

دراسة تحليلية لتأثير الزلازل في السدود الركامية بطريقة العناصر المنتهية دراسة حالة: سد الباسل/ طرطوس

الدكتور عز الدين حسن*

الدكتور مالك حسن**

همام الأسعد***

(تاريخ الإيداع 7 / 12 / 2015. قُبل للنشر في 19 / 6 / 2016)

□ ملخص □

يتضمن البحث دراسة تحليلية بطريقة العناصر المنتهية لتأثير الزلازل في استقرار سد الباسل، لذلك قمنا بوضع نموذج عددي مناسب بالاستعانة ببرنامجي Quake/W, Slope/W. بعد تشغيل النموذج حصلنا على نتائج المحاكاة والتي تلخصت في حساب معاملات الأمان من أجل التحقق من الاستقرار النهائي للسد تحت تأثير زلازل مختلفة الشدة، ومن ثم أجريت مقارنة بين الحالتين الستاتيكية والديناميكية للنموذج تبين تأثير متغيرات القص للتربة كزاوية الاحتكاك الداخلي وتأثير ميل منحدري السد وحالات مناسيب المياه المختلفة للبحيرة وارتفاع السد بالإضافة إلى تأثير مادة الإنشاء على استقرار جسم السد، وبعد دراسة كل حالة تبعاً للبارامترات التي يتم إدخالها، وبناء على معاملات الأمان الناتجة رسمت مخططات بيانية تظهر الأثر الإيجابي أو السلبي لزيادة أو نقصان أي متغير من متغيرات السد الركامي وذلك في كل من الحالتين الستاتيكية والديناميكية، وبعد ذلك قمنا بدراسة تأثير التضخم الزلزالي الناتج عن جسم السد على كل من المركبتين الأفقية والشاقولية للتسارع الزلزالي. وتساعدنا النتائج في الاختيار الأمثل لمتغيرات السد الركامي عند التصميم.

الكلمات المفتاحية: الأثر الديناميكي للزلازل، استقرار السدود الركامية، الأحمال الزلزالية.

*أستاذ في قسم الهندسة المائية والري - كلية الهندسة المدنية بجامعة تشرين - اللاذقية - سورية.

**أستاذ مساعد في قسم الهندسة الجيوتكنيكية - كلية الهندسة المدنية بجامعة تشرين - اللاذقية - سورية.

***طالب ماجستير في قسم الهندسة المائية والري - كلية الهندسة المدنية بجامعة تشرين - اللاذقية - سورية.

Analytical Study of Earthquakes Effect on Embankment Dams by Finite Element Method Case Study: ALBASEL DAM/ TARTOUS

Dr. Izzeddin Hassan^{*}
Dr. Malek Hassan^{**}
Homam Alasaad^{***}

(Received 7 / 12 / 2015. Accepted 19 / 6 / 2016)

□ ABSTRACT □

This research includes analytical study by Finite Element Method about the effect of earthquakes in the stability of ALBASEL DAM, so we have set a numerical model suitable by using programs Slope/W, Quake/W. We run the model and we got the results of the simulation, which summarized in calculation factors of safety for verification the final stability of the dam under the effect of different intensity earthquakes. And then were compared between the two cases static and dynamic model showing the effect of the shear variables of the soil angle of internal friction and tendency of slops dam and the different situations of the lake water levels and the high of dam in addition to the effect of the construction material of the dam on the stability of the body of the dam.

After the study each case depending on the parameters, that are entered, and based on the resulting factors of safety, the diagrams are painted to appear the positive or the negative effects to increase or decrease any variable of the dam variables in each of the static case and the dynamic case. And then we studied the effect of seismic Amplification resulting from the body of the dam on both the two horizontal and vertical component of seismic acceleration. The results will help us in a perfect choice for variables of Embankment dams for design.

Keywords: Dynamic effect of the earthquakes, stability of Embankment Dams, seismic loads.

^{*}Professor, Department of Water Engineering and Irrigation, Faculty of Civil Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.

^{**}Assist Professor, Department of Geotechnical Engineering, Faculty of Civil Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.

^{***}Master Student, Department of Water Engineering and Irrigation, Faculty of Civil Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.

مقدمة

بدأت مشكلة الإنسان مع الزلازل منذ أن قام بالبناء، حيث اقترنت فكرة التشييد في الخطوات الأولى للتطور التكنولوجي للبشرية بالخوف من أن تقوم قوة خارجية بتدمير ما استغرق بناؤه سنوات طويلة وجهد كبير في ثوان قليلة، ومن هنا يرتبط خطر الزلازل دوماً بالمنشآت المدنية وبالتالي فهو يهم المهندس بالدرجة الأولى.

لقد بقي الاهتمام بالزلازل فاتراً، وكأنها مظهر من مظاهر غضب الطبيعة يسهل نسيانه ونسيان آثاره، فالجديد دوماً يلتهم حتى الأحزان القديمة، حتى جاءت بعض الزلازل التي تركت بصمات قوية يصعب تجاهلها حيث أنها سببت صدمة إنسانية عالمية هزت الأرجاء واستقطبت الرأي العام العالمي حول أهميتها لفترة طويلة، وحدث نوع من الاستفهام العلمي الذي دفع بالعلماء من شتى أصقاع الأرض إلى الاتفاق ضمناً على إيلاء قضية الزلازل حقها الكامل من الاهتمام، وتخصيصها بدراسات تفصيلية توضح أخطارها ومشكلاتها وأساليب البناء المجدية لذلك فقد جرى تنسيق بين كافة الجهات العلمية على المستوى الدولي بهدف إلى الوصول إلى المنشأ الآمن المقاوم للزلازل.

بما أن سورية تقع على خط زلزالي نشيط، والثبات فيه أمر نسبي فلا بد من السعي لإنشاء منظومة عمل متكاملة استعداداً لأي زلزال مستقبلي، ولاسيما أننا في بلد له تاريخ طويل من الكوارث الطبيعية فالذي يستعرض التاريخ الزلزالي لسورية يعرف أن مدنها الرئيسية قد تعرضت لزلزال مدمرة [1]، وبالتالي فإن الماضي البعيد يبرهن على صحة ما يؤكد الحاضر القريب من هزات أرضية تعيد ذكرى ما حصل في السابق وإن كانت بشدات زلزالية تحذيرية أقل حدة، كما أنه يمكننا الخلوص إلى نتيجة مفادها أن فترة الهدوء النسبي التي نعيشها خلال القرن الحالي تعطينا فكرة خاطئة عن مدى الفعالية الزلزالية في منطقتنا.

تعد الزلازل من الكوارث الطبيعية التي تهدد حياة الإنسان، ويتجلى هذا الخطر عموماً من خلال تأثيرها على انهيار منشآته المدنية وخاصة السدود [2] لذا كان لا بد من التفكير في حمايتها من الانهيار حتى تستمر في أداء الهدف الذي أنشأت من أجله، ومن أجل الوصول للسد المناسب وجب البحث عن طرائق التصميم وإيجاد المواد اللازمة للبناء وطرائق الإنشاء إضافة إلى البحث في الأسباب التي تؤدي إلى انهيارها، وذلك لأن انهيار السد يعني الخطر الكبير على الأملاك والقاطنين أسفل السد وضياع في المياه الاستراتيجية من بحيرة التخزين، وضياع السد ذاته وبالتالي الخسارة الكبيرة في المال والوقت اللازمين لإعادة تشييده.

لكن المشكلة الحقيقية لا تكمن في الزلزال نفسه، فالزلزال بحد ذاته لا يقتل [3]، ومن يفعل ذلك هو انهيار المباني والسدود واندلاع الحرائق والانزلاقات الأرضية التي تثيرها الزلازل، أي تكمن المشكلة في عدم جاهزيتنا ويظهر ذلك في أن أغلب المنشآت المدنية التي نقيمها تفتقر للحد الأدنى من متطلبات مقاومة الزلازل، وكذلك عدم وجود إدارة فعالة للسيطرة على الكوارث ومعالجة الحالات الطارئة، بالإضافة إلى عدم دراية المواطن بمفاهيم وإجراءات الحماية والاستعداد للكوارث [4].

2- أهمية البحث وأهدافه

2-1- أهمية البحث

يتناول البحث دراسة المتغيرات المتعلقة بسد ركامي والكشف عن مواضع الخلل والضعف في مقاومته لأشد الزلازل وبالتالي يمكننا التخفيف قدر الإمكان من أثر الزلازل في هذا السد. لقد تم اختيار سد الباسل في محافظة طرطوس كحالة دراسة، حيث يقع سد الباسل على نهر الأبرش جنوب مدينة صافيتا في محافظة طرطوس، ويعتبر

مشروع السد من أهم مشاريع الري في محافظة طرطوس ضمن مشروع التطوير الشامل لسهلي عكار والبقية، تم بناء السد عند قرية اليازدية ويبعد /7كم/ عن مدينة صافيتا و/20كم/ جنوب شرق مدينة طرطوس. هذا السد المخصص لأغراض الري هو سد ركامي ذو نواة غضارية يبلغ ارتفاعه 50 متر ومساحة الأراضي التي يرويها السد تصل حتى 10160 هكتار حيث أن سعته التخزينية الأعظمية تقارب 103 مليون متر مكعب من المياه، وهذا المخزون المائي الهائل يصل إليه من مصدرين الأول هو الوارد المائي لنهر الأبرش الذي يبلغ 85 مليون متر مكعب، والثاني من قناة تزويد نهر العروس 18 مليون متر مكعب. وسيركز البحث على دراسة إمكانية التنبؤ باستجابة السد لسيناريوهات زلزالية مختلفة والكشف عن أي قصور مستقبلي في أداء السد نتيجة الزلزال. تسبب الزلازل عادة انهيار السدود التي تحجز خلفها بحيرات تتسع لملايين الأطنان من المياه لذلك يؤدي انهيارها إلى فقدان الكثير من الأرواح وخسائر مادية فادحة.

2-2- هدف البحث

وضع نموذج عددي (حاسوبي) لسد الباسل باستخدام طريقة العناصر المنتهية FEM بهدف:

- 1 - دراسة سلوك السد تحت تأثير الأحمال الستاتيكية.
- 2 - دراسة سلوك السد تحت تأثير الأحمال الديناميكية (الزلزالية).

4- طرائق البحث ومواده

هناك طرائق مختلفة للتحليل الزلزالي للسدود الركامية مثل: الطرائق المبسطة، والطرائق التجريبية (الطاولة الهزازة) [5]، والنمذجة باستخدام طريقة العناصر المنتهية عبر الحاسوب [6]، وطرائق التحليل الديناميكي الخطي وغير الخطي المكافئ [7].

تعتمد طريقة العناصر المنتهية على تقسيم الوسط المستمر المدروس إلى أجزاء متناهية الأبعاد بحيث يمكن وصف سلوك هذه العناصر الصغيرة كل على حدى ومن ثم استنتاج سلوك الوسط عن طريق التجميع المستمر لأجزائه.

يمكن تطبيق هذه الطريقة على أي وسط مستمر كالمنشأ الهيكلي أو المستوي أو الحجمي أو على أي وسط سائل أو على أي مسألة فيزيائية قابلة للوصف من خلال معادلات تفاضلية، وقد تم تطوير عناصر منتهية خاصة بالمسائل الخطية والمستوية والفراغية.

قمنا بوضع نموذج عددي مناسب للمسألة المدروسة وهو سد الأبرش في محافظة طرطوس الذي عرضنا مواصفاته في الفقرة (2) باستخدام حزمة برامج Geostudio التي تتضمن بداخلها برامج فرعية استخدمت في البحث ونذكر منها برنامج Slope/w الذي يقوم بنمذجة المسألة بالوضع الستاتيكي، بينما يقوم برنامج Quake/w بنمذجة المسألة بالوضع الديناميكي.

بدأ العمل على تلك البرامج من خلال نمذجة وسط الانتشار (التربة) في جسم السد والأساس وفق شبكة العناصر المنتهية، ومن ثم إدخال السجل الزمني للهزة الأرضية وفق التسارع الزلزالي الأعظمي المتوقع لمنطقة الدراسة، وبعد الانتهاء من إدخال خصائص كل من تربة جسم السد والأساس قمنا بتشغيل النموذج وحصلنا على عامل الأمان

الزلزالي من خلال رسم عدد كبير من أسطح الانهيار وبالتالي ينتج لدينا أقل قيمة لمعامل الأمان (معامل الأمان الحرج) الموافق لأخطر سطح انهيار محتمل الحدوث.

شملت الدراسة قيم مختلفة لـ:

- زاوية الاحتكاك الداخلي لمنحدرات السد: $(\varphi = (33, 37, 41, 45)^\circ)$.

- ميل منحدري السد (1:1.5, 1:2, 1:2.5, 1:3).

- تغير ارتفاع المياه أمام السد (حالة التفريغ السريع).

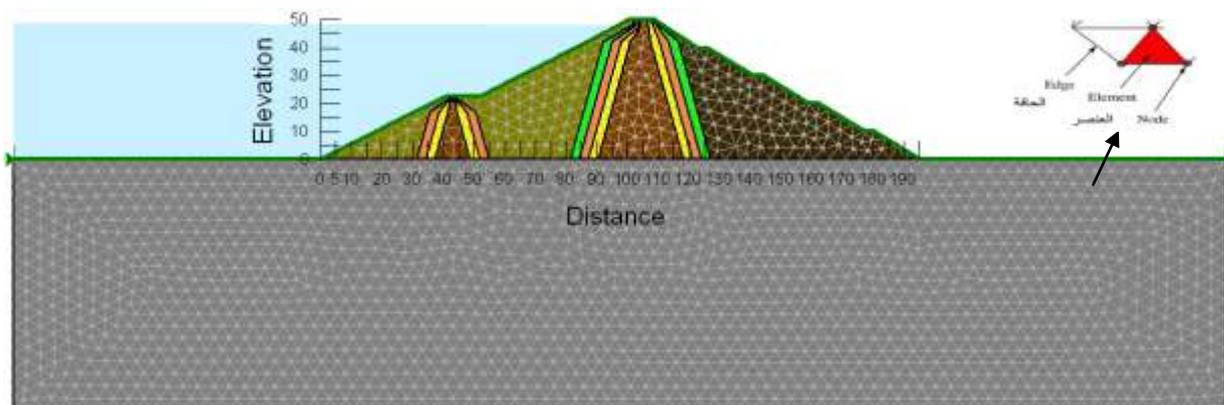
- ارتفاع السد: $(H = (20, 30, 40, 50)m)$.

- زلازل مختلفة الشدة:

$((Seismic Horizontal Component (SHC) = (0, 0.1, 0.2, 0.3, 0.4)g))$.

- تأثير مادة إنشاء السد (ركامي، ترابي).

بعدها نرسم المخططات البيانية التي توافق كل حالة على حدى من أجل معرفة كيفية استجابة السد الركامي للزلزال في كل من الوضع الستاتيكي والوضع الديناميكي الذي يوافق أعظم تسارع زلزالي ممكن الحدوث في منطقة السد (0.4 g من تسارع الجاذبية الأرضية) من خلال تغيير خصائص تربته وارتفاع المياه أمامه. يوضح الشكل (1) نموذج الدراسة الذي يمثل المقطع العرضي الرئيسي في منتصف السد وممثلاً عليه شبكة العناصر المنتهية.



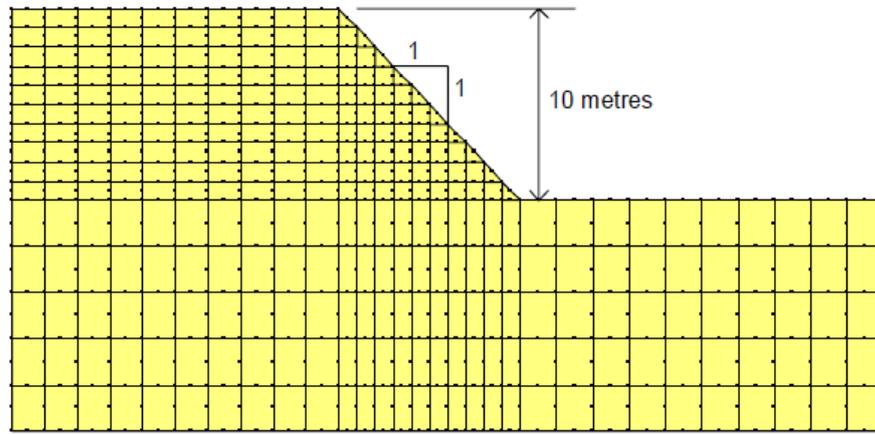
الشكل (1) نموذج الدراسة يمثل المقطع العرضي في منتصف السد وممثلاً عليه شبكة العناصر المنتهية.

4-1- طريقة العناصر المنتهية Finit Element Method

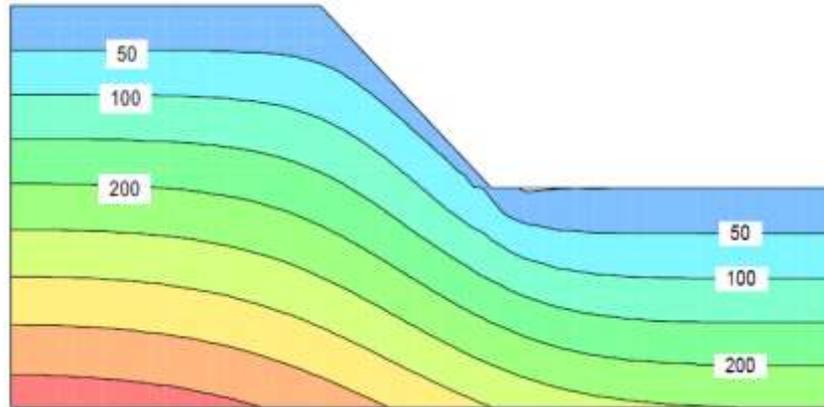
قبل ظهور هذه الطريقة كان الباحثون يستخدمون معادلات التوازن الحدية التي تفترض أن توزع الإجهادات على سطح الانزلاق ليس ضرورياً لتمثيل الإجهادات كما هي في الواقع، وتلك المعادلات تعطي الإجهادات والقوى التي:

- تؤمن توازن القوى المؤثرة على كل شريحة.
- تجعل عامل الأمان ذو قيمة واحدة لجميع الشرائح.

إن الجزء المفقود في معادلات التوازن الحدية هو علاقة التشوه بالإجهاد والتي لا يمكن تمثيلها إلا باستخدام طريقة العناصر المنتهية. يبين الشكل (2) شبكة العناصر المنتهية لمنحدر من أجل حساب الإجهادات، كما يبين الشكل (3) توزع الإجهادات الشاقولية المحسوبة باستخدام برنامج Geoslope [8].



الشكل (2) شبكة العناصر المنتهية لمنحدر من أجل حساب الإجهادات.



الشكل (3) توزع الإجهادات الشاقولية (Kpa) المحسوبة باستخدام برنامج Geoslope.

بالاستناد إلى الإجهادات الداخلية $\sigma_x, \sigma_y, \tau_{xy}$ المحسوبة داخل كل عنصر، نستطيع حساب إجهادات القص والقوى النظامية عند منتصف قاعدة كل شريحة باتباع الخطوات التالية:

- 1 - حساب الإجهادات $\sigma_x, \sigma_y, \tau_{xy}$ عند كل عقدة أو في أي نقطة أخرى ضمن العنصر يطلب حساب الإجهادات عندها.
 - 2 - من أجل الشريحة الأولى نوجد إحداثيي (X , y) نقطة وسط قاعدة كل شريحة.
 - 3 - حساب الإجهادات $\sigma_x, \sigma_y, \tau_{xy}$ عند نقطة وسط قاعدة كل شريحة.
 - 4 - تحديد زاوية ميل (α) قاعدة كل شريحة.
 - 5 - حساب الإجهاد الناظمي وإجهاد القص عند قاعدة كل شريحة باستخدام طريقة دوائر مور المعروفة.
 - 6 - حساب مقاومة القص من الإجهاد الناظمي عند قاعدة كل شريحة.
 - 7 - حساب الإجهاد الناظمي وإجهاد القص ومقاومة القص على كامل قاعدة كل شريحة.
 - 8 - تعاد المراحل السابقة من أجل كل شريحة (1 → n) وصولاً للشريحة الأخيرة.
- بعد حساب قوة القص المحركة ومقاومة القص الفاعلتين عند قاعدة كل شريحة، يتم حساب قوة القص المحركة الكلية S_m ومقاومة القص الكلية S_r الفاعلتين على كامل سطح الانزلاق، لنجد بعدها عامل أمان المنحدر من خلال العلاقة التالية [8]:

$$F_s = \frac{\sum S_r}{\sum S_m}$$

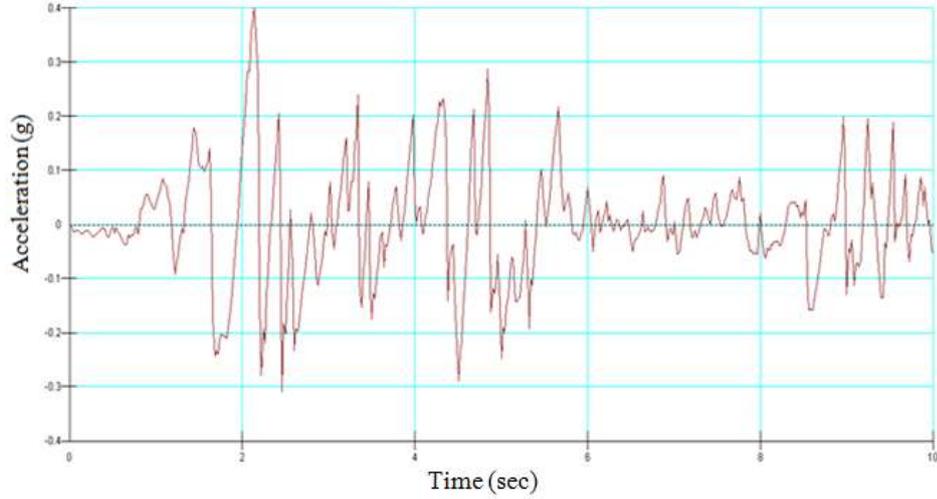


الشكل (4) الكتلة المنزلقة على سطح الانهيار مقسمة إلى شرائح فوق شبكة العناصر المنتهية.

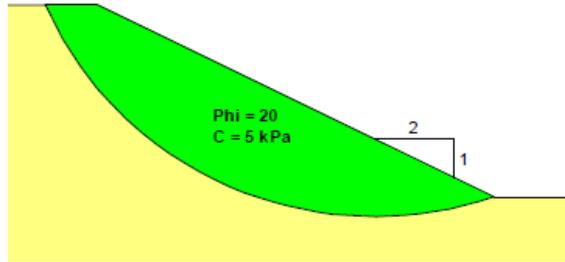
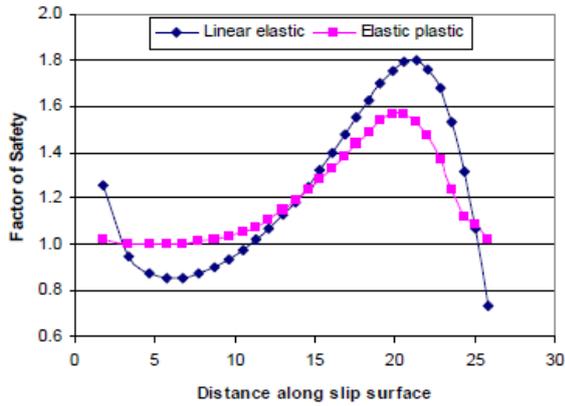
تتميز طريقة العناصر المنتهية بقدرتها على تحديد مستوي الانزلاق الحرج للمنحدر كما هو موضح في الشكل (4) وعامل الأمان له في الوضع الستاتيكي، بالإضافة إلى فاعليتها الكبيرة في التحليل الديناميكي لتحديد سطح الانهيار للمنحدر وعامل الأمان اللحظي له تحت تأثير الحمل الزلزالي.

عند دراسة منحدر بسيط ميله $2h:1v$ زلزالياً نحتاج إلى إدخال خصائص التربة، ومنسوب المياه، بالإضافة إلى السجل الزمني للتسارع الزلزالي الأعظمي في منطقة المنشأة كما هو مبين في الشكل (5)، ونختار نوع سلوك التربة

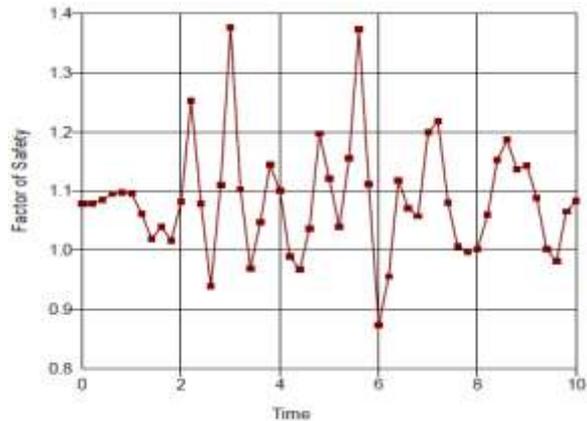
(مرنة، لدنة) لتنتج عوامل الأمان لكل شريحة في المنحدر كما يبين الشكل (6)، وذلك بعد إعادة توزيع الإجهادات على كامل المنحدر وفي كل لحظة من زمن حدوث الزلزال كما هو مبين في الشكل (7) [8].



الشكل (5) السجل الزمني للتسارع الزلزالي الأعظمي في منطقة المنشأة.



الشكل (6) قيم عوامل الأمان لكل شريحة.



الشكل (7) عوامل الأمان المتغيرة خلال زمن حدوث الزلزال.

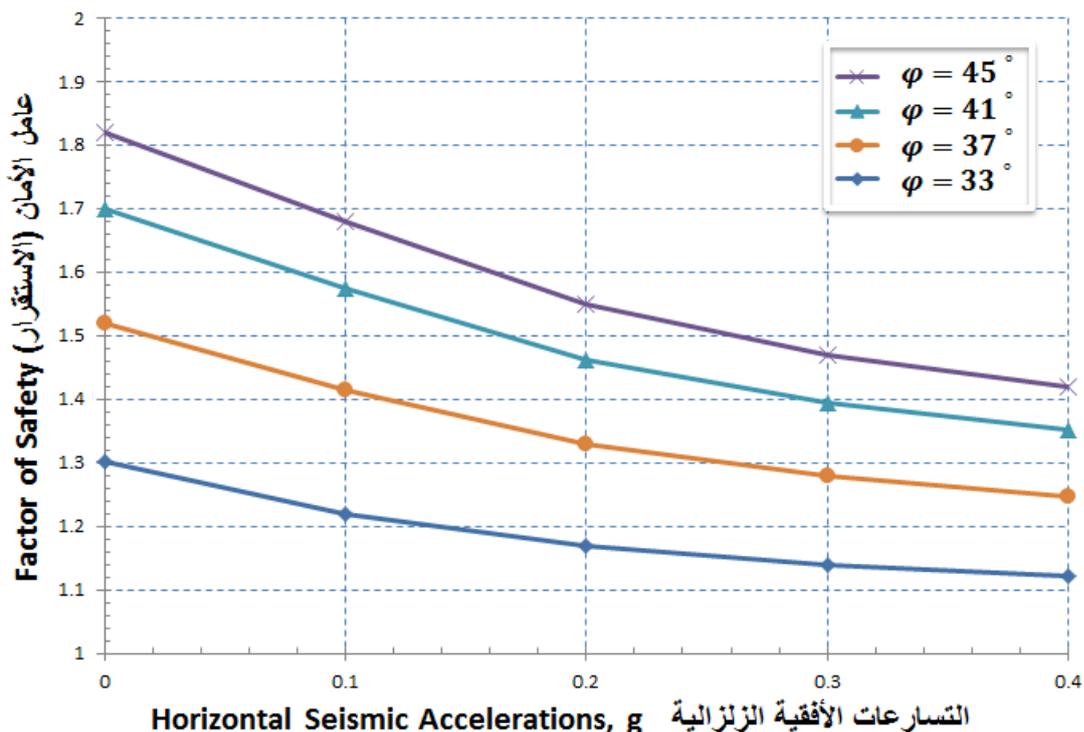
5-النتائج والمناقشة

1-5- تأثير معاملات القص للتربة على السلوك الستاتيكي والديناميكي للسد

1-1-5- تأثير زاوية الاحتكاك الداخلي للتربة (ϕ)

الحالة الستاتيكية هي الحالة التي تكون فيها قيمة التسارع الأفقي الزلزالي معدومة (0.g من تسارع الجاذبية الأرضية)، أما الحالة الديناميكية المدروسة فهي الحالة التي تكون فيها قيمة التسارع الأفقي الزلزالي من 0.1 g حتى 0.4 g.

تساهم زيادة زاوية الاحتكاك الداخلي لمنحدرات السد في دعم استقرار السد زلزالياً كما هو موضح في الشكل (8) حيث يدرس البرنامج استقرار المنحدرات بشكل رئيسي آخذاً بعين الاعتبار وجود النواة. في الحالة الستاتيكية حدث ارتفاع في قيم معاملات الأمان من 1.301 حتى 1.835 نتيجة زيادة زاوية الاحتكاك الداخلي لمنحدرات السد بمقدار 12° ، أما في الحالة الديناميكية فيحدث ازدياد تدريجي في قيم معاملات الأمان نتيجة تزايد قيم زوايا الاحتكاك الداخلي لمنحدرات السد لكن يقل معدل تلك الزيادة تدريجياً بزيادة تسارع الشدة الزلزالية. إن زيادة قيمة زاوية الاحتكاك الداخلي لمنحدرات السد بمقدار 12° سبب ارتفاع عامل الأمان ستاتيكيًا بمقدار 30% وديناميكيًا بمقدار 21% عند التسارع الزلزالي 0.4 g. يتمتع الردم الصخري لمنحدرات السد بزاوية احتكاك داخلي عالية ومقاومة قص كبيرة مما يجعله أكثر قدرة على مقاومة الاهتزازات الناجمة عن الزلازل.



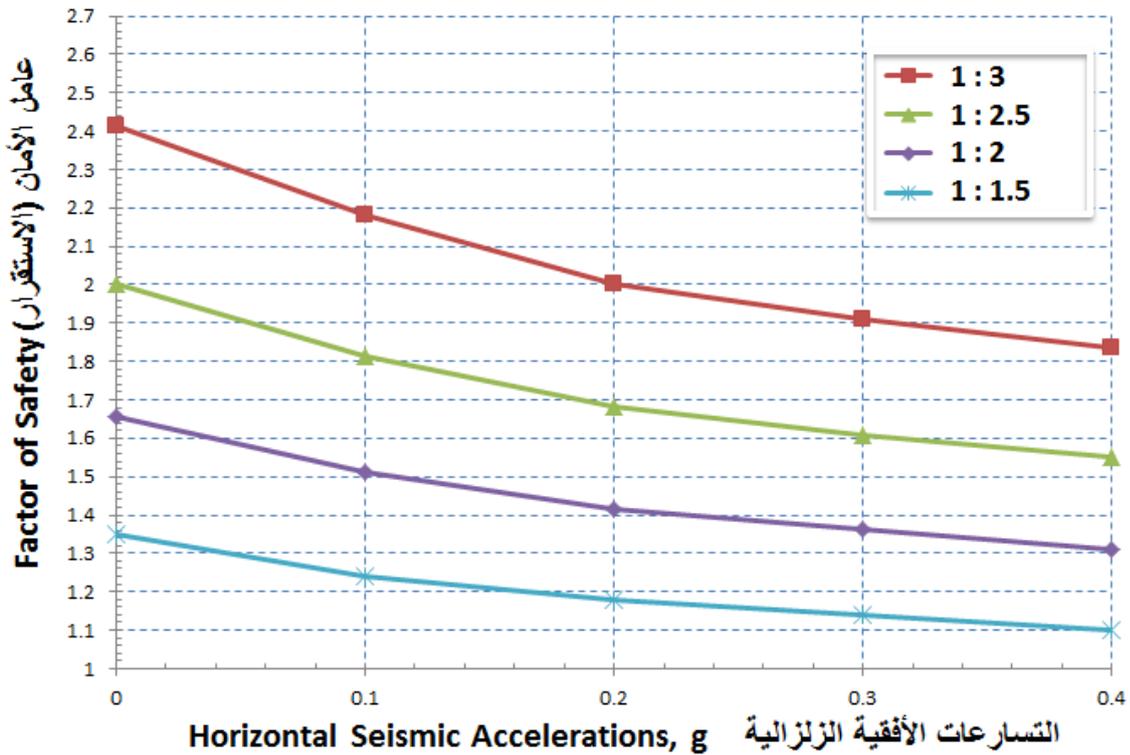
الشكل (8) تأثير زاوية الاحتكاك الداخلي للتربة (ϕ) على معامل الأمان ضد الزلازل.

5-1-2- تأثير تماسك تربة منحدرات السد

إن منحدرات السد هي من التربة الركامية المفككة ذات تماسك ضعيف وبالتالي يمكن إهمال تأثير التماسك على الاستقرار الستاتيكي والديناميكي لمنحدرات السد، حيث تبين من الدراسة أن زيادة التماسك بمقدار 1 kpa أدى إلى ارتفاع طفيف في معامل الأمان يصل لـ 2% وبالتالي يهمل تأثير هذا العامل.

6- تأثير ميول منحدري السد

يساهم تقليل ميول منحدري السد أو انخفاض زاوية ميل المنحدر (α) في دعم استقرار السد زلزالياً كما هو موضح في الشكل (9).
في الحالة الستاتيكية حدث ارتفاع في قيم معاملات الأمان من 1.35 حتى 2.414 نتيجة تغيير ميل منحدري السد من 1:1.5 وحتى 1:3.
كذلك الأمر في الحالة الديناميكية حيث يحدث ازدياد تدريجي في قيم معاملات الأمان نتيجة انخفاض قيم ميول منحدري السد لكن يقل معدل تلك الزيادة تدريجياً بزيادة تسارع الشدة الزلزالية.
إن تغيير قيمة ميل منحدري السد من 1:1.5 وحتى 1:3 سبب ارتفاع عامل الأمان ستاتيكياً بمقدار 45% وديناميكياً بمقدار 40% عند التسارع الزلزالي 0.4 g.

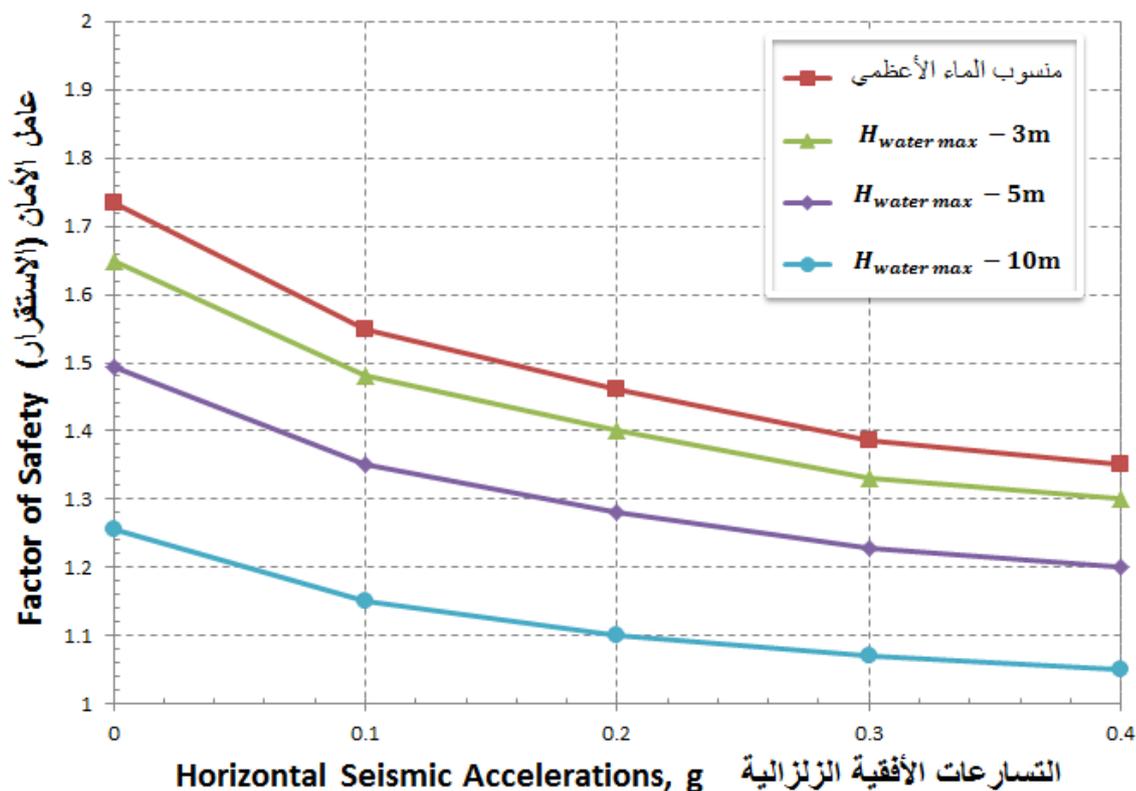


الشكل (9) تأثير ميول منحدرات السد على معامل الأمان ضد الزلازل.

7- تأثير تغيرات ارتفاع المياه أمام السد (التفريغ السريع)

عند سحب المياه من السد لأغراض الري أو تفريغه بغرض إزالة الرواسب من البحيرة وصيانته يجب مراعاة ضرورة التفريغ التدريجي البطيء حرصاً على سلامة منحدري السد وخاصة في حالة الامتلاء الأعظمي حيث يلعب التفريغ السريع للمياه أمام السد دوراً سلبياً في استقراره بالوضع الستاتيكي حيث أن التربة ما تزال مشبعة بالمياه مما يؤدي إلى تشكل سطوح انزلاق خطيرة في المنحدر الأمامي نتيجة تراجع خطوط التسرب، والأمر نفسه يحصل في الوضع الديناميكي حيث يسبب تشكل فالق زلزالي بالقرب من البحيرة غور كميات كبيرة من المياه في باطن الأرض، وهنا تحدث حالة شبيهة بالتفريغ السريع في الوضع الستاتيكي وبالتالي يتشكل خطر الانهيار لسطوح انزلاق منحدري السد من جديد.

إن التفريغ السريع للمياه أمام السد سبب نقصان عامل الأمان ستاتيكيًا بمقدار 28% وديناميكيًا تحت تأثير الزلازل بمقدار 22% عند تطبيق تسارع زلزالي أرضي أعظمي يبلغ $0.4 g$ من تسارع الجاذبية الأرضية يوافق منطقة السد، كما في الشكل (10).



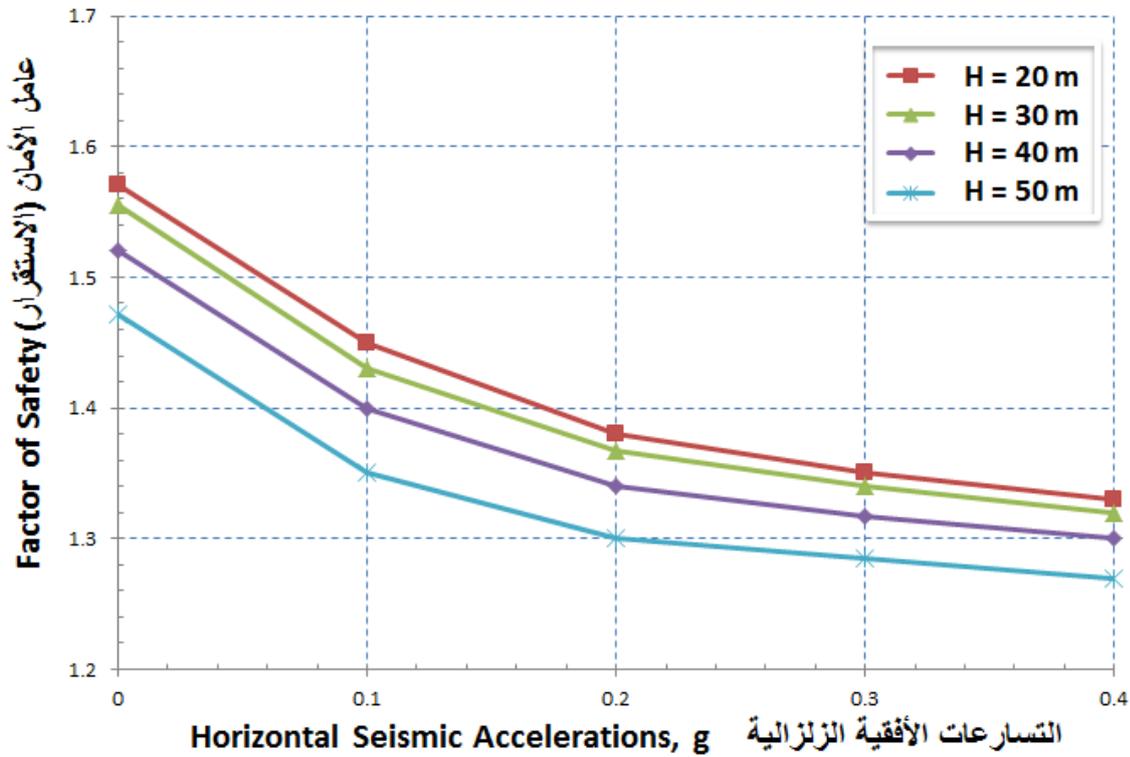
الشكل (10) تأثير ارتفاع المياه أمام السد على معامل الأمان ضد الزلازل.

8- تأثير ارتفاع السد

في الحالة الستاتيكية ارتفعت قيمة معامل الأمان عند نقصان ارتفاع السد من 50 متر وحتى 20 متر أي يزداد معامل الأمان بنقصان ارتفاع السد تدريجياً مع بقاء الميل ثابتاً.

في الحالة الديناميكية ارتفعت قيم معاملات الأمان أيضاً بنقصان ارتفاع السد في حالة التسارع الأفقي الزلزالي $0.1\text{ g} - 0.2\text{ g}$ بشكل ملحوظ، في حين أنه كلما زادت تلك التسارعات عن ذلك حتى 0.2 g يصبح التأثير شبه مهمل على معامل الأمان كما هو موضح في الشكل (11).

عند التأثير على السد بتسارع زلزالي قدره 0.1 g يفقد 8% من عامل الأمان ليزداد هذا الفاقد إلى 15% عند تطبيق تسارع أرضي أعظمي قدره 0.4 من تسارع الجاذبية الأرضية.

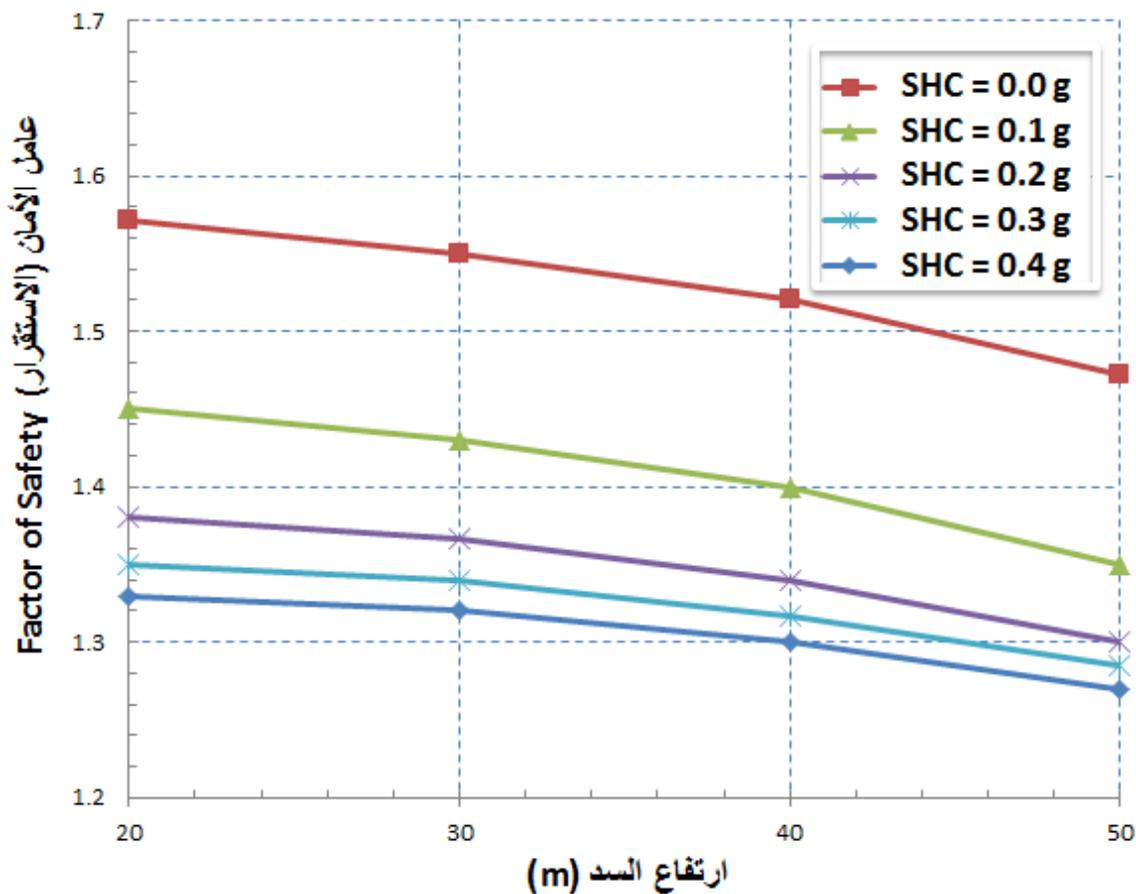


الشكل (11) تأثير ارتفاع السد على معامل الأمان ضد الزلازل.

9- تأثير شدات الزلازل

بالإمكان تمثيل نفس الشكل السابق بطريقة مختلفة بهدف إظهار تأثير الزلازل متفاوتة الشدة على معامل الأمان كما هو موضح في الشكل (12).

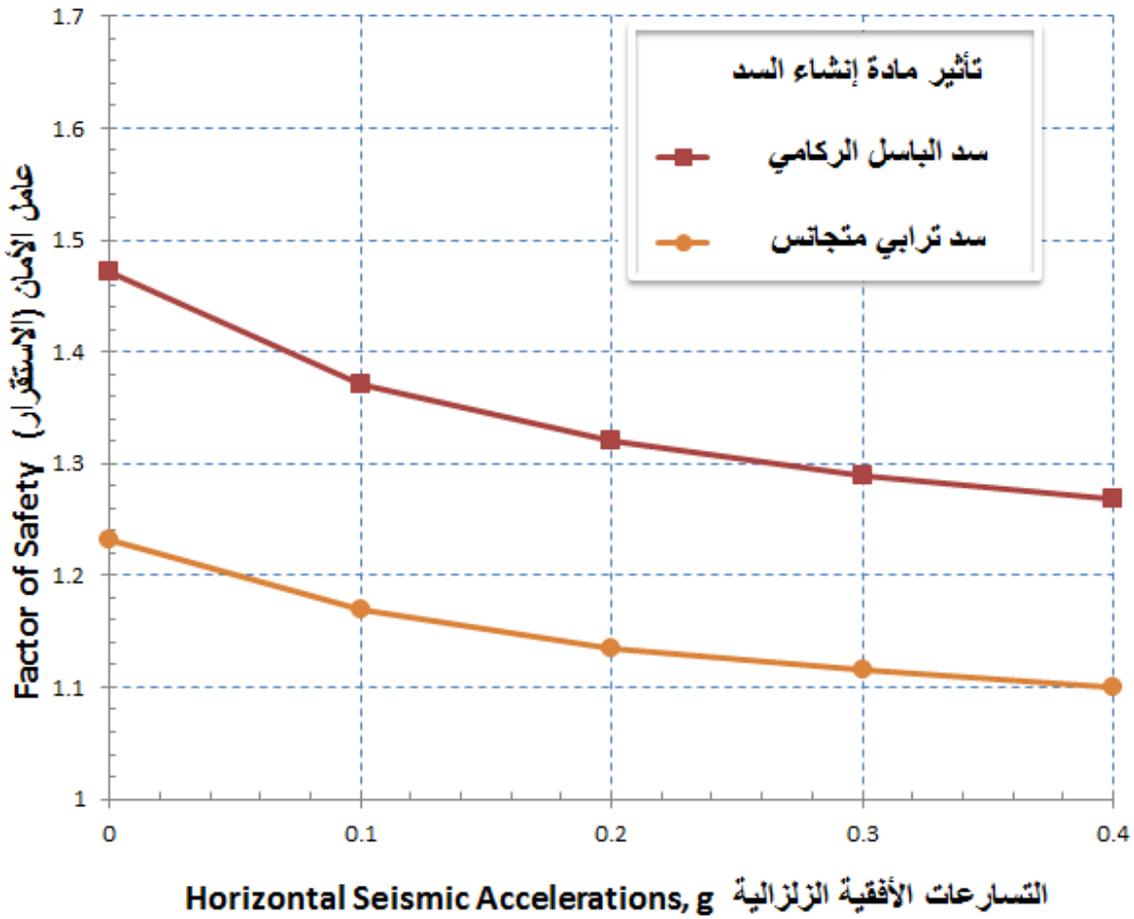
في الحالة الستاتيكية يحدث انخفاض كبير في معامل الأمان عند زيادة ارتفاع السد. أما في الحالة الديناميكية يكون التأثير الزلزالي هو المسيطر عند زيادة قيمة التسارع الأفقي الزلزالي عن 0.1 g وحتى 0.2 g ويصبح بعدها هذا التأثير على معامل الأمان طفيف.



الشكل (12) تأثير زلازل مختلفة الشدة على معامل أمان السد ضد الزلازل.

10- تأثير مادة الإنشاء

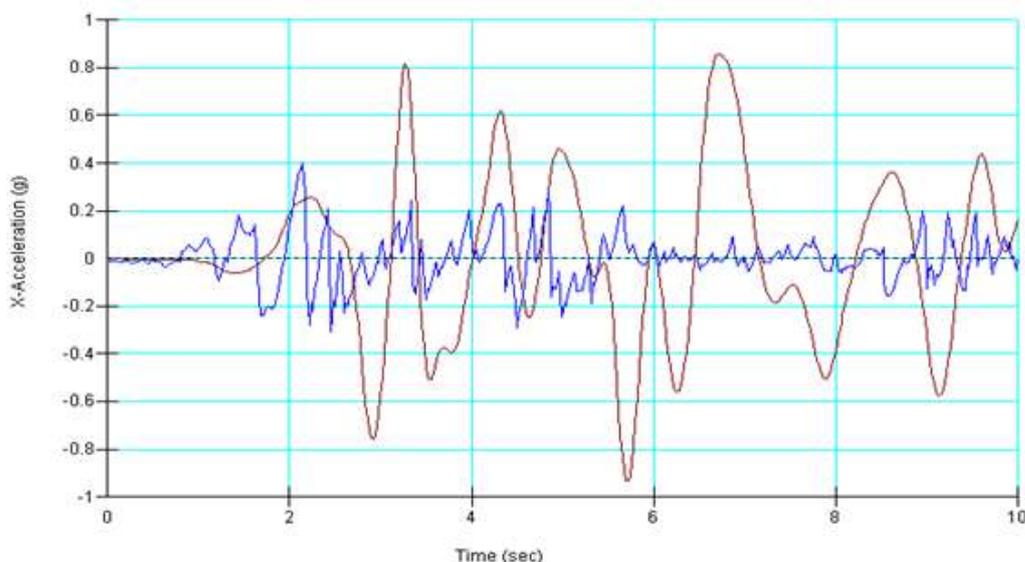
تعتبر السدود الركامية أكثر مقاومة للاهتزازات الأرضية من السدود الترابية، ولبيان ذلك درست استجابة سد ترابي متجانس له الأبعاد الهندسية لسد الباسل تحت تأثير الحمل الزلزالي، وتم التحقق منها وتقييمها. ترتفع معاملات الأمان بشكل واضح في حالة السد الركامي في كل من الحالتين الستاتيكية والديناميكية لذلك يمكننا القول أن السد الركامي أفضل من حيث السلوك الستاتيكي والديناميكي من سد مماثل له بالأبعاد الهندسية لكنه ترابي من ناحية مادة الإنشاء، وهذا موضح في الشكل (13). يرتفع معامل الأمان في السد الركامي ستاتيكيًا بمقدار 17% وديناميكيًا بمقدار 13% عند التسارع 0.4g من تسارع الجاذبية الأرضية.



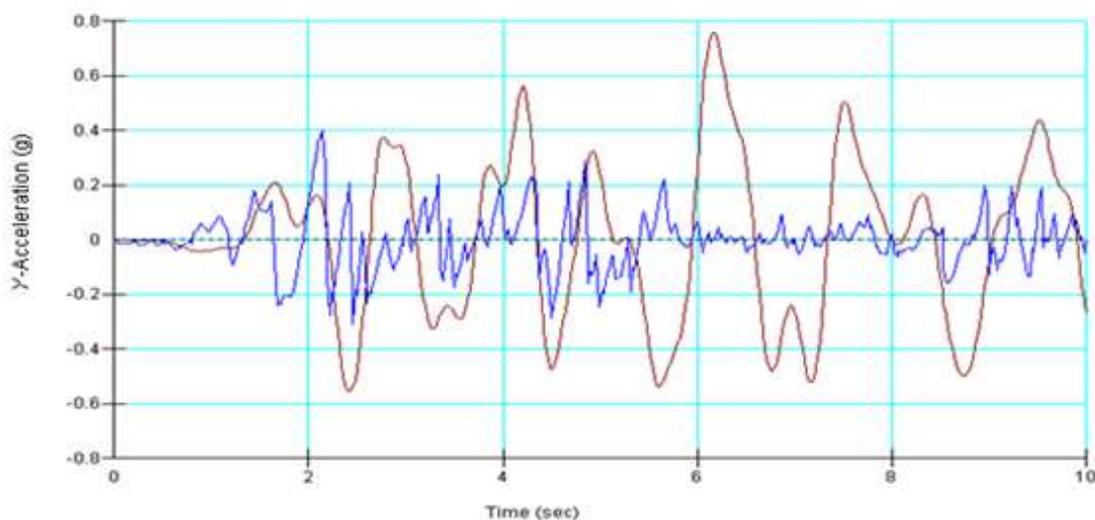
الشكل (13) تأثير مادة إنشاء السد على معامل أمان السد ضد الزلازل.

11- أثر سد الباسل في تضخيم كل من المركبة الأفقية والشاقولية للتسارع الزلزالي

عند أخذ نقطة مرجعية في قمة سد الباسل نلاحظ أن تربة جسم السد ذو النواة المشبعة تعمل على تضخم كامل المركبة الأفقية للزلازل المؤثر في الأساس الصخري لهذا السد، وهذا ما يتبين في الشكل (14). في حين أن تربة هذا السد قد عملت على تضخيم جزء من المركبة الشاقولية للتسارع الزلزالي المؤثر في الأساس الصخري لهذا السد أيضاً وهذا موضح في الشكل (15). مما سبق نجد أن الموجات الأفقية للزلازل تشكل خطراً أكبر على استقرار السد نتيجة تضخيمها الزائد مقارنة مع الأثر الأقل للموجات الشاقولية للزلازل في جسم السد، وهنا تبرز الإشارة إلى خطورة توافق تردد تربة السد مع تردد الزلازل حيث تتشكل ظاهرة تدعى الطنين والتي قد تسبب انهيار السد.



الشكل (14) تأثير تربة سد الباسل في تضخيم المركبة الأفقية للتسارع الزلزالي.



الشكل (15) تأثير تربة سد الباسل في تضخيم المركبة الشاقولية للتسارع الزلزالي.

12- الاستنتاجات والتوصيات

الاستنتاجات

تم من خلال تقييم نتائج الدراسة الخاصة بحالة سد الباسل التوصل إلى الاستنتاجات التالية:

- 1 - إن لزيادة معاملات القص لمنحدرات سد الباسل كزاوية الاحتكاك الداخلي تأثير إيجابي في استقراره فعند زيادة قيمة زاوية الاحتكاك الداخلي لمنحدرات السد بمقدار 12° يرتفع عامل الأمان ستاتيكيًا بمقدار 30% وديناميكيًا بمقدار 21% عند التسارع الزلزالي $0.4g$ ، لكن بالمقابل تأثير التماسك مهم على استقرار منحدرات هذا السد الركامي.
- 2 - يساهم تقليل ميل منحدر سد الباسل أو انخفاض زاوية ميل المنحدر على الأفق (α) في دعم استقراره زلزالياً، ففي الحالة الستاتيكية حدث ارتفاع في قيم معاملات الأمان من 1.35 حتى 2.414 نتيجة تغيير ميل منحدر سد من 1:1.5 وحتى 1:3 مما سبب ارتفاع عامل الأمان ستاتيكيًا بمقدار 45% وديناميكيًا بمقدار 40% عند التسارع الزلزالي $0.4g$.
- 3 - إن التفريغ السريع للمياه أمام سد الباسل سبب نقصان عامل الأمان ستاتيكيًا بمقدار 28% نتيجة تراجع خطوط التسرب وديناميكيًا تحت تأثير الزلازل بمقدار 22% عند تطبيق تسارع زلزالي أرضي أعظمي يبلغ $0.4g$ من تسارع الجاذبية الأرضية يوافق منطقة السد مع بقاء سد الباسل في حالة استقرار ستاتيكي وديناميكي.
- 4 - إن تقليل ارتفاع سد الباسل له دور إيجابي في استقراره ففي الحالة الستاتيكية ارتفعت قيمة معامل الأمان مع بقاء الميل ثابتاً عند نقصان ارتفاع السد بشكل تدريجي من 50 متر وحتى 20 متر، أما في الحالة الديناميكية ارتفعت قيم معاملات الأمان أيضاً بنقصان ارتفاع السد في حالة التسارع الأفقي الزلزالي $0.1g - 0.2g$ بشكل ملحوظ، في حين أنه كلما زادت تلك التسارعات عن ذلك حتى $0.2g$ يصبح التأثير شبه مهم على معامل الأمان.
- 5 - إن سد الباسل الركامي أفضل من حيث السلوك الستاتيكي والديناميكي من سد ترابي متجانس مماثل له بالأبعاد الهندسية تحت تأثير الحمل الزلزالي نفسه، حيث أنه يرتفع معامل الأمان في السد الركامي ستاتيكيًا بمقدار 17% وديناميكيًا بمقدار 13% عند التسارع $0.4g$ من تسارع الجاذبية الأرضية مقارنة مع نظيره الترابي ويعزى ذلك إلى تشكل مقاومة قص كبيرة عند سطوح منحدر سد الباسل الركامي.
- 6 - إن الموجات الأفقية للزلازل تشكل خطراً أكبر على استقرار سد الباسل نتيجة تضخيمها الزائد مقارنة مع الأثر الأقل للموجات الشاقولية للزلازل، حيث أن الموجات الأفقية تسبب حدوث انتقالات أفقية تؤدي إلى الانهيار، وهنا تبرز الإشارة إلى خطورة توافق تردد تربة السد مع تردد الموجات الزلزالية المنطلقة شاقولياً من قاعدة الصخر المحرض زلزالياً حيث تتشكل ظاهرة تدعى بالطين والتي قد تسبب انهيار السد.

التوصيات

- 1- إجراء دراسات زلزالية للمنطقة قبل إقامة أي سدود ضخمة عليها.
- 2- تجنب إقامة السدود في مناطق الزلازل العنيفة.
- 3- ضرورة الاختيار الصحيح لمتغيرات السد الركامي للتخفيف من المخاطر الزلزالية المحتملة.
- 4- إعادة تأهيل السدود والمنشآت المعرضة للتأثر بالزلازل.
- 5- إعداد خارطة توزع الزلازل تاريخياً وفق تسلسل حدوثها.
- 6- إعداد خارطة النطاقات الزلزالية جغرافياً تبعاً لبؤرة تأثيرها باستخدام نظم المعلومات الجغرافية.
- 7- دراسة النشاط الزلزالي من خلال إقامة شبكات مؤلفة من أجهزة لرصد الزلازل.
- 8- إعداد "كودات بناء" لمقاومة الزلازل والتأكيد على استخدامها.

المراجع:

- 1- عثمان، إبراهيم. *الدراسات الزلزالية*، تقرير موجز عن أعمال الهيئة 2005-2006، هيئة الطاقة الذرية السورية، دمشق، 2007، 51-53.
- 2- OKA, F; TSAI, P. S; KIMOTO, S; KATO, R. *Numerical Analysis of Damage of River Embankment on Soft Soil Deposit Due to Earthquakes With Long Duration Time*, Proceedings of the International Symposium on Engineering Lessons Learned from the 2011 Great East Japan Earthquake, 1-4 March, Tokyo, Japan, 2012, 925-936.
- 3- الديب، جلال. *الزلازل وتخفيف مخاطرها*، جامعة النجاح الوطنية، نابلس، فلسطين، 2009، 184.
- 4- رهبان، بدوي؛ العوه، محمد أحمد. *الظواهر الطبيعية نحو بناء ثقافة الوقاية من كوارثها في البلدان العربية*، مكتب اليونسكو الإقليمي، القاهرة، 2009، 12-27.
- 5- G.S. GOPALAKRISHNA; A. NAMDAR. *Stability Analysis of The Embankment Model*, Georgia, 2009.
- 6- GORDA, B; ADNAN, A.B; KUMAR, R. *Relationship Between Fluid of Reservoir and Dynamic Settlement of Embankment During Earthquake*, International Conference on Fluid Dynamics and Thermodynamics Technologies, Malaysia, 2012, 177-182.
- 7- MIRCEVSKA, V. ; BICKOVSKI, V. ; GAREVSKI, M. *A 3D Nonlinear Dynamic Analysis of a Rock-Fill Dam Based on Iziis Software*, Salvador, 2007. 17-32.
- 8- KRAHN, J. *Stability Modeling with SLOPE/W*. Canada, May 2004, 406.