

## دراسة سلوك واستقرار الجدران الاستنادية الحجرية المصنعة (SRW) تحت تأثير الأحمال الستاتيكية والزلزالية

الدكتور مالك توفيق حسن<sup>1</sup>

رشاد السيروان<sup>2</sup>

(تاريخ الإيداع 15 / 11 / 2015. قُبل للنشر في 7 / 4 / 2016)

### □ ملخص □

تعتبر الجدران الاستنادية من أكثر أنواع المنشآت الهندسية انتشاراً وكانت الجدران الاستنادية تنفذ من الأحجار الطبيعية قبل اكتشاف البيتون، حيث تعتبر الحجارة الطبيعية من أوائل المواد التي استخدمها الانسان في بناء المنشآت الهندسية منذ آلاف السنين، وتشهد على ذلك العديد من المنشآت في الحضارات القديمة التي لاتزال آثارها موجودة حتى الآن. و بعد اكتشاف البيتون المسلح قلت نسبياً الجدران الاستنادية المنفذة من الأحجار الطبيعية، ولكن رغم هذه السنين لم تفقد ألقها وبريقها حتى الآن، و ازداد الاهتمام في السنوات الأخيرة بمواد البناء الجديدة التي تتركب من أحجار مصنعة حيث تم استخدامها إلى جانب مواد البناء التقليدية في عدة مجالات سواء في الهندسة الجيوتكنيكية أو الأبنية... الخ، فهي لا تقدم حلولاً تقنية بسيطة وحسب بل تعتبر مرغوبة بشكل كبير لأسباب جمالية و سهولة تنفيذها و مقاومتها للعوامل الخارجية ، إضافة إلى انها تقدم حلولاً اقتصادية بكلفة محدودة مقارنة بالجدران الاستنادية التقليدية من البيتون المسلح.

و هذا البحث يتناول دراسة سلوك هذه الجدران الاستنادية الحجرية تحت تأثير الأحمال الستاتيكية و الديناميكية ودراسة بارامترية لأهم العوامل المؤثرة على استقرار هذه الجدران.

**الكلمات المفتاحية:** دراسة الاستقرار - الجدران الاستنادية الحجرية - التحليل الزلزالي - الطريقة شبه الستاتيكية

<sup>1</sup> أستاذ مساعد - قسم الهندسة الجيوتكنيكية - كلية الهندسة المدنية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية.

<sup>2</sup> طالب ماجستير - قسم الهندسة الجيوتكنيكية - كلية الهندسة المدنية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية.

## Stability Analysis And Behavior Of Segmental Stone Retaining Walls (SRW) Under Static And Seismic Loadings

Dr. Malek Tawfik Hassan\*  
Rashad AL seirawan\*\*

(Received 15 / 11 / 2015. Accepted 7 / 4 / 2016)

### □ ABSTRACT □

The retaining walls are one of most types of engineering constructions and it have built from natural stones before discovering concrete, Where natural stones have considered one of the early human materials used in building engineering constructions for thousands of years, and many facilities in ancient civilization still existing effects so far, And after the discovery of the concrete and reinforced concrete, the retaining walls which was built from natural stones diminished relatively

Despite the years this retaining walls has not lost its luster and brilliance, and there is increased interest in recent years in using new building material which consists of manufactured stones where used together with traditional construction materials in several areas both in geotechnical engineering or building ... Etc .

This retaining walls present simple technical solutions and it is desirable for aesthetic reasons and simple implementation and resistance to external conditions,

In addition to being economical solutions limited cost compared to traditional reinforced concrete retaining walls.

This research deals with the study of the behavior of Segmental Stone Retaining Walls (SRW) under the static and dynamic loads and parametric study of the most important factors which influence stability of these retaining walls

**Keywords:** Stability Analysis- Segmental Retaining Walls (SRW)- Seismic Analysis- Pseudo- Static Method

---

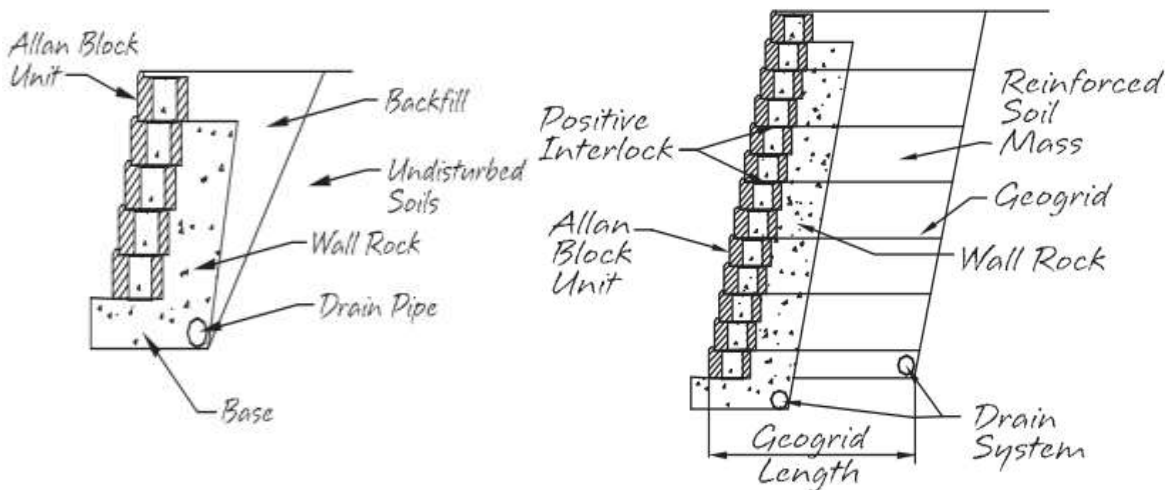
\* Assistant Professor, Department of Geotechnical Engineering, Faculty of Civil Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.

\*\* Master Student, Department of Geotechnical Engineering, Faculty of Civil Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.

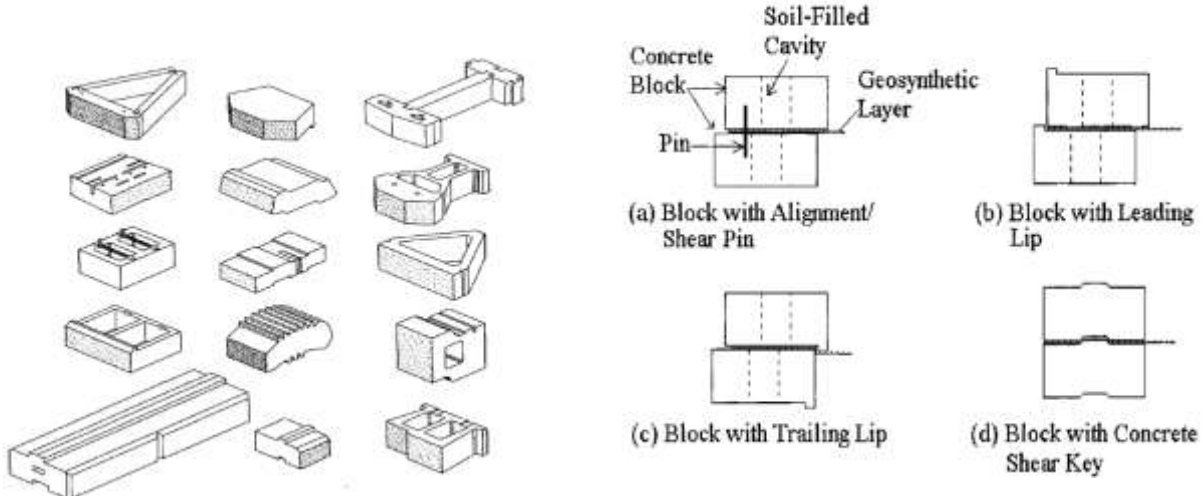
## مقدمة :

تعتبر الجدران الاستنادية من أكثر أنواع المنشآت الهندسية انتشاراً وكانت الجدران الاستنادية تنفذ من الأحجار الطبيعية قبل اكتشاف البيتون، حيث تعتبر الحجارة الطبيعية من أوائل المواد التي استخدمها الانسان في بناء المنشآت الهندسية منذ آلاف السنين، وتشهد على ذلك العديد من المنشآت في الحضارات القديمة التي لاتزال آثارها موجودة حتى الآن. و بعد اكتشاف البيتون و البيتون المسلح قلت نسبياً الجدران الاستنادية المنفذة من الأحجار الطبيعية، ولكن رغم هذه السنين لم تفقد ألقها و بريقها حتى الآن، حيث ما زالت تستخدم بشكل متزايد في الكثير من المنشآت الهندسية في العقود الأخيرة. ولكن ندرة الأحجار الطبيعية في بعض الأماكن و صعوبة توفرها كان دافعاً للبحث عن بديل لها من خلال الحجارة المصنعة و التي لاقت رواجاً كبيراً لدى العديد من المهندسين المعماريين و المدنيين و ازداد الاهتمام في السنوات الأخيرة بمواد البناء الجديدة التي تتركب من أحجار مصنعة حيث تم استخدامها إلى جانب مواد البناء التقليدية في عدة مجالات سواء في الهندسة الجيوتكنيكية أو الأبنية... الخ، فهي لا تقدم حلاً تقنياً بسيطة وحسب بل تعتبر مرغوبة بشكل كبير لأسباب جمالية و سهولة تنفيذها و مقاومتها للعوامل الخارجية ، إضافة إلى أنها تقدم حلاً اقتصادياً بكلفة محدودة مقارنة بالجدران الاستنادية التقليدية من البيتون المسلح.

يمكن للجدران الحجرية (SRW) أن تنفذ كجدران استنادية كتلية بسيطة (بدون تسليح للتربة خلف الجدار) أو تنفذ كجدران استنادية ذات واجهة حجرية و تربة مسلحة ميكانيكياً بالجيوريد (MSEW) حسب الشكل (2). الجدران الاستنادية الحجرية من القطع مسبقة الصنع (SRW) تنفذ عادة بالطريقة الجافة (بدون مواد رابطة) و تكون القطع الحجرية متصلة فيما بينها عن طريق الاحتكاك أو حرف بيتوني أو مفتاح قص بيتوني أو اتصال ميكانيكي (أقلام معدنية) كما في الشكل (1). تصنع قطع الجدران الحجرية من البيتون و يوجد أشكال كثيرة وأبعاد مختلفة لهذه القطع كما يوضح الشكل (3).



شكل (1) جدار استنادي حجري بسيط و جدار استنادي حجري مسلح بالجيوريد [4]



الشكل (2) طرق اتصال حجارة الجدران الحجرية [2]

الشكل (3) أنواع حجارة الجدران الحجرية [3].

الجدران الاستنادية الحجرية الكتلية البسيطة (SRW) غير المسلحة تنفذ عادة من أجل ارتفاعات محددة تتراوح بين (1-4 م) و يمكن لها أن تصل لأكثر من 12م في بعض المنشآت (كتل بيتونية بأبعاد كبيرة خاصة)، وذلك حسب أبعاد القطع الحجرية و نوع الاتصال فيما بينها وزاوية ميل وجه الجدار وخواص الردم ووجود حمولات سطحية. أما من أجل الارتفاعات الأكبر من ذلك من 4-12م أو أكثر، و من أجل نفس الشروط فتستخدم الجدران الحجرية المسلحة بالجيوريد.

### أهمية البحث و أهدافه:

#### أهمية البحث :

إن الجدران الاستنادية الحجرية من القطع البيتونية المصنعة (SRW) و التي بدأ استخدامها للمرة الأولى في سبعينيات القرن الماضي، لاقت رواجاً كبيراً لدى العديد من المهندسين المعماريين و المدنيين و ازداد الاهتمام فيها في العقد الأخير، فهي لا تقدم حلاً تقني بسيطاً وحسب بل تعتبر مرغوبة بشكل كبير لأسباب جمالية و سهولة تنفيذها و مقاومتها للعوامل الخارجية، إضافة إلى أنها تقدم حلاً اقتصادياً بكلفة أقل مقارنة بالجدران الاستنادية التقليدية من البيتون المسلح.

هذا البحث سوف يساهم في اغناء البحث العلمي فيما يتعلق بموضوع دراسة سلوك واستقرار الجدران الاستنادية الحجرية والعوامل المؤثرة على استقرار هذا النوع من الجدران و كذلك إلقاء الضوء على الميزات المتعدد التي يقدمها هذا النوع من الجدران الاستنادية و أهمها أنها تعتبر أكثر مقاومة للزلازل من الأنواع الأخرى ( وخاصة المسلحة منها كما أثبتت التجارب الحديثة) بالإضافة الى الناحية الجمالية التي يتحلى بها هذا النوع من الجدران و طرق التنفيذ السريعة و البسيطة و الديمومة.

**هدف البحث :**

يهدف هذا البحث إلى ما يلي:

تراسة استقرار وسلوك الجدران الاستنادية الحجرية بدون مواد رابطة (SRW) بالطريقة التحليلية من أجل الحمولات الستاتيكية من خلال دراسة متغيرات لأهم العوامل المؤثرة (تأثير زاوية ميل الجدار عن الشاقول  $(\alpha)$ ، تأثير زاوية ميل سطح الأرض خلف الجدار  $(\beta)$ ، وكذلك تأثير مقاومة القص بين الأحجار مع وبدون مفاتيح قص).  
تراسة استقرار وسلوك الجدران الاستنادية الحجرية (SRW) تحت تأثير الحمولات الديناميكية (الزلازل) بالطرق التحليلية الشبه ستاتيكية (pseudo - static Method) من خلال دراسة متغيرات لأهم العوامل المؤثرة (العوامل السيسمية  $(K_v, K_h)$ ، العوامل الهندسية للجدار  $(\alpha, \beta)$ ، تأثير مقاومة القص بين الأحجار مع وبدون مفاتيح قص)، وتحديد معامل الأمان الحاسم.

**منهجية البحث:**

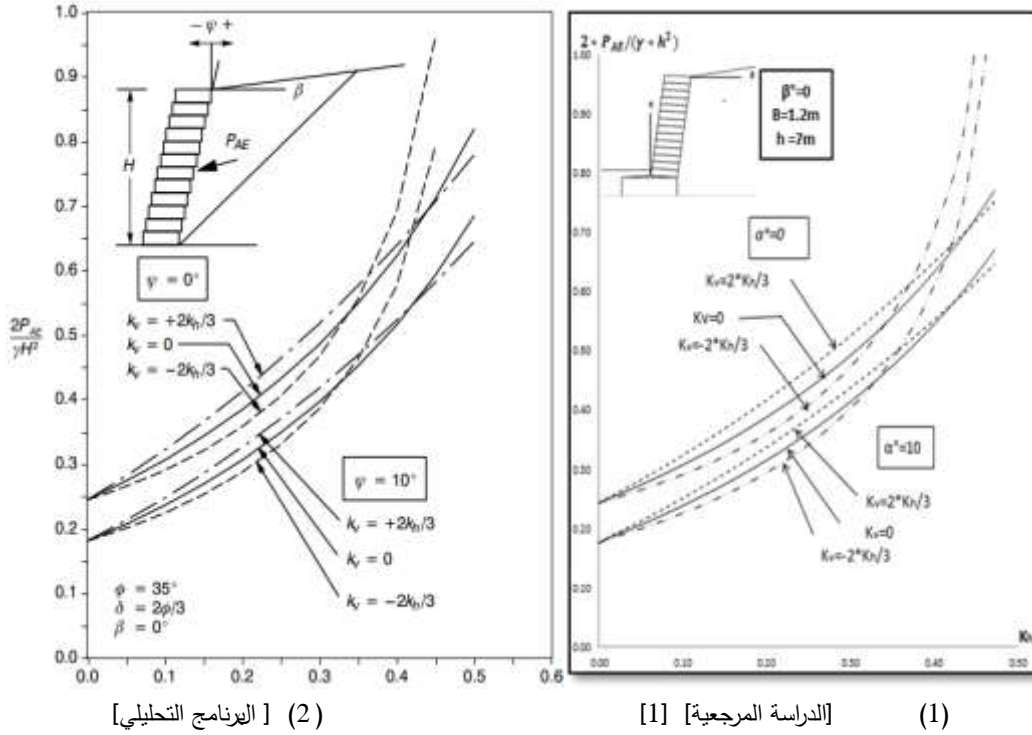
يعتمد البحث على المنهج التحليلي المقارن خلال المراحل التالية :

- تحليل و دراسة استقرار الجدران الاستنادية الحجرية البسيطة (غير المسلحة) تحت تأثير الأحمال الستاتيكية باستخدام الطريقة التحليلية من خلال برنامج هندسي تحليلي مصمم على (Excel) خاص بدراسة مثل هذه الجدران مع دراسة بارامترية لأهم العوامل المؤثرة .

- تحليل و دراسة استقرار الجدران الاستنادية الحجرية (غير المسلحة بالجيوجريد) تحت تأثير الأحمال السيسمية باستخدام الطريقة التحليلية شبه الستاتيكية مع دراسة بارامترية لأهم العوامل المؤثرة .

- لمحة عن البرنامج التحليلي:

يعتمد البرنامج طريقة التوازن الحدي لدراسة استقرار و ثبات الجدران الاستنادية الحجرية، ويستخدم نظرية كولومب لحساب معامل الدفع الجانبي  $(K_A)$  وقوة ضغط التربة الجانبي الفعال  $(P_a)$  في الحالة الستاتيكية، و طريقة مونونوبي أوكابي لحساب معامل الدفع الجانبي الزلزالي  $(K_{AE})$  وقوة ضغط التربة الديناميكية الكلية  $(P_{AE})$  في الحالة الزلزالية، و يتم التحقق من الاستقرار الداخلي عند كل فاصل من فواصل الحجارة من خلال حساب معاملات الامان على الانزلاق والانقلاب. كما تم معايرة هذا البرنامج من خلال الدراسات المرجعية حيث يظهر الشكل (4) تأثير معامل دفع التربة الأفقي الزلزالي  $(K_h)$  على قيمة غير بعدية لقوة ضغط التربة الفعال الكلي  $(\frac{2*P_{AE}}{\gamma*H^2})$ .



الشكل (4) مقارنة بين نتائج الدراسة المرجعية والبرنامج التحليلي

ان الجدران الاستنادية الحجرية (SRW) والمنفذة بالطريقة الجافة (بدون مواد رابطة بين الاحجار) تنتمي الى الجدران الاستنادية الثقيلة أي الجدران التي تعتمد على الوزن الذاتي في تأمين استقرارها الداخلي والخارجي . وأظهرت نتائج البحث أن الاستقرار الداخلي هو الحاسم في كل المجالات ولذلك سيتم التركيز على استقرار الجدران الحجرية الداخلي من خلال دراسة استقرار الجدار عند كل فاصل من الفواصل بين الحجارة المتتالية. الطريقة المستخدمة لدراسة الاستقرار هي طريقة التوازن الحدي والتي من خلالها نستطيع التحقق من الاستقرار الداخلي عن طريق التحقق من أن معامل الامان ضد الانزلاق و الانقلاب عند الفواصل المختلفة أكبر من معامل الامان المطلوب ، من اجل حالات التحميل المختلفة المدروسة :

-الحالة الستاتيكية (تحت تأثير الحمولات الدائمة - ضغط التربة و الوزن الذاتي للجدار ) .

-الحالة الزلزالية (الحمولات الدائمة والحمولات المؤقتة - ضغط التربة و حمولات حية سطحية خلف الجدار والوزن الذاتي للجدار).

سيتم حساب ضغط التربة الجانبي باستخدام معادلات كولومب وفي الحالة الزلزالية باستخدام معادلات (Mononobe-Okabe) وفق المعادلات التالية :

**الحالة الستاتيكية :**

معامل الدفع الجانبي [7] :

$$K_A = \frac{\cos^2(\phi + \alpha)}{\cos(\alpha - \delta) * \cos^2(\alpha) * \left[ 1 + \sqrt{\frac{\cos(\phi + \delta) * \cos(\phi - \beta)}{\cos(\alpha - \delta) * \cos(\alpha + \beta)}} \right]^2}$$

ضغط التربة الفعال للتربة غير المتماسكة:

$$P_a = 0.5 * \gamma * h^2 * K_A \quad (\text{kN/m})$$

الحالة الزلزالية:

حيث سيتم حساب الحمولات الزلزالية بالطريقة الستاتيكية المكافئة:

معامل الدفع الزلزالي الجانبي [7]:

$$K_{AE} = \frac{\cos^2(\phi + \alpha - \theta)}{\cos(\theta) * \cos^2(\alpha) * \left[ 1 + \sqrt{\frac{\sin(\phi + \delta) * \sin(\phi - \beta - \theta)}{\cos(\delta - \alpha + \theta) * \cos(\alpha + \beta)}} \right]^2}$$

$$\theta = \tan^{-1} \left( \frac{k_h}{1 \pm k_v} \right)$$

$\beta$ : زاوية ميل التربة خلف الجدار،  $\phi$ : زاوية الاحتكاك الداخلي،  $\alpha$ : زاوية ميل الجدار عن الشاقول

$\delta$ : زاوية الاحتكاك بين التربة و الجدار.

( $K_v$ ,  $K_h$ ): المعاملان الزلزاليان الأفقي و الشاقولي ويتم الحصول عليهما حسب الموقع من خلال خرائط

المخاطر الزلزالية حسب القيم المحتملة للتسارع الأرضي الأعظمي (PGA) وبما ان هذا النوع من الجدران الاستنادية يعتبر مرناً حيث يسمح بانتقالات محددة (في  $d=5 \text{ mm}$ ) وتجزير المواصفات [6] AASHTO حساب قيمة المعامل الزلزالي الأفقي من العلاقة التالية [4]:

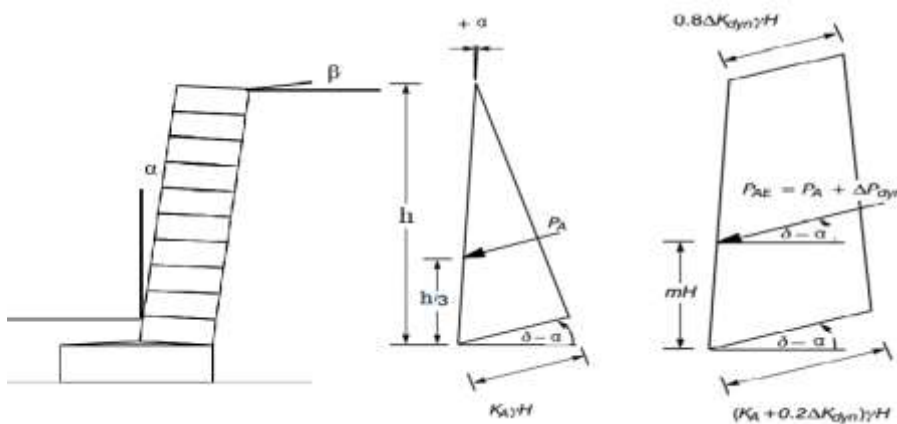
$$K_h = 0.74 * PGA * (0.0254 * PGA/d)^{0.25}$$

قوة ضغط التربة الفعال الكلي:

$$P_{AE} = 0.5 * K_{AE} * \gamma * h^2 * (1 + K_v)$$

ولكن لا بد من الإشارة أنه عند حساب ضغط التربة المؤثر عند كل فاصل من فواصل الحجارة يجب ايجاد

مساحة شبه المنحرف المبين في الشكل (4) فنكون مساحته هي قوة ضغط التربة الفعالة الكلية المؤثرة على هذا الفاصل. أما قيم ( $K_v$ ) فتتراوح قيمته بين ( $0 \sim \pm \frac{2}{3}$ ) وفي هذا البحث سيتم اعتماد قيمة ( $K_v = 0$ ) بسبب عدم التوافق بين المركبة الافقية و الشاقولية في أن معاً [1].



الشكل (5) مخطط توزيع ضغط التربة على الجدران الحجرية في الحالتين الستاتيكية والزلزالية [2].

حيث يوضح الشكل ( 5 ) توزيع ضغط التربة على الجدار في الحالة الستاتيكية و كذلك في الحالة الزلزالية والرموز المستخدمة في المعادلات. ثم يتم التحقق من الاستقرار الداخلي عند كل فاصل من فواصل الحجارة من خلال حساب معاملات الامان على الانزلاق والانقلاب كما يلي:

$$FS_s = \frac{N_i * f}{H_i} \leq FS_{s-min} \quad FS_o = \frac{M_{r,i}}{M_{o,i}} \leq FS_{o-min}$$

$FS_s$  : معامل الامان ضد الانزلاق .

$N_i$  : القوى المقاومة للانزلاق .

$f$  : معامل الاحتكاك .

$H_i$  : القوى المسببة للانزلاق .

$FS_o$  : معامل الامان ضد الانقلاب .

$M_{r,i}$  : عزوم القوى المقاومة للانقلاب .

$M_{o,i}$  : عزوم القوى المسببة للانقلاب .

إن عوامل الامان الأصغرية المعتمدة في هذه الدراسة هي حسب الكودات العالمية وهي (  $FSS=1.5$  ,  $FS_o=2$  ) للحالة الستاتيكية و (  $FSS=FS_o=1.1$  ) للحالة الزلزالية حيث تثبت هذه الكودات أن معاملات الامان في الحالة الزلزالية هي (75%) منها في الحالة الستاتيكية .

لحساب حمولات الوزن الذاتي للجدار تم اعتماد قيمة محددة  $\gamma_b (kN/m^3) = 22$  للوزن الحجمي لمادة الجدار وهي قيمة يمكن ان تكون متغيرة ضمن مجالات صغيرة حسب طريقة ومواد تصنيع هذه الحجارة من البيتون العادي. وتربة الردم خلف الجدار هي حسب المواصفات و الكودات يجب ان تكون تربة قابلة للردم وغير متماسكة و خواصها سيتم تثبيتها في هذا البحث لأنها أيضاً تتغير ضمن مجالات ضيقة نسبياً وهي موضحة في الجدول (1).

جدول (1): خواص تربة الردم و تربة التأسيس و المعاملات الزلزالية .

تربة الردم :		
$c_{fill} (KN/m^2) = 0$	$\phi_{fill} = 35^\circ$	$\gamma_{fill} (kN/m^3) = 19$
تربة التأسيس:		
$c_F (KN/m^2) = 0$	$\phi_F = 30^\circ$	$\gamma_F (kN/m^3) = 19$
الاساسات و القيم الزلزالية:		
$K_h = f(d, PGA)$	$K_v = 0$	$\gamma_F (kN/m^3) = 24$
الحمولة الاضافية:		
$q (kN/m^2) = 10$		

مادة أساس الجدار من البيتون العادي المصبوب في المكان أما تربة التأسيس فهي تربة قد تكون متغيرة الخواص ضمن مجالات واسعة حسب موقع التنفيذ وباعتبار ان الاستقرار الداخلي هو الحاسم هنا لذلك ليس هناك اهمية كبيرة لتربة التأسيس ويتم اعتماد القيم المبينة في الجدول (1) في هذا البحث.



المتغيرات التي سيتم دراستها في هذا البحث هي :

$\alpha$  : زاوية ميل الجدار عن الشاقول .

$\beta$  : زاوية ميل التربة خلف الجدار .

$K_v, K_h$  : المعاملان الزلزاليان الأفقي و الشاقولي.

t : مفتاح القص في الحجارة.

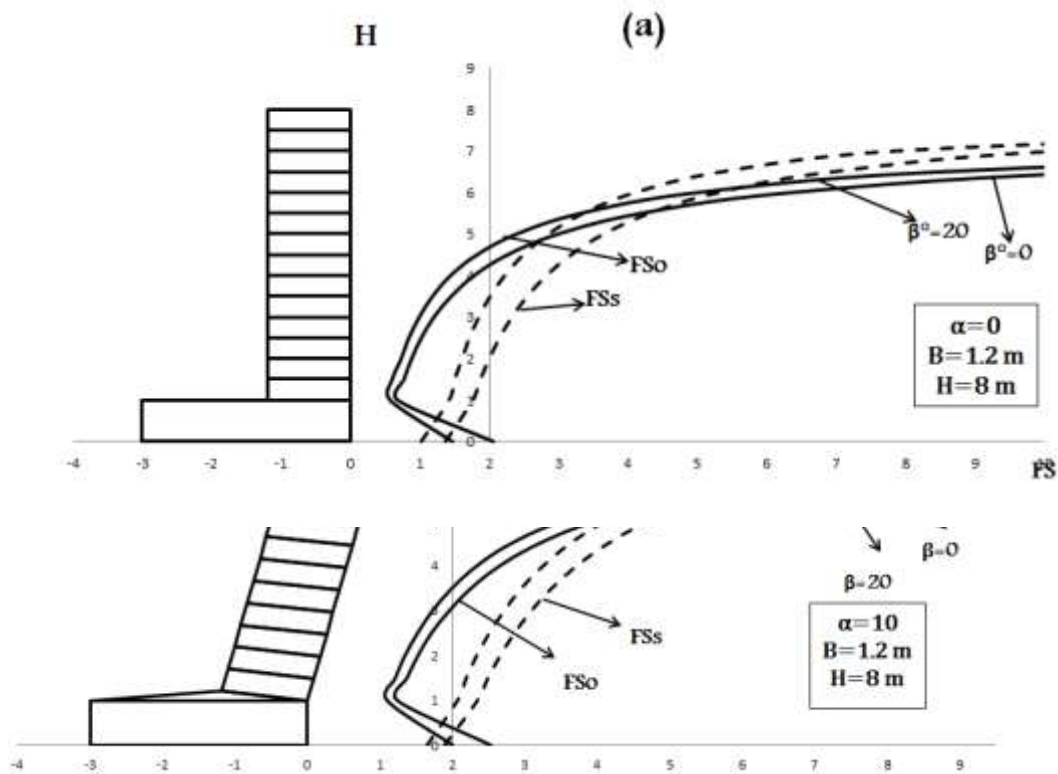
آلية عرض النتائج في هذا البحث تعتمد على التحقق من معاملات الأمان عند الفواصل المختلفة للحجارة وتحديد فاصل الحجر الأخطر و من ثم دراسة تأثير كل متغير من المتغيرات السابقة على ارتفاع الجدار (H) من أجل معامل الأمان الأصغري (FSmin) .

النتائج و المناقشة:

1-4- تحديد معامل الامان الحاسم:

• الحالة الستاتيكية :

المنحنيات الممثلة لتغير معاملا الأمان ضد الانزلاق والانتقال (FS0-FSs) عند سطوح الفواصل المختلفة (حجارة- حجارة ، أساس- تربة) لجدران استنادية حجرية تحت تأثير الحمولات الستاتيكية موضحة في الشكل (6)، و التي يتبين منها أن أصغر قيمة لمعاملي الامان يوافق فاصل الحجر السفلي، نلاحظ أيضاً أن معامل الأمان الحاسم هو معامل الأمان على الانقلاب حيث ستنم دراسة تأثير المتغيرات على قيمة معامل الامان ضد الانقلاب.

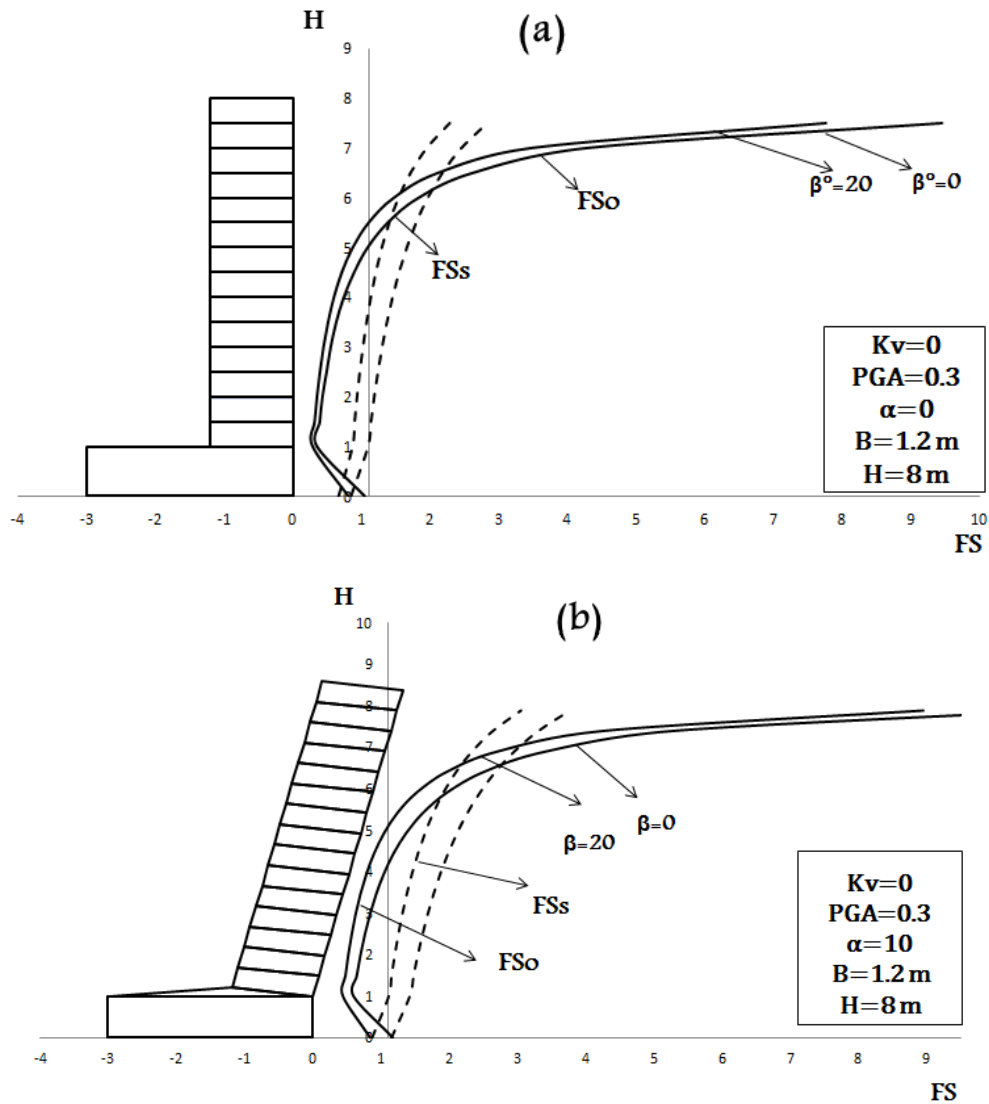


الشكل (6) منحنيات تغير قيم معاملات الامان على الانزلاق و الانقلاب عند الفواصل المختلفة للجدار في الحالة الستاتيكية من اجل قيمتين لزاوية ميل التربة خلف الجدار ( $\beta=0,20$ ).

كما يبين الشكل (6) أن زاوية ميل سطح الأرض خلف الجدار ( $\beta$ ) تؤدي إلى تخفيض قيمة معاملات الأمان وأن زيادة قيمة زاوية ميل الجدار على الشاقول ( $\alpha$ ) أدت إلى زيادة قيمة معاملات الأمان. ويمكن أرجاع سبب ذلك إلى أن زيادة الزاوية ( $\beta$ ) يؤدي لزيادة ضغط التربة الجانبي و بالتالي القوى المسببة للانزلاق و الانقلاب، في حين أن زيادة الزاوية ( $\alpha$ ) تؤدي إلى الإقلال من ضغط التربة الجانبي.

#### • الحالة الزلزالية :

كما في الحالة الستاتيكية فإن الشكل (7) يظهران مقارنة بين معاملي الأمان ضد الانزلاق والانقلاب ويظهر أن زيادة قيمة زاوية ميل الجدار عن الشاقول ( $\alpha$ ) تؤدي إلى زيادة قيمة معاملات الأمان وأن معامل الأمان الحاسم هو معامل الأمان ضد الانقلاب .

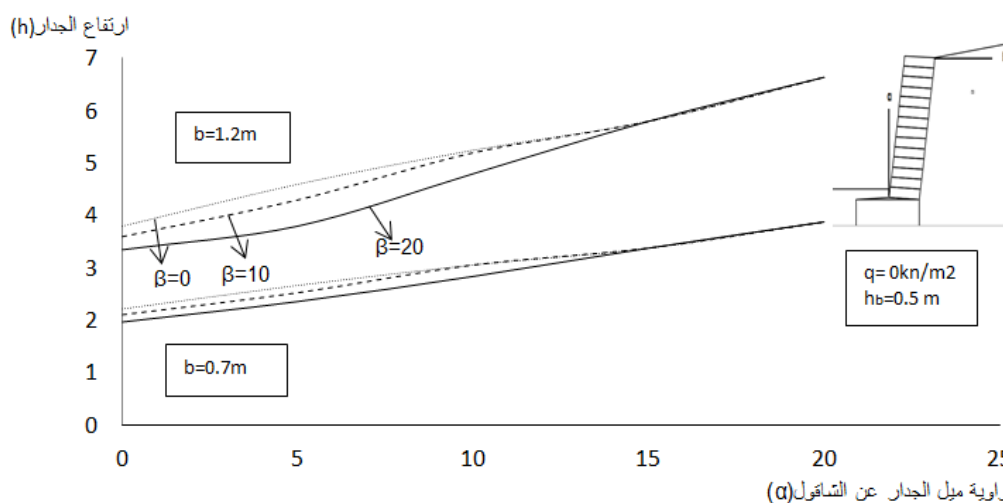


الشكل (7) منحنيات تغيير قيم معاملات الامان على الانزلاق و الانقلاب عند الفواصل المختلفة للجدار في الحالة الزلزالية من اجل قيمتين لزاوية ميل التربة خلف الجدار ( $\beta=0,20$ ).

#### 2-4 تأثير تغير زاوية ميل الجدار عن الشاقول ( $\alpha$ ):

##### • الحالة الستاتيكية :

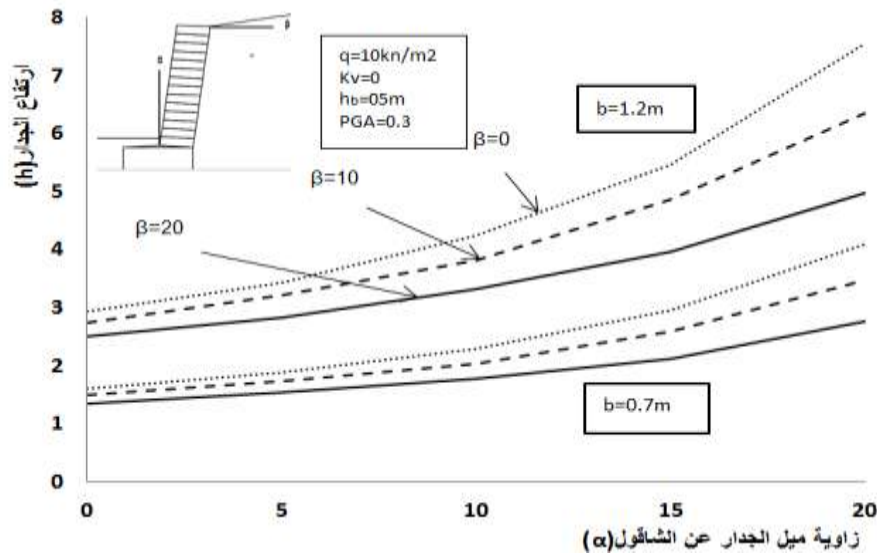
تؤثر زاوية ميل الجدار عن الشاقول ( $\alpha$ ) بشكل كبير على استقرار الجدران الاستنادية الحجرية وتعتبر من أكثر العوامل المؤثرة على ثباتها حيث تتراوح قيمة زاوية ميل الجدار عن الشاقول ( $\alpha=0-20^\circ$ ) في هذا النوع من الجدران. يظهر من خلال المنحنيات الممثلة في الشكل (8) من اجل قيمتين مختلفتين لعرض الجدار ( $b$ ) ان زاوية ميل الجدار عندما تغيرت من ( $0 \leftarrow 20^\circ$ ) أدت الى زيادة ارتفاع الجدار المحقق لمعامل أمان أصغري من اجل قيمة ثابتة لعرض الجدار بنسبة قد تصل الى (100%) تقريباً ، كما يظهر من المنحنيات أيضاً انه عندما تزيد قيمة ( $\alpha \geq 15^\circ$ ) يصبح تأثير تغير زاوية التربة خلف الجدار ( $\beta$ ) مهملًا .



الشكل(8) العلاقة بين زاوية ميل الجدار عن الشاقول ( $\alpha$ ) وارتفاع الجدار من اجل قيم مختلفة لزاوية ( $\beta$ ) من اجل معامل امان أصغري للحالة الستاتيكية

##### • الحالة الزلزالية ( ضغط التربة مع حمولات اضافية ):

يظهر من المنحنيات في الشكل (9) أن زيادة زاوية ميل الجدار ( $\alpha$ ) يؤدي الى زيادة ارتفاع الجدار بنسبة تتراوح بين (60-100)%، كما يظهر ان زيادة زاوية ميل التربة خلف الجدار ( $\beta$ ) تؤدي الى انخفاض في ارتفاع الجدار في الحالة الزلزالية ، كما أن تأثير الزاوية ( $\beta$ ) يزداد مع ازدياد قيمة الزاوية ( $\alpha$ ) .

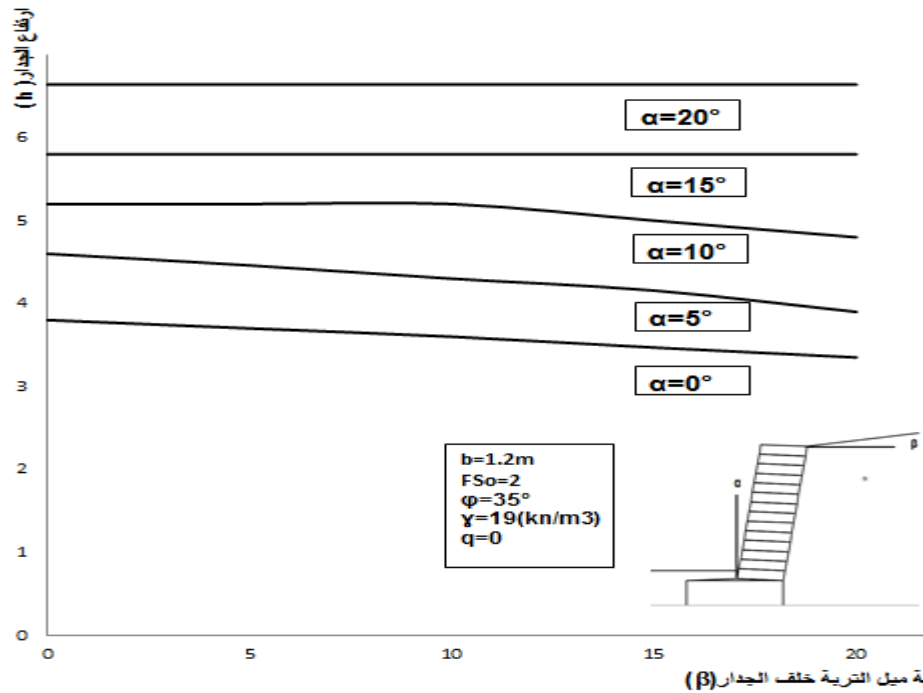


الشكل (9) العلاقة بين زاوية ميل الجدار عن الشاقول ( $\alpha$ ) و ارتفاع الجدار من اجل قيم مختلفة لزاوية ميل التربة خلف الجدار ( $\beta$ )، ومعامل امان أصغري ( $FS_{dyn}=1.1$ ) للحالة الديناميكية.

#### 3-4 تأثير تغير زاوية ميل التربة خلف الجدار ( $\beta$ ):

##### • الحالة الستاتيكية (ضغط التربة بدون حمولات اضافية):

يظهر من الشكل (10) ان تأثير تغير زاوية ميل التربة خلف الجدار ( $\beta$ ) يكون صغيراً في الحالة الستاتيكية فقد يؤدي الى انقاص ارتفاع الجدار بنسبة لا تتجاوز (10%) ، كما نلاحظ أن تأثير هذه الزاوية يصبح معدوماً عندما تصبح قيمة زاوية ميل الجدار عن الشاقول ( $\alpha \geq 15^\circ$ ) .



الشكل (10) العلاقة بين زاوية ميل التربة خلف الجدار ( $\beta$ ) و ارتفاع الجدار من اجل قيم مختلفة لزاوية ميل الجدار ( $\alpha$ ) من اجل معامل امان أصغري للحالة الستاتيكية

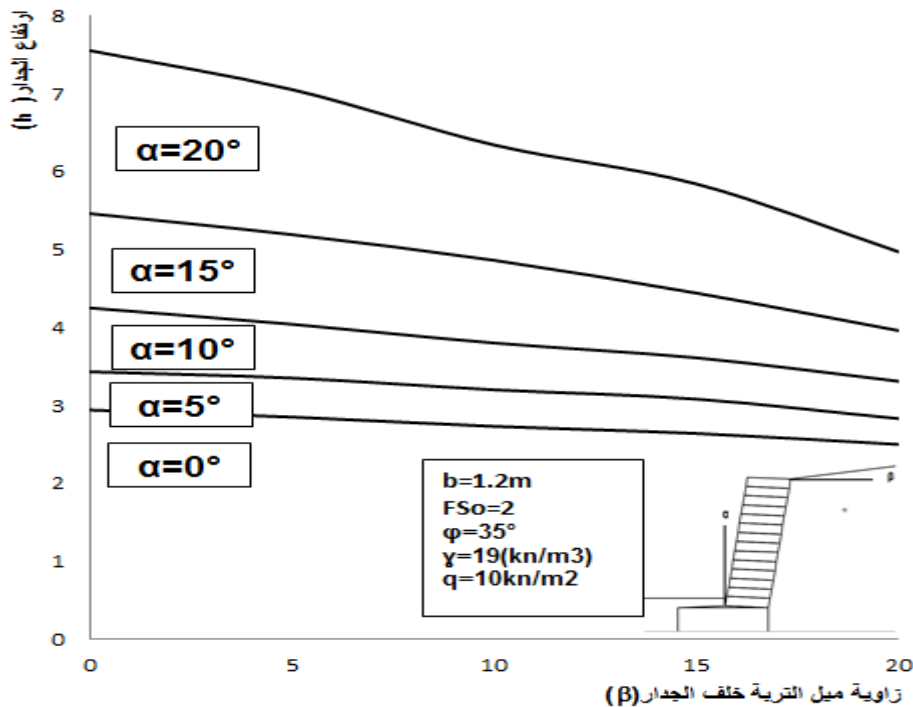
• الحالة الزلزالية (ضغط التربة مع حمولات اضافية):

يظهر الشكل (11) ان تأثير تغير زاوية ميل التربة خلف الجدار ( $\beta$ ) يكتسب اهمية كبيرة في حالة التحميل الزلزالي، حيث نلاحظ ان ارتفاع الجدار يتأثر بشكل كبير بقيمة الزاوية ( $\beta$ )، عندما تكون قيمة الزاوية ( $\alpha=20$ ) فان تأثير زاوية ميل التربة خلف الجدار كبير فقد تؤدي الى انخفاض في قيمة ارتفاع الجدار بنسبة تصل الى (33%) وكلما قلت قيمة ( $\alpha$ ) يصبح تأثير زاوية ميل التربة خلف الجدار أضعف كما يظهر في الشكل (11). كما يظهر من الشكل (12) أننا حصلنا على نفس النتيجة حيث أن تأثير قيمة زاوية ميل التربة خلف الجدار يصبح أكبر كلما زادت قيمة زاوية ميل الجدار عن الشاقولي ( $\alpha$ )، ويظهر الشكل (12) ان تأثير الزاوية ( $\beta$ ) يكون صغيراً عندما تكون قيمة الزاوية ( $\alpha=0$ )، كما يبين انه عندما تصبح قيمة معامل الدفع الزلزالي الاقوي ( $Kh$ ) قيمة كبيرة يصبح تأثير الزاويتين ( $\alpha, \beta$ ) مهملًا ولكن في سوريا قيمة ( $Kh \leq 0.25$ ) لهذه الجدران فنلاحظ من الشكل (12) ان تأثير الزاويتين يكتسب أهمية وذلك لابد من أخذهما بعين الاعتبار.

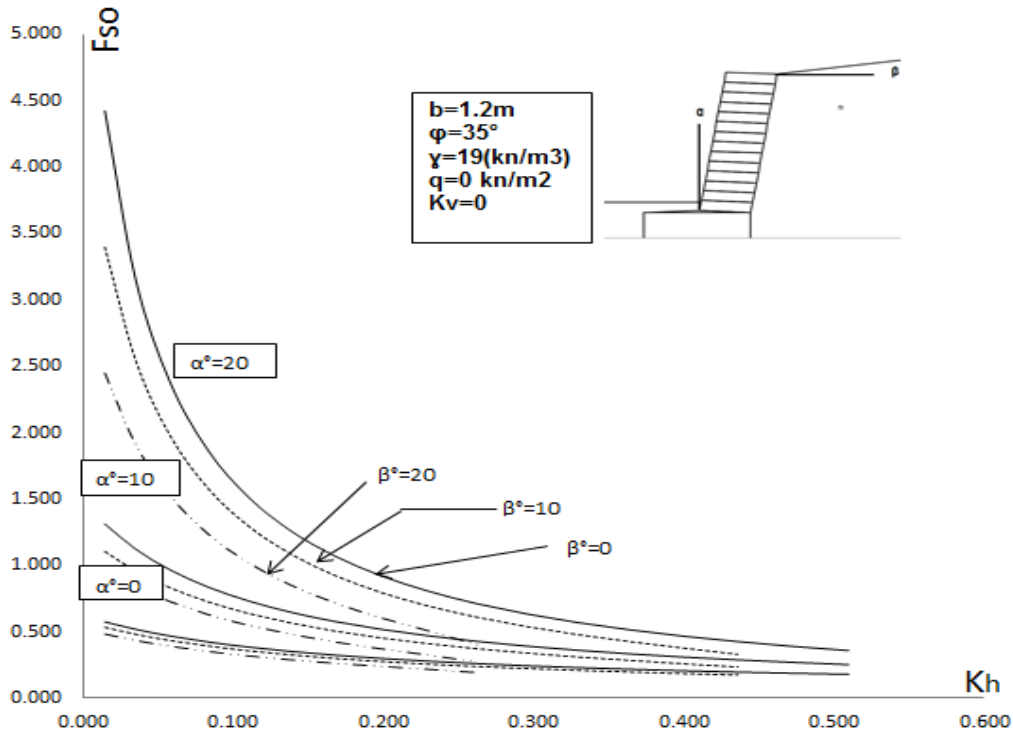
4-4 تأثير تغير معامل السيسمي الأفقي والشاقولي ( $K_h, K_v$ ):

يوضح الشكل (12) أنه مع زيادة قيم المعامل السيسمي ( $K_h$ ) فإن معامل الامان على استقرار الجدار ينخفض بشكل كبير بسبب زيادة القوى المسببة للانقلاب و الانزلاق و يكون هذا التأثير مختلف حسب بقية المتغيرات التصميمية للجدار.

التأثير المشترك للتسارعين الأفقي ( $ah$ ) والشاقولي ( $av$ ) على قيمة معامل الامان الحاسم و ذلك من اجل قيمتين لزاوية ميل الجدار ( $\alpha = 0, \alpha = 10$ )، وبافتراض قيم لمعاملي الدفع الجانبي الزلزالي ( $K_h, K_v$ ):

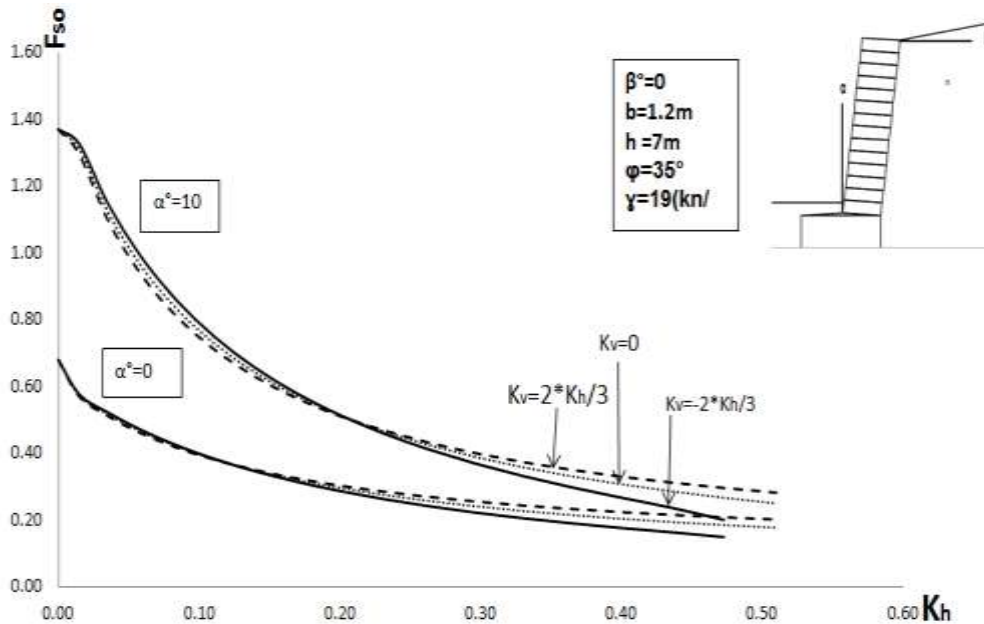
$$[ (K_h < 0.5) (K_v = \pm \frac{2}{3} K_h) (K_v = 0) ]$$


الشكل (11) العلاقة بين زاوية ميل التربة خلف الجدار ( $\beta$ ) و ارتفاع الجدار من اجل قيم مختلفة لزاوية ميل الجدار ( $\alpha$ )، ومعامل أمان أصغري ( $FSo(dyn)=1.1$ )



الشكل (12) العلاقة بين المعامل الزلزالي الافقي ( $K_h$ ) و معامل الأمان من أجل قيم مختلفة للزاوية ( $\beta$ ) و الزاوية ( $\alpha$ )

نجد من الشكل (13) أن تأثير المعامل الزلزالي الشاقولي يبدو صغيراً جداً على قيم معامل الأمان ( $F_{S0}$ ) ، كما يظهر انه من اجل قيمة ( $K_v = -\frac{2}{3} K_h$ ) فقد انخفضت قيمة معامل الامان بمقدار (4 %) فقط مقارنة مع ( $K_v = 0$ ). وجد ايضاً أن تأثير الزاوية ( $\alpha$ ) على معامل الامان ( $F_{S0}$ ) يعتبر ذو اهمية كبيرة مقارنة مع قيمة ( $K_v$ ) .

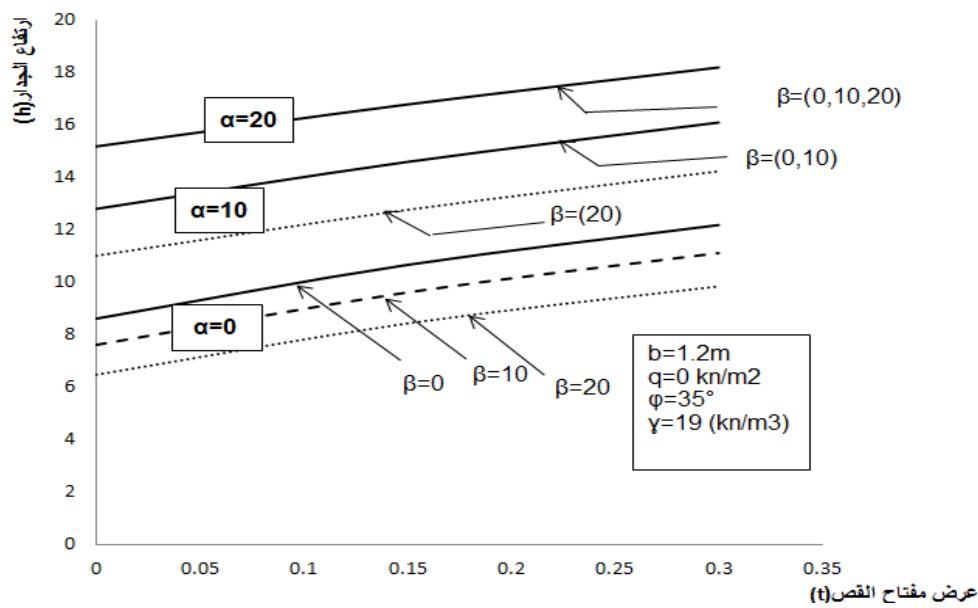


الشكل (13) العلاقة بين المعامل الزلزالي الافقي ( $K_h$ ) ومعامل الامان بدلالة ( $K_v$ ) .

#### 5-4 تأثير وجود مفతاح قص بين الحجارة (Shear Key):

##### • الحالة الستاتيكية (ضغط التربة بدون حملات اضافية):

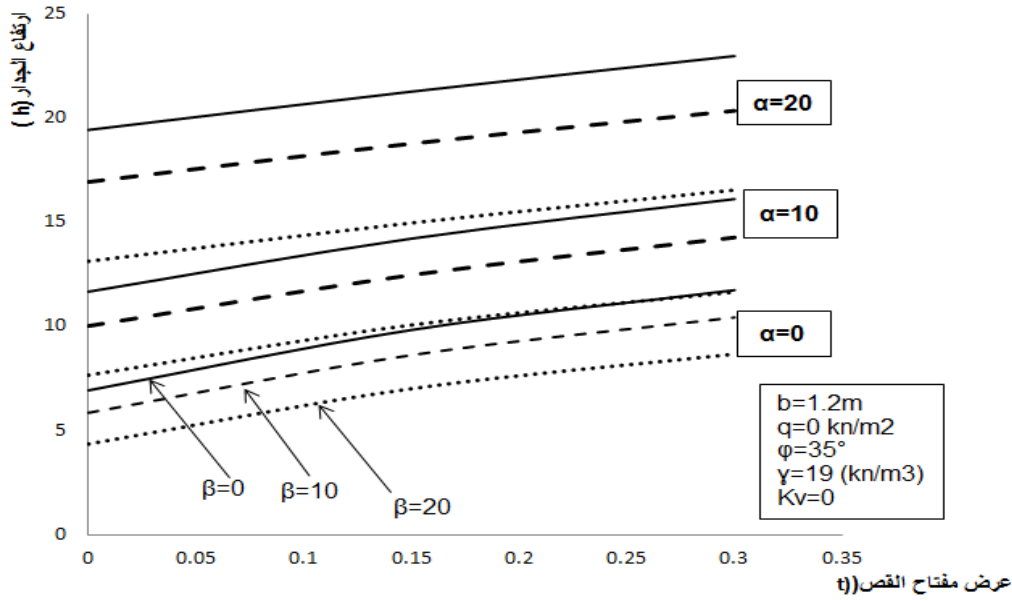
يظهر الشكل (14) مقدار تأثير وجود مفتاح قص على ارتفاع الجدران الاستنادية الحجرية حيث تم تثبيت قيمة عرض الجدار ( $b=1.2m$ ) ، و يظهر أن استخدام مفتاح بيتوني بسماكة (30cm) أدت الى زيادة ارتفاع الجدار الاستنادي بنسبة تصل الى (50%) وكلما ازدادت قيمة زاوية ميل الجدار عن الشاقول قلت هذه النسبة ، نجد من المخطط أنه من أجل جدار استنادي ارتفاعه ( $h=6m$ ) وعرض حجارته ( $b=1.2m$ ) يكون الجدار مستقر ضد الانزلاق من أجل معامل أمان ( $FSS=1.5$ ) ويمكننا استخدام نفس الحجارة بعرض ( $b=1.2m$ ) من أجل جدار ارتفاعه ( $h=9m$ ) شرط ان نستخدم مفتاح قص عرضه (30cm) من أجل نفس القيمة لمعامل الامان ( $FSS=1.5$ ) علماً ان عرض مفتاح القص يجب ان لا تزيد قيمته عن ثلث عرض حجارة الجدار (b).



الشكل (14) العلاقة بين عرض مفتاح القص (t) و ارتفاع الجدار من اجل عرض حجارة ثابت ومعامل أمان أصغري ( $FSS=1.5$ )

##### • الحالة الزلزالية (ضغط التربة مع حملات اضافية):

يظهر الشكل (15) مقدار تأثير وجود مفتاح قص على ارتفاع الجدران الاستنادية الحجرية حيث تم تثبيت قيمة عرض الجدار ( $b=1.2m$ ) ، إن استخدام مفتاح بيتوني بسماكة (30cm) أدت الى زيادة ارتفاع الجدار الاستنادي بنسبة تتراوح بين (40-90%) وكلما ازدادت قيمة زاوية ميل الجدار عن الشاقول ( $\alpha$ ) قلت هذه النسبة علماً أن عرض مفاتيح القص يجب أن لا تتجاوز ثلث عرض حجارة هذه الجدران (b). يمكن القول ان استخدام مفاتيح القص في مثل هذا النوع من الجدران الاستنادية يساهم بشكل كبير في استقرارها.



الشكل (15) العلاقة بين عرض مفتاح القص (t) و ارتفاع الجدار من اجل عرض حجارة ثابت ومعامل أمان أصغري (FSS=1.1)

### الاستنتاجات والتوصيات

- 1- ان معامل الامان الحاسم في الاستقرار الداخلي للجدران الاستنادية الحجرية المصنعة هو معامل الامان ضد الانقلاب، و يكون الفاصل الحاسم عند سطح التماس الفاصل لأول حجرة.
- 2- إن تأثير زيادة زاوية ميل الجدار عن الشاقول ( $\alpha$ ) تلعب دوراً هاماً في استقرار هذه الجدران حيث تعتبر من أهم العوامل التي تساعد على استقرار هذه الجدران.
- 3- إن تأثير زيادة زاوية ميل التربة خلف الجدار ( $\beta$ ) يكون سلبياً على استقرار الجدران و يؤدي إلى تقليل معاملات الأمان و لكن في الحالة الستاتيكية يكون هذا التأثير مهماً من أجل ( $\alpha \geq 15^\circ$ ) و تأثير صغير من أجل قيم أصغر. أما في حالة التحميل الزلزالي فيكون تأثيرها هاماً و واضحاً في تخفيض استقرار الجدار.
- 4- إن تأثير المعامل السيسمي الأفقي ( $K_h$ ) كبير نسبياً على معاملات امان و استقرار الجدار بالمقارنة مع تأثير معامل الدفع الزلزالي الشاقولي (Kv) الذي يعتبر مهماً.
- 5- وجود مفاتيح قص في هذه الجدران يؤدي الى زيادة واضحة في الاستقرار الداخلي لهذه الجدران .

### التوصيات و الأبحاث المستقبلية :

- 1 - يوصى باعطاء اهتمام أكبر لاستخدام الجدران الاستنادية الحجرية المصنعة على نطاق واسع لأنها منشآت اقتصادية وسهلة التنفيذ و صديقة للبيئة.
- 2 يوصى باجراء المزيد من الأبحاث مستقبلاً من خلال موديلات تجريبية على الجدران الاستنادية الحجرية.
- 3 يوصى باجراء المزيد من الأبحاث مستقبلاً على الجدران الاستنادية الحجرية باستخدام طرق تحليل أخرى مثل طرق التحليل العددي و الستاتيكي و الديناميكي.



### المراجع :

- [1] BATHURST,R.J ; CAI, Z. *Pseudo – Static Seismic Analyses of Geosynthetic - Reinforced Segmental Retaining Wall*. Geosynthetics International, Vol.2, No.5,1995, pp.787-830.
- [2] SAM M. B; HELWANY. M; BUDHU, and DAVID McCALLEN. *Seismic Analysis of Segmental Retaining Walls*.2001
- [3] RICHARD BATHURST. *SRW's and geosynthetic reinforcements have revolutionized Civil Engineering for earth retaining structures*.1999
- [4] ALLAN BLOCK CORPORATION. *AB Engineering Manual*. 2008.2011.  
<<http://www.allan.com>>
- [5] BATHURST.R. J.; HATAMI. K. ; ALFARO M. C. *Geosynthetic – reinforced soil and slopes – seismic aspects*.
- [6] AASHTO INTERIMS. *Standard specifications for highway bridges*. American Association of State Highway and Transportation Official, Washington, DC,USA,1998.
- [7] SIMAC, M.R.; BATHURST, R.J.; BERG, R.R.; LOTHSPREICH, S.E.*Design Manual for Segmental Retaining Walls (Modular Concrete Block Retaining Wall Systems)* .First Edition. National Concrete Masonry Association (NCMA), Herndon, VA, USA,1993, 250.