الثاني ، كما ينعدم التأثير بوجود البئر .
- الضغط المسامي في نموذج البئر 20 سم أقل مما هو عليه في نموذج البئر 1م في مجمل المخططات إن لم يكن متساوي مما يؤكد على أن التصريف في البئر ذو القطر الأصغر هو الأفضل.
- النقطة (H) رأس البئر: في النموذج بدون بئر كانت النقطة لا تملك ضغط مسامي فعال لأنها تقع على سطح الأرض
 الطبيعية خلف السد بمعنى آخر هي نقطة من خط الإشباع فضغطها المسامي يساوي الصفر.
- في النماذج المزودة ببئر فإن نقطة رأس البئر الواقعة على سطح الارض الطبيعية تكون نقطة من خط الإشباع خلال مرحلة البناء وقبل عمليات التعبئة ، لكن مع بدء عمليات التعبئة يتحرك خط الإشباع من سطح الأرض الطبيعية باتجاه أسفل البئر تاركاً النقطة (H) فوق خط الإشباع مما ينتج عنه ضغط مسامي موجب 100KN/M² في رأس السد ،وبشكل عملي فأنه مع بدأ التعبئة يبدأ التصريف مباشرة في البئر وبالتالي ينخض الضغط المسامي مباشرة كما هو واضح بالمخطط رقم (4-41).

: EFFECTIVE STRESS دراسة الإجهاد الفعال

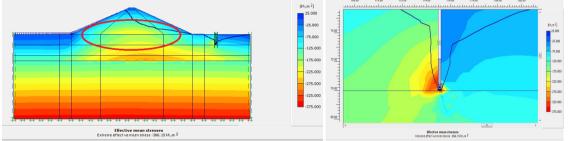
صور التدرجات اللونية للإجهادات الفعالة :



الشكل رقم (4-43): نموذج بدون بئر



الشكل رقم (4-44) : نموذج مزود ببئر قطره 1 م

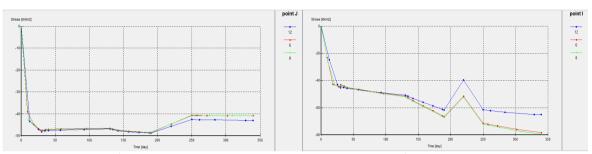


الشكل رقم (4-45) : نموذج مزود ببئر قطره 20 سم

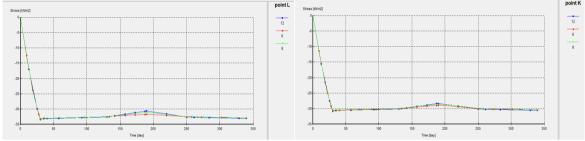
من دراسة صور التدرجات اللونية نجد ما يلي:

- بمراقبة توزع الإجهادات الفعالة في قاعدة السد نجد أنها تنقص بالقيمة والمساحة اللونية عند تزويد النموذج ببئر قطر
 1 م.
- تعرض قاعدة البئر وجانبه الأيسر لإجهاد فعال شاد كبير بسبب اتجاه حركة الماء وجريانه والتي تعمل على شد الجزيئات نتيجة لجرف التربة بسبب الجريان وخروج الماء من البئر .

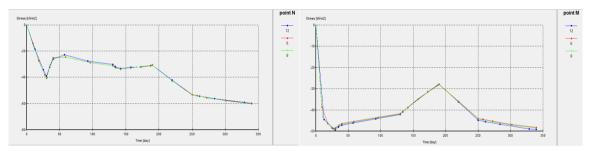
الإجهاد الفعال الأول α'1:



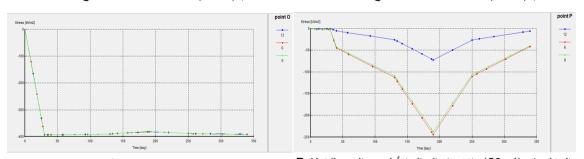
الشكل رقم (4-46): الاجهاد الفعال الأول مع الزمن للنقطة الله الشكل رقم (4-47): الاجهاد الفعال الأول مع الزمن للنقطة ل



الشكل رقم (4-48): الاجهاد الفعال الأول مع الزمن للنقطة K الشكل رقم (4-49): الاجهاد الفعال الأول مع الزمن للنقطة L



الشكل رقم (4-50): الاجهاد الفعال الأول مع الزمن للنقطة M الشكل رقم (4-51): الاجهاد الفعال الأول مع الزمن للنقطة N



الشكل رقم (4-52): الاجهاد الفعال الأول مع الزمن للنقطة P الشكل رقم (4-53): الاجهاد الفعال الأول مع الزمن للنقطة O

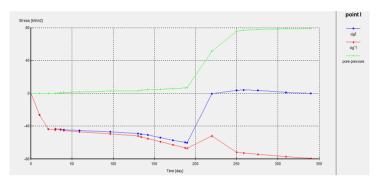
من دراسة المخطاطات السابقة نجد ما يلي:

• أن وجود بئر يزيد من الإجهاد الفعال في النقاط الحساسة للسد (القدم – رأس البئر) وذلك بسبب زيادة سرعة التصريف ونقص ضغط

الماء المسامي فيها .

• السطح الخلفي للسد هو الأكثر استجابة لوجود بئر .

• حتى نتمكن من تفسير تتاقص الإجهاد الفعال σ عند قدم السد عند بدء التفريغ لابد من دراسة المخطط التالي الذي يجمع بين الإجهاد الرئيسي σ و والإجهاد الفعال σ وضغط الماء المسامي (عند قدم السد) والذين تربط بينهم العلاقة التالية : σ = σ + σ = σ



الشكل رقم (4-54): مخطط مقارنة للنقطة ا

بالاعتماد على العلاقة الرياضية السابقة نجد أن الضغط المسامي هو المسيطر حيث أن مخطط الإجهاد الكلي له نفس شكل مخطط الضغط المسامي ، وأن التغير في شكل مخطط الإجهاد الفعال لم يؤثر على شكل مخطط الإجهاد الكلي.

عند التفريغ تبدأ جميع الإجهادت بالتناقص (الكلي والفعال والمسامي)، ولكن مع استمرار تناقص الضغط المسامي بين الجزيئات فإنها تتقارب ويزداد الإحتكاك بينها وبالتالي يبدأ الإجهاد الفعال بالإزدياد ، بالرغم من استمرار تناقص الضغط المسامي وبالتالي يبدأ الإجهاد الكلي بالمحافظة على قيمة ثابتة مع الزمن .

أما الإجهاد σ ` وفإنه يزداد بسبب التوسع الجانبي الناتج عن البناء وعمليات التعبئة ويعود ليتناقص مع عمليات التغريغ ، ويعتبر تغير قيمته صغير مقارنةً بـ σ ` وذلك لأن البناء والتعبئة والتفريغ تزيد σ ` أ بشكل رئيسي كما وضحنا بالإجهادات الرئيسية .

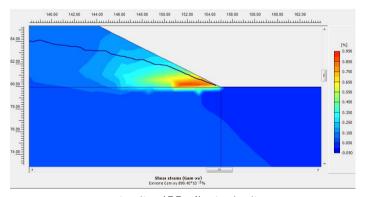
- إن الإجهادات الفعالة في رأس البئر معدومة خلال مرحلة البناء نظراً لموقعه البعيد نسبياً عن السد ،ثم تزيد وتنقص مع عمليات التعبئة والتفريغ ، كما يلاحظ الزيادة الكبيرة في الإجهادات الفعالة في حال وجود بئر وذلك بسبب التصريف وانخفاض الضغط المسامي بشدة ، أما عند عدم وجود بئر فإن الضغط المسامي معدوم كما وجدنا في مخططات الضغط المسامي .
- النقطة لا تبدي زيادة كبيرة بالإجهاد الفعال 1'σ خلال مرحلة البناء وطفيفة خلال مرحلة التعبئة ثم تتناقص مع التفريغ وهو ما يوافق مخطط الإجهاد الرئيسي σ1 نظراً لعدم تغير قيمة الضغط المسامي نظراً لموقع النقطة فوق خط الإشباع دوماً لذا فالإجهاد الفعال هو المسيطر .
- النقطة Κ تبدي زيادة كبيرة بالإجهاد الفعال σ'1 خلال مرحلة البناء وهو ما يوافق مخطط الإجهاد الرئيسي σ1 لذا فالإجهاد الفعال هو المسيطر في هذه المرحلة.

النقطة Μ تبدي زيادة كبيرة بالإجهاد الفعال 1 ° σ خلال مرحلة البناء وهو ما يوافق مخطط الإجهاد الرئيسي σ1 نظراً لعدم تغير قيمة الضغط المسامي في هذه المرحلة فالفعال هو المسيطر ، ثم مع عملية التعبئة يقل الإجهاد الفعال بسبب زيادة الضغط المسامي الذي يزيد الإجهاد الرئيسي (المسامي هنا هو المسيطر)نظراً لموقع النقطة من خط الإشباع ، ثم يعود لتزايد مع التقريغ بسبب نقص الضغط المسامي الكبير المسيطر على الإجهاد الرئيسي .

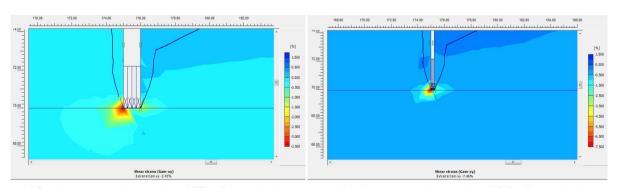
- النقطة N تزايد الإجهاد الفعال مع البناء والتفريغ ، وسيطرة الضغط المسامي على شكل المخطط .
 - لا داعي لمناقشة الاجهاد الفعال الثالث 3` σ نظرا لصغر قيمته أمام 1 · σ

4-7 دراسة التشوهات الرئيسية مع الزمن:

4-7-1 مصورات توضح أماكن تشوهات القص النسبية العظمى



الشكل رقم (4-55): النموذج بدون بئر



الشكل رقم (4-57): النموذج المزود ببئر قطره 20 سم

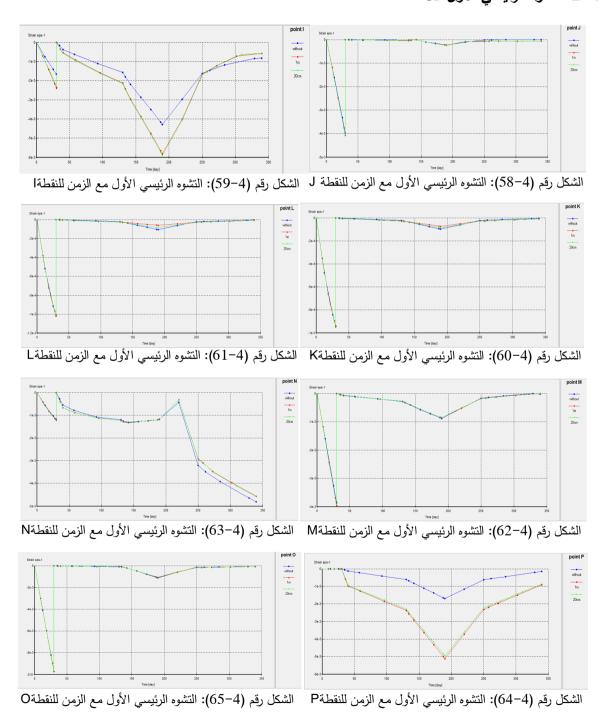
الشكل رقم (4-56): النموذج المزود ببئر قطره 1م

من دراسة المصورات السابقة نجد مايلي:

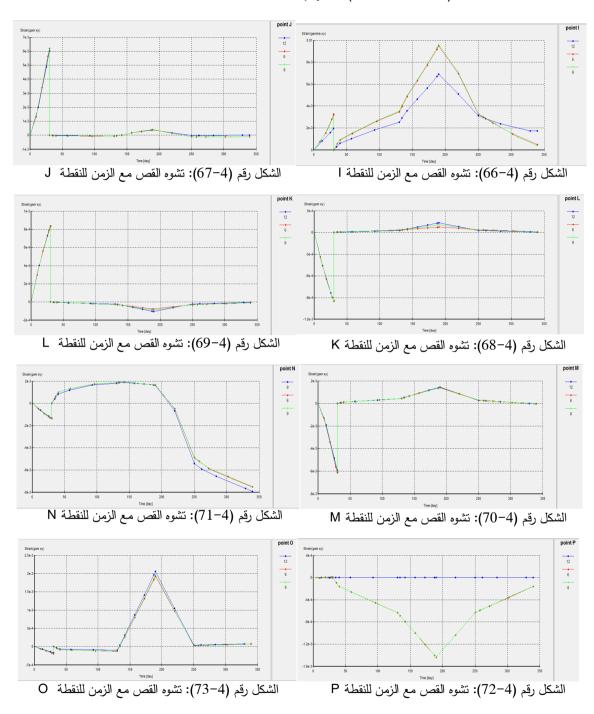
• في النموذج بدون بئر تتركز تشوهت القص الأعظمية γ_{xy} عند قدم السد الخلفية بسبب إعاقة خروج الماء لعدم وجود بئر تصريف ولدونة تلك المنطقة ، أما في النماذج ذات البئر تتركز تشوهات القص الأعظمية γ_{xy} في أسفل البئر بسبب ظاهرة فوران الماء ووجود نقاط لدنة في أسفل البئر وهذا ما نقل الاستجابة للتشوهات الكبيرة من قدم السد الخلفية إلى أسفل البئر .

• تزداد قيمة تشوهات القص مع نقصان قطر البئر ، حيث تصل قيمتها الأعظمية إلى 7.5% أي أننا مازالنا ضمن التشوهات المسموح بها في الغضار القاسي من 8-8% ، ونصف قاسي من 8-14% .

2-6 التشوه الرئيسى الأول ٤١:



: γ_{xy} أو (Eps-GAMxy) أو 3-7-4



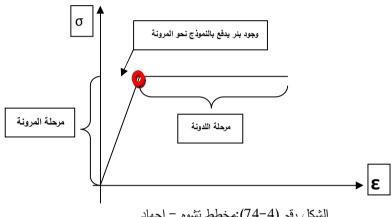
من دراسة المخططات السابقة نجد مايلي:

• كل النقاط تزداد فيها التشوهات مع عمليات التعبئة وتتناقص مع عمليات التغريغ وذلك بسبب زيادة الإجهادات مع عمليات التعبئة وتتناقصها مع عمليات التعبئة وتتناقص مع عمليات التعبئة وتتناقصها مع عمليات التعبئة وتتناقص مع عمليات التعبئة وتناقص مع عمليات التعبئة وتتناقص مع عمليات التعبئة وتناقص مع عمليات التعبئة وتتناقص مع عمليات التعبئة وتتناقص مع عمليات التعبئة وتناقص مع عمليات التعبئة وتناقص مع عمليات التعبئة وتناقص مع التعبئة وتناقص مع

. الدراسة التحليلية للمخططات الفصل الرابع ـ

المرونة ثابت فإن العلاقة بين الإجهاد والتشوه علاقة طردية .كما ننوه إلى أن التشوهات الناتجة عن البناء تم إلغاءها وهذا لايؤثر على الإجهادات كما ذكرنا سابقاً

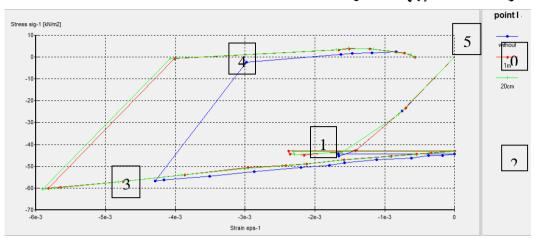
 إن التشوهات في النموذج بدون بئر لدنة نوعاً ما ، حيث أنه بعد إنهاء عملية التفريغ الأخيرة نجد أن هناك تشوهات متبقية . أما بوجود البئر نجد أن التشوهات المتبقية أصبحت أقل بكتير مقارنةً بالنموذج الأول وهذا يعني أن النموذج ذو البئر أصبح أكثر مرونة بسبب نقل الاستجابة من القدم إلى أسفل البئر ، باستثناء القدم الأمامية (كما سنرى لاحقاً) ، وهذا سلوك واقعى لهذه النقط بحسب قانون هوك



الشكل رقم (4-74):مخطط تشوه - إجهاد

- النقطة N (القدم الأمامية للسد) لم تكن تشوهاتها متناظرة ومنسجمة مع عمليات التعبئة والتفريغ أي أنها لم تسلك سلوك مرن كباقي النقاط ،فبرغم من أنها يزداد تشوهها مع التعبئة ويعود ليتناقص مع التفريغ إلا أنها تكتفي باستعادة التشوهات الحاصلة نتيجة التعبئة بل تستمر بالتشوه لأنها تخضع لإجهادات شد بسبب حركة الماء خلال الطبقة الصرفة والتي تسيطر على استجابتها كما وضحنا بمصورات النقاط اللدنة.
- رأس البئر P في النموذج بدون بئر لم يتأثر بأي شيء نظراً لأنه نقطة من سطح الأرض الطبيعية بعيد نسبياً عن بناء السد وحركة الماء خلال التعبئة والتفريغ ، أما في حال وجود بئر فإنه يتشوه مع عمليات التعبئة ليعود مع عمليات التفريغ ونلاحظ أنه يبدى مرونة كبيرة نظراً لقربه من البئر .

8-4 دراسة مخططات إجهاد - تشوه:



الشكل رقم (4-75):مخطط إجهاد - تشوه لقدم السد ا

- يصف هذا المخطط ما يتعرض له قدم السد خلال مراحل التعبئة والتفريغ ، حيث يبدأ من النقطة 0(0،0) باتجاه النقطة 1 خلال مرحلة بناء السد التي يزداد فيها الإجهاد والتشوه ، ثم قمنا بإلغاء التشوهات الناتجة عن مرحلة البناء فقط فعاد المخطط إلى النقطة 2 مع المحافظة على الإجهادات الناتجة عن البناء، ثم يتجه إلى النقطة 3 حيث يزداد الإجهاد والتشوه مع عمليات التغبئة ، ثم يتراجع الإجهاد والتشوه إلى 4 ثم 5 مع عمليات التغريغ .
- إن النموذجين ذو البئر يسجلا إجهادات وتشوهات أكبر من النموذج بدون بئر من أجل نفس المرحلة وانتقالات أقل كما وجدنا سابقاً ، وهذا يدل على أن البئر زاد من مرونة النموذج وقدرته على تحمل الإجهادات والتشوهات وإعطاء انتقالات أقل ، وتظهر النقطة 5 المرونة التي يضيفها البئر .
- إن التشوه المتبقي عند النقطة 5 في نهاية مرحلة التفريغ الأخيرة وهو مجموع التشوه الناتج عن بقاء الماء حتى منسوب 2.5م وتشوه متبقى نتيجة لدونة قدم السد .

- تنفيذ آبار تصريف خلف هذا النوع من السدود المشادة على طبقات تأسيس صرفة بهدف المحافظة على جسم السد من
 التشققات والرشوحات لزيادة عمره الاستثماري والمحافظة على استقراره ورفع منسوب المياه الجوفية خلف هذه السدود.
- إدراج آبار تصريف خلف السدود الترابية التي تتم دراستها حديثاً إذا كانت مشادة على طبقات تأسيس صرفة للاستفادة منها في دعم ورفع منسوب المياه الجوفية.
 - ضرورة وجود تدعيم ضد الحركة الأفقية لبئر التصريف إلا إذا تبين بالدراسة عدم الحاجة له وذلك حسب خواص تربة التأسيس وأبعاد البئر
- عدم تكبير قطر البئر بشكل مبالغ فيه (لتجنب التدعيم مثلاً) ، لأن البئر ذو القطر الأصغر فعال أكثر من حيث سرعة جريان الماء وبالتالي زيادة التصريف وهي مهمته الأساسية .

ينصح بوضع بوابات على مجرى النهر لتجنب التعبئة السريع لبحيرة السد ، وبالتالي التقليل من الإجهادات المؤثرة على
 حسم السد.

• التوسع بدراسة أقطار الآبار المناسبة لكل سد حسب أبعاد السد والتربة المدروسة .

الفهرس

	الفصل الأول: تعريف بالسد موضوع البحث
2	1-1 مقدمة عامة
2	2-1 أنواع السدود
5	1-3 السدود في سورية
6	4-1 السدود الترابية
6	1-4-1 تصنيف السدود الترابية من حيث مادة الإنشاء
7	1-4-1 استقرار المنحدرات
10	1-5 معلومات عن السد المدروس
11	1-5-1 الظروف الجيولوجية والهيدروجيولوجية والتكتونية المحيطة بالمشروع
12	2-5-1 توصيف مشكلة السد
12	6-1 هدف البحث
	الفصل الثاني: التجارب الفيزيائية والميكانيكية
14	1-2 مقدمة
15	2-2 دراسة الخواص الفيزيائية
15	2-2- الرطوبة الطبيعية
15	2-2-2 الوزن الحجمي
16	2-2-3 حدود أنزبرغ
18	2-2-4 التحليل الحبي
	2-3 دراسة الخواص الميكانيكية
19	2-3-1 مقدمة عن مقاومة النربة على القص
22	ب-تجربة الضغط ثلاثي المحاور Triaxial compression Tes
23	ج- القص المباشر Direct Shear Tes
25	2-3-3 دراسة التجارب الميكانيكية
31	2-4 استنتاج قد الدامنيات

الفصل الثالث: النمذجة العددية للسد	
1-3 مقدمة	32 _
3-2 إعداد النموذج الرياضي	32 _
3-3 إعداد النموذج الجيوتكنيكي	33 _
3-4 النموذج رقم (2)	
3 – 5 النموذج رقم (3)	39 _
3-6 النموذج رقم (4)	40 _
3-7 النموذج رقم (5)	41 _
8-3 النموذج رقم (6)	42 _
3-9 النموذج رقم (7)	
3-10 النموذج رقم (8)	43
الفصل الرابع : الدراسة التحليلية للمخططات 1-4 مقدمة	46
. 1 2-4 دراسة الانتقال مع الزمن	
4-3 دراسة النقاط اللدنة وتوضعها	
4-4 دراسة الإجهادات الرئيسية مع الزمن	
4-4-1 الإجهاد الرئيسي الأول o1	
4-4-2 الإجهاد الكلي الرئيسي	
4-5 دراسة ضغط الماء المسامي مع الزمن PORE PRESSURE	
4-6 دراسة الإجهاد الفعال EFFECTIVE STRESS	
4-7 دراسة التشوهات الرئيسية مع الزمن	
xyγ أو xyγ أو xyγ في xyγ أو xyγ في xyγ في xyγ في xyγ في xyγ	

8-4 دراسة مخططات إجهاد – تشوه

62 _____ التوصيات _____

شكر واهداء

أتقدم بالشكر الجزيل للدكتور المهندس الأستاذ إبراهيم حمود الذي قدم لي الكثير من الدعم العلمي والمعنوي ، والذي لولا جهوده المشكورة لما خرج هذا البحث على ما هو عليه ...

وأشكر كل من ساهم وساعد في إخراج هذا البحث ، وقدم لي العون والمساعدة العلمية والمعنوية ...

أُهدي هذا العمل المتواضع إلى حبيبي وزوجي ورفيق دربي المحامي غياث قبلان الذي كان لي السند الأكبر، والقوة التي تدفعي للاستمرار بالعلم والعطاء ...

> المهندســـة أسـيل بركـات

فهرس الجداول والأشكال:

الفصل الأول: تعريف بالسد موضوع البحث

الشكل رقم (1-1): السدود

الشكل رقم (2-1): السدود القوسية

الشكل رقم (1-3): السدود المدعمة

الشكل رقم (1-4): السدود الردمية

الشكل رقم (1-5): سدود الجاذبية

الجدول رقم (1-1): العوامل المسببة للانهيار

الشكل رقم (1-6): الإجهاد في نقطة على سطح الانهيار

الشكل رقم (1-7): المقطع الجيولوجي

الشكل رقم (1-8) : طبقات التربة وتصدعاتها

الشكل رقم (1-9): أماكن العينات والآبار البيزومترية

الفصل الثاني: التجارب الفيزيائية والميكانيكة

الشكل رقم (2-1): صور العينات المأخوذة من الموقع من قاعدة السد (طبقة الأساس)

الشكل رقم (2-2): صور العينات المأخوذة من الموقع من جسم السد

الجدول رقم (1-2): الرطوبة الطبيعية

الجدول رقم (2-2): الوزن الحجمي

الجدول رقم (2-3): نتائج تجربة حدود أتربرغ رقم 1 وخطها البياني

الجدول رقم (2-4): قيم حدود أتربرغ لتجربة حدود أتربرغ رقم 1

الجدول رقم (2-5): نتائج تجربة حدود أتربرغ رقم 2 وخطها البياني

2 قيم حدود أتربرغ لتجربة حدود أتربرغ رقم (5-6) .

الشكل رقم (2-3): تصنيف التربة

الجدول رقم (2-7): نتائج التجربة رقم 1 وشكل المنحني

الجدول رقم (2-8): نتائج التجربة رقم 2 وشكل المنحني

الجدول رقم (9-2): نتائج التجربة رقم (9-2)

الجدول رقم (2−10): نتائج التجربة رقم 4 وشكل المنحني

الشكل رقم (2-4) : مخطط اجهاد ناظمي – اجهاد قص

الشكل رقم (2-5) : جهاز تجربة الضغط الحر

الشكل رقم (6-2): العلاقة بين الاجهاد والتشوه

الشكل رقم (2-7): جهاز الضغط ثلاثي المحاور

الشكل رقم (2-8): مغلف الانهيار

الشكل رقم (2-9): المروحة الدوارة

الجدول رقم (11-2) : نتائج السرعة 0.5mm/min

الجدول رقم (2-12): رطوبة العينة خلال إجراء التجربة

الجدول رقم (2-13): الوزن الحجمي للعينة خلال إجراء التجربة

الشكل رقم (2-10): مخطط نتائج التجربة

الجدول رقم (2-14) : نتائج السرعة 0.2mm/min

الشكل رقم (2-11): مخطط نتائج التجربة

الجدول رقم (2-15): الرطوبة أثثاء التجربة

الجدول رقم (2-16) الوزن الحجمى أثناء التجربة

الجدول رقم (2-17) : نتائج السرعة 0.1mm/min

الشكل رقم (2-12): مخطط نتائج التجربة

الجدول رقم (2-18) : نتائج السرعة 0.1mm/min

الشكل رقم (2-13): مخطط نتائج التجرية

الشكل رقم (2-14): بعض الصور للتجارب المنفذة في المخبر

الجدول رقم (2-19): قيم البرامترات

الفصل الثالث: النمذجة العددية للسد

الشكل رقم (3-1): النموذج الرياضي

الشكل رقم (2-3) : رسم بياني يوضح خط إملاء وإفراغ السد

الشكل رقم (3-3): تشوه متناظر للسد مع خط إشباع أفقى

الشكل رقم (3-4): خروج الماء من الحدود الصرف للنموذج

الشكل رقم (3-5): شبكة التحليل

الجدول رقم (1-3) مواصفات مواد طبقة التأسيس السفلى

الجدول رقم (3-2): مواصفات مواد طبقة التأسيس العليا

الجدول رقم (3-3) : مواصفات مواد نواة السد الغضارية

الجدول رقم (3-4): مواصفات مواد جسم السد

الشكل رقم (6-3): منطقية النموذج المشوه وانسيابية خط الرشح ودرجة الإشباع

الشكل رقم (3-7): انسيابية الانتقالات الأفقية والشاقولية وواقعيتها

الشكل رقم (3-8): الانتقالات الكلية وقيمها ضمن الحدود المقبولة

الشكل رقم (3-9): اتجاه وشكل جريان الماء

الشكل رقم (1-3): نموذج مزود ببئر قطر 1م واتجاه جريان الماء

الشكل رقم (11-3): مخطط الانتقالات الشاقولية والنموذج المشوه

```
الشكل رقم (3-12): الانتقالات الأفقية
```

الشكل رقم (3-13): نموذج مزود ببئر قطر 1م مع التدعيم والنموذج المشوه

الشكل رقم (3-14): الانتقالات الشاقولية والأفقية

الشكل رقم (3-15): اتجاه جريان الماء

الشكل رقم (3-16): درجة الإشباع

الشكل رقم (3-17): نموذج مزود ببئر قطر 20 سم والنموذج المشوه

الشكل رقم (3-18): الانتقالات الشاقولية والأفقية

الشكل رقم (3-19): اتجاه جريان الماء

الشكل رقم (3-20): نموذج مزود ببئر قطر 20 سم مع التدعيم النموذج المشوه

الشكل رقم (21-3): اتجاه جريان الماء

الشكل رقم (22-3): الانتقالات الشاقولية والأفقية

الشكل رقم (3-23): يوضح تحديث الشبكة لكافة المراحل بنجاح

الشكل رقم (24-3): مخطط الانتقالات الشاقولية لنقطة قدم السد قبل وبعد تحديث الشبكة مع الزمن

الشكل رقم (3-25): يوضح التحقق من ميكانيزم الانهيار لجميع المراحل

الشكل رقم (3-26): يوضح التحقق من عوامل الأمان

الشكل رقم (3-27): يوضح الانتقالات المرافقة لعوامل الآمان وأقلها 3.7

الفصل الرابع: الدراسة التحليلية للمخططات

الشكل رقم (1-4): نموذج بدون بئر

الشكل رقم (2-4): نموذج مزود ببئر قطره 1 م

الشكل رقم (4-3): نموذج مزود ببئر قطره 20 سم

الشكل رقم (4-4): مخطط توضيحي للنقاط المميزة في جسم السد في مخططات الانتقالات

الشكل رقم (4-5): مخطط انتقال النقطة A مع الزمن

الشكل رقم (4-6): مخطط انتقال النقطة B مع الزمن

الشكل رقم (4-7): مخطط انتقال النقطة C مع الزمن

الشكل رقم (4-8): مخطط انتقال النقطة D مع الزمن

الشكل رقم (4-9): مخطط انتقال النقطة E مع الزمن

الشكل رقم (4-10): مخطط انتقال النقطة F مع الزمن

الشكل رقم (1-1): مخطط انتقال النقطة H مع الزمن

الشكل رقم (4-12): مخطط انتقال النقطة G مع الزمن

الشكل رقم (4-13): مخطط الانتقال الأفقى النقطة H مع الزمن

الشكل رقم (4-41): نموذج بدون بئر

الشكل رقم (4-15): نموذج مزود ببئر قطره 1م وتوضع النقاط اللدنة أسفل البئر

الشكل رقم (4-16) : نموذج مزود ببئر قطره 20 سم وتوضع النقاط اللدنة أسفل البئر

الشكل رقم (4-17): مخطط توضيحي للنقاط المميزة في جسم السد في مخططات الاجهادات

الشكل رقم (4-18):مخطط الاجهاد الرئيسي الأول مع الزمن للنقطة ل

الشكل رقم (4-19):مخطط الاجهاد الرئيسي الأول مع الزمن للنقطة ا

الشكل رقم (4-20):مخطط الاجهاد الرئيسي الأول مع الزمن للنقطة L

الشكل رقم (4-21):مخطط الاجهاد الرئيسي الأول مع الزمن للنقطة K

الشكل رقم(4-22):مخطط الاجهاد الرئيسي الأول مع الزمن للنقطة N

الشكل رقم (4-23):مخطط الاجهاد الرئيسي الأول مع الزمن للنقطة M

الشكل رقم (4-24):مخطط الاجهاد الرئيسي الأول مع الزمن للنقطة P

الشكل رقم (4-25): مخطط الاجهاد الرئيسي الأول مع الزمن للنقطة O

الشكل رقم (4-26):مخطط الاجهاد الكلى مع الزمن للنقطة ا

الشكل رقم (4-27):مخطط الاجهاد الكلى مع الزمن للنقطة ل

الشكل رقم (4-28):مخطط الاجهاد الكلى مع الزمن للنقطة ا

الشكل رقم (4-29):مخطط الاجهاد الكلى مع الزمن للنقطة K

الشكل رقم (4-30):مخطط الاجهاد الكلى مع الزمن للنقطة M

الشكل رقم (4-31):مخطط الاجهاد الكلى مع الزمن للنقطة N

الشكل رقم (4-32):مخطط الاجهاد الكلى مع الزمن للنقطة P

الشكل رقم (4-33):مخطط الاجهاد الكلي مع الزمن للنقطة ٥

الشكل رقم (4-34): مخطط توضيحي للجزيء التربة

الشكل رقم (4-35):مخطط الضغط المسامي مع الزمن للنقطة A

الشكل رقم (4-36):مخطط الضغط المسامي مع الزمن للنقطة B

الشكل رقم (4-37):مخطط الضغط المسامي مع الزمن للنقطة C

الشكل رقم (4-38):مخطط الضغط المسامي مع الزمن للنقطة D

الشكل رقم (4-39):مخطط الضغط المسامي مع الزمن للنقطة E

الشكل رقم (4-40):مخطط الضغط المسامي مع الزمن للنقطة F

الشكل رقم (4-41):مخطط الضغط المسامذي مع الزمن للنقطة H

الشكل رقم (4-42):مخطط الضغط المسامي مع الزمن للنقطة G

الشكل رقم (4-43): نموذج بدون بئر

الشكل رقم (4-44): نموذج مزود ببئر قطره 1 م

الشكل رقم (4-45) : نموذج مزود ببئر قطره 20 سم

الشكل رقم (4-4):مخطط الاجهاد الفعال الأول مع الزمن النقطة الالشكل رقم (4-4):مخطط الاجهاد الفعال الأول مع الزمن النقطة لا الشكل رقم (4-48):مخطط الاجهاد الفعال الأول مع الزمن النقطة لا الشكل رقم (4-49):مخطط الاجهاد الفعال الأول مع الزمن النقطة الشكل رقم (4-50):مخطط الاجهاد الفعال الأول مع الزمن النقطة الاسكل رقم (4-51):مخطط الاجهاد الفعال الأول مع الزمن النقطة P الشكل رقم (4-52):مخطط الاجهاد الفعال الأول مع الزمن النقطة P الشكل رقم (4-55):مخطط الاجهاد الفعال الأول مع الزمن النقطة O الشكل رقم (4-55):مخطط الاجهاد الفعال الأول مع الزمن النقطة O

الشكل رقم (4-55): النموذج بدون بئر

الشكل رقم (4-56): النموذج المزود ببئر قطره 1م

الشكل رقم (4-57): النموذج المزود ببئر قطره 20 سم

الشكل رقم (4-58):مخطط التشوه الرئيسي الأول مع الزمن للنقطة ل

الشكل رقم (4-59):مخطط التشوه الرئيسي الأول مع الزمن للنقطة

الشكل رقم (4-60):مخطط التشوه الرئيسي الأول مع الزمن للنقطة K

الشكل رقم (4-61):مخطط التشوه الرئيسي الأول مع الزمن للنقطة L

الشكل رقم (4-62):مخطط التشوه الرئيسي الأول مع الزمن للنقطة M

الشكل رقم (4-63):مخطط التشوه الرئيسي الأول مع الزمن للنقطة N

الشكل رقم (4-64): مخطط التشوه الرئيسي الأول مع الزمن للنقطة P

الشكل رقم (4-65):مخطط التشوه الرئيسي الأول مع الزمن للنقطة О

الشكل رقم (4-66):مخطط تشوه القص مع الزمن للنقطة ا

الشكل رقم (4-67):مخطط تشوه القص مع الزمن للنقطة ل

الشكل رقم (4-68):مخطط تشوه القص مع الزمن للنقطة K

الشكل رقم (4-69):مخطط تشوه القص مع الزمن للنقطة L

الشكل رقم (4-70):مخطط تشوه القص مع الزمن للنقطة M

الشكل رقم (4-71):مخطط تشوه القص مع الزمن للنقطة N

الشكل رقم (4-72): مخطط تشوه القص مع الزمن للنقطة P

الشكل رقم (4-73):مخطط تشوه القص مع الزمن للنقطة О

الشكل رقم (4-74):مخطط تشوه - إجهاد

الشكل رقم (4-75):مخطط إجهاد - تشوه لقدم السد ا

المراجع

- الشركة العامة للدراسات المائية بحمص 1.
- 2. 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, 206-218.
- 3. Sharma, H.D., 1976. "Nonlinear Analysis of a High Rockfill Dam with Earth Core", PhD Thesis, University of Roorkee, Roorkee, India.150.
- 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. PlaxisV8-manuals-Tutorial Manual V8 -page90.
- 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. Lefebre, 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, 909-917.
- 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, 1629-1653.