

## دراسة استقرار سدة السفريقية باستخدام برنامج Abaqus

د. منذر علي حمّاد\*

مدين محمود نوت\*\*

(تاريخ الإيداع 28 / 3 / 2021. قُبل للنشر في 10 / 8 / 2021)

### □ ملخص □

توضّح هذه الدراسة كيفية حساب استقرار السدود البيتونية الثقيلة، الذي يتضمن حساب عوامل الأمان ضد الانزلاق والانتقال باستخدام طريقة العناصر المنتهية (Finite Element Method (FEM) للمنشآت المدروسة وعرض نتائجها، حيث قمنا بالتحقق من استقرار سدة السفريقية باستخدام هذه الطريقة قبل وبعد تأثير الهزة الأرضية المدروسة المفترضة بذروة تسارع زلزالي  $0.4g$ ، وتبين النتائج المعروضة الحالة الأخطر للتحميل وهي حالة التحميل الأعظمي التي تكون فيها عوامل الأمان أصغر، وبالنتيجة كانت الاجهادات جميعها ضمن القيم المسموحة والتي بلغت قيمتها الاعظمية  $21 \text{ t/m}^2$ ، وتمت مناقشة وتحليل وتفسير النتائج التي تم الوصول اليها ووضع بعض الاستنتاجات والتوصيات الهامة.

**الكلمات المفتاحية:** السدود البيتونية الثقيلة، طريقة العناصر المنتهية، استقرار السدود، الزلازل، برنامج Abaqus.

\* أستاذ -قسم الهندسة المائية والري-كلية الهندسة المدنية-جامعة تشرين-اللاذقية-سورية.

\*\*طالب دراسات عليا (ماجستير)-قسم الهندسة المائية والري-كلية الهندسة المدنية-جامعة تشرين-اللاذقية-سورية.

## Stability Analysis of Al Safarkia Dam Using Aabaqus

Dr. Mounzer Ali Hammad<sup>\*</sup>  
Mydean Mahmoud Nout<sup>\*\*</sup>

(Received 28 / 3 / 2021. Accepted 10 / 8 / 2021)

### □ ABSTRACT □

This study explains a method of calculating the stability of concrete gravity dams. Using the Finite Element Method (FEM), the study calculates the safety factors, against sliding and overturning of the target dams and presenting its results. we verified the stability of Al Safarkia dam using this method before and after the impact of a supposed earthquake with peak ground acceleration of 0.4g. this study concludes that the most dangerous loading case is the case of the least safety factors, consequently, all stresses whose maximum value reached 21 t/m<sup>2</sup> were within the permissible values. the results of this study are discussed, analyzed and interpreted. Therefore, some Important conclusions and recommendations are stated.

**Keywords:** Concrete Gravity Dams, Finite Element Method (FEM), Overturning Stability, Sliding Stability, Earthquakes, Seismic Response, Abaqus.

---

\* Professor, Department of Water Engineering and Irrigation, Faculty of Civil Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria. [mounzer.hammad@gmail.com/](mailto:mounzer.hammad@gmail.com).

\*\*Postgraduate Student, Department of Water Engineering and Irrigation, Faculty of Civil Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria. [/m1991.eng.civile3@gmail.com/](mailto:/m1991.eng.civile3@gmail.com/).

**مقدمة:**

يعد السد حجر الزاوية في تطوير وإدارة الموارد المائية للحوض النهري. فالسد الثقلي هو منشأ مائي عملاق، يصمم لمقاومة جميع القوى الخارجية التي يتعرض لها اعتماداً على وزنه الذاتي فقط، وهو النوع من المنشآت الأكثر شيوعاً ويتطلب صيانة أقل .

تم تنفيذ العديد من المنشآت المائية الخرسانية ومنها السدود البيتونية الثقيلة في المناطق الزلزالية، وعلى الرغم من الاحتياطات المتخذة لضمان الأداء الجيد لهذه المنشآت طيلة فترة خدمتها، فقد حصلت فيها العديد من الانهيارات نتيجة لعوامل متعددة أهمها الزلازل، ونظراً للعواقب الكارثية على الحياة البشرية والاقتصادية، التي يمكن أن تحصل نتيجة انهيارها [1]، ولوقوع سورية في منطقة غنية بالتركيبات التكتونية المتباينة جيولوجياً سببت وجود مناطق متحركة وفوالق متعددة، نجد أنه من الضروري التحقق من مقاومة السدود الثقيلة للحمولات الديناميكية والستاتيكية التي تنجم عن الهزات الأرضية، فتخلق إجهادات شادة ضمن جسم السد تفوق مقاومة البيتون على الشد [2,3].

من هنا تأتي أهمية دراسة استقرار السدود أو السدات البيتونية وحساب عوامل الأمان والإجهادات التي تتعرض لها وخاصةً عند تأثير الزلازل، في حماية السد واتخاذ الإجراء الأمثل لمنع انهياره، والعمل على تفادي الأضرار، والقيام بالصيانة اللازمة في الأوقات المناسبة.

**أهمية البحث وأهدافه:**

أهداف هذه الدراسة ملخصة بالنقاط التالية:

- الهدف الأساسي من البحث هو دراسة استقرار السدود البيتونية الثقيلة اعتماداً على طريقة العناصر المنتهية FEM وحساب عوامل الأمان لسدة السفريقية على الانزلاق والانقلاب وحساب الإجهادات الشاده والضاغطة ومقارنتها بالإجهادات المسموحة للبيتون وإيجاد قيمة الازاحة الأعظمية فيها، وذلك من أجل حالات تحميل مختلفة وتحديد حالة التحميل الأخطر من مجموع القوى المؤثرة على سدة السفريقية باستخدام برنامج Abaqus.
- تحليل الاستجابة الزلزالية لكتلة سدة السفريقية.

**طرائق البحث ومواده:**

- وسوف تُستخدم طريقة FEM في تحليل النموذج بإدخال البيانات على برنامج Abaqus.
- وتتم عملية التحليل وفق الخطوات:
- اختيار بيئة العمل باستخدام طريقة 2D أو 3D وضبط أبعاد النموذج والوحدات المستخدمة.
- تعريف وإدخال خصائص المادة المكونة للنموذج وتوصيفها.
- تعريف وإدخال الحمولات الستاتيكية أو الديناميكية.
- تحديد الشروط الطرفية وتحديد نوع التوثيق ودرجة التوثيق.
- بناء الشبكة mesh.
- تشغيل النموذج.
- ومن ثم إخراج النتائج وتمثل:

- قيم عوامل الأمان.
- قيم الإزاحة الاعظمية عند عتبة السدة.
- الإجهادات الشادة والضاغطة.

وبعد ذلك سوف نقوم بمقارنة النتائج المأخوذة من تحليل سدة السفريقية ومناقشتها.

وسوف نستخدم برنامج Abaqus 2017: الذي هو من البرامج الأفضل للتحليل، حيث تم إصداره في عام 1978 يقوم بدراسات معقدة جداً بمساعدة الحاسب ويتألف من مجموعة برامج تعتمد على مبدأ العناصر المنتهية (FEM) Finite Element Method ، حيث يمكنه حل مسائل تتراوح بين التحليلات الخطية البسيطة والتحليلات اللاخطية المعقدة بالإضافة إلى إمكانية محاكاة الحركة للعديد من النماذج الهندسية وإعطاء نتائج دقيقة لمختلف بارامترات التصميم ويستطيع استيراد ملفات بكافة أنواع اللوح كما يتضمن مكتبة ضخمة للمواد تمكننا من تمثيل كافة أنواع المواد الهندسية، حيث يمكن إنشاء النماذج وتعديلها ومن ثم عرض نتائج التحليل مثل: الإزاحة، الإجهادات الرئيسية والشاقولية والقاصة وغيرها [5].

### 1- أنواع السدود البيتونية

تقسم السدود عموماً إلى نوعين حسب الشكل وحسب المواد المكونة لجسم السد: النوع الأول وتسمى السدود الركامية وتنقسم إلى نوعين: ركامية ترابية، وركامية صخرية. النوع الثاني وتسمى السدود البيتونية وتقسم هذه السدود إلى ثلاثة أنواع: البيتونية الثقيلة، والبيتونية القوسية، والبيتونية ذات دعائم [6,5].

#### 1-1- السدود البيتونية الثقيلة:

وهي سدود ضخمة ويعتمد توازنها أو استقرارها على وزن البيتون المصمم بطريقة هندسية ذات قواعد ضخمة ومتوازنة لمقاومة الضغط الجانبي للماء والهزات الأرضية والقوى الأخرى [6].

#### 1-2- السدود البيتونية القوسية:

وتعتبر السدود القوسية من أبسط أشكال السدود وأقلها تكلفة من حيث المواد والتصميم من أي نمط من الأنماط الأخرى للسدود، وأشهرها سد El Atazar في إسبانيا.

ويستخدم هذا النوع من السدود في الأماكن الضيقة والصخرية، حيث يكون السد على شكل قوس منحنى يحجز خلفه كميات هائلة من مياه الأنهار، وحيث تقوم المياه بتطبيق ضغط كبير على السطح الخلفي المحذب للجدار، مما يسبب انضغاط القوس الجداري الذي يستند على اكتاف الوادي [6].

#### 1-3- السدود البيتونية ذات دعائم:

قد تكون هذه السدود منبسطة قليلاً أو كثيراً أو مقوسة، لكن هناك دائماً أسس تصميمية تميزها عن غيرها وهي سلسلة من الركائز (تستخدم لنقل القوى المؤثرة على الجدار إلى منطقة أخرى أكثر قوة وتحمل كالأرض أو الأساسات)، حيث تقوم هذه الركائز الإنشائية بتقوية ودعم بناء السد من الجهة الخارجية في اتجاه مجرى النهر، ومن أهم الأمثلة على السدود المدعمة بركائز إسمنتية هو سد Bartlett في ولاية أريزونا الأمريكية [6].

### الحمولات المطبقة على السدود البيتونية الثقيلة:

هناك 10 أنواع من القوى المؤثرة على السدود البيتونية وتقسّم إلى قوى مساعدة على الاستقرار وأخرى معاكسة له [7,8].

- القوى المساعدة هي: ثقل ووزن السد (الحمولات الميتة) - قوى دفع الماء الموجود على الوجه الخلفي ووزن الماء فوق جسم السد.

- القوى المعاكسة التي تزعزع استقرار السد وتضعفه تتضمن: قوى دفع الماء الموجود على الوجه الأمامي (ضغط المياه في الخزان) - قوة الرفع (ضغوط الرفع الهيدروستاتيكية) - الضغط الناتج عن حركة الامواج في الخزان - ضغط الجليد - تأثير درجات الحرارة - ضغط الرواسب - القوى الزلزالية - ضغط الرياح.

#### 1-1-1 حالات التحميل

يمكن تمييز ثلاث حالات تحميل اساسية تنتج عن تراكم مجموعة محددة من القوى السابقة:

#### 1-1-2-1 حالة التحميل الأساسية

تشمل القوى المؤثرة على السد بشكل دائم وهي:

جميع الحمولات الميتة، ضغط الرواسب وضغوط الرفع الهيدروستاتيكية للأعلى والضغوط الهيدروستاتيكية من الخزان أو الماء الخلفي، وذلك في حالة المنسوب الطبيعي للتخزين [4].

#### 1-2-1-2 حالة التحميل الخاصة

قد تكون هناك قوى اخرى إضافية للقوى المؤثرة في حالة التحميل الطبيعية وهي:

ضغط الجليد ودرجة الحرارة المنخفضة [4].

#### 1-3-2-1-1 حالة التحميل القصوى

و تشمل المجموع الاسوأ من القوى المختلفة التي تم ذكرها وتتضمن:

بشكل رئيسي قوى الزلازل، وسبب استخدام حالة التحميل هذه هو استنتاج وحساب عوامل الأمان للسد، حيث أن حالة التحميل الأكثر اعتيادية تعطي أكبر عامل أمان ممكن [4].

### 2- طريقة العناصر المنتهية Finite Element Method:

- طريقة ال FEM هي طريقة رقمية مستخدمة لتسهيل عملية الحساب حيث يتم تقسيم الجسم إلى عناصر صغيرة تسمى شبكة العناصر المنتهية (mesh)، ويتم تطبيق المعادلات لكل عنصر على حدى باستخدام برنامج بواسطة الحاسوب [4,5].

- تعتمد طريقة FEM على تحويل النموذج لمسألة رياضية على شكل معادلات تفاضلية [4,5].

#### شبكة العناصر المنتهية

هي شبكة مؤلفة من مجموعة من العناصر (Element) والخطوط (lines) والعقد (nodes).

يحدد عددها ونوعها بحسب النموذج المستخدم وبحسب أهمية المنطقة المحددة، حيث أن (زيادة عناصر وخطوط وعقد الشبكة تعطي نتائج أكثر دقة) [4].

وتقسم عناصر ال mesh بشكل عام إلى ثلاثة أنواع:

1- عنصر بشكل متوازي مستطيلات يحوي 8 عقد.

2- عنصر بشكل متوازي مستطيلات يحوي 20 عقدة.

3- عنصر بشكل هرمي يحوي 10 عقد.



### المعادلات الحاكمة

يعتمد برنامج abaqus في حسابه للإجهادات والانتقالات على حل جملة من المعادلات بالاستعانة بطريقة العناصر المنتهية وذلك في حالة العناصر المستوية من نوع plane strain عندها تكون التشوهات الناتجة باتجاه محور Z (باتجاه الموازي لطول السد) معدومة أي أن  $\gamma_{YZ} = 0$  و  $\gamma_{XZ} = 0$  و  $\epsilon_Z = 0$  وأيضاً في حالة الإجهادات المستوية من نوع plane stress عندها تكون الإجهادات الناتجة باتجاه محور Z معدومة أي أن  $\sigma_Z = 0$  و  $\tau_{XZ} = 0$  و  $\tau_{YZ} = 0$  فيمكن كتابة المعادلة المصفوفية للإجهادات كما يلي: [5,17]

$$\begin{bmatrix} \sigma_X \\ \sigma_Y \\ \tau_{XY} \end{bmatrix} = \frac{E}{(1+\nu)(1-2\nu)} * \begin{bmatrix} 1-\nu & \nu & 0 \\ \nu & 1-\nu & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1-2\nu}{2} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \epsilon_X \\ \epsilon_Y \\ \gamma_{XY} \end{bmatrix} \quad (1)$$

حيث أن:

$\sigma_x, \sigma_y$ : الإجهاد الناتج باتجاه المحاور x و y على التوالي.

$\tau_{XY}$ : إجهاد القص.

$\epsilon_x, \epsilon_y$ : الانفعال باتجاه المحاور x و y على التوالي.

$\gamma_{XY}$ : الانفعال الناجم عن القص.

E: معامل المرونة.

$\nu$ : نسبة بواسون.

ويحسب الانفعال  $\epsilon$  من خلال شعاع الانتقالات [D] من معادلة القوى التالية:

$$[F] = [K] * [D] \quad (2)$$

حيث أن:

[F]: تعبر عن شعاع القوى Load Vector.

[K]: تعبر عن مصفوفة الصلابة Stiffness Matrix.

[D]: تعبر عن شعاع الانتقالات Displacement Vector.

$$\begin{bmatrix} f_{1x} \\ f_{1y} \\ m_1 \\ \vdots \\ f_{nx} \\ f_{ny} \\ m_n \end{bmatrix} = [K] * \begin{bmatrix} u_1 \\ v_1 \\ \theta_1 \\ \vdots \\ u_n \\ v_n \\ \theta_n \end{bmatrix} \quad (3) \quad \text{حيث: } \epsilon_x = \frac{\Delta x}{x}, \Delta x = u \text{ و } \epsilon_y = \frac{\Delta y}{y}, \Delta y = v \text{ و } \epsilon_\theta = \frac{\Delta \theta}{\theta}$$

### 3- أنماط الانهيار وعوامل الاستقرار الإنشائي للسدود الثقيلة.

يمكن للسد الثقلي أن ينهار عند أي مستوي في جسم السد أو الأساس أو عند المستوي الفاصل بين قاعدة السد والأساس وفق أحد الأنماط الآتية [2,18].

(1) بالانقلاب أو الدوران حول القدم الخلفي (Overturning (Rotation).

(2) بالهرس أو الانسحاق (Crushing).

(3) بنشوء قوى شد تؤدي إلى الانهيار النهائي بواسطة الانسحاق أو التحطم.

(4) بالانزلاق أو القص Shear.

### 3-1- الانقلاب (Overturning Rotation)

تدعى النسبة بين عزوم القوى المقاومة للانقلاب  $\sum M_r$  وعزوم القوى الدافعة للانقلاب  $\sum M_0$ ، بعامل الأمان ضد الانقلاب كما في العلاقة (4) [2,18].

$$F_0 = \frac{\sum M_r}{\sum M_0} \quad (4)$$

### 3-2- الانسحاق أو الانضغاط (Crushing or Compression)

يمكن أن يحدث انهيار السد نتيجة انهيار المواد المكونة له أو للأساس، كأن تتجاوز الإجهادات الناجمة عن تأثير القوى المطبقة عليه قيم الإجهادات المسموحة لهذه المواد، لينتج عن ذلك انسحاقها أو تحطمها [2,14,15,18].

$$\sigma_{max,min} = \frac{\sum V}{B} \pm \frac{M}{I} y = \frac{\sum V}{B} \pm \frac{\sum V \cdot e}{\frac{B^2}{6}} = \frac{\sum V}{B} \left(1 \pm \frac{6 \cdot e}{B}\right)$$

$$\sigma_{max,min} = \frac{\sum V}{B} \left(1 \pm \frac{6 \cdot e}{B}\right) \quad (5)$$

حيث أن:

e: لامركزية قوة المحصلة عن مركز القاعدة.

$\sum V$ : المجموع الجبري للقوى الشاقولية المؤثرة.

B: عرض قاعدة السد أو عرض مقطع السد عند المستوي المدروس.

يتشكل الضغط الأعظم عند الطرف الأقرب إلى نقطة مرور المحصلة من القاعدة.

عندما يكون الإجهاد الأصغري سالباً، هذا يعني وجود إجهاد شد عند القدم الأمامي الشكل (1).

عندما تتجاوز الإجهادات الأعظمية المطبقة على جسم السد أو على الأساس قيمة إجهاد الضغط المسموح لمادة السد للبيتون في مستوي يقع ضمن جسم السد أو إجهاد الضغط المسموح لمادة الأساس في المستوي الفاصل بين قاعدة السد والأساس يمكن للسد أن ينهار بالانسحاق.

### 3-3- الشد.

تصمم السدود البيتونية الثقيلة والحجرية عادة بطريقة لا تسمح بظهور إجهادات شد في أي موقع، لأن المواد المكونة لها لا تتحمل هذا النوع من الإجهادات، وقد يؤدي تعرض هذه المنشآت لهذه الإجهادات إلى حدوث تشققات في المنشأ تؤدي لانهاره لاحقاً.

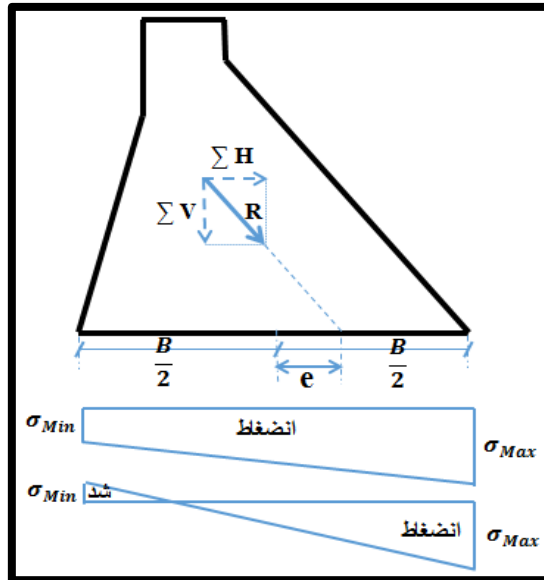
يمكن السماح بظهور إجهادات شد محدودة عند تصميم السدود الثقيلة العالية (التي يزيد ارتفاعها عن 90 m) لأسباب اقتصادية، في حالات التحميل الخطرة، ويقدر إجهاد الشد المسموح هنا ما يعادل تقريباً من 5% إلى 6% من قيمة إجهاد الضغط المسموح [16].

للتأكد من عدم ظهور إجهادات شد في أي موقع، يجب التحقق من أن  $\sigma_{min}$  معادلة للصفر أو موجبة.

$$\sigma_{min} = \frac{\sum V}{B} \left(1 - \frac{6 \cdot e}{B}\right) \quad \text{بما أن.}$$

$$\sigma_{min} = 0 \Rightarrow \sigma_{min} = \frac{\sum V}{B} \left(1 - \frac{6 \cdot e}{B}\right) = 0 \Rightarrow 1 - \frac{6 \cdot e}{B} = 0 \Rightarrow e = \frac{B}{6}$$

أي أن القيمة الأعظمية المسموحة للامركزية على جانبي المركز لا تزيد عن  $\frac{B}{6}$  أي يجب أن تمر المحصلة ضمن الثلث المركزي للمقطع [15].



الشكل (1) مخطط الضغط والشد عند قاعدة الأساس.

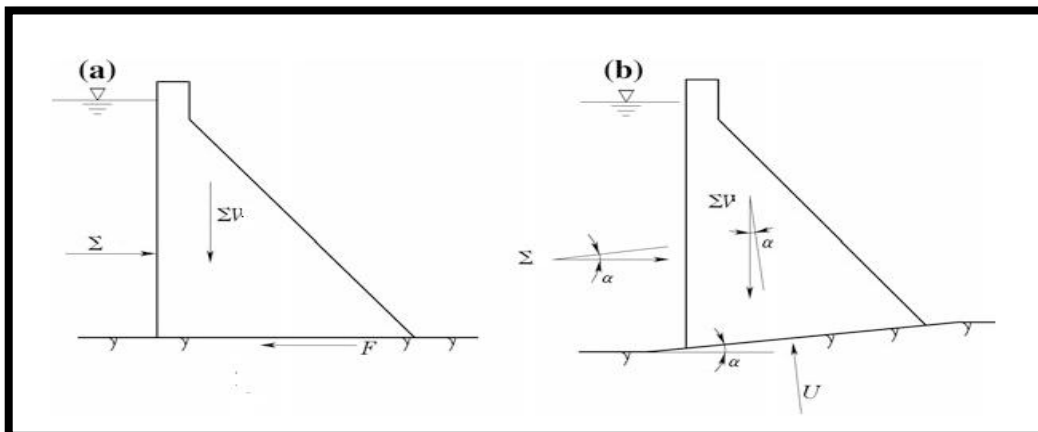
### 3-4- الانزلاق Sliding.

يحدث الانهيار بالانزلاق أو بالقص (Shear Failure) عندما تتجاوز القوة الأفقية الصافية فوق أي مستوى (ضمن السد أو الأساس أو عند المستوي الفاصل بين السد والأساس) مقاومة الاحتكاك الناشئة عند ذلك المستوى. إن الاحتكاك المتشكل بين سطحين يعادل  $\mu(\Sigma V - U)$  حيث  $\Sigma V$  المجموع الجبري للقوى الشاقولية (باستثناء ضغط الرفع)،  $\mu$  معامل الاحتكاك بين السطحين و  $U$  قوة ضغط الرفع. لحساب عامل الأمان ضد الانزلاق، عندما يكون السطح عند مستوي الدراسة أفقي الشكل (2-a) تستخدم المعادلة.

$$F_f = \frac{\mu(\Sigma V - U)}{\Sigma H} \quad (6)$$

عندما يكون سطح الانزلاق مائل عن الأفق بزاوية قدرها  $\alpha$  الشكل (2-b) فتأخذ المعادلة السابقة الشكل التالي:

$$F_f = \frac{\mu(\Sigma V \cdot \cos \alpha - U + \Sigma H \cdot \sin \alpha)}{\Sigma H \cdot \cos \alpha - \Sigma V \cdot \sin \alpha} \quad (7)$$



الشكل (2) توزيع القوى المؤثرة في حال وجود سطح انزلاق مائل



ينبغي اختبار الأمان ضد الانزلاق في السدود المنخفضة بواسطة مقاومة الاحتكاك فقط، أما في السدود العالية، عادةً ما يتم اعتبار وجود تماسك عند المستوي المدروس، والذي يمثل مقاومة قص إضافية. عند أخذ التماسك في الفاصل بين قاعدة السد و الأساس أو التماسك في فاصل ضمن جسم السد، تصبح معادلة حساب عامل الأمان ضد القص، ونسميه عامل الأمان ضد الانزلاق [14,15,16,20].

$$F_{S.F} = \frac{\mu(\sum V-U)+c.B}{\sum H} \quad (8)$$

$$F_{S.F} = \frac{\mu(\sum V.\cos \alpha-U+\sum H.\sin \alpha)+c.B}{\sum H.\cos \alpha-\sum V.\sin \alpha} \quad (9)$$

حيث  $\alpha$ : زاوية ميل مستوي الانزلاق عن الأفق وتكون موجبة عندما يكون دورانها باتجاه الوجه الأمامي.

B: عرض قاعدة السد أو عرض مقطع السد عند المستوي المدروس.

c: التماسك الوسطي بين (مادة السد والأساس) أو التماسك بين (مادة السد فقط) بحسب منسوب المستوي المدروس، ويتراوح قيمته بين  $140 \text{ t/m}^2$  للصخور الضعيفة حتى  $400 \text{ t/m}^2$  للصخور الجيدة أو يمكن أن يؤخذ كنسبة 10% من قيمة مقاومة الضغط للصخرة أو يؤخذ من قيمة مقاومة الضغط للبيتون وفقاً للعلاقة  $(0,085 R_c^{0.5})$  حيث  $R_c$  هي مقاومة الضغط للبيتون، وعند حساب التماسك بين طبقات ضمن جسم السد يحسب وفق العلاقة  $(0,17 R_c^{0.5})$ ، وتختلف قيمة معامل الاحتكاك من 0.65 حتى 0.75 ويمكن ان تصل للقيمة 1 بحسب الكود المستخدم (American

[16].(ASTM)(Society for Testing and Materials)

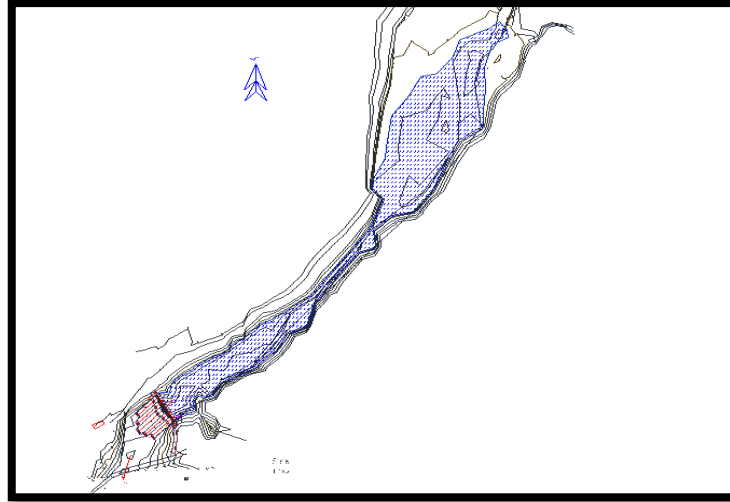
بعد حساب عامل الامان تتم مقارنة هذه القيم مع القيم المسموحة الممثلة بالجدول (1) المعتمدة من قبل مكتب الاستصلاح في امريكا (USBR)(USA - Bureau of Reclamation) من اجل تقييم الامان في السدود البيتونية الثقيلة [16]، ويشمل الجدول عدة حالات تحميل.

الجدول (1) يمثل قيم عوامل الأمان المسموحة

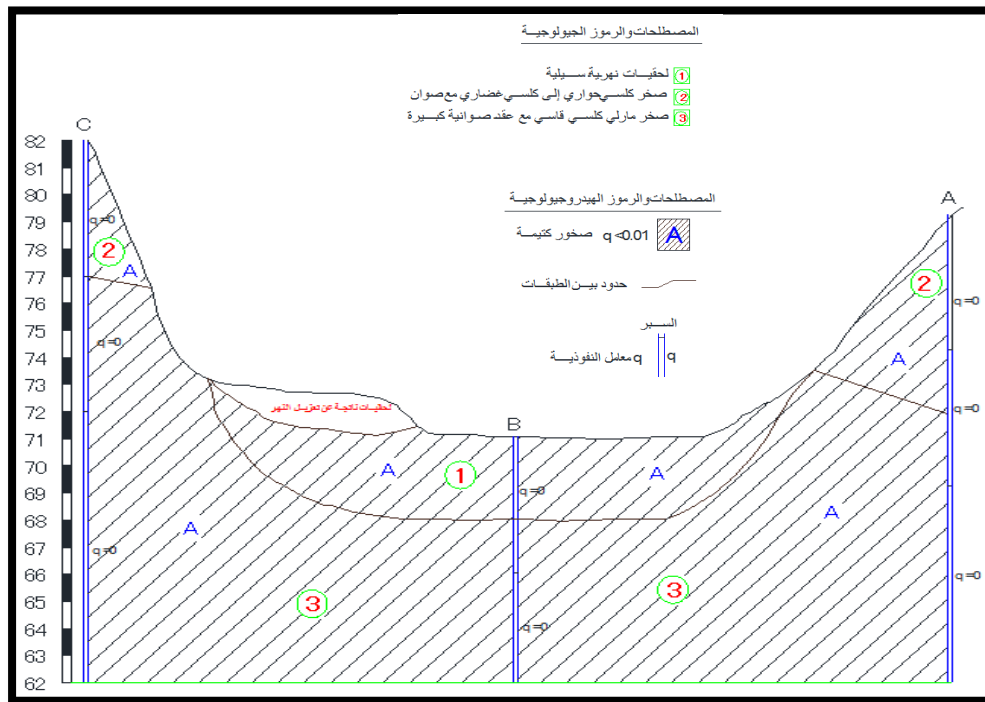
عامل الأمان المسموح	حالة التحميل	مرتبة السد		
		1	2	3
$F_f$ للإنزلاق وعدم وجود تماسك	الأساسية	1.3	1.1	1.05
	خاصة (فيضان كارثي)	1.1	1.05	1
	خاصة (هزة ارضية)	1	1	1
$F_{S.F}$ للإنزلاق مع وجود تماسك	الأساسية	3		
	خاصة (فيضان كارثي)	2.5		
	خاصة (هزة ارضية)	2.3		
$F_0$ للإنقلاب	الأساسية	1.5		
	خاصة (فيضان كارثي)	1.3		
	خاصة (هزة ارضية)	1.1		

#### 4- سدة السفريقية:

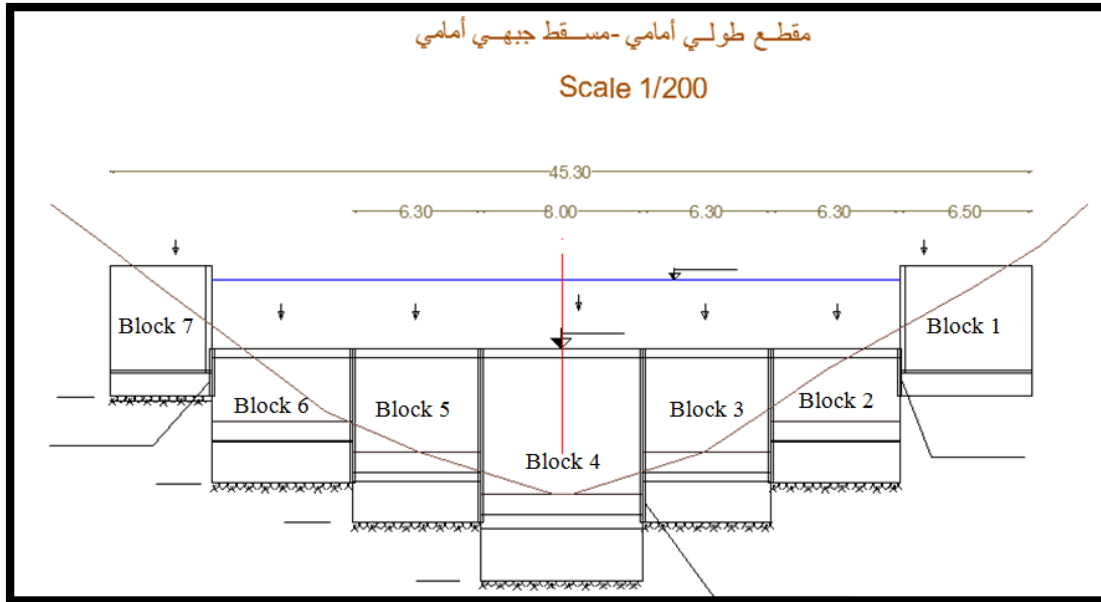
تقع السدة المقترحة في محافظة اللاذقية في منطقة القرداحة إلى الغرب من سد صلاح الدين بحوالي 1.5 km على مجرى نهر الديرونة وعلى ارتفاع 77 m عن سطح البحر. تبلغ مساحة الحوض الصباب حتى موقع السدة باستثناء الحوض الصباب لسد صلاح الدين حوالي  $1.6 \text{ km}^2$ ، والقسم الغالب من الحوض مشغول بالزراعات المحلية (زيتون وأشجار حمضيات) والباقي عبارة عن جروف صخرية عالية الميول. تبين الأشكال (4) و(5) و(6) و(7) و(8) مسقط لبحيرة السدة، ومقطع جيولوجي، ومقطع طولي في السدة، ومقطع عرضي في الجزء غير المغمور، ومقطع عرضي في الجزء المغمور على التوالي.



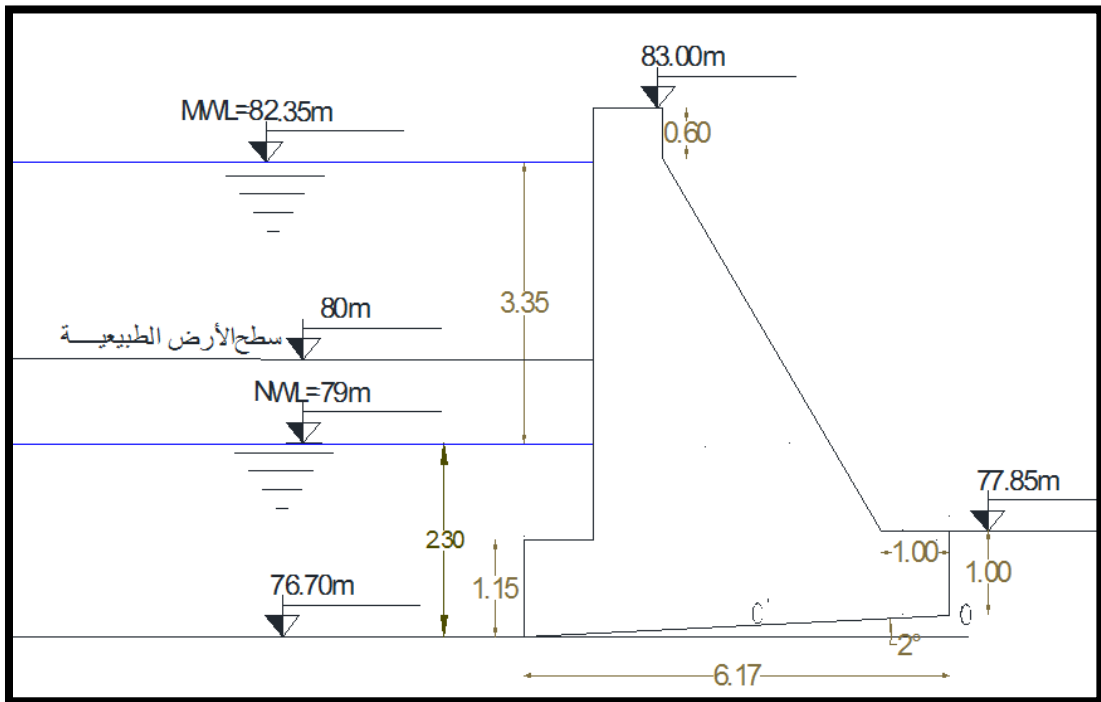
الشكل (3) مسقط لبحيرة السدة.



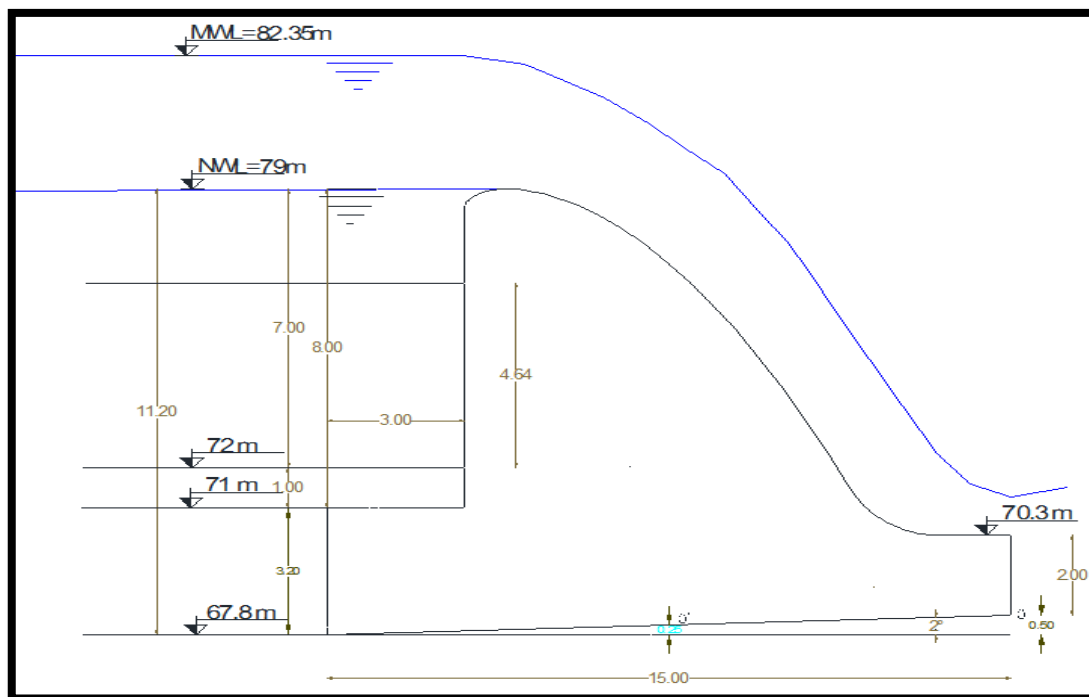
الشكل (4) مقطع جيولوجي وهيدروجيولوجي في محور سدة السفريقية.



الشكل (5) مقطع طولى في السدة.



الشكل (6) مقطع عرضي في السدة في الجزء غير المغمور بالبلوك رقم 1.



الشكل (7) مقطع عرضي في السدة في الجزء المغمور بالبلوك رقم 4.

## معطيات السدة:

بما أن المواد الحصوية المستخدمة في خلطة البيتون العادي في كامل جسم السدة هي (ركام سيليسياً من البازلت وحجر بركاني ورمل وحصى) فتكون كثافته البيتون المستخدم  $\rho = 2400 \text{ kg/m}^3$ . البيتون المستخدم هو بيبتون عادي من عيار  $250 \text{ kg/m}^3$  والاسمنت المستخدم في الخلطة هو الاسمنت البورتلاندي المقاوم للكبريتات المطابق للمواصفات السورية للإسمنت (م ق س 80/44). يتم حساب المقاومة المميزة على الضغط والشد للبيبتون المستخدم في بناء السدة من نتائج اختبارات الضغط والشد والانفلاق على عينات قياسية  $(150 \times 300) \text{ mm}$  عمرها 28 يوماً، محفوظة تحت الماء في درجة حرارة  $20 \pm 2$  درجة مئوية [19].

واعتمدت قيمة المقاومة المميزة المطلوبة على الضغط مأخوذة من نتائج كسر العينات  $f_c = 1325.2 \text{ t/m}^2$  وتحدد مقاومة الشد المميزة المحتملة من قيمة مقاومة الضغط المميزة وفقاً للعلاقة (10) في الجدول (2) المأخوذة من الكود العربي السوري الطبعة الرابعة 2012 [19]. أو تؤخذ بنسبة 5% أو 6% من قيمة مقاومة الضغط بحسب مكتب استصلاح الاراضي في امريكا (USBR) [16]. معامل التمدد الطولي (معامل يونغ) يؤخذ بحسب الكود العربي السوري كما في العلاقة (12) في الجدول (2) [19]. ويعطى معيار القص (عامل القص للبيبتون) (G) بالعلاقة (13) في الجدول (2) [19]. وقيمة التماسك للبيبتون يؤخذ كنسبة من مقاومة الشد أو من مقاومة الضغط  $c = 50 \text{ t/m}^2$ ، بينما التماسك بين السدة والأساس هي  $c = 25 \text{ t/m}^2$  [20].

## مواصفات تربة التأسيس:

ومن نتائج تجربة النفوذية التي اجريت على العينة المستخرجة من السبور تبين ان النفوذية  $q = 0.0001$  l/min/m وهي من مرتبة  $q < 0.01$  l/min/m تعتبر الصخور من النوع الكتيمة. والقيمة الوسطية للوزن الحجمي لطبقة الصخر  $\gamma_b = 2.17$  g/cm<sup>3</sup>. تحسب قدرة تحمل التربة من علاقة ترزاكي للأساس المستطيل بالعلاقة (14) في الجدول (2): حيث أن قيمة زاوية الاحتكاك  $\Phi = 30^\circ - 40^\circ$  والتماسك  $c = 25$  t/m<sup>2</sup>. وتؤخذ قيم معاملات قدرة تحمل التربة من جدول ترزاكي بحسب قيمة  $\Phi$ .

الجدول (2) قيم معطيات سدة السفريقية:

المعطيات	العلاقة المستخدمة	القيمة
كثافته البيتون المستخدم		$\rho = 2400$ kg/m <sup>3</sup>
عيار البيتون المستخدم		$C = 250$ kg/m <sup>3</sup>
قيمة المقاومة المميزة على الضغط		$f_c = 13$ Mpa
مقاومة الشد المميزة المحتملة	$f_{ct} = 0.44 \sqrt{f_c}$ (10)	1.58 Mpa
مقاومة الشد المميزة المحتملة	$f_{ct} = 0.05 * f_c$ (11)	0.65 Mpa
معامل يونغ (معامل المرونة)	$E = 6645 \sqrt{f_c}$ (12)	23950 Mpa
معيار القص (معامل المرونة على القص)	$G_c = \frac{E_c}{2 \times (1 + \nu)}$ (13)	9982.8 Mpa
نسبة بواسون		$\nu = 0.2$
قدرة تحمل التربة	$q_u = c \cdot N_c + \gamma \cdot D_f \cdot N_q + 0.5 \gamma \cdot B \cdot N_\gamma$ (14)	534.518 t/m <sup>2</sup>

وبالتالي قدرة تحمل التربة المسموحة باعتبار عامل الأمان يساوي  $F=3$ ، ومنه  $\sigma_{all} = 178.173$  t/m<sup>2</sup>. وسنعمد القيمة السابقة  $\sigma_{all} = 178.173$  t/m<sup>2</sup> في المقارنة مع الاجهادات الاعظمية للضغط على انها اجهاد الضغط المسموح، ويمكن اعتماد القيمة  $f_{ct} = 0.65$  Mpa = 65 t/m<sup>2</sup> في المقارنة مع الاجهادات الاعظمية للشد على انها اجهاد الشد المسموح.

## النتائج والمناقشة:

يشمل حساب الاستقرار حساب عوامل الأمان ضد الانزلاق والانقلاب من العلاقات الموضحة سابقاً والمستخدمه في حساب استقرار سدة السفريقية، حيث نميز بين جزئيين للسدة جزء هادر بطول 32.5 m من طول السدة يعمل كمفيض ويمثل بالبلوكات (2,3,4,5,6)، وجزء غير هادر بطول 12.5 m من طول السدة ويتألف من بلوكين وهما البلوكين (1و7)، حيث الجزء الهادر يعمل كمفيض وهو على شكل مقطع كرايفر العملي الشكل (7)، والجزء غير الهادر وهو مقطع جسم السدة على شكل مثلثي مع تاج رأسي وقاعدة عريضة مع ميل خلفي  $m_2=0.73$  وبدون ميل أمامي  $m_1=0$

الشكل (6)، وسندرس استقرار الجزء غير الهادر وسنختار البلوك رقم 1 كون أن البلوكين 1 و 7 متطابقين ولهما نفس الارتفاع والطول، أما بما يخص الجزء الهادر سنختار البلوك رقم 4 لأنه يمثل المقطع العرضي النموذجي.

ستتم دراسة البلوك 1 و 4 بما يحقق شروط الاستقرار وهي:

1- شرط التوازن ضد الانقلاب.

2- شرط التوازن ضد الانزلاق.

3- شرط قدرة تحمل الأساس والاجهادات ضمن السد.

أما حالات التحميل التي سوف يتم اعتمادها فهي:

1- حالة منسوب تخزين طبيعي مع وجود تأثير للقوة الزلزالية: منسوب التخزين الطبيعي في البحيرة N.W.L=79.

2- حالة منسوب تخزين أعظمي بدون تأثير للزلازل: منسوب التخزين في البحيرة أعظماً M.W.L=82.35 m.

المعادلات المستخدمة في حساب الاجهادات بالطريقة التقليدية:

$$\sigma_{zu} = \frac{\sum V}{B} \left(1 - \frac{6.e}{B}\right), \quad \sigma_{zd} = \frac{\sum V}{B} \left(1 + \frac{6.e}{B}\right) \quad (15)$$

$$\sigma_{xu} = \gamma_w * y_1 - (\gamma_w * y_1 - \sigma_{zu}) * \tan^2 \alpha_1, \quad \sigma_{xd} = \gamma_w * y_2 - (\gamma_w * y_2 - \sigma_{zd}) * \tan^2 \alpha_2 \quad (16)$$

$$\tau_u = (\gamma_w * y_1 - \sigma_{zu}) * \tan \alpha_1, \quad \tau_d = (\gamma_w * y_2 - \sigma_{zd}) * \tan \alpha_2 \quad (17)$$

$$\sigma_{1u} = \gamma_w * y_1, \quad \sigma_{3u} = \sigma_{zu} * (1 + \tan^2 \alpha_1) - \gamma_w * y_1 * \tan^2 \alpha_1 \quad (18)$$

$$\sigma_{1d} = \gamma_w * y_2, \quad \sigma_{3d} = \sigma_{zd} * (1 + \tan^2 \alpha_2) - \gamma_w * y_2 * \tan^2 \alpha_2 \quad (19)$$

حيث أن:

$\sigma_{zd}, \sigma_{zu}$ : الإجهادات الشاقولية عند القدم الأمامي وعند القدم الخلفي على التوالي.

$\sigma_{xd}, \sigma_{xu}$ : الإجهادات الأفقية عند القدم الأمامي وعند القدم الخلفي على التوالي.

$\tau_d, \tau_u$ : الإجهادات القاصة عند القدم الأمامي وعند القدم الخلفي على التوالي.

$\sigma_{3u}, \sigma_{1u}$ : الإجهادات الرئيسية والناظمية على التوالي عند القدم الأمامي.

$\sigma_{3d}, \sigma_{1d}$ : الإجهادات الرئيسية والناظمية على التوالي عند القدم الخلفي.

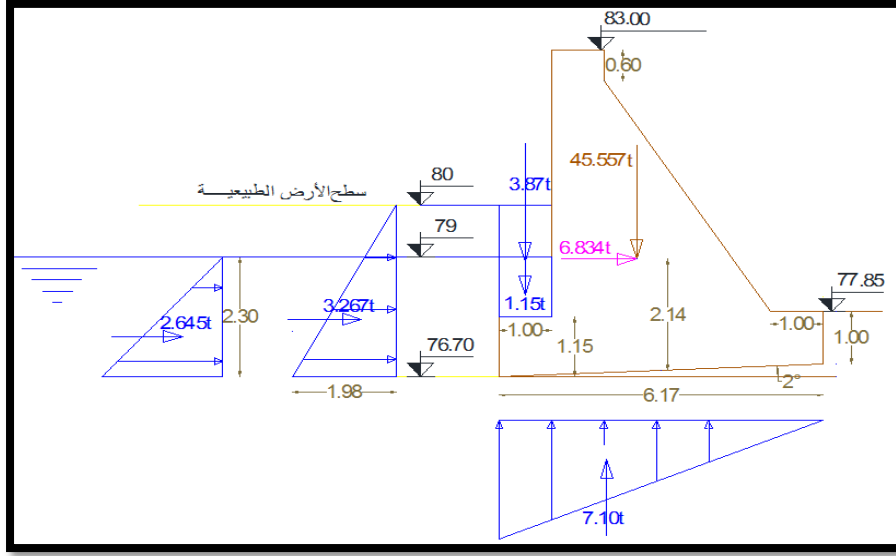
$y_2, y_1$ : ارتفاع الماء على الوجه الامامي والوجه الخلفي على التوالي.

$\tan \alpha_2, \tan \alpha_1$ : ميل الوجه الامامي وميل الوجه الخلفي على التوالي.

حساب القوى المؤثرة على البلوك رقم 1 غير الهادر من أجل حالة التحميل الأولى:

الجدول (3) قيم القوى المؤثرة على البلوك رقم 1 من أجل حالة التحميل الأولى:

القوة	الجهة	الرمز	القيمة ton	الذراع عن نهاية القاعدة m	العزم عند نهاية القاعدة t.m
ضغط هيدروستاتيكي أمامي	أفقي يمين	$P_{H1}$	2.645	-0.52	-1.38
وزن ماء أمامي	شاقولي أسفل	$P_{V1}$	1.15	5.67	6.52
دفع التربة	أفقي يمين	$P_{Hs}$	3.267	-0.85	-2.78
وزن التربة	شاقولي أسفل	$P_{Vs}$	3.87	5.67	21.94
وزن السد	شاقولي أسفل	$W$	45.557	3.55	161.73
قوى الرفع المائي	شاقولي أعلى	$P_U$	7.1	-4.12	-29.25
قوة زلزالية عطالية	أفقي يمين	$Fe$	6.834	-2.02	-13.80

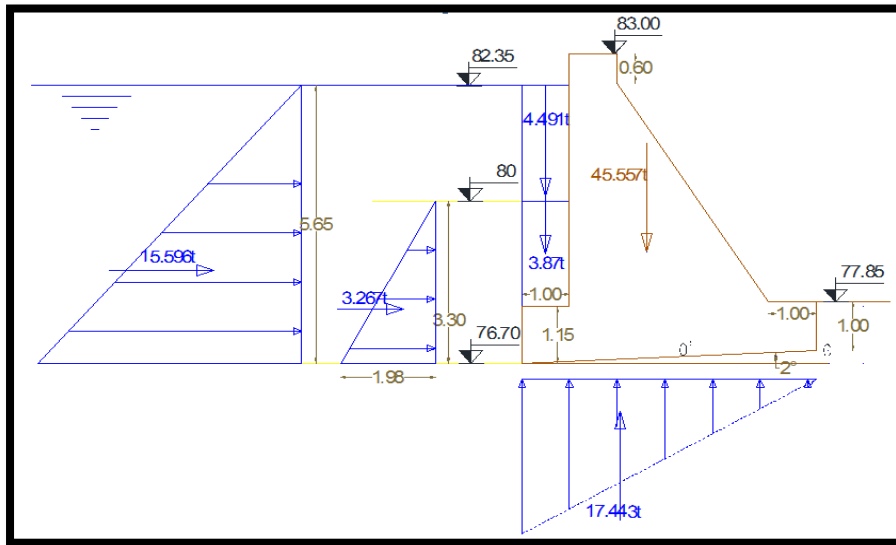


الشكل (8) القوى المؤثرة على البلوك رقم 1 غير الهادر من أجل حالة التحميل الأولى.

حساب القوى المؤثرة على البلوك رقم 1 غير الهادر من أجل حالة التحميل الثانية:

الجدول (4) قيم القوى المؤثرة على البلوك رقم 1 من أجل حالة التحميل الثانية:

القوة	الجهة	الرمز	القيمة ton	الذراع عن نهاية القاعدة m	العزم عند نهاية القاعدة t.m
دفع هيدروستاتيكي أمامي	أفقي يمين	$P_{H1}$	15.596	-1.64	-25.58
وزن ماء أمامي	شاقولي أسفل	$P_{V1}$	4.491	5.67	25.46
دفع التربة	أفقي يمين	$P_{Hs}$	3.267	-0.85	-2.78
وزن التربة	شاقولي أسفل	$P_{Vs}$	3.87	5.67	21.94
وزن السد	شاقولي أسفل	$W$	45.557	3.55	161.73
قوى الرفع المائي	شاقولي أعلى	$P_U$	17.443	-4.12	-71.87



الشكل (9) القوى المؤثرة على البلوك رقم 1 غير الهادر من أجل حالة التحميل الثانية.

نتائج حسابات البلوك رقم 1 المقطع غير الهادر باستخدام الطريقة الثقيلة:

أ- حالة التحميل الطبيعية (1): كما ذكرنا سابقاً ومن أجل حالة التحميل الأولى نحصل على نتائج حسابات المقطع غير الهادر عند مستوي القاعدة في الجدول (5).

الجدول (5) قيم عوامل الأمان ضد الانزلاق والانقلاب لسدة السفريقية لحالة التحميل الطبيعية الأولى

عامل أمان الانقلاب $F_0$	$\Sigma Mr / \Sigma Mo$	4.03	> 1.5	ok
عامل أمان الانزلاق	$F_f$	2.88	> 1.3	ok
إجهاد شاقولي عند القدم الخلفي	$\sigma_{zd}$	5.68 t/m <sup>2</sup>	< $\sigma_{all} = 178.17$ t/m <sup>2</sup>	ok
إجهاد شاقولي عند القدم الأمامي	$\sigma_{zu}$	8.42 t/m <sup>2</sup>	> 0	ok

ب- حالة التحميل الاعظمية (2): وأيضاً من أجل حالة التحميل الثانية نجد نتائج الحساب عند مستوي القاعدة كما هي موضحة في الجدول (6).

الجدول (6) قيم عوامل الأمان ضد الانزلاق والانقلاب لسدة السفريقية لحالة التحميل الاعظمية الثانية

عامل أمان الانقلاب $F_0$	$\Sigma Mr / \Sigma Mo$	2.09	> 1.3	ok
عامل أمان الانزلاق	$F_f$	1.53	> 1.1	ok
إجهاد شاقولي عند القدم الخلفي	$\sigma_{zd}$	6.49 t/m <sup>2</sup>	< $\sigma_{all} = 178.17$ t/m <sup>2</sup>	ok
إجهاد شاقولي عند القدم الأمامي	$\sigma_{zu}$	5.34 t/m <sup>2</sup>	> 0	ok

ونحصل أيضاً على إجهادات القص والإجهادات النازمية الأفقية والإجهادات الرئيسية عند مستوي القاعدة: ورتب نتائج الحساب بالجدول (7) التالي:

الجدول (7) إجهادات القص والإجهادات النازمية الأفقية والإجهادات الرئيسية في المقاطع البيوتونية

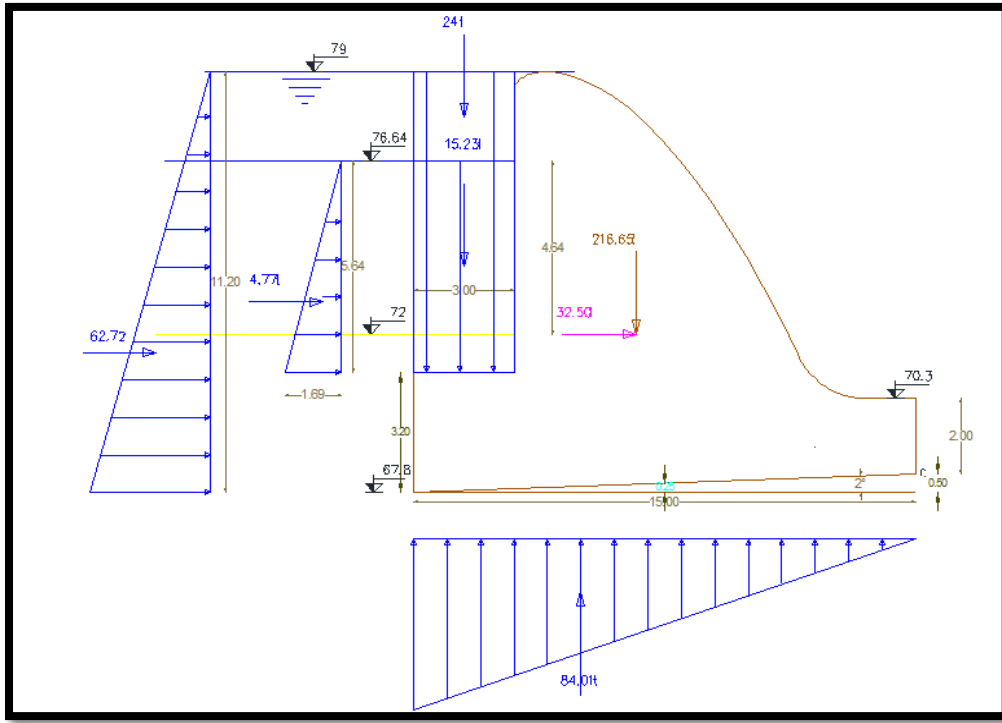
$\sigma_{3d}$	$\sigma_{1d}$	$\sigma_{3u}$	$\sigma_{1u}$	$\sigma_{xd}$	$\sigma_{xu}$	$\tau_d$	$\tau_u$	$\sigma_{zd}$	$\sigma_{zu}$	حالات التحميل	المقطع
t/m <sup>2</sup>	t/m <sup>2</sup>	t/m <sup>2</sup>	t/m <sup>2</sup>	t/m <sup>2</sup>	t/m <sup>2</sup>	t/m <sup>2</sup>	t/m <sup>2</sup>	t/m <sup>2</sup>	t/m <sup>2</sup>		
8.58	0	8.44	2.3	2.93	2.3	-4.07	0	5.66	8.44	1	غير الهادر
9.84	0	5.34	5.65	3.36	5.65	4.668	0	6.49	5.34	2	الهادر

ومنه الإجهاد الرئيسي الأعظمي الناتج لدينا بالحساب هو  $\sigma_{max} = 9.84$  t/m<sup>2</sup>.  
حساب القوى المؤثرة على البلوك رقم 4 الهادر من أجل حالة التحميل الأولى:

الجدول (8) قيم القوى المؤثرة على البلوك رقم 4 من أجل حالة التحميل الأولى:

القوة	الجهة	الرمز	القيمة ton	الذراع عن نهاية القاعدة m	العزم عند نهاية القاعدة t.m
ضغط هيدروستاتيكي أمامي	أفقي يمين	$P_{H1}$	62.72	-3.23	-202.59
وزن ماء أمامي	شاقولي أسفل	$P_{V1}$	24	13.5	324.00
دفع الرواسب	أفقي يمين	$P_{Hs}$	4.77	-4.58	-21.85
وزن الرواسب	شاقولي أسفل	$P_{Vs}$	15.23	13.5	205.61
وزن السد	شاقولي أسفل	$W$	216.65	8.36	1811.19
قوى الرفع المائي	شاقولي أعلى	$P_U$	84	-10	-840.10
قوة زلزالية عطالية	أفقي يمين	$Fe$	32.5	-3.71	-120.58



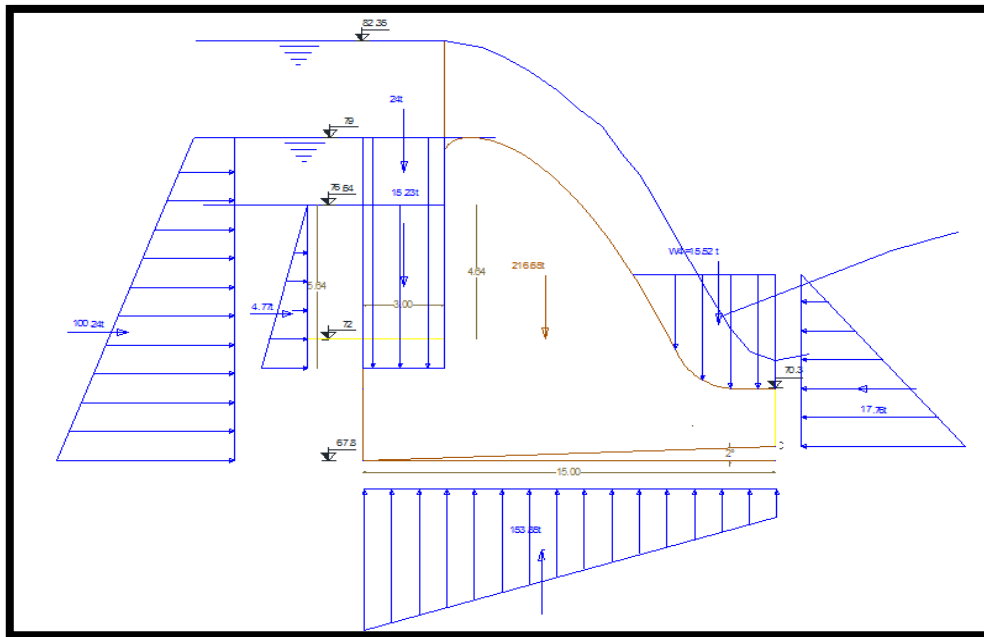


الشكل (10) القوى المؤثرة على البلوك رقم 4 الهادر من أجل حالة التحميل الأولى.

حساب القوى المؤثرة على البلوك رقم 4 الهادر من أجل حالة التحميل الثانية:

الجدول (9) قيم القوى المؤثرة على البلوك رقم 4 من أجل حالة التحميل الثانية:

القوة	الجهة	الرمز	القيمة ton	الذراع عن نهاية القاعدة m	العزم عند نهاية القاعدة t.m
دفع هيدروستاتيكي امامي	أفقي يمين	$P_{H1}$	100.24	-3.93	-393.94
وزن ماء أمامي	شاقولي أسفل	$P_{V1}$	24	13.5	324.00
دفع الرواسب	أفقي يمين	$P_{HS}$	4.77	-4.58	-21.85
وزن الرواسب	شاقولي أسفل	$P_{VS}$	15.23	13.5	205.61
وزن السد	شاقولي أسفل	$W$	216.65	8.36	1811.19
قوى الرفع المائي	شاقولي أعلى	$P_U$	153.85	-8.55	-1315.42
دفع هيدروستاتيكي خلفي	أفقي يسار	$P_{H2}$	17.76	1.99	35.34
وزن ماء خلفي	شاقولي أسفل	$P_{V2}$	15.52	2.04	31.66



الشكل (11) القوى المؤثرة على البلوك رقم 4 الهادر من أجل حالة التحميل الثانية.

نتائج حسابات البلوك رقم 4 الجزء الهادر باستخدام الطريقة الثقالية:

أ- حالة التحميل الطبيعية (1): نحصل على نتائج حسابات المقطع الهادر عند مستوي القاعدة في الجدول (10).

الجدول (10) قيم عوامل الأمان ضد الانزلاق والانقلاب لسدة السفريقية لحالة التحميل الطبيعية الاولى

عامل أمان الانقلاب $F_0$	$\sum Mr / \sum Mo$	1.98	> 1.5	ok
عامل أمان الانزلاق	$F_f$	1.37	> 1.3	ok
إجهاد شاقولي عند القدم الخلفي	$\sigma_{zd}$	15.02 t/m <sup>2</sup>	< $\sigma_{all} = 178.17$ t/m <sup>2</sup>	ok
إجهاد شاقولي عند القدم الأمامي	$\sigma_{zu}$	7.88 t/m <sup>2</sup>	> 0	ok

ب- حالة التحميل الاعظمية (2): نتائج الحساب عند مستوي القاعدة كما هي موضحة في الجدول (11).

الجدول (11) قيم عوامل الأمان ضد الانزلاق والانقلاب لسدة السفريقية لحالة التحميل الاعظمية الثانية

عامل أمان الانقلاب $F_0$	$\sum Mr / \sum Mo$	1.39	> 1.3	ok
عامل أمان الانزلاق	$F_f$	1.11	> 1.1	ok
إجهاد شاقولي عند القدم الخلفي	$\sigma_{zd}$	13.29 t/m <sup>2</sup>	< $\sigma_{all} = 178.17$ t/m <sup>2</sup>	ok
إجهاد شاقولي عند القدم الأمامي	$\sigma_{zu}$	2.38 t/m <sup>2</sup>	> 0	ok

ومن نتائج حسابات الجزء الهادر المقطع الأعظمي للبلوك رقم 4 باستخدام الطريقة الثقالية:

الجدول (12) إجهادات القص والإجهادات الناعظمية الأفقية والإجهادات الرئيسية في المقاطع البيبتونية

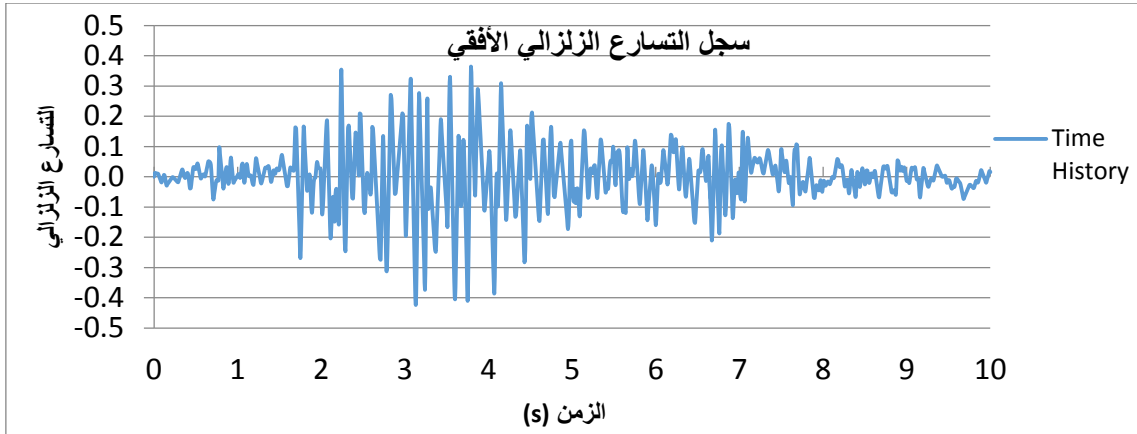
$\sigma_{3d}$	$\sigma_{1d}$	$\sigma_{3u}$	$\sigma_{1u}$	$\sigma_{xd}$	$\sigma_{xu}$	$\tau_d$	$\tau_u$	$\sigma_{zd}$	$\sigma_{zu}$	حالات التحميل	المقطع
t/m <sup>2</sup>	t/m <sup>2</sup>	t/m <sup>2</sup>	t/m <sup>2</sup>	t/m <sup>2</sup>	t/m <sup>2</sup>	t/m <sup>2</sup>	t/m <sup>2</sup>	t/m <sup>2</sup>	t/m <sup>2</sup>		
20.98	0	7.9	11.2	5.96	11.2	-9.46	0	15.02	7.88	1	غير الهادر
16.22	5.96	2.37	14.16	8.87	14.16	4.63	0	13.29	2.38	2	الهادر

ومنه الإجهاد الرئيسي الأعظمي الناتج بالحساب عند مستوي القاعدة للبلوك 4 هو  $\sigma_{max} = 21 \text{ t/m}^2$  .  
 لدينا عامل الأمان لإجهاد الانضغاط المسموح في حالة الحمولة العادية هي  $FC=3$  ولحالة الحمولات غير العادية  $FC=2$  على أن لا يزيد هذا الإجهاد عن  $975 \text{ t/m}^2 = 9.75 \text{ MN/m}^2$  وهي القيمة المسموحة للبيتون على الضغط المأخوذة كنسبة 75% من القيمة المميزة على الضغط بحسب الطريقة الكلاسيكية، وبعد معرفة قيمة قدرة تحمل الأساس المأخوذة من نتائج كسر العينات من تقرير ميكانيك التربة وكانت  $\sigma_{ultt} = 534.518 \text{ t/m}^2$  ستصبح بعد إدخال عوامل الأمان هي  $\sigma_{all} = 178.173 \text{ t/m}^2$  .  
 ونلاحظ من الجداول في الحسابات السابقة أن قيمة الإجهادات عند القدم الخلفية أصغر من قدرة تحمل الأساس، حيث بلغت قيمة إجهاد الضغط الأعظمي الشاقولي عند القدم الخلفية لكل الحالات المدروسة السابقة القيمة  $\sigma_{max} = 21 \text{ t/m}^2 < \sigma_{all} = 178.173 \text{ t/m}^2$  .

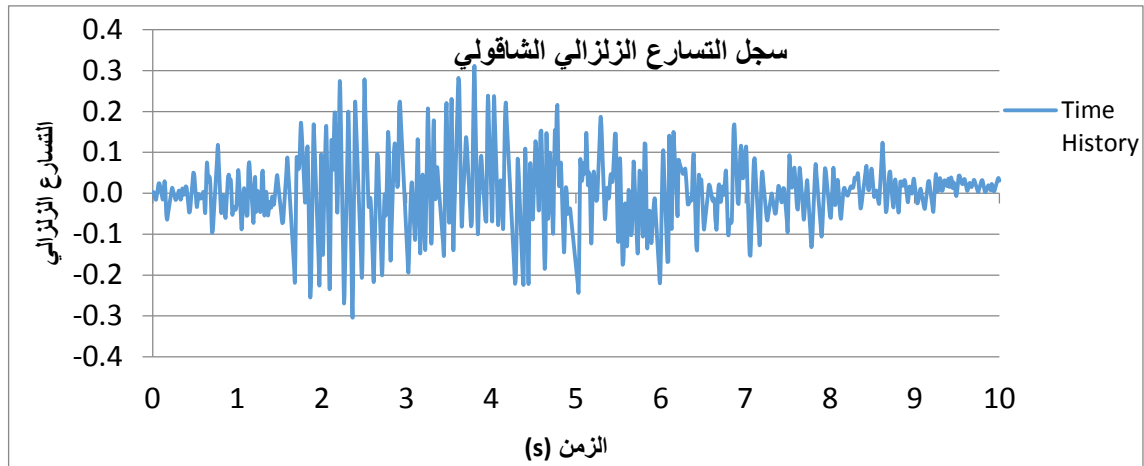
#### التحليل الديناميكي:

نقوم بتطبيق هزة أرضية افتراضية معينة وفق تسارع أرضي أعظمي يوافق منطقة السدة في القرداحة حيث يبلغ التسارع الزلزالي الأعظمي  $0.35-0.40 \text{ g}$  . وذلك كما ورد في الخريطة والجداول الموضوعية في الكود العربي السوري وكما ورد في ملحق الزلازل (2) للكود العربي السوري لتصميم وتنفيذ المنشآت بالخرسانة المسلحة (الطبعة الثانية 2013) [19].  
 حيث تم الاستعانة بالسجل الزمني لزلزال 1967 Koynanagar earthquake الحاصل في الهند في مدينة Koynanagar بشدة مقدارها 6.6 على مقياس ريختر وبعمق 15 km وبذروة تسارع زلزالي  $0.4 \text{ g}$  الذي أثر على جسم سد Koyna.

بما أن هذا الزلزال له نفس قيمة ذروة التسارع الزلزالي في المنطقة المدروسة مما سبق نجد أنه من الممكن تطبيق السجل الزمني للتسارع الزلزالي لزلزال 1967 Koynanagar earthquake الشكل (12) والشكل (13).



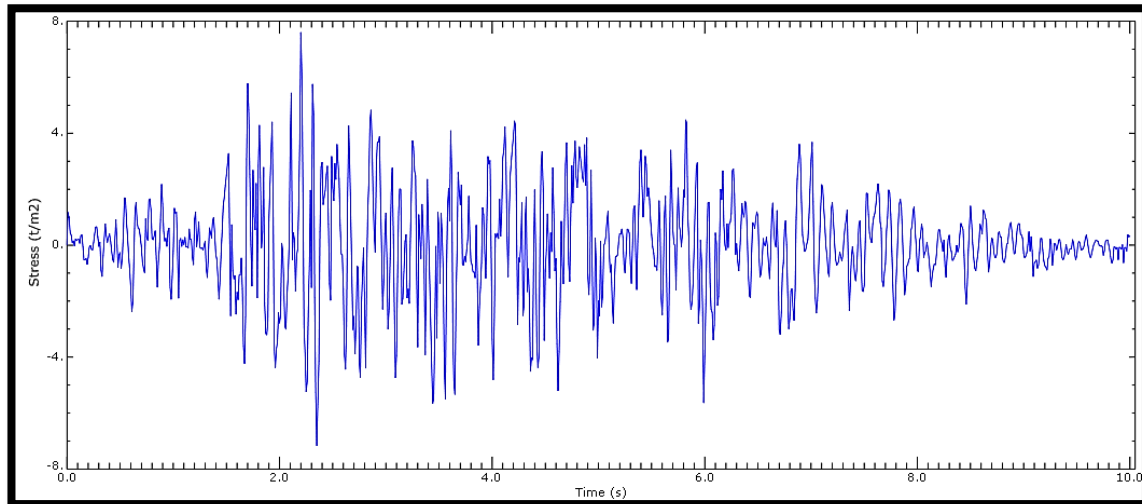
الشكل (12) سجل التسارع الزلزالي الأفقي المطبق في التحليل.



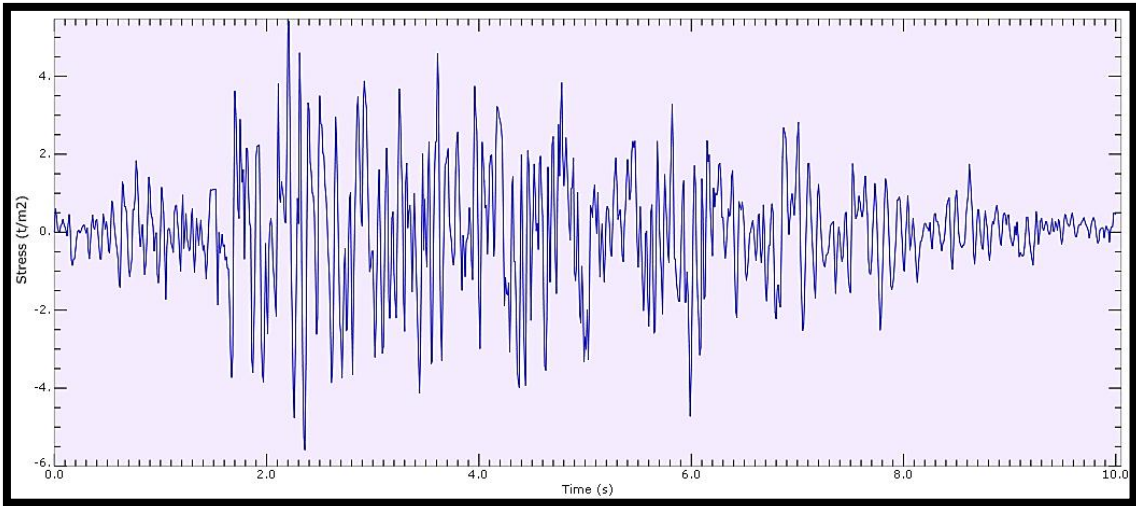
الشكل(13) سجل التسارع الزلزالي الشاقولي المطبق في التحليل.

ستستخدم طريقة العناصر المنتهية في التحليل الديناميكي وبعد ادخال النموذج على برنامج abaqus2017 الذي بدوره يقوم بتحليل السدة بطريقة FEM:

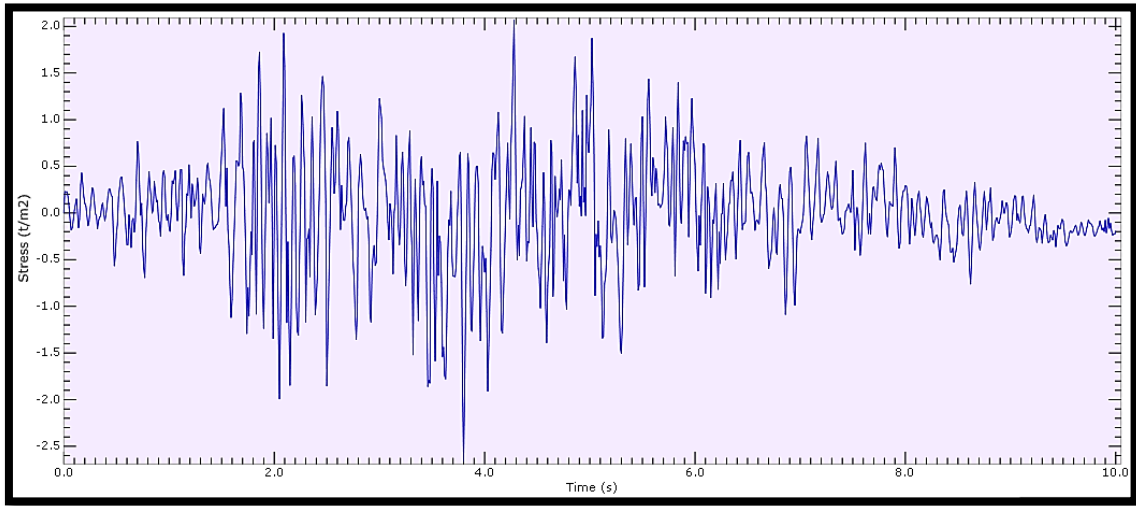
قد تم حساب الاجهادات على كامل المقطع العرضي للسدة بما فيها الاجهادات عند مستوي القاعدة وعند مستوي فوق القاعدة بمقدار 0.25m وأيضاً عند مستوي فوق القاعدة بمقدار 1m وأخذ بعين الاعتبار تغير قيمة التماسك النوعي عند تغير مستوي الدراسة على اعتبار ان قيمة التماسك تتغير بحسب نوعي سطحي التماس، وتم حساب الانتقال الاعظمي الحاصل في المقطع المدروس وذلك باستخدام شبكة من نوع Mesh Quad CPE8R عند تحليل النموذج على اعتبار النموذج من نوع plane strain، ومن نتائج التحليل الديناميكي باستخدام برنامج abaqus مخططات الاجهاد والانتقال مع زمن تأثير الزلزال كما في الأشكال (15 و 16 و 17 و 18) التالية:



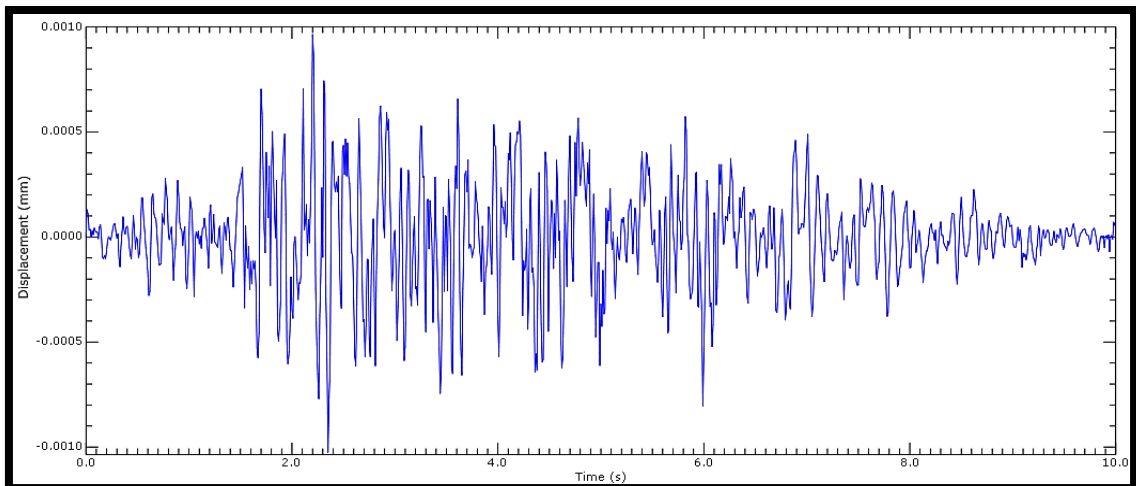
الشكل(14) مخطط الاجهادات الشاقولية مع زمن تأثير الزلزال عند منطقة تغير الميل على الوجه الامامي للسدة.



الشكل (15) مخطط الاجهادات الشاقولية مع زمن تأثير الزلزال أسفل القدم الامامي للسدة.



الشكل (16) مخطط الاجهادات الشاقولية مع زمن تأثير الزلزال أسفل القدم الخلفي للسدة.



الشكل (17) مخطط الانتقال مع زمن تأثير الزلزال عند عتبة السدة.

من نتائج التحليل الديناميكي لسدة السفريقية في الاشكال (14) و(15) و(16) نجد أن القيمة الأعظمية لإجهاد الضغط الشاقولي هي  $2.1 \text{ t/m}^2$  في منطقة القدم الخلفي للسدة عند مستوي قاعدة السدة عند الزمن  $2.1 \text{ s}$  من زمن التأثير الزلزالي، أما في منطقة تغير الميل على الوجه الأمامي يساوي  $8 \text{ t/m}^2$  عند الزمن  $2.2 \text{ s}$ ، وأسفل القدم الأمامي  $5.6 \text{ t/m}^2$  عند الزمن  $2.2 \text{ s}$ .

وأيضاً عند الزمن  $2.2 \text{ s}$  من الشكل (17) نجد أن قيمة الانتقال الاعظمي الحاصل عند عتبة السدة تبلغ  $0.0012 \text{ mm}$  عند الزمن  $2.2 \text{ s}$ .

الانتقالات الحاصلة عند عتبة السدة والاجهادات الشاقولية الناجمة في حالة التحليل الستاتيكية والديناميكية باستخدام برنامج abaqus موضحة في الجدول (13) التالي:

الجدول (13) نتائج التحليل الستاتيكي والديناميكي باستخدام برنامج abaqus

حالة التحليل الستاتيكية باستخدام برنامج abaqus				
حالات التحميل	مستوي الدراسة	إجهاد الضغط الشاقولي عند القدم الامامي ( $\text{t/m}^2$ )	إجهاد الضغط الشاقولي عند القدم الخلفي ( $\text{t/m}^2$ )	الانتقال الاعظمي عند عتبة السدة (mm)
حالة التحميل الطبيعية 1	مستوي القاعدة	7	6.3	0.00084
	فوق القاعدة بمقدار 0.25m	8.4	5	
	فوق القاعدة بمقدار 1m	14.3	1.6	
حالة التحميل الاعظمية 2	مستوي القاعدة	6.6	11.7	0.00038
	فوق القاعدة بمقدار 0.25m	4.6	7.4	
	فوق القاعدة بمقدار 1m	2.4	5.1	
حالة التحليل الديناميكية باستخدام برنامج abaqus				
حالة التحميل	إجهاد الضغط الشاقولي على الوجه الامامي عند مستوي القاعدة ( $\text{t/m}^2$ )	إجهاد الضغط الشاقولي على الوجه الخلفي عند مستوي القاعدة ( $\text{t/m}^2$ )	الانتقال الاعظمي عند عتبة السدة (mm)	قوى زلزالية
	5.6	2.1	0.0012	قوى زلزالية

من نتائج التحليل الديناميكي أيضاً الاجهادات الرئيسية الناتجة في حالتها التحميل الطبيعي والاعظمي لسدة السفريقية موضحة في الجدول (14):

الجدول (14) نتائج الاجهادات الاعظمية على كامل المقطع في التحليل الديناميكي لسدة السفريقية

التحقيق	السفريقية 6.3 m	الاجهاد بوحدة $\text{t/m}^2$
$\sigma_{all} = 178.17 \text{ t/m}^2 <$	6.1	حالة التحميل الطبيعي مع تأثير الزلزال
$\sigma_{all} = 178.17 \text{ t/m}^2 <$	8.6	حالة التحميل الأعظمي مع تأثير الزلزال

نجد من الدراسة السابقة لسدة السفريقية أن الإجهادات لم تتجاوز القيم المسموحة لها، كما إن عوامل الأمان المحسوبة جميعها ضمن القيم المسموحة في جميع حالات التحميل، وحتى في حالة التحميل القصوى، والسدة قادرة على تحمل القوى المطبقة عليها في الحالة الستاتيكية والديناميكية في حالتها التحميل الاساسية والخاصة التي تمت نمذجتها. في الكثير من الجوانب، كانت الإجهادات في البيتون بعيدة عن الخطورة، ويعود السبب لصغر ارتفاع السدة.

ومن نتائج التحليل أيضاً نلاحظ أن قيم عوامل الأمان في حالة التحميل الخاصة اقل منها في حالة التحميل الاساسية، ويعود السبب بالدرجة الاولى لزيادة ارتفاع الماء في حالة التحميل الخاصة مما يزيد الضغط الهيدروستاتيكي على الوجه الأمامي للسدة ويزيد ضغط الرفع الهيدروستاتيكي مما يخفض استقرار السدة، كما أن الاجهادات المحسوبة في حالة التحميل الخاصة أيضاً تكون اكبر نوعاً ما من الاجهادات المحسوبة في حالة التحميل الاساسية ويعود السبب لاقترب نقطة تأثير محصلة القوى من القدم الخلفية للسدة أو بعبارة أخرى اقترابها من الطرف الخلفي للثلث المركزي من القاعدة [8,9,10,11,12,13,17].

قيم الاجهادات المحسوبة بالتحليل الستاتيكي اصغر من القيمة المسموحة لقدرة تحمل الاساس ومن قيمة الاجهاد المسموح على الضغط للبيتون المستخدم في السدة، في حين أن هذه الاجهادات تزداد في التحليل الديناميكي وباستخدام طريقة FEM ولكنها تبقى أيضاً أصغر من القيم المسموحة، ويعود سبب زيادة الاجهادات بالتحليل الديناميكي الى أن التحليل الديناميكي يتم بإدخال تأثير الزلزال ويعتبر حملته كبيرة مقارنة مع الحملات الستاتيكية وفقاً للتحليل الستاتيكي. نجد أن توزع الاجهادات الكبيرة بطريقة FEM تتركز عند منطقة تغير الميل على الوجه الأمامي للسدة. بشكل عام إن نموذج FEM في السدود البيتونية الثقيلة هي طريقة تحوي الكثير من الميزات رغم وجود بعض المعوقات البسيطة فيها [10,11].

وأيضاً من المريح استخدام النماذج المعتمدة على الحاسوب لسرعتها ووفرته كما في نموذج FEM [10,11,17]. بالمقارنة مع دراسات أخرى للنماذج فإن العامل الوحيد والرئيسي هو الزمن، وهو نموذج اوفر بكثير مقارنة مع النماذج الفيزيائية [11].

## الاستنتاجات والتوصيات:

### الاستنتاجات

- السدة آمنة ضد الانقلاب والانزلاق بعوامل أمان لا تقل عن 1.3 بالنسبة للانقلاب ولا تقل عن 1.1 بالنسبة للانزلاق وذلك في جميع حالات التحميل المختلفة.
- زلزالياً السدة مستقرة ومقاومة للزلازل التي تبلغ ذروة تسارعها 0.4g وهي توافق ذروة التسارع الزلزالي المسموح في المنطقة حسب الكود العربي السوري.
- كانت النتائج مقارنة بين طريقتي التحليل FEM وطريقة التحليل الثقيلة عندما تمت الدراسة على المستوي الواقع فوق قاعدة السدة بمقدار 0.25m بينما تباعدت النتائج قليلاً عند منسوب الاساس، ويمكن ارجاع ذلك إلى تأثير الاساس على توزع الاجهادات عند سطح التماس بين السدة والاساس.
- كانت الانتقالات المحسوبة صغيرة جداً ويعزى ذلك لضالة ارتفاع السدة.

### التوصيات

- نوصي باعتماد التقانات الحديثة في دراسة استقرار السدود الثقيلة لأنها تسمح باختبار سيناريوهات التشوه والإجهاد التي يمكن أن يتعرض لها السد وتوفر إمكانية التصميم الذي يحقق الأمان المطلوب لمواجهة كل تلك السيناريوهات.
- كما نوصي بدراسة تأثير تغير مواصفات مواد الاساس على توزع الإجهادات المنقولة من السد إلى الاساس وفي الثلث السفلي من السد باستخدام النماذج الرياضية أو الفيزيائية.

## References:

- 1- ALASHTAR, PHICKAR. *The Effect of the swelling of the foundation soil on the dam.* AL BAATH University, Faculty of Civil Engineering, Department of Geotechnical, Syria 1992, 15.
- 2- US Army Corp of Engineers, *Gravity dam design.* EM 1110-2-2200. 30 June 1995.
- 3- ZAPPITELLI, M. P.; Villa, E. I.; Fernández-Sáez, J.; Rocco, C. G. *CRACKING DEVELOPMENT PREDICTION IN CONCRETE GRAVITY DAMS USING CONCRETE DAMAGE PLASTICITY MODEL.* Argentina, VOL.33, NO.1, September 2014, 909-921.
- 4- BOBERG, B.; HOLM, D. *FEM modeling of concrete gravity dams.* TRITA LWR Degree Project 12:09, SE-100 44 STOCKHOLM, Sweden, 2012, 23.
- 5- DASSAULT SYSTÈMES SIMULIA CORP. ABAQUS. *Example problems Manual Version 6.11.* Vol.1, 2011, 733-746.
- 6- ATALLAH, T. A. *A REVIEW ON DAMS AND BREACH PARAMETERS ESTIMATION.* Virginia Polytechnic Institute and State University, Blacksburg, Virginia , Blacksburg, USA, January 2002, 110.
- 7- ALSHKANE, Y. M. *Numerical Modeling Investigation of Rock Mass Behavior under Gravity Dams.* the University of Nottingham, UK, July 2015, 316.
- 8- DAS, K.; DAS, P. K.; HALDER, L. *seismic response of concrete Gravity dam.* koyna, India, 2011, 13.
- 9- SUN, D.; REN, Q. *Seismic Damage Analysis of Concrete Gravity Dam Based on Wavelet Transform.* Hindawi Publishing Corporation Shock and Vibration, Article ID 6841836, 2016, 8.
- 10- CAI, Q.; ROBERTS, J. M.; VAN RENSBURG, B. W. *Finite element fracture modeling of concrete gravity dams.* Journal Of The South African Institution Of Civil Engineering, Vol.50, No.1, 2008, 13–24.
- 11- FOSTER, J.; JONES, H. W. *Procedure for Static Analysis of Gravity Dams Including Foundation Effects Using the Finite Element Method - Phase 1B.* Technical Report ITL, VOL.94, NO.5 July 1994, 118.
- 12- YAMAGUCHI, Y.; HALL, R.; SASAKI T. *Seismic performance evaluation of concrete gravity dams.* Vancouver, B.C., Canada, Paper No. 1068, August 1-6, 2004.
- 13- VALAMANESSH, V.; ESTEKANCHI, H.; VAFAI, A.; GHAEMIAN, M. *Application of the endurance time method in seismic analysis of concrete gravity dams.* Sharif University of Technology, Scientia Iranica, Iran, 2011, 18, 326–337.
- 14- ALI, M. H.; ALAM, M. R.; HAQUE, M. N.; ALAM, M. J. *Comparison of Design and Analysis of Concrete Gravity Dam.* Natural Resources, 2012, 3, 18-28.
- 15- MOFTAKHAR, M.; GHAFOURI, H. R. *Comparison of Stability Criteria for Concrete Dams in Different Approximate Methods Based on Finite Element Analysis.* Procedia engineering, The Twelfth East Asia-Pacific Conference on Structural Engineering and Construction, Iran, 2011, 1672–1680.
- 16- GIOVANNI, R. *Sliding Safety of Existing Gravity Dams,* Final Report, chairman of the European Working Group.
- 17- VALTERSSON, D.; JOHANSSON, L. *Stability Analysis of Non-overflow Section of Concrete Gravity Dams.* Luleå University of Technology, Nanjing, China, July 2018, 69.
- 18- ALMEIDA, J. R.; AZEVEDO, N. M. *Stability analysis of gravity dams for the maximum design earthquake.* Universidade Nova de Lisboa Maio 2018 133.
- 19- Syria Arab Code, for the design and implementation of installations with reinforced concrete. Fourth edition. Damascus, 2012.
- 20- US Army Corps of Engineers (USACE), 1995, "Gravity Dam Design".