

جامعة دمشق

المعهد العالي للبحوث و الدراسات الزلزالية

قسم الهندسة الجيوتكنيكية الزلزالية

الدراسة التحليلية للأداء الزلزالي المتبادل لجملة سد ترابي مع جدار كتامة على كامل ارتفاعه

Analytical study of seismic performance of an earth-fill dam

With slurry wall along its height

دراسة أعدت كجزء من متطلبات درجة الماجستير في الهندسة الجيوتكنيكية الزلزالية

إعداد: المهندس مضر دنيا

إشراف: الدكتور المهندس طلال عواد

الدراسة التحليلية للأداء الزلزالي المتبادل لجملة سد ترابي مع جدار كتامة على كامل ارتفاعه

Analytical study of seismic performance of an earth-fill dam With slurry wall along its height

دراسة أعدت كجزء من متطلبات درجة الماجستير في الهندسة الجيوتكنيكية الزلزالية

إعداد: المهندس مضر دنيا

إشراف: الدكتور المهندس طلال عواد

لجنة الحكم:

الدكتور طلال عواد الأستاذ المساعد في قسم الهندسة الجيوتكنيكية كلية الهندسة المدنية

جامعة دمشق الاختصاص: ميكانيك التربة و الأساسات عضوا مشرفا.

الدكتور ابراهيم حمود الأستاذ المساعد في قسم الهندسة الجيوتكنيكية كلية الهندسة المدنية

جامعة دمشق الاختصاص: ميكانيك التربة و الأساسات عضوا.

الدكتور عبد الرحمن المنصوري المدرس في قسم الهندسة الجيوتكنيكية كلية الهندسة المدنية

جامعة دمشق الاختصاص: ميكانيك التربة و الأساسات عضوا.

Acknowledgment

I would like to express my gratitude to my supervisor Dr. TalalAwwad for the useful comments, remarks and engagement through the learning process of this master thesis.

Furthermore I would like to thank the Dean of HIESR (The higher institute of earthquake studies and researchs- Damascus university) and all the professors for introducing me to the required topics, for providing the needed tools as well for the support on the way.

I would like to thank my family especially my mother, who have supported me throughout entire process, both by keeping me harmonious and helping me putting pieces together. I will be grateful forever for your love.

جدول المحتويات

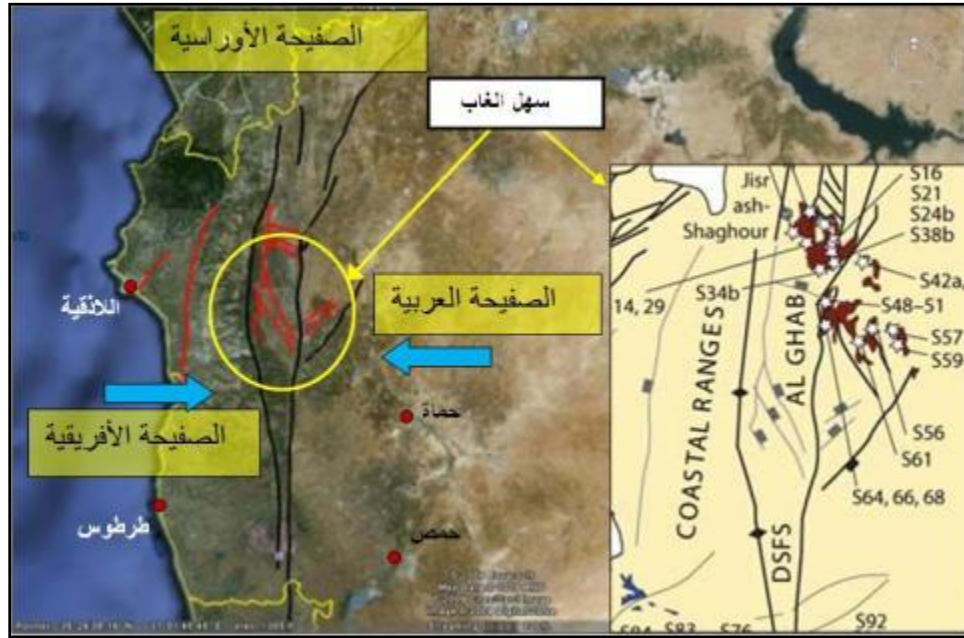
4	مقدمة
7	سرد المصطلحات:
8	الفصل الأول: هدف ومخطط البحث
8	1.1 مشكلة البحث:
	2.1 أهمية البحث: 9
	3.1 فرضية البحث: 9
	4.1 أهداف البحث: 10
	5.1 خطة البحث: 10
10	1.5.1 مصادر البيانات:
10	2.5.1 منهجية البحث وخطواته:
	6.1 حدود الدراسة: 12
13	الفصل الثاني: الدراسة المرجعية
14	1.2 الدراسات والتنتائج السابقة
41	2.2 الإطار النظري والمفاهيم:
43	الفصل الثالث: الدراسة المعيارية
44	1.3 الشروط الحدية:
46	2.3 البرنامج المستخدم في الدراسة:
47	3.3 نموذج المعايير المدروس والدراسة التحليلية:
50	4.3 نتائج الدراسة المعيارية:
55	الفصل الرابع: الدراسة التحليلية
56	1.4 دراسة وتحليل الوضع الراهن للسدود وتحديد تأثير الوضع اليتول وجعلها مستقر السدود الديناميكي (تأثير الموقع).
56	1.1.4 دراسة تأثير تغير عمق طبقة الأساسات ذات معامل نفوذ ذية العال على استقرار السدود ستاتيكيًا.
71	2.1.4 دراسة تأثير تغير عمق طبقة الأساسات ذات معامل نفوذ ذية العال على استقرار السدود ديناميكيًا.
82	2.4 دراسة السدود مع وجود جدار الكتامة
82	1.2.4 مواصفات مواد إنشاء جدار الكتامة
84	2.2.4 مواصفات السطح الفاصل بين جدار الكتامة والترية المحيطة (Interface)
87	3.2.4 دراسة الاستجابة للزلازل لجملة السدود جدار الكتامة.
96	الفصل الخامس: النتائج والتوصيات
96	1.5 النتائج والتوصيات:
97	2.5 البارامترات التصميمية
99	الفصل السادس: المراجع
99	6. المراجع:

مقدمة

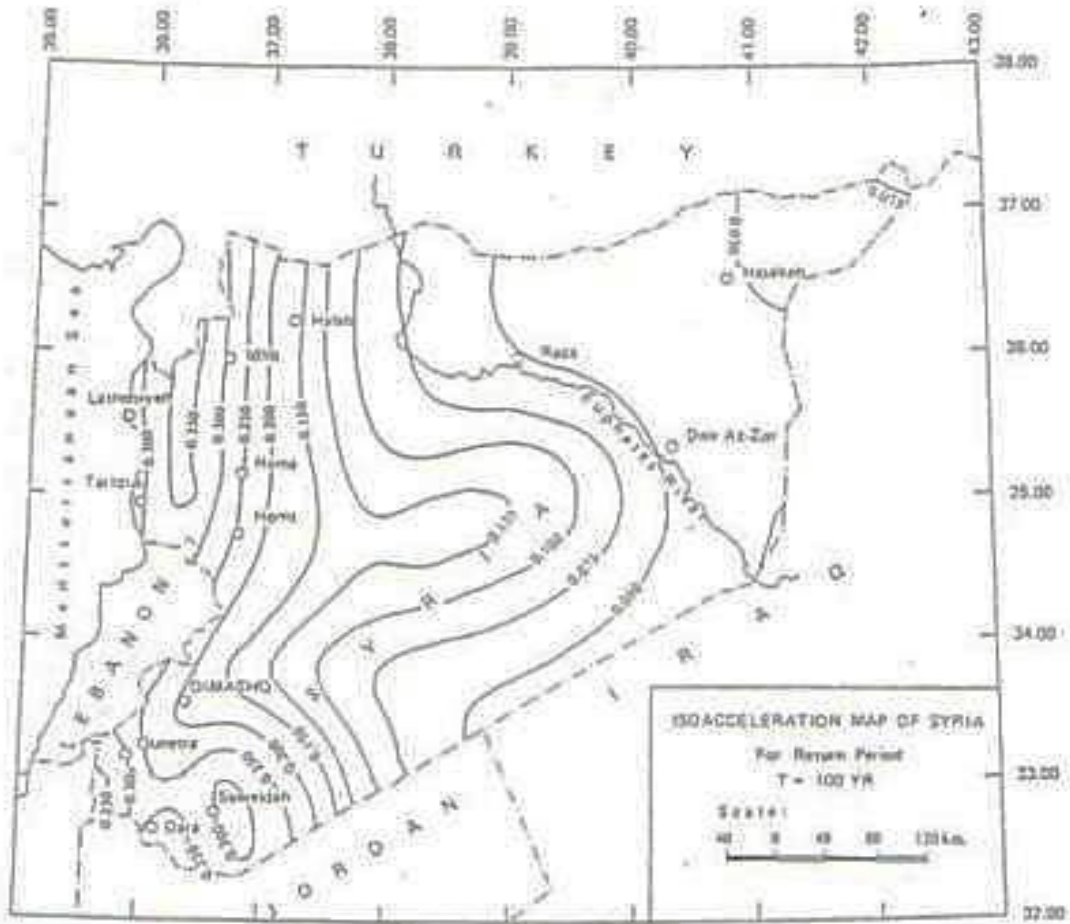
تتعدد أنماط السدود المنشأة في سوريا من حيث التصميم وطريقة الإنشاء , و تختلف من السدود الترابية المتجانسة إلى السدود الركامية أو الترابية ذات النواة الكتيمة . حيث أن مواد الإنشاء المستخدمة لتأمين

كتامة النواة هي الغضار و ذلك بسبب توافر و رخص هذه المادة . إن استخدام الغضار باعتباره المادة الأولية لتأمين كتامة السدود له بعض المساوي نتيجة لسوء التنفيذ من حيث رص و ترطيب الغضار أو لأسباب تصميمية من ناحية اختيار المقالع و حزمة التركيب الحبي أو لوجود خلل في الفلاتر أو المصارف .

كما أن الظروف الجيوتكنيكية و الجيولوجية للموقع المختار لإقامة السد و الهبوطات الحاصلة في جسم السد مع الزمن بالإضافة إلى وجود المنشآت الخرسانية الصلبة فيه قد يؤدي إلى تراجع في الوظيفة الأساسية للسد و هي تأمين الكتامة التصميمية اللازمة . لذلك فقد طور الباحثون العديد من الطرق لمعالجة التدهور الحاصل في مواصفات الكتامة كإنشاء تغطية من البلاطات البيتو رنية أو الإسفلتية على الوجه الأمامي للسد أو جدار كتامة ضمن نواة السد ينفذ غالبا من البيتون أو البنتونايت و بعدة خلطات مختلفة . على الرغم من أن الوظيفة الأساسية لجدران الكتامة هي ضبط الرشوحات و تأمين كتامة السدود إلا أن وجود مادتين مختلفتي القساوة ضمن جسم السد طرح العديد من التساؤلات حول السلوك الديناميكي المتبادل لهاتين المادتين تحت الشروط الزلزالية خاصة في الدول و المناطق النشطة زلزاليا و منها سوريا التي تقع على حافة التصادم القاري بين الصفيحة العربية و الصفيحة الأوراسية و الصفيحة الأفريقية . يمتد على الأطراف الشمالية لسوريا الفالق الأناضولي الشرقي و الذي يتصل بنظام فالق البحر الميت , و هذا الفالق هو فالق عكسي نشط ناتج عن الاختلاف بين حركة الصفائح باتجاه الشمال و التي شكلت في الماضي فتحة البحر الميت .



الشكل(1): التصادم القاري بين الصفيحة العربية و الصفيحة الأوراسية و الصفيحة الأفريقية, (Google earth)



الشكل(2):خريطة خطوط تساوي التسارع الزلزالي الأعظمي , (المؤسسة العامة للجيولوجيا و الثروة المعدنية)

كما بينت خريطة خطوط تساوي التسارع الزلزالي الأعظمي , المعدة من قبل المؤسسة العامة للجيولوجيا و الثروة المعدنية , أن المنطقة الشمالية الغربية من سوريا و هي موقع الحالة موضوع هذا البحث , هي ذات تسارع زلزالي أعظمي يتراوح بين 0.1g و 0.3g من اجل زمن عائد يتراوح بين 50 إلى 100 عام, لذلك تم اختيار الشروط الزلزالية لهذه المنطقة إضافة لأن معظم السدود في سوريا قد تم انشاؤها في هذه المنطقة.

سرد المصطلحات:

- فيما يلي جدول ببعض المصطلحات و الرموز المستخدمة في الدراسة و ما يقابلها باللغة الإنكليزية.
- Steady state flow الجريان المستقر .
 - Plane strain (soil is confined along the long axis of the footing) التشوهات النسبية المستوية.
 - Grid and radius طريقة الشبكة و أنصاف الأقطار لتحديد سطوح الانزلاق .
 - finite elements العناصر المحدودة
 - elasto-plastic السلوك المرن-اللدن للمادة
 - elastic- linear. السلوك المرن-الخطي للمادة
 - equivalent-linear analysis. التحليل المكافئ الخطي
 - pore-water pressure ضغط الماء المسامي.
 - consolidation الانضغاطية .
 - excess pore-water pressure ضغط الماء المسامي الزائد
 - infinite element العناصر غير المحدودة
 - K coefficient of permeability m/sec معامل النفاذية
 - E modulus of elasticity Kpa معامل المرونة
 - C cohesion Kpa التماسك
 - ϕ friction angle زاوية الاحتكاك الداخلي
 - Poisson ratio ν معامل بواسون
 - Dilatation angle ψ زاوية التمدد
 - total unit weight γ KN/m³ الوزن الحجمي الكلي
 - damping ratio ξ عامل التخماد
 - Ip plasticity index قرينة اللدونة
 - Gmax maximum shear modulus Kpa معامل القص الأقصى
 - Bentonite البنتونايت , غضار يتكون بشكل أساسي من المونتي موريللونيت و هي جزيئات ناعمة جدا.
 - Bentonite cake هي الطبقة المتكونة من التربة و البنتونايت على جدران السبور المحفورة باستخدام سائل حقن من البنتونايت.
 - Slurry Walls تقنية لبناء جدران تتكون من مواد مختلفو ذلك ضمن التربة الرخوة
 - levee حاجز ترابي او جدار يتم انشاؤه على ضفة النهر لدرء فيضانات الأنهار
 - SCB(Soil –Cement –Bentonite), خلطة جدار كتامة من التربة و الاسمنت و البنتونايت.
 - Surveillance duration المدة المتعلقة بالتسارع بالسائد للهزة الزلزالية.

الفصل الأول: هدف و مخطط البحث

1.1 مشكلة البحث:

لم يتم إجراء الدراسات الكافية على استخدام جدار الكتامة ضمن نواة السد , بسبب قلة اعتماد هذه الطريقة في التكتيم . حيث أن وضع مادة مختلفة القساوة ضمن جسم السد و الذي له خاصية تضخيم من حيث الاستجابة الزلزالية بسبب شكله الهندسي , قد يؤدي إلى سلوك زلزالي مجهول و غير معروف النتائج . حيث تبقى كل الدراسات و الحلول المقدمة سابقا خارج نطاق أي دراسة للسلوك الزلزالي لجدار الكتامة ضمن جسم السد , وهو الهدف الأساسي لهذا البحث الذي يركز على ماهية تأثير استخدام جدار كتامة داخل النواة على السلوك المتبادل لجملة (السد-الجدار).

2.1 أهمية البحث:

لقد أثرت العديد من التساؤلات بخصوص مقترح إحدى الشركات الأجنبية الدارسة بتاريخ 2006 لإعادة تقييم و تأهيل سد زيزون الذي انهار في عام 2002, يستند هذا المقترح على إقامة جدار كتامة من البنتونايت ضمن الأجزاء الغير المنهارة من جسم السد و في نواته بطريقة الآبار المتداخلة , لتأمين الكتامة التصميمية لهذه النواة بعد أن بينت دراسة العينات المستخرجة منها ان كتامتها هي اقل من الكتامة المطلوبة . إن هذه التساؤلات قد نشأت عن مخاوف من سلوك جدار البنتونايت داخل جسم السد في الحالة الستاتيكية و الزلزالية خصوصا و ان المنطقة المدروسة تقع في سهل الغاب في المنطقة الشمالية الغربية من الجمهورية العربية السورية.

الحالة الثانية لاستخدام جدار كتامة البنتونايت هي في سد كودنة الواقع في المنطقة الجنوبية حيث تمت الاستعاضة به مؤخرا عن الحل الأولي الخاص باستخدام البلاطات الإسفلتية على الوجه الأمامي للسد و ذلك بسبب انخفاض كلفته الاقتصادية , لكن لم يبدأ تنفيذه بعد.

3.1 فرضية البحث:

إن اختلاف كل من قساوتي مادتي الجدار و نواة السد ستؤدي إلى اهتزاز كل منهما بطورين مختلفين و نشوء فروقات في الإجهادات و الانتقالات مما قد ينعكس سلبا على استقرار السد بالإضافة إلى أن دور الشكل الهندسي للسد في تضخيم الاستجابة الزلزالية , يمكن أن يؤدي إلى زيادة الإجهادات الضاغطة في جدار الكتامة و الإجهادات الشادة فيه . و بالتالي تجاوز مقاومة الضغط للخلطات المستخدمة لتنفيذ جدار الكتامة و المعتمدة في الحلول الهندسية الأخرى (ستارة مانعة للرشح في أساس السد – جدار كتامة لرفع منسوب المياه الجوفية – جدار كتامة لسواتر درء الفيضان على ضفاف الأنهار) . و احتمال نشوء تشققات في الجدار تؤثر سلبا على وظيفته في تحقيق الكتامة .

4.1 أهداف البحث:

يقوم البحث على إجراء تحليل استاتيكيو ديناميكي , يتمنخلالهدراسةالتالي :

- تأثير الأداء الزلزالي المشترك لجملة (السد – الجدار)
علالانتقالاتوهبوطاتالمتكونةفيكلمنجدار الكتامةوجسمالسد.
- تأثير وجود جدار الكتامة عللاستقرار السد فيالشروطالزلزالية.
- تأثير الأداء الزلزالي لجملة (السد – الجدار)
علنتكوناجهاداتالشدفي مادة الجدار والنتيقتؤثر علوظيفتهاالأساسيةكجداركتامة .
- تأثير الفروقات فيالإجهاداتوالانتقالاتللجملة المدروسة علنتشكلاتتشقاتبينالمادتينخصوصافيحالةالاستجابة فيطورينمختلفين .
- تأثير السلوكالزلزالي لجملة (السد-الجدار)
علنإجهادالضغطالمطبعلعلاجدار واللازم لتحديد مقاومة الضغط المطلوببأنتصلإليهاخلطةموادإنشائه وبالتالي تحديدمدىكفايةالخطاتالمعمدةفيتنفيذجرانالكتامةللحلولالهندسيةالأخرى (حيثتختلفنالكالخطاتمنأحياتركيبتها , تربة- بنتونايت , اسمنت-بنتونايت , تربة-اسمنت- بنتونايت . ومنأحياتنسبة , الاسمنت- الماء . كماختلفمنحيثالكتامةومقاومتهاللضغطوالشد) .

5.1 خطة البحث:

1.5.1 مصادر البيانات:

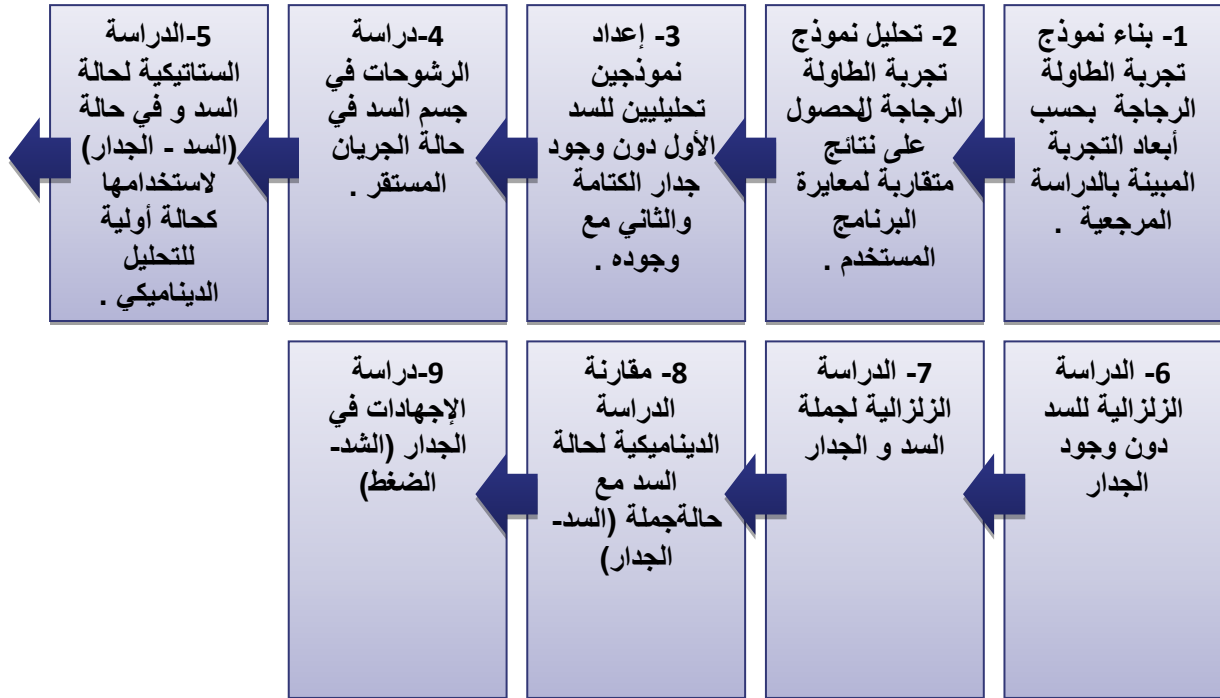
- الإضبارةالتصميمية لإعادةتأهيلسدزيزون[2].
- تجربةالطاولةالرجاجة[16].
- بيانانتنتائجالدراسةالتحليلية .
- بيانانتنتائجتجار بمقاومةالضغطلعيناتالخطاتالمدروسة[3] , [24] , [27] , [32] , [38].

2.5.1 منهجية البحث وخطواته:

يعتمد البحث على إجراء دراسة تحليلية رقمية لدراسة السلوك الديناميكي المتبادل لجملة (سد-جدار كتامة) ومن ثم استنتاج مقاومة الضغط الاعظمية المطبقة على الجدار و مقارنتها بتلك التي تم الحصول عليها من نتائج تجارب الأبحاث السابقة لتقدير قابلية استخدامها في الحالة موضوع البحث. و يتم ذلك عن طريق إتباع الخطوات التالية:

- 1- بناء نموذج تجربة الطاولة الرجاجة بحسب أبعاد التجربة المبينة بالدراسة المرجعية [16].
- 2- تحليل نموذج تجربة الطاولة الرجاجة للحصول على نتائج متقاربة لمعايرة البرنامج المستخدم .

- 3- معالجة الهزة الزلزالية المطبقة في الدراسة المرجعية [16] بحيث تتناسب مع الظروف المحلية.
- 4- إعداد نموذجين تحليليين للسد ,الأول دون وجود جدار الكتامة والثاني مع وجوده .
- 5- دراسة الرشوحات في جسم السد في حالة الجريان المستقر.
- 6- الدراسة الستاتيكية للإجهادات و الانتقالات في حالة السد و في حالة (السد - الجدار) لاستخدامها كحالة أولية للتحليل الديناميكي .
- 7- الدراسة الزلزالية للسد دون وجود الجدار من حيث الانتقالات , السرعة, التسارعات , الهبوطات, الاستقرار.
- 8- الدراسة الزلزالية لجملة السد و الجدار من حيث الانتقالات , السرعة, التسارعات , الهبوطات, الاستقرار.
- 9-مقارنة الدراسة الديناميكية لحالة السد مع حالةجملة (السد- الجدار) من حيث الأداء الزلزالي للسد و الاستقرار.
- 10-دراسة الإجهادات في الجدار (الشد-الضغط) و مقارنتها بمقاومة الشد والضغط الأعظمية للخلطات الواردة في المراجع.



6.1 حدود الدراسة:

- السدود الترابية ذات النواة الغضارية بارتفاع أعظمي 39m .
- السدود المنشأة على ترب غضارية بسماكة فوق الأساس الصخري لا تتجاوز 44m .
- السدود المقامة على أساسات من الترب الغضارية المشبعة
- السدود المقامة في مناطق زلزالية لا تتجاوز ذروة تسارعها الزلزالي قيمة 0.3g.
- جدران الكتامة التي تتكون مواد إنشاؤها من خلطات البنتونايتو التي يتم انشاؤها بطريقة الآبار المتداخلة بسماكة لا تزيد عن 60 cm.

الفصل الثاني: الدراسة المرجعية

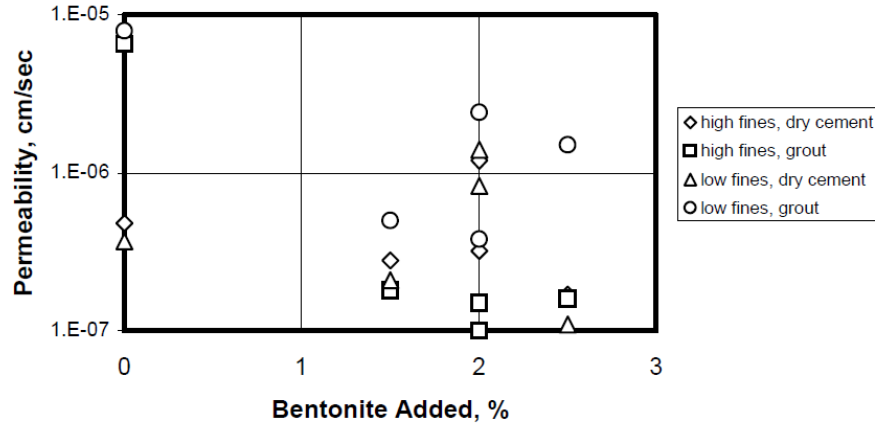
1.2 الدراسات و النتائج السابقة

لقد تم إنجاز العديد من الأبحاث المتعلقة بالسلوك الزلزالي للبلاطات البيتونية أو الإسفلتية التي تغطيها الوجهة الأمامية لسد، وكذلك استارة الكتامة الواقعة تحت السد وضمن أساساته، ومناهما:

1. [32] Ryan and Day, " Soil-Cement-Bentonite Slurry Walls ",2013

قام Ryan و آخرون في عام 2013 , بدراسة استخدام جدار من الاسمنت و البنتونايت و التربة (SCB) , كحاجز هيدروليكي لمنع جريان المياه الجوفية و الاستعاضة عن خلطة (تربة - بنتونايت) بخلطة (اسمنت - تربة - بنتونايت) مما يزيد من صلابتها و ذلك في المواقع التي لا يمكن عندها لجدار من (التربة-البنتونايت) من تحمل الحمولات المطبقة على الأساسات حيث أن إضافة الاسمنت الى خلطة التربة و البنتونايت تزيد من صلابة الجدار و من قدرة تحمله للحمولات المطبقة. يتضمن البحث طرق تصميم و تنفيذ الخلطات و المراقبة و التحكم و اخذ العينات . كما تمكن خلطة (الاسمنت- التربة- البنتونايت) من تحقيق عامل نفوذية يصل إلى (1×10^{-6} cm/sec) يمكن أن يتم الوصول الى عامل نفوذية افضل بمزيد من المراقبة و ضبط الجودة لمواد الانشاء و لاجراءات التنفيذ ليصل الى (5×10^{-7} cm/sec) .

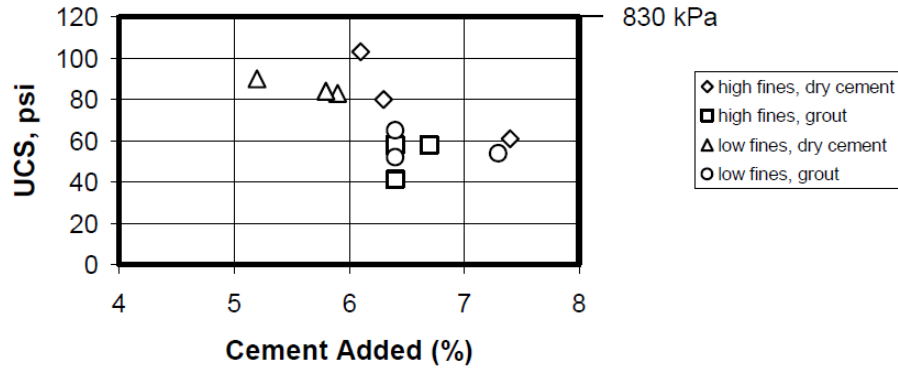
Permeability vs Dry Bentonite Added



الشكل (3): يبين تأثير نسبة اضافة البنتونايت على النفوذية. [Ryan and Day]

كما يمكن استخدام خلطة SBC من الحصول على مقاومة تتراوح بين 105Kpa إلى 2100Kpa حيث تتغير هذه المقاومة بحسب طريقة اضافة الاسمنت (مسحوق جاف أو خلطة رطبة) و بحسب نسبة الإضافة.

28 Day UCS vs Cement Added



الشكل (4): يبين تأثير نسبة و طريقة اضافة الاسمنت على مقاومة الضغط المحوري البسيط UCS لخلطات الاسمنت و التربة و البنتونايت [Ryan and Day]. SCB

و يراعي البحث تأثير عامل الزمن على الخلطات و يعتمد إلى إجراء مقارنات بينها. يعتبر هذا البحث مهما من حيث الحصول على نتائج مقاومة الخلطات المختلفة و عامل نفوذيتها مما يمكن من توظيفها في الدراسة التحليلية لهذا البحث.

2. [38] Walberg et al, " Seismic retrofit of Tuttle creek dam ", 2012

قام Walberg و آخرون في عام 2012 بدراسة تحسين السلوك الزلزالي لسد Tuttle creek حيث تضمنت الدراسة اجراء التحريات اللازمة و التحليل الزلزالي و تصميم مراحل الانشاء و تقنيات التدعيم المعتمدة. احتوى التصميم الأولي للمشروع على تدعيم الوجهين الأمامي و الخلفي للسد عن طريق إنشاء ستارة مانعة للرشع عند الوجه الأمامي لتخفيض الرشوحات تحت جسم السد إلا أن متطلبات الأمان و تقنيات الإنشاء بالاضافة الى ان التوسع في الدراسة التحليلية للتشوهات الزلزالية في السد أدت الى الغاء الحل الفني القاضي بتدعيم الوجه الامامي للسد عن طريق الحقن و انشاء الستارة المانعة للرشح . اما بالنسبة للوجه الخلفي للسد فقد تم الاستعاضة عن التدعيم بالحقن عن طريق إنشاء 351 جدار قص من (البنتونايت-الاسمنت) عند قدم السد و ضمن أساساته بشكل عدة جدران طول كل منها 13.7 متر و عرضه 1.2 متر و بعمق 18.9 متر و هي ذات تباعدات متساوية 4.3 متر متعامدة على محور السد لزيادة استقرار الوجه الخلفي للسد كما تم استبدال مجموعة آبار التصريف على الوجه الخلفي و المصممة لتجميع الرشوحات بنظام صرف مطمور لتحسين استقرار الوجه الخلفي و التحكم بالرشوحات تحت جسم السد.

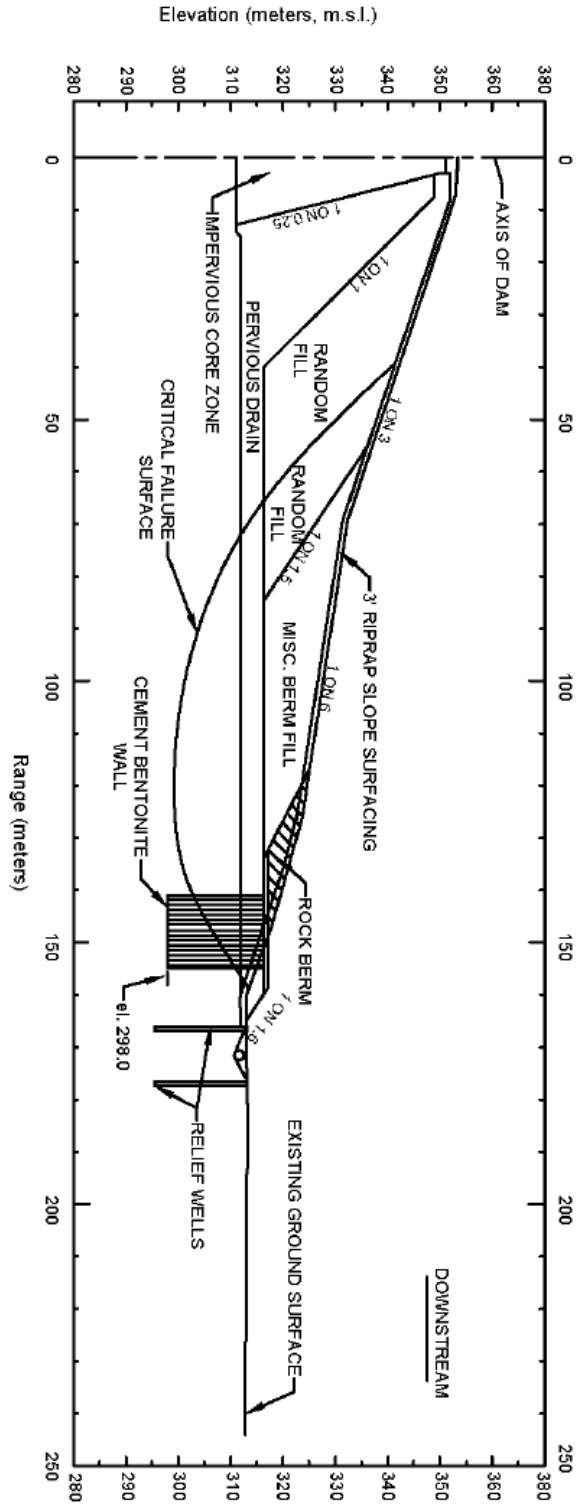
ان الدراسات السابقة كانت تستخدم جدران البنتونايت و الاسمنت كعناصر مانعة للرشح و ليس كعناصر ذات وظيفة انشائية و هي الحالة في هذا البحث و لذلك كان لا بد من اجراء التجارب اللازمة لتحديد مواصفات خلطة الاسمنت- البنتونايت المناسبة لتحقيق المقاومة المطلوبة لجدران الاسمنت-البنتونايت.

حيث كانت القضايا الأساسية المطروحة هي:

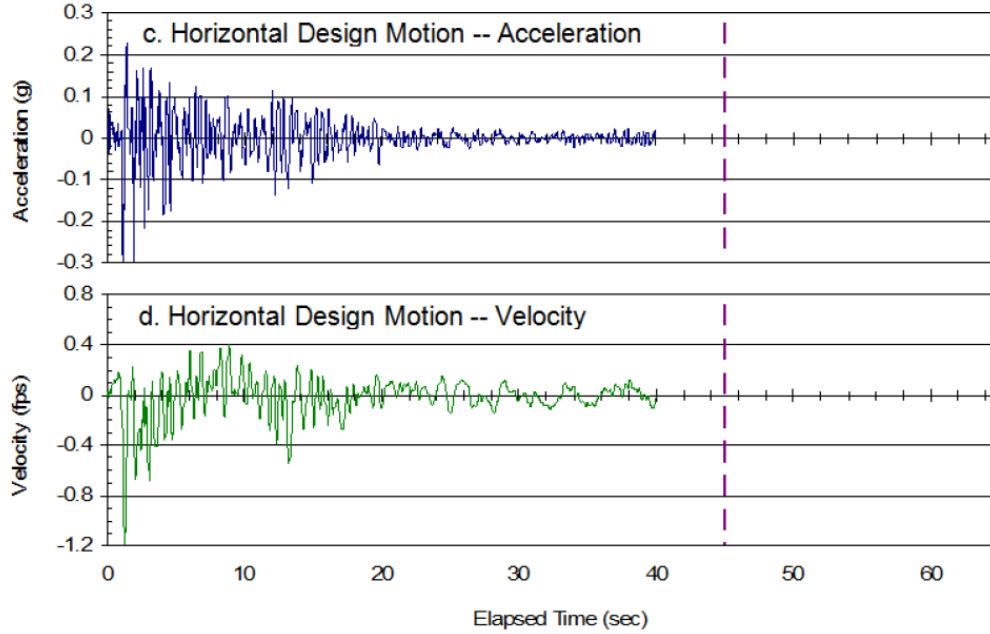
- أن تحقق جدران الاسمنت-البتونايت وظيفتها المطلوبة كعناصر تدعيم للوجه الخلفي دون التأثير سلبا على الرشوحات تحت جسم السد.
- ايجاد تقنيات الانشاء المناسبة.
- ايجاد خطة الاسمنت-البتونايت المناسبة لتحقيق المقاومة الستاتيكية و الزلزالية المطلوبة للجدران. ان مقاومة الضغط الغير مقيدة UCS التي يتم الحصول عليها عادة بتطبيق خلطات الاسمنت-البتونايت المعتمدة هي اقل من 700 Kpa بعد 28 يوما بينما بينت الدراسة التحليلية للتشوهات الزلزالية التي تم اجراؤها باستخدام برنامج FLAC, بهدف تحديد تأثير استخدام جدران الاسمنت-البتونايت العرضية على تشوهات الوجه الخلفي للسد, بأن هذه الجدران ستكون معرضة لتشوهات قص نسبية خلال او مباشرة بعد انتهاء الحدث الزلزالي ستعرضها لتشققات مما يعني ان مقاومة الاحتكاك للمقاطع المتشقة هي التي ستحدد قدرة الجدران على مقاومة القوى المنقولة اليها من خلال تشكل سطح الانزلاق في السد, و هذا يعني بأن مقاومة الاحتكاك لوحدها يجب ان تكون قادرة بعد تشقق الجدران على الحد من تشوهات الوجه الخلفي للسد.

بينت القوى المتكونة على سطح الانزلاق المفترض على الوجه الخلفي أن مقاومة الضغط الغير مقيدة UCS تصل لقيمة أعظمية تبلغ 2060 Kpa و بزاوية احتكاك داخلي تبلغ 40 درجة بما يزيد عن مقاومة الضغط المحددة بشكل أولي و التي كانت تبلغ 700 Kpa حيث تم تحقيق زيادة المقاومة عن طريق اضافة نواتج رماد أفران التعدين (الفولاذ) المعالجة - **Ground-granulated blast-furnace slag (GGBFS)**.

وتجدر الإشارة إلى أن هذا النوع من الجدران كان يستخدم حصرا في مجال التكنيم بينما استخدم استثنائيا في هذه الحالة كعنصر تدعيم حيث مكنت من زيادة عامل أمان استقرار السد من 0.9 الى 1.25 و ذلك تحت تأثير الهزة الزلزالية المبينة بالشكل (6).



الشكل (5): مقطع عرضي يبين الوجه الخلفي للسد و جدران القص العرضية من الاسمنت و البنتونايت و سطح الإنزلاق المحدد بطريقة التوازن الحدي. [Walberg et al]



الشكل (6): الهزة الزلزالية المطبقة في دراسة الاستقرار لهذا البحث حيث تبلغ ذروة التسارع الزلزالي الأعظمي الأفقي 0.3g-PGA و بمدة زمنية تبلغ 40 ثانية. [Walberg et al]

3. [24] Owaidat , Andromalos and Sisley, ” construction of soil-cement-Bentonite slurry wall for a levee strengthening program “,1999

قام Owaidat و آخرون في عام 1999 ببحث لتكثيم حاجز درء الفيضان المنفذ على طول ضفتي نهر (Sacramento-California) لحماية وسط المدينة و المناطق التجارية و السكنية خلال موسم الأمطار عن طريق إنشاء جدار كتامة من التربة و الاسمنت و البنتونايت , يهدف الجدار المنفذ إلى زيادة استقرار حواجز درء الفيضان و منع الرشوحات عبرها و تحتها, و بما أن الجدران ذات الخلطات التي تنفذ عادة و المكونة من (تربة-بنتونايت) ذات مقاومة قص ضعيفة قد تشكل خطرا على استقرار الحواجز و بما أن الجدران المكونة من خلطة (اسمنت-بنتونايت) هي ذات كلفة عالية , كان الحل الأفضل هو استخدام خلطة (تربة -اسمنت - بنتونايت).

الهدف من الجدار هو الوصول إلى عامل نفوذية (5×10^{-7} m/sec) و حد أدنى لمقاومة الضغط الغير مقيدة UCS (15psi/103kpa) بما أن إنشاء هذا الجدار تم في منطقة سكنية فقد تم تعديل الخلطة لتصل إلى عامل النفاذية المطلوب بعد 7 أيام فقط بدلا من المدة المعتمدة في الحالات العادية و هي 28 يوم.

جدول (1): مواصفات الخلطات بحسب نوعها و نسبة المياه الى الاسمنت

MIX NO.	W/C %	Permeability @ 7 days (cm/sec)	Permeability @ 14 Days(cm/sec)	Permeability @ 28 Days(cm/sec)	Strength psi @ 7 days	Strength psi @ 14 days	Strength psi @ 28 days
1B	67.9	8.0×10^{-7}	8.7×10^{-7}	7.8×10^{-7}	10	12	15
2B	57.1	5.9×10^{-7}	6.8×10^{-7}	4.4×10^{-7}	13	22	25
3B	68.1	5.5×10^{-7}	6.6×10^{-7}	5.1×10^{-7}	9	11	14
4B	69.4	5.4×10^{-7}	7.0×10^{-7}	5.6×10^{-7}	8	14	17
5B	57.8	4.6×10^{-7}	5.6×10^{-7}	4.3×10^{-7}	10	15	18
6B	46.7	5.0×10^{-7}	5.5×10^{-7}	4.2×10^{-7}	11	17	18
7B	52.7	7.1×10^{-7}	5.1×10^{-7}	4.2×10^{-7}	18	23	28
8B	47.5	4.7×10^{-7}	2.6×10^{-7}	1.8×10^{-7}	25	32	42

4. [3] Andromalos, and Fisher, ” Design and Control of Slurry Wall Backfill Mixes for Groundwater Containment “,2001

قام Andromalos و آخرون ببحث في استخدام تقنية جدران الكتامة الأرضية لإنشاء خزانات أرضية لتخزين المواد السائلة الملوثة و هي طريقة أثبتت كفاءتها من حيث عاملي المقاومة و النفوذية و اقتصاديتها, تحتوي هذه الدراسة على ملخص عن مواصفات و تراكيب المواد المستخدمة في إنشاء جدران الكتامة يفيد هذا البحث في الحصول على مواصفات الخلطات المختلفة من الاسمنت و التربة و البنتونايت من حيث النفوذية و مقاومة الضغط و الكثافة و الكلفة.

جدول (2): مواصفات الخلطات بحسب نوعها .

BACKFILL MATERIAL	PERM (cm/sec)	UCS (psi)	DENSITY (pcf)	COST (\$/vsf)	COMMENT
Soil-Bentonite	1×10^{-7}	0	100-130	3-6	Requires min. 15% fines
Soil-Attipulgite	1×10^{-7}	0	100-130	3-6	For saline environments
Soil-Cement-Bentonite	5×10^{-7}	50	95-120	5-10	Typically remote mix
Cement-Bentonite	1×10^{-6}	25	70-75	6-12	Self-hardening slurry
Slag cement-Bentonite	5×10^{-7}	100	69-72	6-12	Self-hardening slurry
Impermix TM	1×10^{-9}	100	69-72	8-16	Self-hardening slurry
Composite w/Liner	1×10^{-10}	N/A	N/A	7-14	Depth Limitations

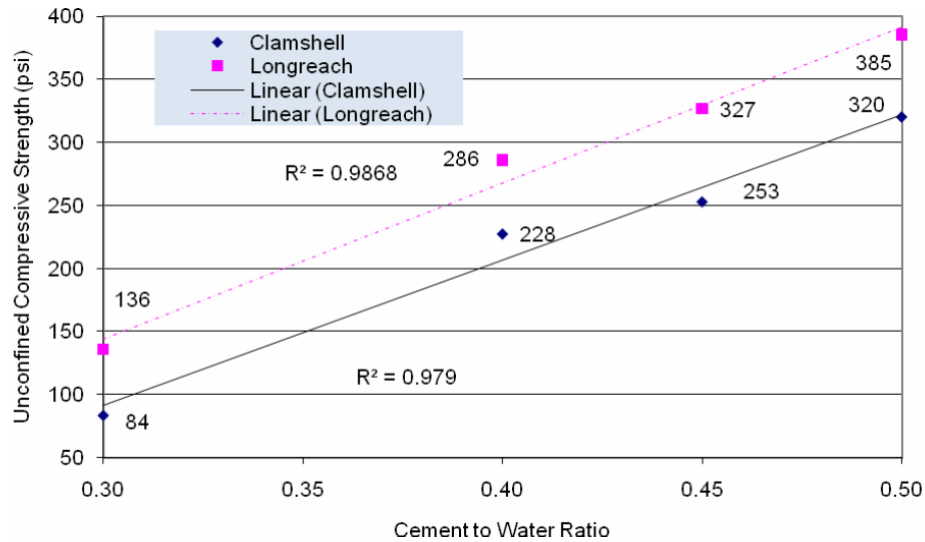
5. [27] Koirala et al, ” cement bentonite slurry wall strength - Tuttle creek dam seismic remediation “ ,2011

قام Koirala و آخرون ببحث حول مواد إنشاء جدران القص المنشأة خلف السد ضمن أساساته في المعالجة الزلزالية لسد Tuttle creek , حيث يتضمن البحث دراسة الخلطات المختلفة من حيث تأثير نسبة الاسمنت و الماء, على مقاومة الضغط للعينات المأخوذة من الجدران المنفذة , فتبين

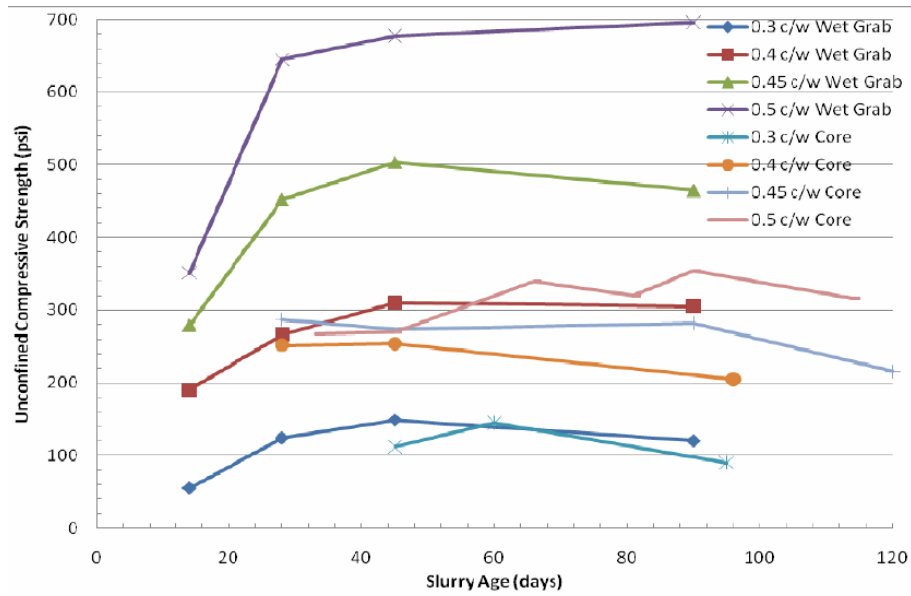
بأن الخلطة ذات النسبة $c/w=0.5$ هي الأفضل لتحقيق مقاومة الضغط المطلوبة و هي $300/2068.5\text{kpapsi}$ والتي تم الحصول عليها من النمذجة الرقمية. يستفاد من هذا البحث في اعتماد الخلطة $c/w=0.5$ لتحقيق المقاومة المطلوبة على الضغط.

جدول (3): مواصفات الخلطات بحسب نوعها و نسبة المياه الى الاسمنت و زمن التصلب.

Equipment	Cement/Water Ratio ⁺	Sample Type	Age (days)	Average UCS (psi)	Ave. Specific Gravity	Average Soil Content (%)
Long-Reach	0.50	Wet Grab	62	568	1.65	24
Long-Reach	0.50	Core	134	387	1.50	12
Long-Reach	0.45	Wet Grab	47	414	1.65	24
Long-Reach	0.45	Core	161	341	1.64	26
Long-Reach	0.40	Wet Grab	54	285	1.62	25
Long-Reach	0.40	Core	150	284	1.63	26
Long-Reach	0.30	Wet Grab	49	130	1.58	25
Long-Reach	0.30	Core	131	129	1.49	20
Clamshell	0.50	Wet Grab	49	626	1.57	18
Clamshell	0.50	Core	100	310	1.59	20
Clamshell	0.45	Wet Grab	49	436	1.54	17
Clamshell	0.45	Core	125	286	1.57	19
Clamshell	0.40	Wet Grab	49	273	1.51	16
Clamshell	0.40	Core	174	246	1.52	17
Clamshell	0.30	Wet Grab	49	115	1.43	14
Clamshell	0.30	Core	191	78	1.49	18
Clamshell	.40 (75% slag)	Wet Grab	45	713	-	-
Clamshell	.40 (75% slag)	Core	45	356	-	-
Clamshell	.30 (75% slag)	Wet Grab	45	300	-	-
Clamshell	.30 (75% slag)	Core	45	239	-	-



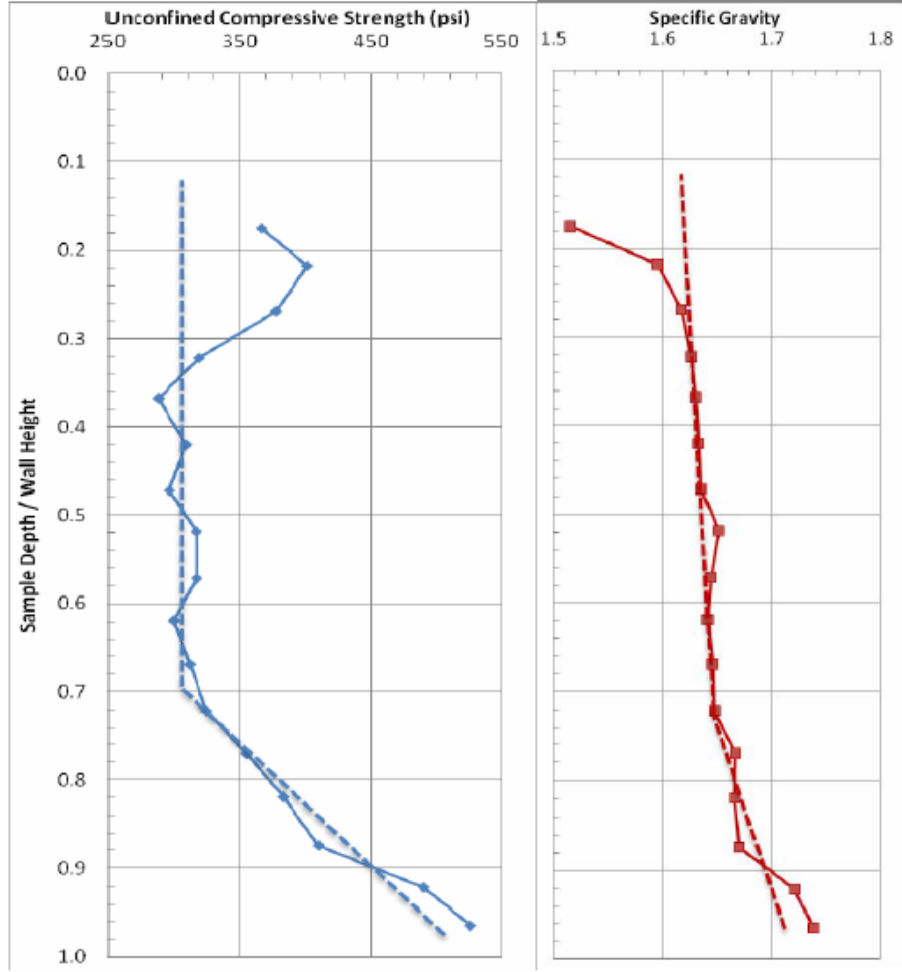
الشكل (7): مقاومة الضغط البسيط UCS لعينات من جدار الكتامة بحسب نسبة الاسمنت الى الماء (50% رماد بركاني). [Koirala et al].



الشكل (8): مقاومة الضغط البسيط UCS لعينات من جدار الكتامة بحسب نسبة الاسمنت الى الماء و زمن التصلب. [Koirala et al]

جدول (4): مواصفات الخلطات بحسب نوعها و نسبة المياه الى الاسمنت و زمن التصلب و متوسط قيم المقاومة المحورية.

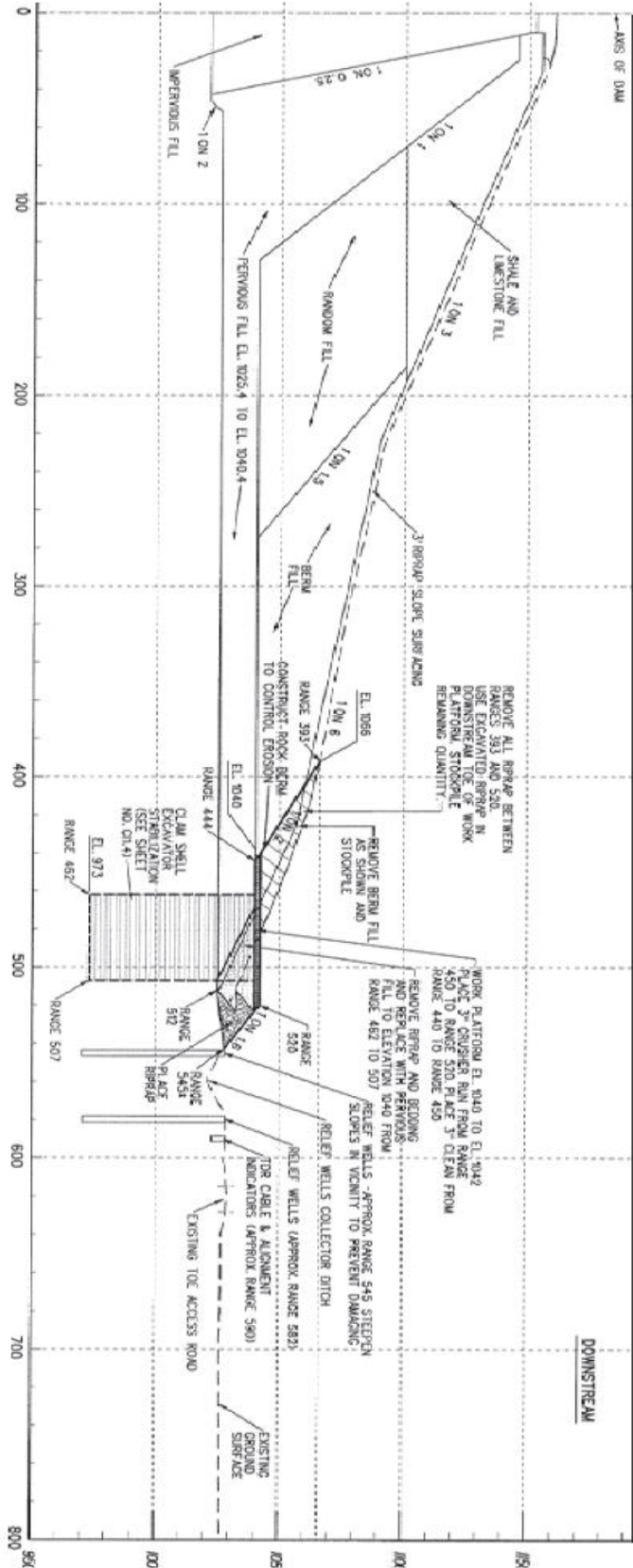
Phase of Construction	Number of Walls Constructed	c/w Ratio	Sample Type	Age (Days)	Avg. UCS (PSI)	Avg. Specific Gravity
Stage One Stabilization	62	0.5	Wet Grab	34	506	1.59
			Core	120	333	1.59
Main Construction Option	235	0.5	Wet Grab	63	658	1.52
			Core	95	356	1.65
	12	0.55	Wet Grab	63	851	1.57
			Core	50	319	1.60
	4	0.60	Wet Grab	63	1057	1.70
			Core	67	604	1.71



الشكل(9): مقاومة الضغط البسيط UCS لعينات من جدار الكتامة بحسب نسبة الاسمنت الى الماء تعادل (0.5 c/w) و عمق أخذ العينة. [Koirala et al]

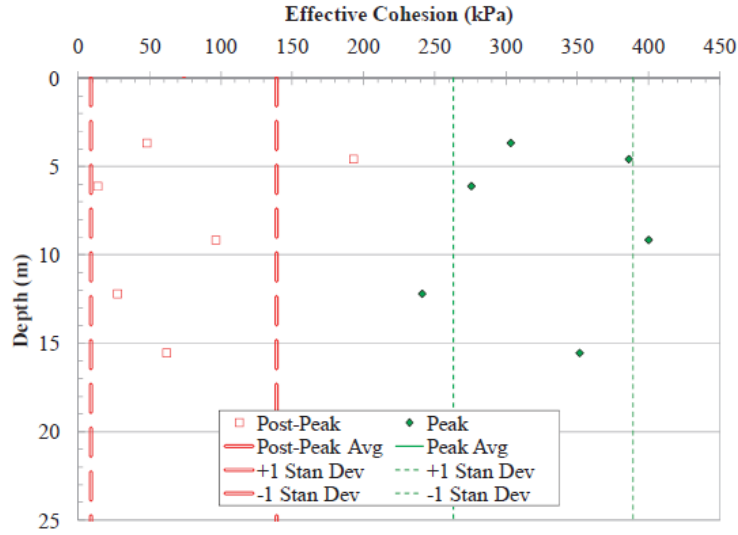
6. [4] Axtell and Stark, “Peak and Post-Peak. Shear Strength of Cement-Bentonite“,2010.

قام Axtell وآخرون ببحث في تغير مواصفات مقاومة مادة البنتونايت المخلوط بالاسمنت عند السلوك الزلزالي و ذلك لجدران قص من الاسمنت و البنتونايت تم تنفيذها عند قدم سد Tuttle creek لزيادة استقرار الوجه الخلفي لهذا السد المؤسس على طبقات تربة قابلة للتميع.

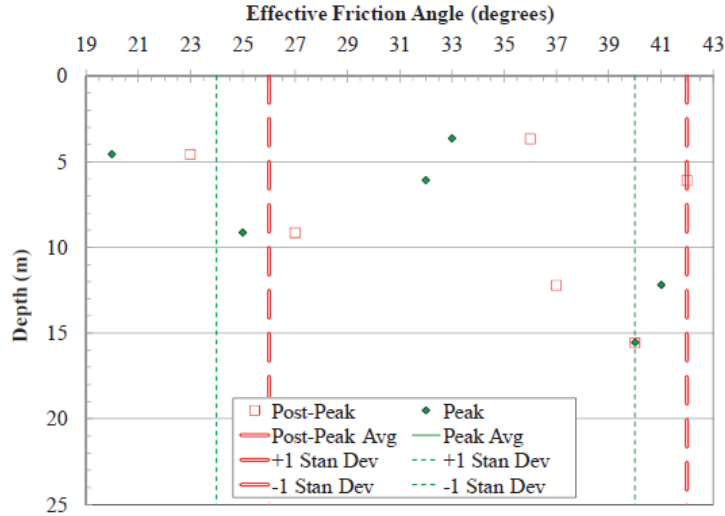


الشكل (10): الوجه الخلفي للسد و جدران القص العرضية و آبار التصريف. [Axtell and Stark]

حيث تمت دراسة الخلطات الممكنة مخبريا للحد من حدوث التشققات أثناء الهزة الزلزالية و ذلك عند وصول إجهاد القص المطبق لذروته أثناء حدوث الزلزال و بعد انتهائه , تبين النتائج التشوهات الدائمة في التربة و تخلص إلى أن الخلطة التي تحتوي على 5 بالمائة من البنتونيت تؤمن مقاومة القص المطلوبة لتحمل إجهاد القص الناتج عن الهزة الزلزالية التصميمية و التي تبلغ ذروة التسارع الزلزالي الأرضي (0.3g). يمكن الاستفادة من هذه النتائج في الحصول على مواصفات مادة جدران البنتونيت و الاسمنت أثناء الزلزال و ما بعد حدوث الزلزال و ذلك لتقييم تأثيرها المتبادل على سلوك السد أثناء الزلزال و بعده عند تنفيذ هذا الجدار على كامل ارتفاع السد كجدار كتامة .



الشكل (11): التماسك الفعال للقص المباشر بالنسبة للعمق لعينات ذات $C/W=0.5$. قبل و بعد حدوث الهزة الزلزالية. [Axtell and Stark].



الشكل (12): زاوية الاحتكاك الفعالة للقص المباشر بالنسبة للعمق لعينات ذات $C/W=0.5$. قبل و بعد حدوث الهزة الزلزالية. [Axtell and Stark].

[16] Graham et al,” Seismic Performances of Slurry Walls “,2012. .7

قام Graham و آخرون في عام 2012 بإجراء بحث تجريبي نشر بعنوان “ الأداء الزلزالي لجدران الكتامة “. تم فيه دراسة السلوك الزلزالي لجدار كتامة بطريقة بناء نموذج بأبعاد صغيرة لصندوق خشبي يحتوي على تربة محيطة بجدار من البنتونايت حيث تم تطبيق الهزة الزلزالية المدروسة عن طريق تجربة الطاولة الرجاجة , حيث ستكون نتائج هذه التجربة هامة جدا لمعايرة و تقييم نتائج تحليل النموذج الرقمي الذي سيتم القيام به في هذه البحث .

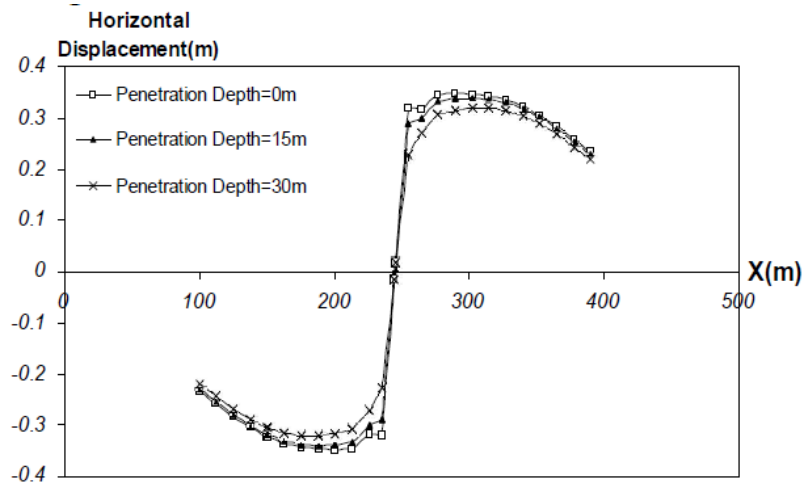
[8] Bruce, Dreese and Heenan,” Concrete Walls and grout curtains in the twenty-first century: the concept of composite cut-offs for, seepage control “,2008. .8

قام Bruce و آخرون في عام 2008 بدراسة الكفاءة الاقتصادية و الفنية للجدران البيتونية أو المركبة من عدة مواد في استخدامها بدلا عن ستائر الحقن لتكثيم الطبقات الصخرية النفوذة ضمن أساسات السد , كما خلاص البحث إلى نتائج و توصيات تتعلق بالناحية التنفيذية و ملائمة الموقع لتنفيذ كل من ستائر الحقن أو الجدران البيتونية.

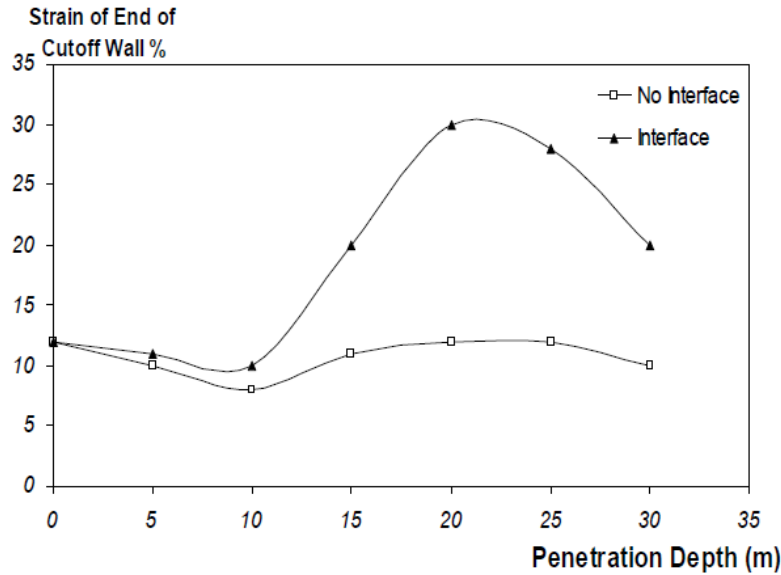
[22] Mahinroosta, Shoaie and Pishgar,” Evaluation of the penetration depth of sealing plastic concrete walls in the clay core of earth dams “,2012. .9

قام Mahinroosta و آخرون في عام 2012 بدراسة تأثير طول تداخل جدار كتامة لدن منفذ من البيتون و الذي يستخدم في أساس السد بدلا عن ستارة الحقن , مع النواة الغضارية لسد ترابي في الحالة الستاتيكية , كما تمت دراسة تأثير تغير الارتفاع الكلي للسد و تأثير تغير المواصفات الميكانيكية للنواة الغضارية و لجدران البيتون اللدنة مع الأخذ بعين الاعتبار إدخال تأثير مواصفات السطوح البيئية بين المواد المختلفة.

خلاص البحث إلأن زيادة طول التداخل يؤدي إلى زيادة الانتقال الأفقي الأعظمي للجدار و إلى تخفيض الهبوط الشاقولي للجدار.



الشكل(13): الانتقالات الأفقية بحسب طول ارساء الجدار في النواة. [Mahinroosta et al]



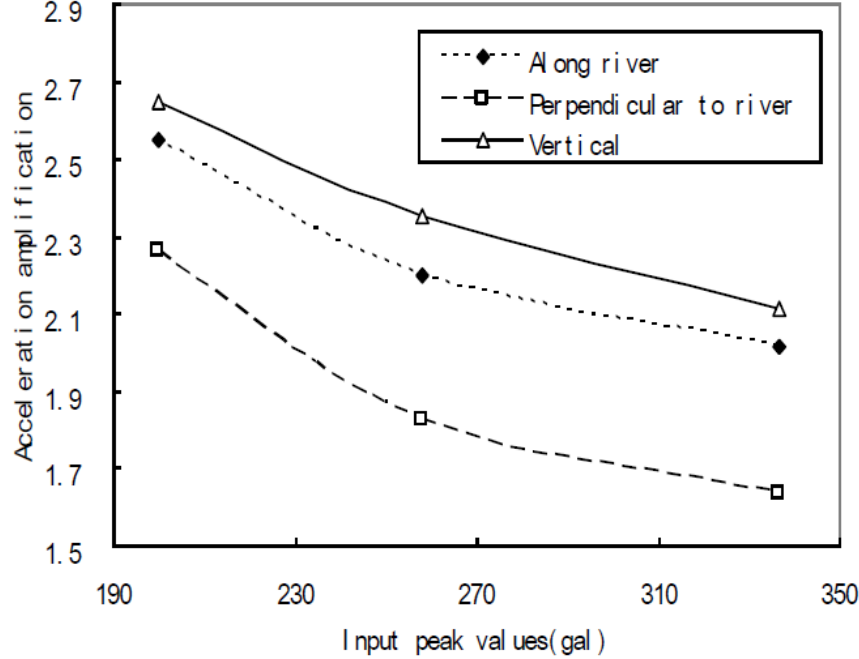
الشكل(14): التشوهات النسبية بحسب طول ارساء الجدار في النواة. [Mahinroosta et al]

كما بين البحث أن زيادة طول التداخل عن 5 متر سيؤدي الى تشكل مناطق تشوهات لدنة ضمن الجدار. و أظهرت الدراسة أن زيادة مقاومة القص لمواصفات السطوح البينية بين الجدار و التربة المحيطة ستؤدي إلى انخفاض الانتقال الأفقي الأعظمي للجدار و زيادة التشوهات النسبية الشاقولية لهبوط الجدار في الاساسات .

10. [39] Xuanming et al, "Finite element analysis of dynamic response of Maoergai earth-rockfil dam in earthquake disaster", 2012.

قام Xuanming وآخرون في عام 2012 بدراسة سد ركامي تحت تأثير ثلاثة هزات زلزالية تصميمية تبلغ ذرى تسارعها الأرضي الزلزالي (0.2g – 0.258g – 0.336g) على التوالي، بما

أن علاقة الاجهاد بالتشوه النسبي هي علاقة غير خطية بالنسبة لمواد جسم السد الركامي فقد بينت النتائج بأن تضخيم الهزة التسارع الزلزالي الأرضي في قمة السد ينخفض بازدياد ذروة التسارع الزلزالي الأرضي .

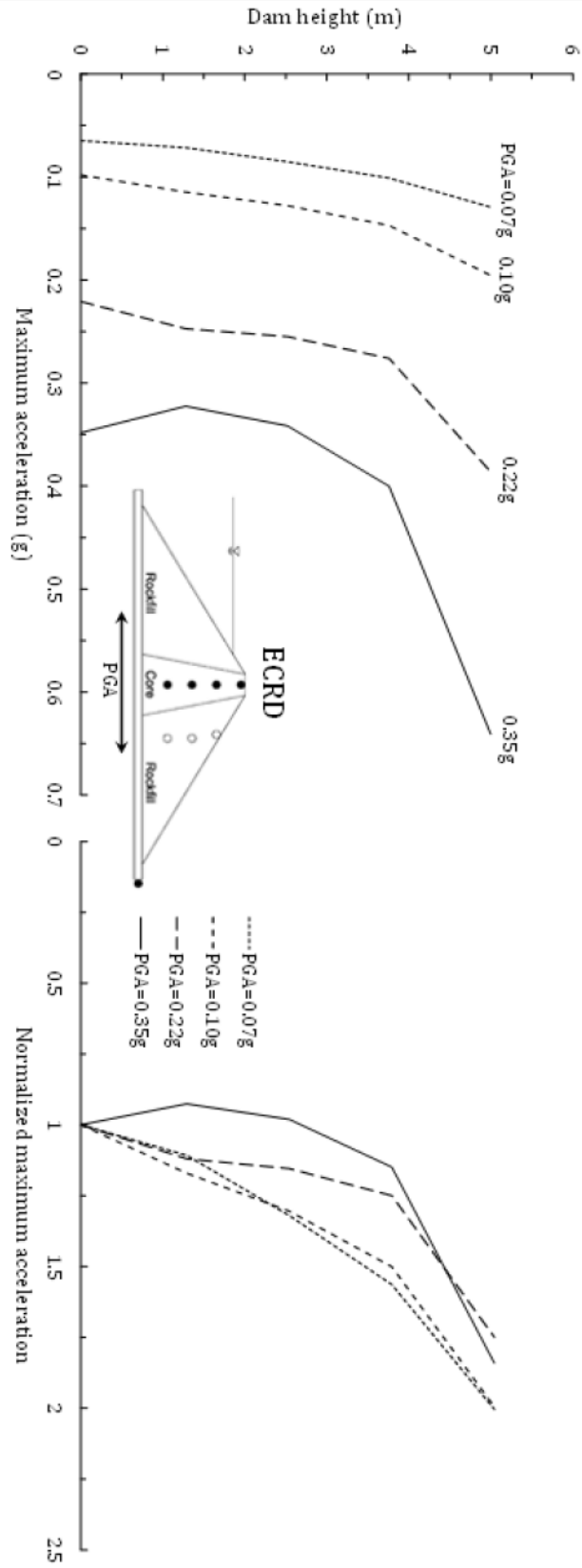


الشكل(15): تغير تضخيم التسارع الزلزالي ذروة التسارع الزلزالي. [Xuanming et al.]

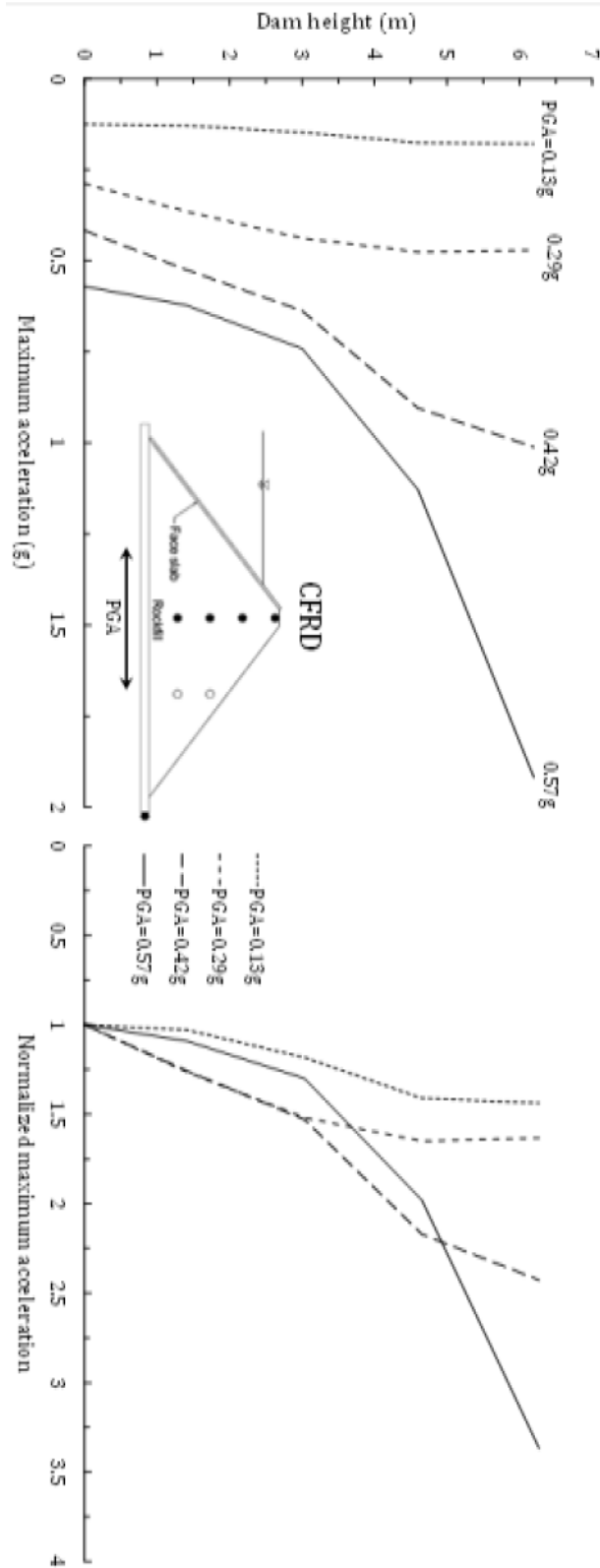
بينت الدراسة بأن المركبات الديناميكية الرئيسية الأعظمية للضغط و الشد في المانعة و قمة السد هي أقل من الحد الأعظمي لقيم المقاومة المسموحة . كما أن التشوهات الدائمة قد ازدادت بازدياد ذروة التسارع الزلزالي الأرضي المطبق و أدت الى هبوط في جسم السد بمقدار (56cm – 85.9cm – 70.3cm) على التوالي.

[26] Kim et al, "Seismic behavior of earth-core, concrete-faced rock-fill, and composite dams", 2012.

قام Kim و آخرون في عام 2012 بدراسة ثلاثة أنماط من السدود و هي سد ركامي ذو نواة ترابية (ECRD) , سد ركامي ذو اكساء بيتوني (CFRD) و نموذج سد مركب من نمطين (سد بيتوني – سد ركامي ذو اكساء بيتوني) . تمت الدراسة من خلال إجراء سلسلة من تجارب الطرد المحوري centrifuge tests , طبق عليها هزة زلزالية حقيقية يتراوح تسارعها الزلزالي الأعظمي من 0.05g الى 0.5g , حيث اختلفت نسبة توزع التضخيم بحسب الحمولة الزلزالية و تركيب السد و نوعه . كما بينت التجارب أن الهبوط في قمة السد قليل نسبياً لكن الإنزلاقات السطحية كانت كبيرة . تم التحقق من سلوك السطوح الفاصلة بين المواد من حيث الطور و التضخيم .



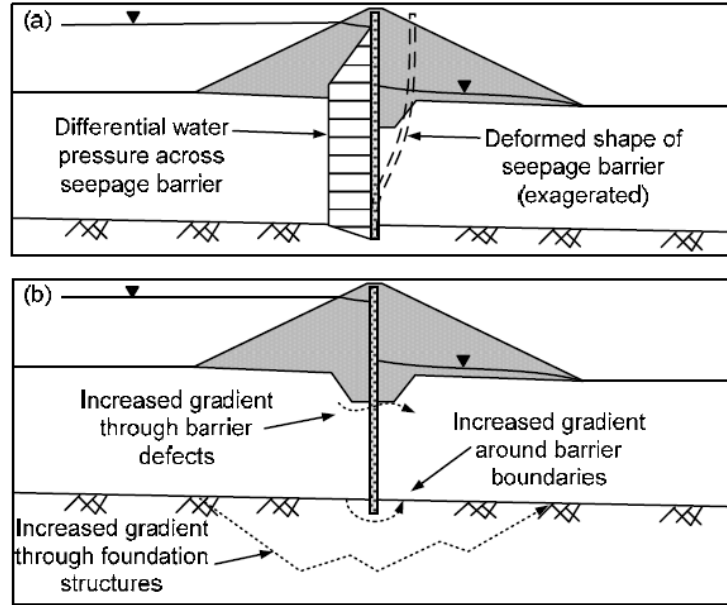
الشكل(16):التسارع الزلزالي الاعظمي بالنسبة لارتفاع سد ECRD .[Kim et al].



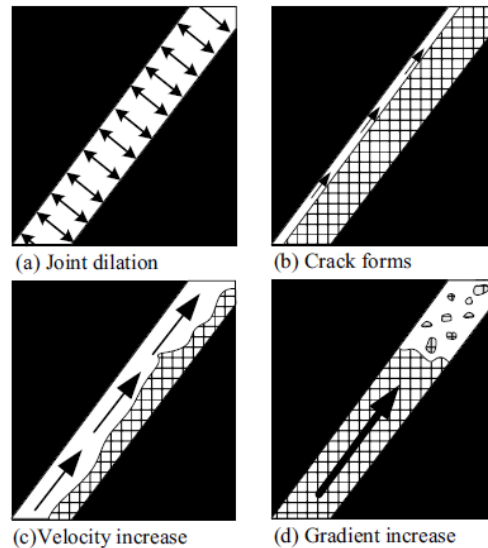
الشكل (17): التسارع الزلزالي الاعظمي بالنسبة لارتفاع سد CFRD. [Kim et al].

[31] Rice and Duncan, "Findings of case histories on the long-term performance of seepage barriers in dams", 2010.

قام Rice وأخرون في عام 2010 بدراسة الأداء طويل الأمد لموانع الرشح في السدود حيث أن أغلبية الحالات قد أثبتت أن هذه الموانع تقوم بزيادة الميل الهيدروليكي على أطرافها بشكل كبير جدا و عند أي منفذ أو نقطة ضعف في مانع الرشح.



الشكل (18): تغيير اجهاد الماء المطبق على جدار الكتامة بالاضافة الى الميل الهيدروليكي. [Rice and Duncan]



الشكل (19): آلية تطور الشقوق عند سطوح الاتصال. [Rice and Duncan]

بينت النتائج ارتفاع الضغط و الميل الهيدروليكي خلف و حول مانع الرشح مما قد يؤدي الى زيادة كبيرة في الحث في السد و المانع بفعل المياه و الذي لن يتم حدوثه في حالة عدم وجود مانع الرشح و بالتالي تشكل ظاهرة piping في السد و أساساته .

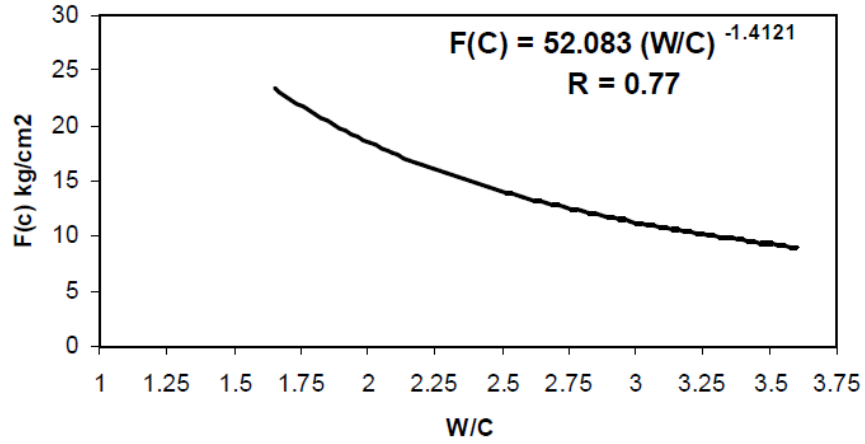
قام الدارسون بتجميع البيانات الخاصة بثلاثين حالة تصميمية مشابهة على مدى عشرة أعوام لاستخلاص الملاحظات و التأثيرات كما تم اجراء دراسات تحليلية باستخدام طريقة العناصر المحدودة لفهم أداء و طريقة تأثير موانع الرشح و من ثم تم تجميع كافة النتائج و الملاحظات المستخلصة من الدراسات السابقة. و هي كالتالي:

- يحدث انجراف في التربة في الفراغات الموجودة في الصخر الكلسي حول و اسفل جدران موانع الرشح بسبب زيادة الميل الهيدروليكي و سرعة الرشح.
- حدوث انجراف في التربة او الضخور اللينة الموجودة عند اطراف الجدران المانعة للرشح او اسفلها بسبب زيادة الميل الهيدروليكي و سرعة جريان الرشوحات.
- انجراف التربة الناتج عن ظاهرة السيفوزيوم (اوكار الثعالب) بسبب زيادة الميل الهيدروليكي و سرعة الرشوحات.
- قد تحدث تشققات في الجدران المانعة للرشح بسبب الفروقات في ضغط الماء المطبق على الجدار.

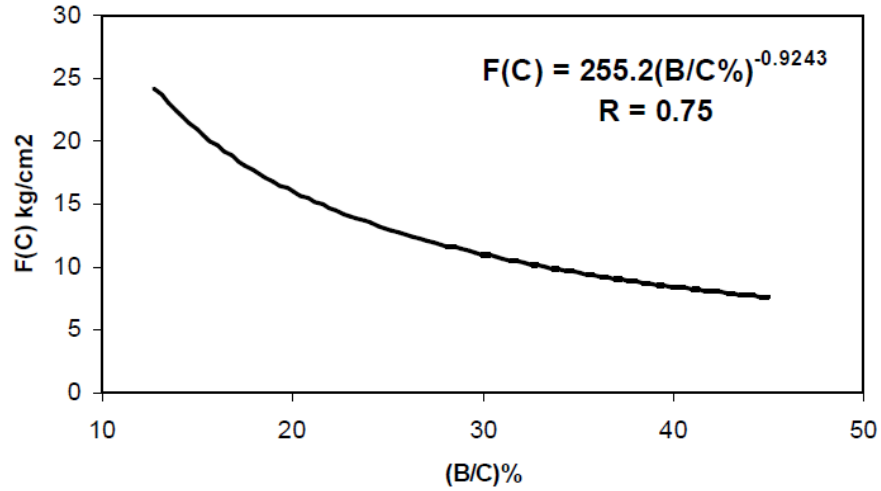
[25] Pashazadeh and Chekhaniazar, "Estimating an appropriate plastic concrete mixing design for cutoff walls to control leakage under earth dam", 2011.

قام Pashazadeh و آخرون في عام 2011 بدراسة تقدير التصميم المناسب للخلطات البيتونية المستخدمة في انشاء الجدران المانعة للرشح في أساسات السدود.

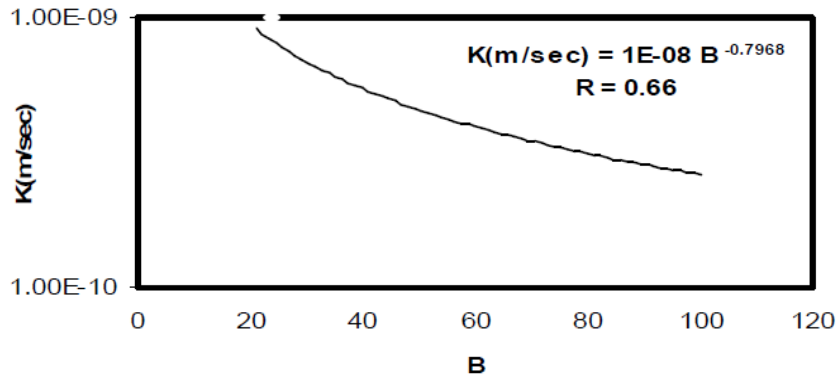
حيث ان استخدام البيتون العادي ذو عامل المرونة الكبير نسبة للمواد الأخرى المحيطة به قد يسبب تآكل و تشقق الجدار نتيجة للاجهادات الديناميكية فتمت دراسة إضافة البنتونايت لتخفيض صلابة البيتون و عامل مرونته و لزيادة مطاوعيته و تقليل احتمال تشكل التشققات فيه , حيث تم اختبار خلطات مختلفة و تحديد الخلطة الأمثل و التي تحقق الكثامة و الاقتصادية و سهولة و سرعة التنفيذ.



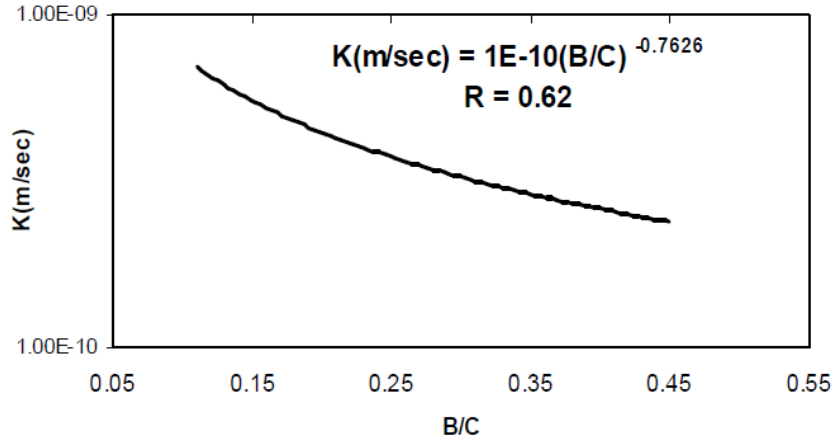
الشكل (20): علاقة مقاومة الضغط مع نسبة الماء الى الاسمنت في خلطة البيتون اللدن. [Pashazadeh and Chekhaniazar]



الشكل (21): علاقة مقاومة الضغط مع نسبة البنتونايت الى الاسمنت في خلطة البيتون اللدن. [Pashazadeh and Chekhaniazar]



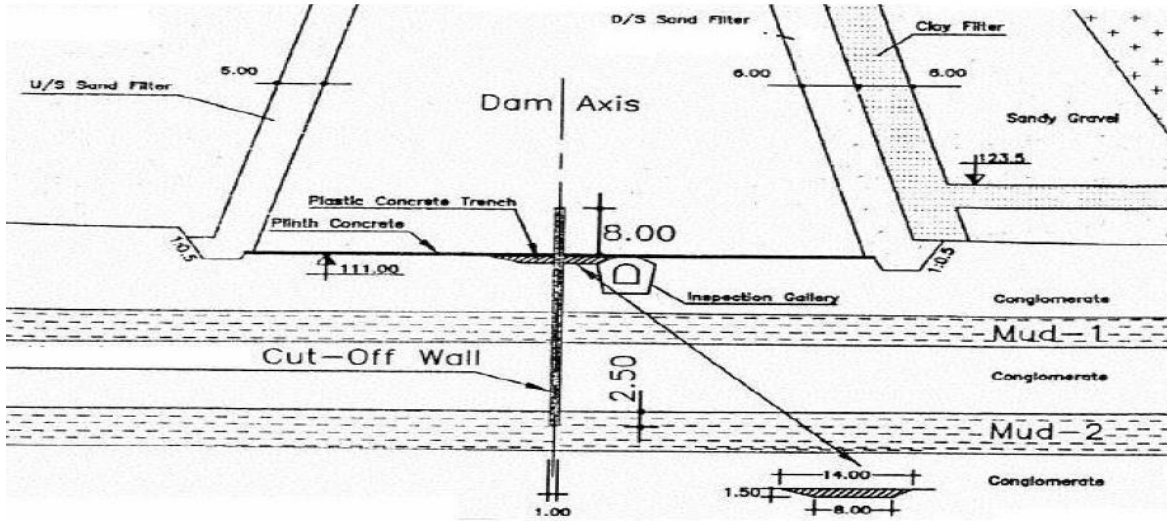
الشكل (22): علاقة النفوذية مع نسبة البنتونايت في خلطة البيتون اللدن. [Pashazadeh and Chekhaniazar]



الشكل (23): علاقة النفوذية مع نسبة البنتونايت الى الاسمنت في خلطة البيتون اللدن. [Pashazadeh and Chekhaniazar]

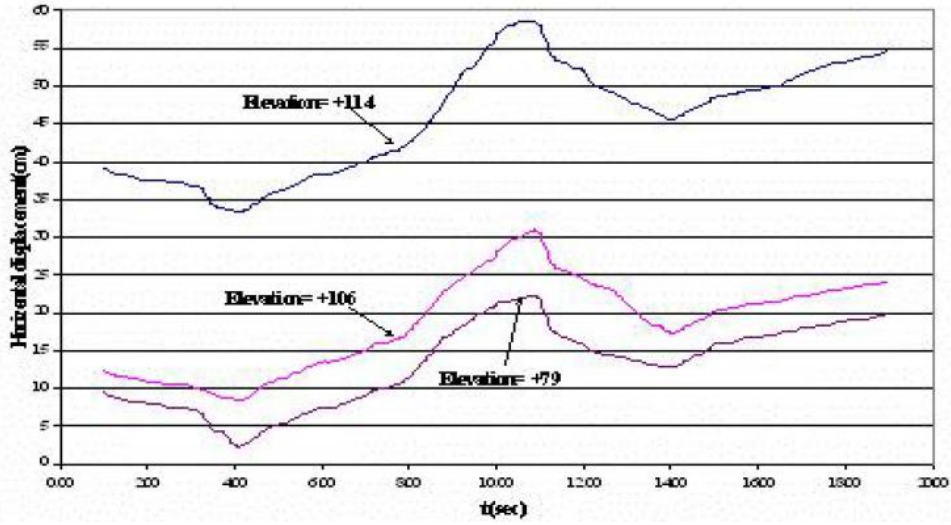
[35] Soroush and Rayati, "Numerical analysis of Karkheh dam, foundation, and its cutoff wall subjected to earthquake loading", 2004.

قام Soroush و آخرون في عام 2004 بدراسة تحليلية لسد Karkheh و أساساته و جداره المانع للرشح الموجود في الأساسات تحت تأثير الحمولات الزلزالية.



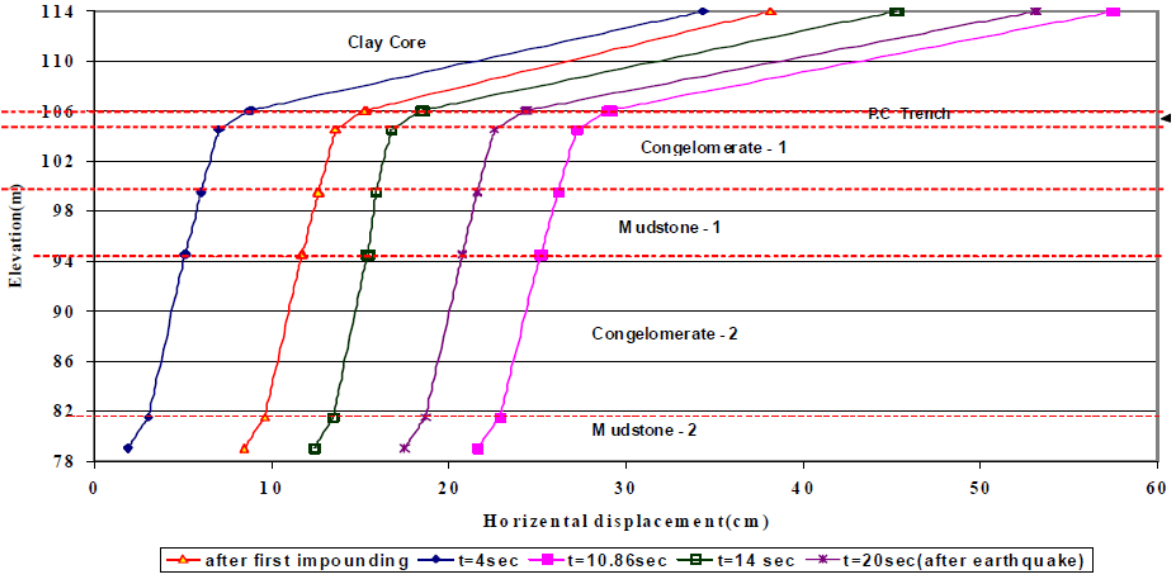
الشكل (24): تفصيلة COW مع نواة السد. [Soroush and Rayati]

حيث تمت الدراسة بطريقة العناصر المحدودة ثنائية البعد و ركزت على تشوهات و سلوك الجدار المانع للرشح في الأساسات.

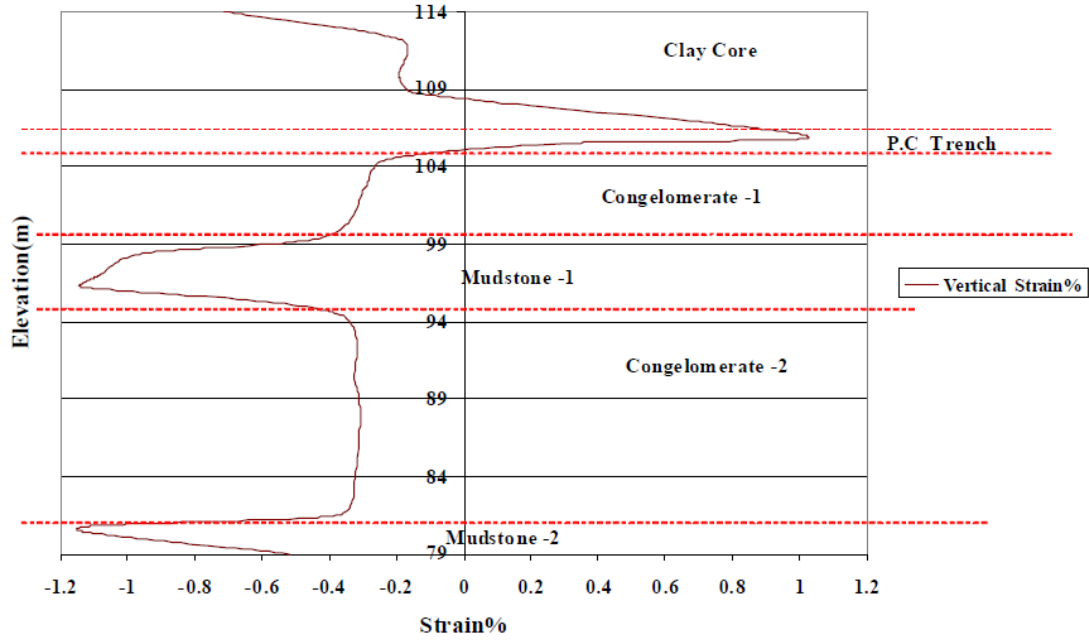


الشكل (25): السجل الزمني للتشوهات الأفقية لثلاثة مناسيب في جدار الكتامة. [Soroush and Rayati]

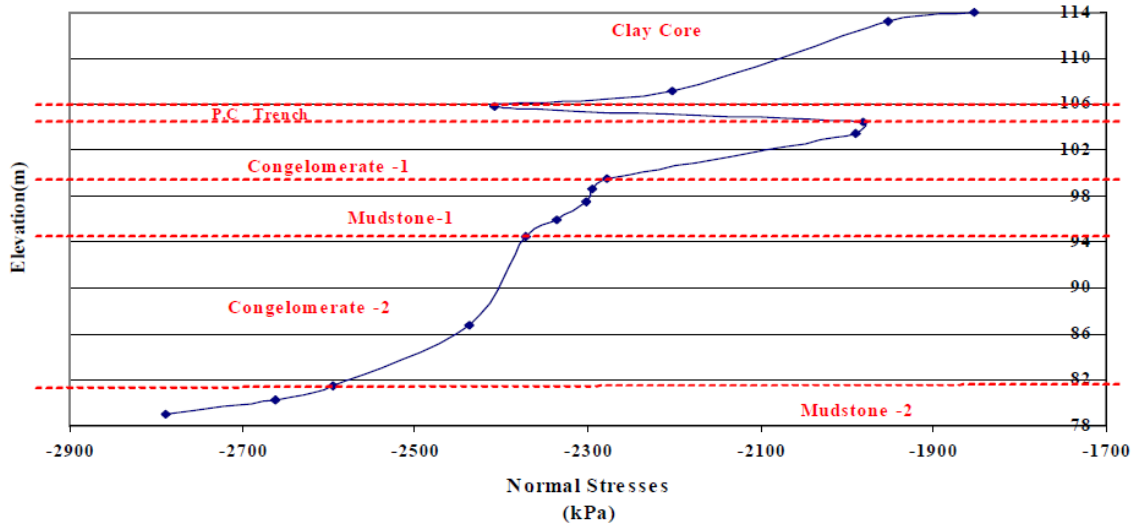
و بين التحليل ان الانتقالات الأفقية الناتجة عن الحمل الزلزالي تتكون بقيمتها الأعظمية في أعلى الجدار المانع للرشح خاصة في نقطة التقاءه بالنواة الغضارية للسد و في اللحظة الزمنية لذروة التسارع الزلزالي الأرضي بالإضافة إلى حدوث بعض التشوهات الأفقية الدائمة التي تتشكل في الجزء العلوي للجدار COW , (Cut-Off Wall).



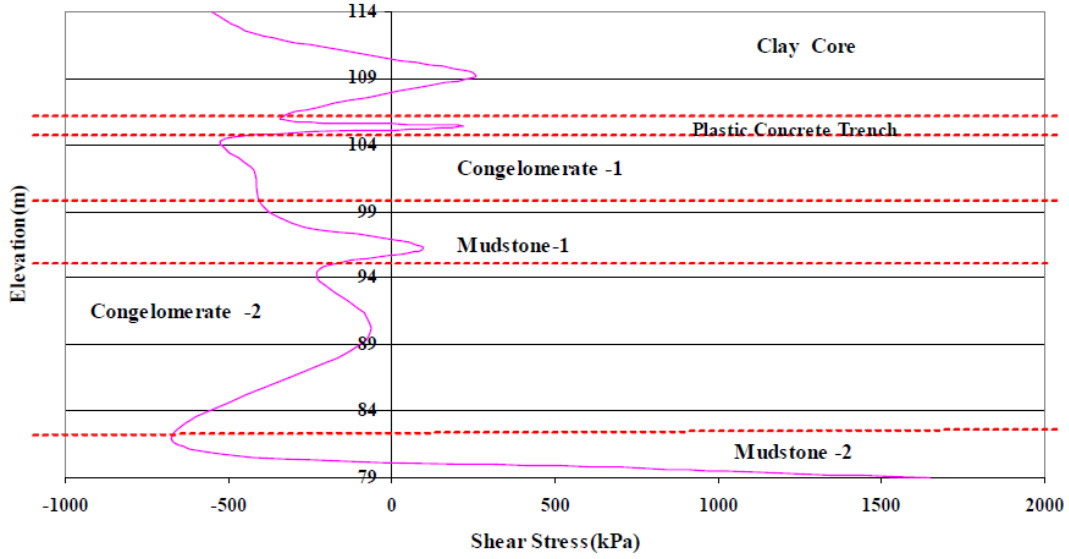
الشكل (26): التشوهات الأفقية مع المناسيب عند لحظات زمنية مختلفة من الهزة الزلزالية. [Soroush and Rayati]



الشكل (27): التشوهات النسبية الشاقولية مع المناسيب على طول جدار الكتامة عند لحظة زمنية $t=1.86$ sec [Soroush and Rayati]



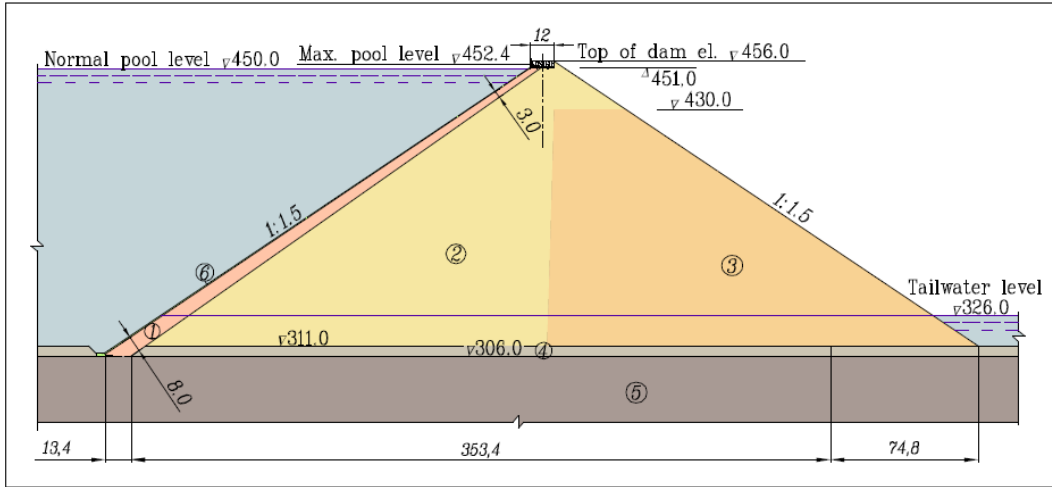
الشكل (28): التشوهات النسبية الشاقولية مع المناسيب على طول جدار الكتامة عند لحظة زمنية $t=1.86$ sec [Soroush and Rayati]



الشكل (29): اجهادات القص مع المناسيب على طول جدار الكتامة عند لحظة زمنية $t=1.86$ sec [Soroush and Rayati]

[15] Glagovsky and Kourneva, "Numerical modeling of concrete face rockfill dam at seismic impact", 2008.

قام Glagovsky و آخرون في عام 2008 بدراسة تحليلية لسد ركامي ذو تكسية بيتونية تحت التأثير الزلزالي.



1 – transition zone; 2 – rockfill (central embankment); 3 – rockfill (downstream embankment); 4 – weak rock; 5 – rock foundation; 6 – concrete slab.

الشكل (30): مقطع عرضي لسد ركامي بتكسية بيتونية للوجه الأمامي. [Glagovsky and Kourneva].

تم تأسيس السد موضوع الدراسة على طبقة من الصخور المتشققة حيث يبلغ ارتفاعه 148 متر، كما تم اعتماد سبع هزات زلزالية لاجراء التحليل الديناميكي بطريقة العناصر المحدودة ثلاثية الأبعاد لحساب الانتقالات الكلية المولدة في جسم السد .

و بنتيجة التحليل بطريقة العناصر المحدودة تم التوصل للنتائج التالية:

- في حال اعطاء قيمة 40mpa لعامل التشوه الطولي للردميات الحجرية المكونة للموشور الخلفي للسد يحدث الاهتزاز الاكبر عند الاكتاف و في الكتف اليساري بالتحديد.
- في حال اعطاء قيمة 53mpa لعامل التشوه الطولي للردميات الحجرية المكونة للموشور الخلفي للسد يحدث الاهتزاز الاكبر عند مركز السد.
- لا يحدث اي انفصال بين التكسية البيتونية للوجه الامامي و الردميات الحجرية تحته اثناء الهزة الزلزالية بسبب تأثير ضغط الماء في بحيرة السد.

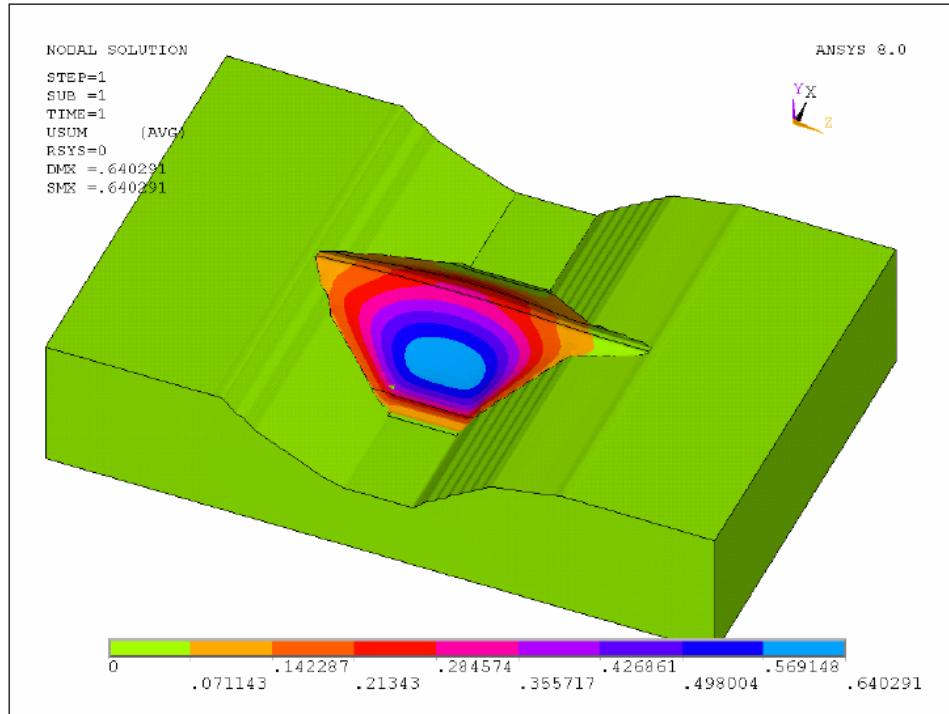


Figure 4 Total displacements

الشكل(31):الانتقالات الكلية في جسم السد.[Glagovsky and Kourneva]

[14] Ghazavi et al, "Response of plastic concrete cut-off walls in earth dams to seismic loading using finite element methods"2004.

قام Ghazavi و آخرون في عام 2004 بدراسة تحليلية للاستجابة الزلزالية جدار لدن مانع للرشح في أساسات سد ترابي بطريقة العناصر المحدودة.

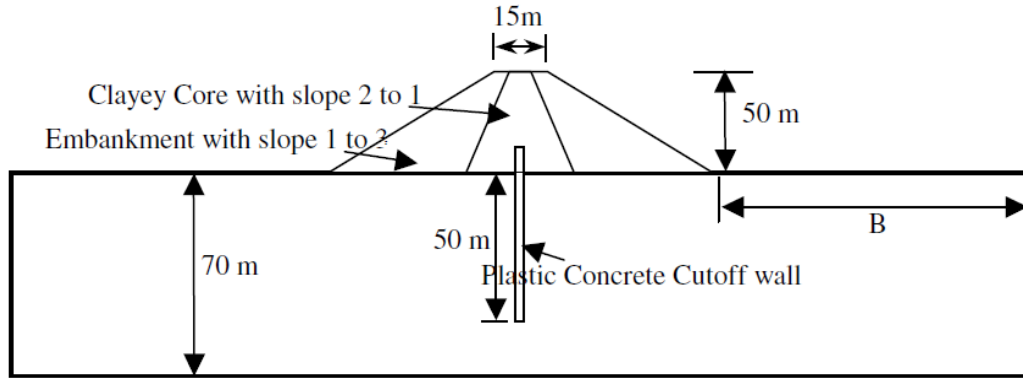
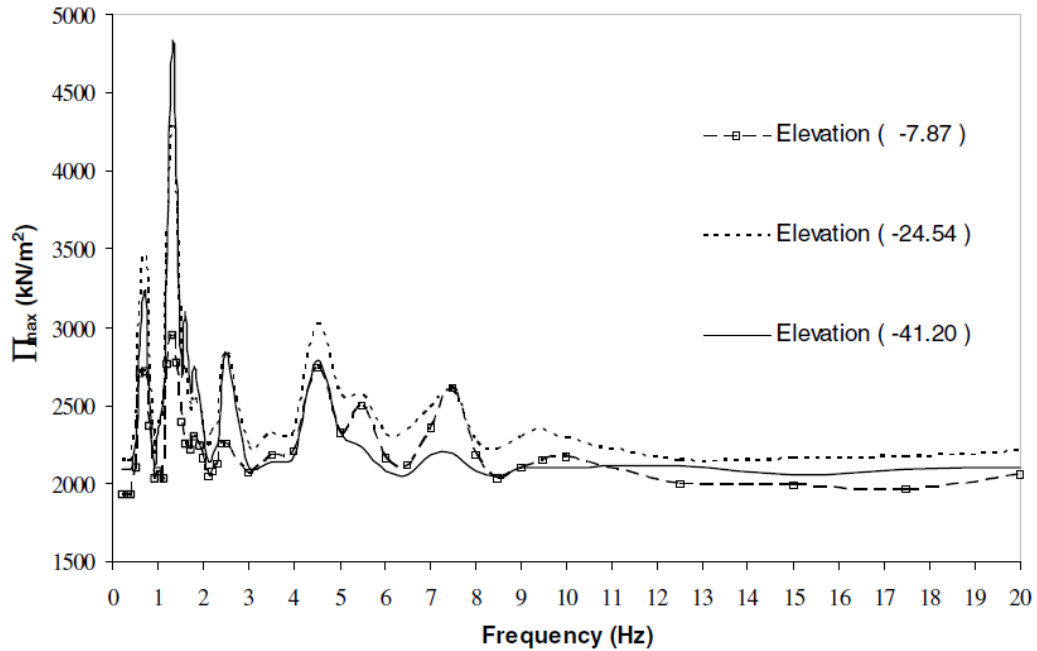


Fig. 1 Model Geometry

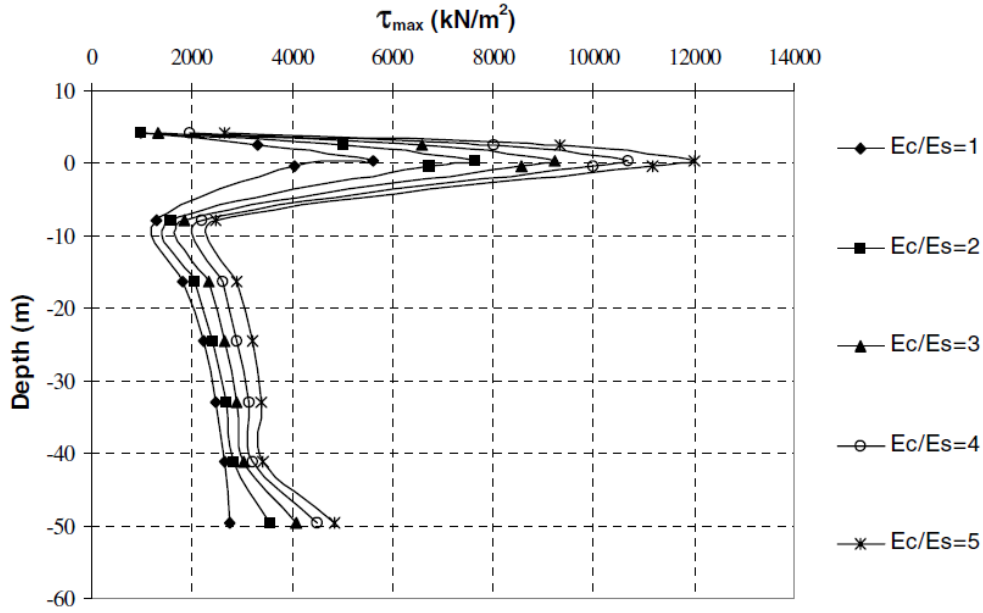
الشكل (32): مقطع عرضي في جسم السد. [Ghazavi et al]

تمت الدراسة لجسم السد بعد الانتهاء من إنشائه و قبل بدء وظيفته بتخزين المياه , حيث تم تطبيق هزة زلزالية بشكل تابع جيبي بذروة تسارع زلزالي أعظمي 0.4g, و ب زمن تأثير مدته 5 ثانية. بينت الدراسة إن اجهادات القص الأعظمية قد حدثت في جدار مانع الرشح عند منسوب سطح الأرض.

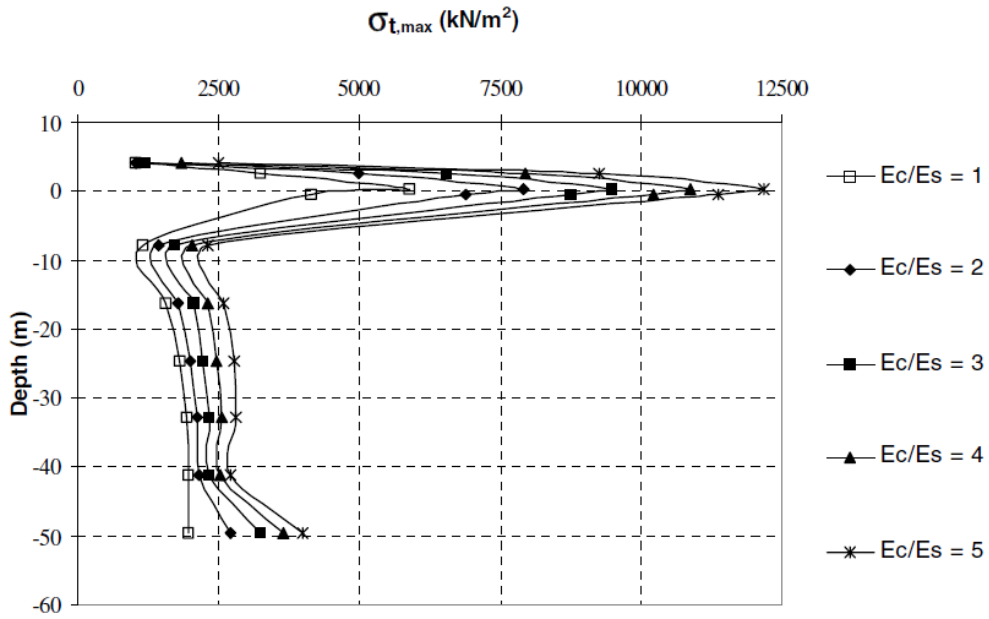


الشكل (33): تغيرات القيم الأعظمية لاجهاد القص بالنسبة للترددات لثلاثة مناسيب في الجدار. [Ghazavi et al]

كما ان ازدياد صلابة الجدار تؤدي إلى زيادة الاجهادات مما يتطلب العناية الخاصة في تصميم الجدار عند منسوب سطح الأرض.



الشكل (34): تغيرات القيم الأعظمية لاجهاد القص في الجدار بالنسبة للتردد 1.3 عرّز من اجل عدة قيم لمعامل يونغ الخاصة بالتربة المحاذية للجدار. [Ghazavi et al.]



الشكل (35): تغيرات القيم الأعظمية لاجهاد الشد في الجدار بالنسبة للتردد 1.3 عرّز من اجل عدة قيم لمعامل يونغ الخاصة بالتربة المحاذية للجدار. [Ghazavi et al.]

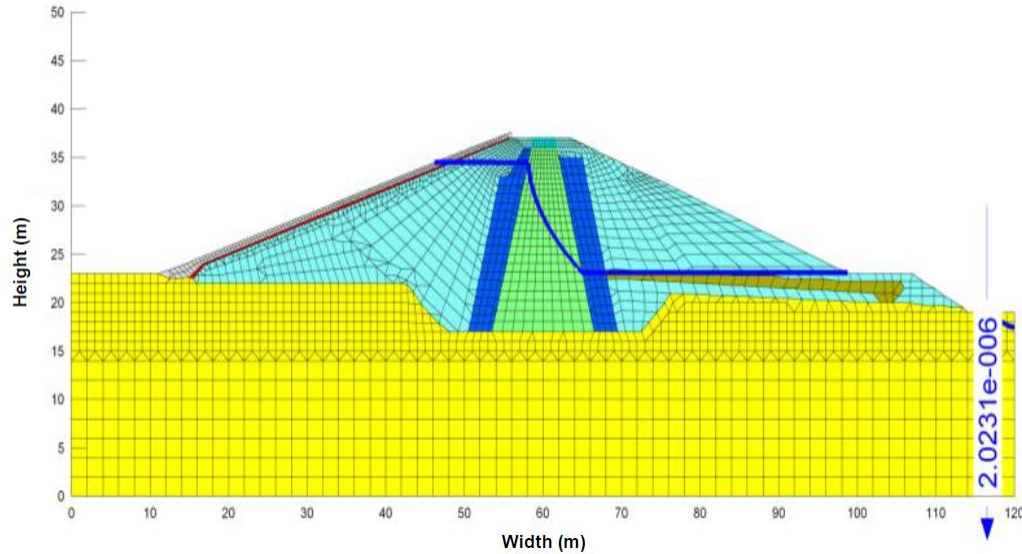
[13] Fisher et al, "Construction of self-hardening slurry cutoff wall at Taylorsville dam, Ohio", technical paper, 2004.

قام Fisher وأخرون في عام 2004 بدراسة إنشاء جدار مانع للرشح من الاسمنت و البنتونايت في أساسات سد Taylorsville, الذي تم انشاؤه بطريقة الملء الهيدروليكي (طريقة لم تعد تستخدم حالياً). بنتيجة التقييم اللاحق للسد تم التوصل الى امكانية وصول منسوب المياه الاعظمي الى قمة السد و بالتالي جرف جسم السد و انهياره.

بنتيجة عدة عمليات تقييم تم التوصل الى ضرورة تنفيذ آبار تصريف عند القدم الخلفي للسد بالإضافة الى تنفيذ جدار كتامة يمتد بين المانعة و قمة السد حيث تمت دراسة نوعية مواصفات مواد الإنشاء و استخدام الرماد الناتج عن العمليات الصناعية granulated blast furnace slag بسبب نفوذته المنخفضة و مقاومته العالية و الذي تمت اضافته الى الاسمنت المكون الرئيسي لجدار الكتامة. و تم التوصل الى القيم الأمثلية للنفوذية و مقاومة الضغط.

[28] KOKANEH, S.P et al 2013. Seepage evaluation of an earth dam using Group Method of Data Handling (GMDH) type neural network: A case study, 2004.

قام KOKANEH وأخرون في عام 2004 بدراسة الرشوحات المتكونة في اساسات و جسم سد ترابي باستخدام طريقة العناصر المحدودة و بمقاربة خاصة تعتمد Group Method of Data Handling (GMDH), حيث بينت النتائج فعالية هذه الطريقة في تقدير الرشوحات.



الشكل (36): مقطع في جسم السد يبين الرشوحات الحاصلة فيه. [KOKANEH et al]

[30] Kumar. T, G.” a study on the engineering behavior of grouted .19
loosesandysoil“,Doctorate Thesis, 2010

قام (Kumar),
بإعداد رسالة لنيل شهادة الدكتوراه في جامعة Kochin تضمنت الدراسة تجارب مخبرية لتحديد المواصفات الهندسية
لسلوك طيفو اسعنا الخلطات المستخدمة في إنشاء جدران الكمامة walls , Slurry
حيث تعدد أنواع هذه الخلطات بحسب المواد المكونة لها من بنتونايتور ملو اسمنتو حددت الدراسة تأثير نسبة هذه
مواد الاضافات الكيمائية للخلطات بالإضافة علموا صفات الخلطات الناتجة .
تما اعتماد المواصفات الهندسية للخلطة المستخدمة في الدراسة التحليلية من ضمن هذه المواصفات.

[21] Magano. R, E. and O’Neil. M. W.” Effect of dosage and exposure .20
time of slurries on perimeter load transfer in bored piles “,
International Geotechnical Seminar on Deep Foundations, Belgium .
1993

قام Magano وO’Neil في عام 1993 , بإعداد بحث حول تشكل
slurry cake في أعمال الحفر السبور وسلوكها كسطح فاصل Interface وتحديد مواصفاتها بحسب المواد المستخدمة في
سائل الحفر Slurry من بنتونايتو غير همنالاضافات البوليميرية.

2.2 الإطار النظري و المفاهيم:

يقصد بالإطار النظري و المفاهيم الأسس النظرية التي تقوم عليها الدراسة التحليلية للنماذج الرقمية بحسب البرنامج المستخدم في الدراسة.

Steady state flow in porous medium (Darcy) . نظرية الجريان المستقر في الأوساط النفوذة .

Plane strain theory (green) . نظرية التشوهات النسبية المستوية.

Finite elements method . نظرية العناصر المحدودة.

Infinite elements method . نظرية العناصر الغير محدودة.

elasto-plastic theory . نظرية السلوك المرن- اللدن للمادة.

elastic- linear theory . نظرية السلوك المرن-الخطي للمادة .

mohr-coulomb mohr-coulomb criteria . نظرية انهيار .

pore-water pressure . ضغط الماء المسامي.

consolidation soil theory . نظرية الانضغاطية.

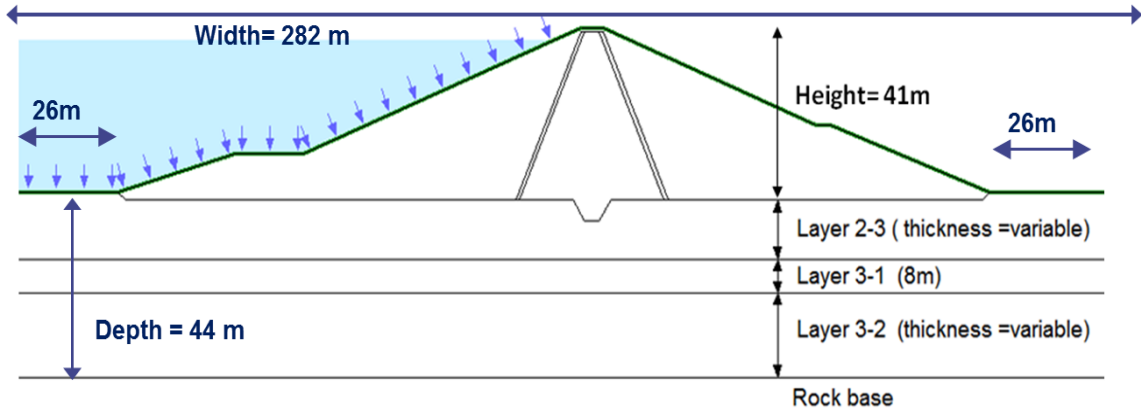
Grid and radius الأفطار و أنصاف الأقطار . الاستقرار و تعيين سطوح الانزلاق بطريقة شبكة المراكز و

equivalent –linear analysis . نظرية التحليل الديناميكي المكافئ الخطي.

الفصل الثالث: الدراسة المعيارية

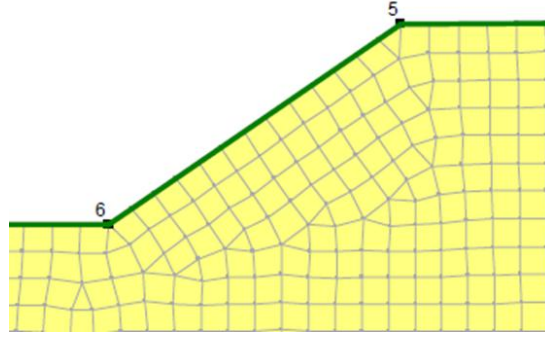
1.3 الشروط الحدية:

- تتم نمذجة أبعاد المسألة بحيث تكون سماكة الأساسات تحت السد بعمق يصل إلى الأساس الصخري , أو بعمق يساوي إلى ارتفاع السد في حال كان الأساس الصخري أعمق من ذلك , و بحيث تمتد أطراف المسألة على جانبي السد ببعد كافمن كل طرف , بما يسمح بإنشاء نموذج تحليلي عقلاني و قابل للدراسة و في نفس الوقت يمنع التأثير السلبي للقيود الطرفية للمسألة من حيث ارتداد الموجات الزلزالية , يمكن البرنامج المعتمد في إعداد الدراسة التحليلية Geo-studio من التغلب على هذا التأثير السلبي و بنفس الوقت الاحتفاظ بنموذج منطقي من حيث الأبعاد , عن طريق إنشاء مناطق غير منتهية infinite region على طرفي المسألة , حيث تعتمد منهجية البرنامج لإنشائها على نظرية Bettress P, 1992 للعناصر الغير محدودة [6].



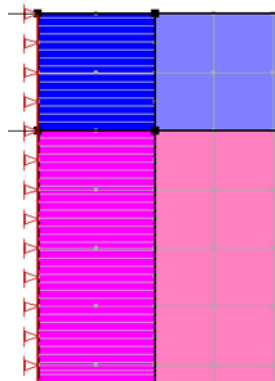
الشكل (37): الأبعاد الهندسية للنموذج المدروس.

- إن دراسة كل من السد الترابي و جدار الكتامة تتم ضمن شروط نظرية التشوهات النسبية المستوية حيث تكفي في هذه الحالة دراسة شريحة تمثل المقطع العرضي للمسألة و بسماكة 1 م و ذلك كون البرنامج المعتمد في إجراء الدراسة التحليلية Geo-studio يعتمد على نظرية العناصر المحدودة ثنائية الأبعاد ضمن شروط التشوهات النسبية المستوية و التي تطبق عندما يفرض بأن الوسط المدروس مقيد في الاتجاه المتعامد على المقطع المدروس , نتيجة لاستمرار المقطع بطول كبير (الأساسات المستمرة – مسائل استقرار المنحدرات) .
- بحسب خريطة تساوي التسارع الزلزالي لسوريا , تعتبر المنطقة الشمالية الغربية من سوريا الأكثر تعرضاً لاحتمالية حدوث زلازل قوية تصل ذروة تسارعها إلى $0.3g$ لذلك سيتم تطبيق حركة زلزالية أرضية تبلغ ذروة تسارعها الزلزالي $0.3g$ لزمن عائد و قدره 100 سنة.
- يتم التحليل الرقمي باستخدام نظرية العناصر المحدودة ثلاثية الأبعاد لكن لشريحة واحدة بسماكة 1م تر.
- يتم اعتماد تقسيمات شبكية للعناصر المحدودة بأبعاد تقارب 1 م بكل الاتجاهات و ذات أشكال مربعة غالباً quadratic وعناصر مثلثية triangular عند الحاجة نتيجة للشكل الهندسي للمسألة.



الشكل(38): نمط العناصر المحدودة المستخدمة.

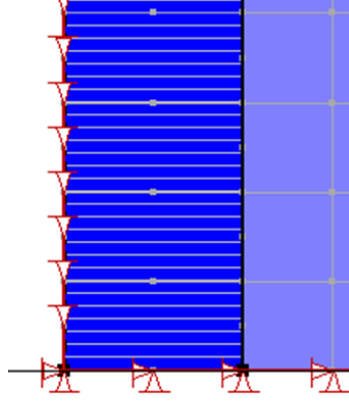
- تتم دراسة الرشوحات ضمن حالة steady-state أي عندما يكون السد مليئاً لحد التخزين الأعظمي و لفترة كافية لتأمين جريان مستقر ضمن جسم السد.
- يتم افتراض وجود سطح تصريف احتمالي على الوجه الخلفي للسد.
- سيتم تخصيص نموذج (مشبع-غير مشبع) saturated-unsaturated للمواد أثناء تحليل الرشوحات للمواد الواقعة فوق منسوب خط الرشح , و نموذج (مشبع) saturated للمواد الواقعة تحت منسوب خط الرشح.
- تتم دراسة الرشوحات ضمن المسألة من خلال افتراض أولي يتعلق بفرق الضاغط بين الوجه الأمامي للسد و قاع بحيرته من جهة , و بين الوجه الخلفي للسد و الأرض الواقعة أمام الوجه الخلفي للسد من جهة ثانية.
- يتم اعتماد عوامل النفوذية لمختلف مواد السد كتوابع للضغط الهيدروستاتيكي المطبق.
- يتم إجراء الحسابات الستاتيكية لتأمين حسابات الحالة الأولية ما قبل الديناميكية . و ذلك بتطبيق السلوك المرن اللدن للمواد المدروسة.
- في تحليل الإجهادات الأولية,تحدد الشروط الطرفية للمسألة بحيث تمنع الانتقالات الأفقية.



الشكل(39): الشروط الطرفية للنموذج في التحليل الستاتيكي.

- يتم نظرياً حمولات الوزن الذاتي و حمولة وزن المياه في بحيرة السد في التحليل الستاتيكي الأولي

- في التحليل الديناميكي الزلزالي يتم تطبيق حركة زلزالية بشكل سجل زمني معدل تكون ذروة تسارعه $0.3g$.
- في التحليل الديناميكي و لضمان عدم انعكاس الموجات الزلزالية من أطراف و حدود المسألة و لمنع التأثير السلبي لمحدودية نمذجة أبعاد المسألة على سلوكها الديناميكي , تتم نمذجة مناطق غير منتهية infinite-region على أطراف المسألة, تؤمن هذه المناطق أبعاد افتراضية تساوي البع بين طرف المسألة و مركزها و ذلك على كل من جوانبها .



الشكل (40): الشروط الطرفية للنموذج في التحليل الديناميكي, و تظهر المناطق اللامنتهية على اطراف الشكل.

- تم اعتماد نموذج التحليل الديناميكي equivalent-linear لكافة المواد عدا المواد المخصصة للمناطق الغير منتهية infinite-region المشكلة على طرفي المسألة حيث يتم اعتماد نموذج linear-elastic التحليلها.
- تكون الشروط الحدية لطرفي المسألة الجانبيين عند التحليل الديناميكي بحيث تمنع الانتقالات الشاقولية و تسمح بالانتقالات الأفقية بينما تمنع الانتقالات الأفقية و الشاقولية في الحدود السفلية للمسألة .
- في دراسة الاستقرار يتم حساب عوامل الأمان للوجه الخلفي للسد بطريقة العناصر المنتهية و تتم دراسة آلية الانهيار بحسب نظرية mohr-coulomb

2.3 البرنامج المستخدم في الدراسة:

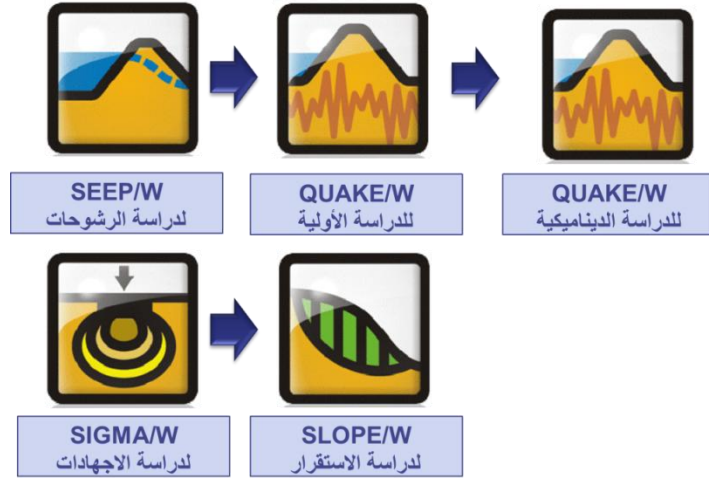


يستخدم برنامج Geo-Studio , و المتضمن برامجه الفرعية بحسب الآلية التالية :

آلية التحليل الستاتيكي:

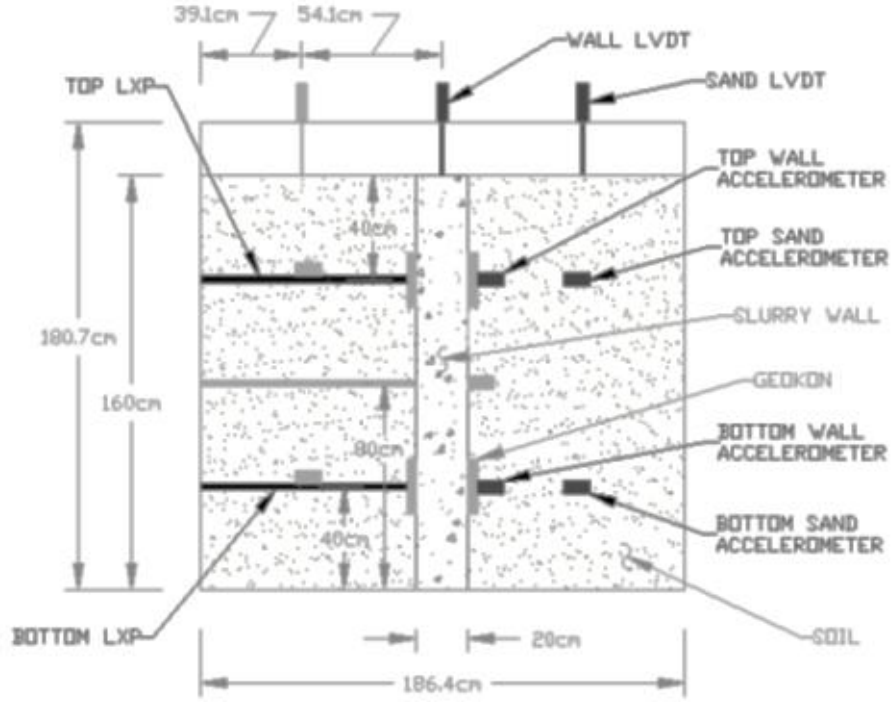


آلية التحليل الديناميكي:

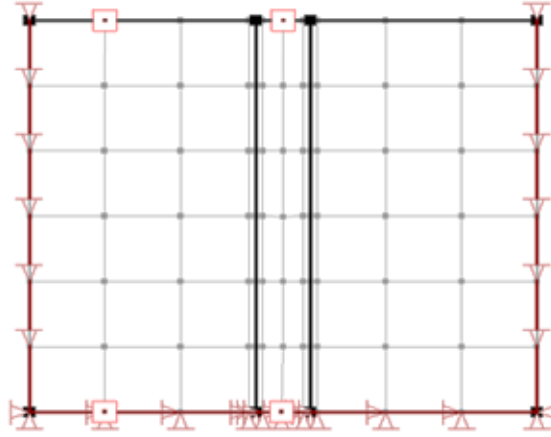


3.3 نموذج المعايرة المدروس و الدراسة التحليلية:

تمت نمذجة تجربة الطاولة الرجاجة [16], بحسب الأبعاد الحقيقية للنموذج الشكليين (41) (42), حيث بلغت أبعاد الطاولة 2.1*2.4 متر، مثلها في النمذجة قاعدة النموذج، تم بناء صندوق خشبي يحتوي على الجدار المدروس والذي تبلغ أبعاد 160*150 سم بمسماكة 20 سم، وتمت محاكاة الصندوق والخشب بإطار من الفولاذ الصلب.



(a) أبعاد نموذج الطاولة الرجاجة [Graham et al]



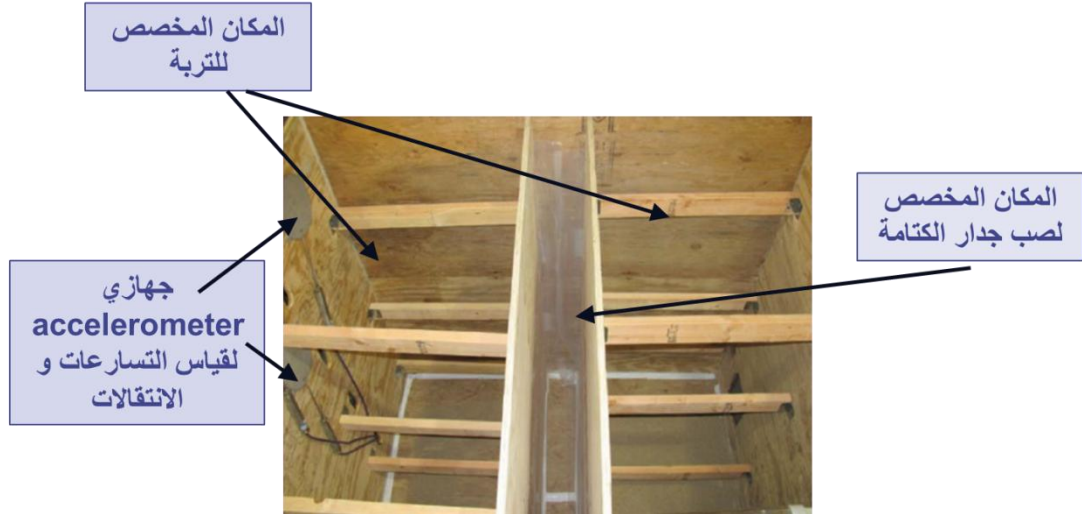
(b) شبكة العناصر المحدودة للنموذج التحليلي للمعايرة

الشكل (41): أبعاد نموذج تجربة الطاولة الرجاجة.

تموضع جهازي accelerometer على ارتفاع 40 سم من القاعدة و على عمق 40 سم من قمة النموذج.



(a) – الهيكل المعدني الخارجي المحيط بالاطار الخشبي مثبتا على الطاولة الرجاجة



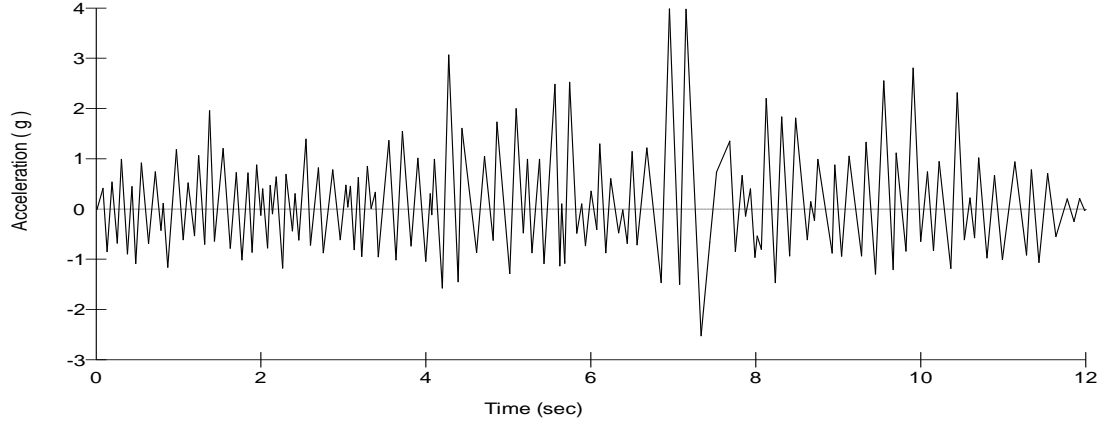
(b) – القالب الخشبي موضعا عليه أماكن تركيب أجهزة قياس التسارع الزلزالي.

الشكل (42): نموذج تجربة الطاولة الرجاجة. [Graham et al]

جدول (5):- مواصفات المواد المستخدمة في النموذج التحليلي لمعايرة تجربة الطاولة الرجاجة.

مواصفات المواد المستخدمة في التجربة						
زاوية الاحتكاك	التماسك	عامل بواسون	عامل المرونة	الوزن الحجمي	نمذجة المادة	
35	10 kpa	0.3	35000 kpa	15 kn/m ³	Mohr-Coulomb	الرمل
57	150 kpa	0.25	156250 kpa	14.5 km/m ³	Mohr-Coulomb	جدار الكتامة

الهزة الزلزالية المطبقة:

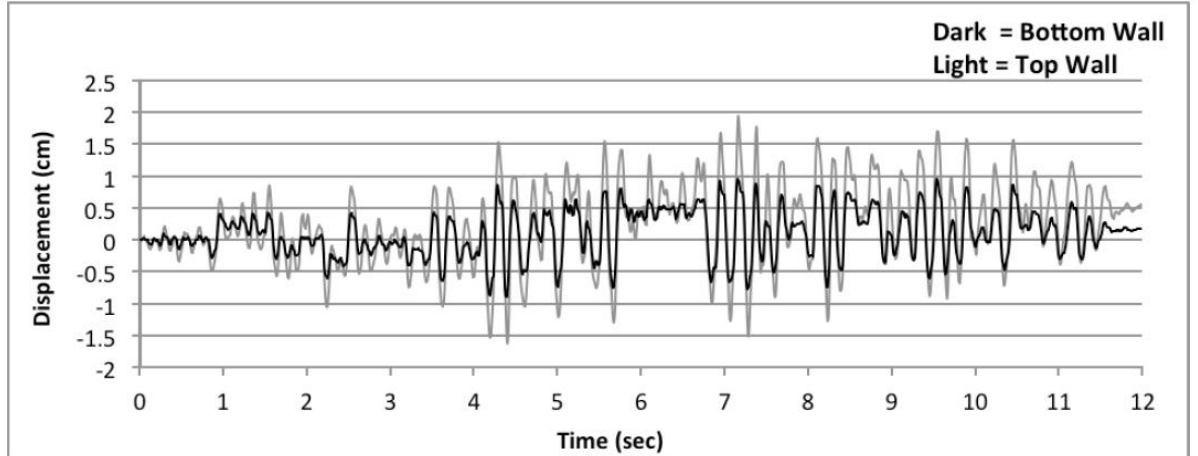


الشكل (43): الإشارة الزلزالية المطبقة في تجربة الطاولة الرجاجة.

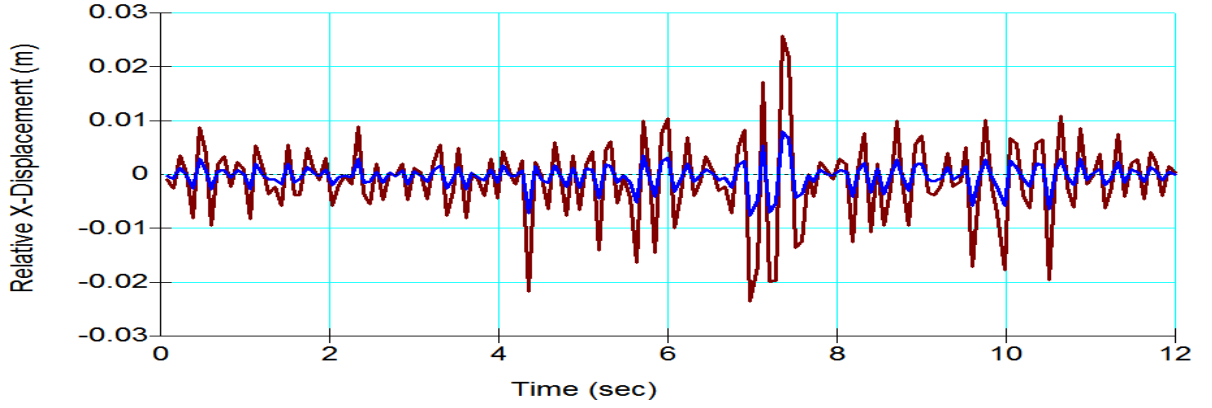
تم تطبيق الهزة الزلزالية المستخدمة في تجربة الطاولة الرجاجة وهز لزال Northridge California 6.7 magnitude.

4.3 نتائج الدراسة المعيارية:

بينت الدراسة المعيارية من خلال المقارنة بين نتائج الطاولة الرجاجة والنموذج التحليلي وجود توافق جيد بين النتائج في كلا الحالتين حيث تم رصد النتائج في النموذج التحليلي في نفس العقد التي توافق مواقع تثبيت الجيوفونات في التجربة.

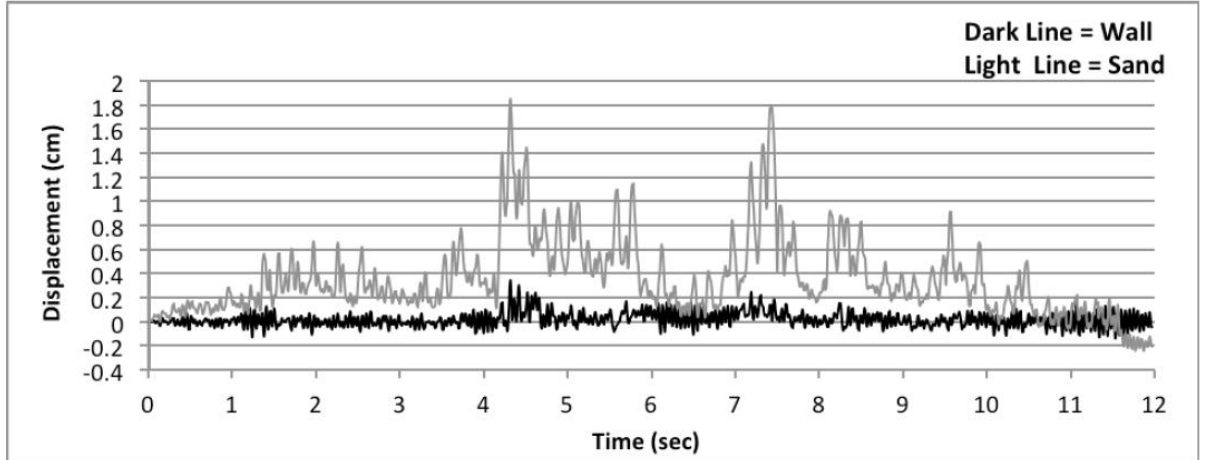


(a) – مقارنة الانتقالات الأفقية في أسفل و أعلى جدار الكتامة في تجربة الطاولة الرجاجة. [Graham et al]

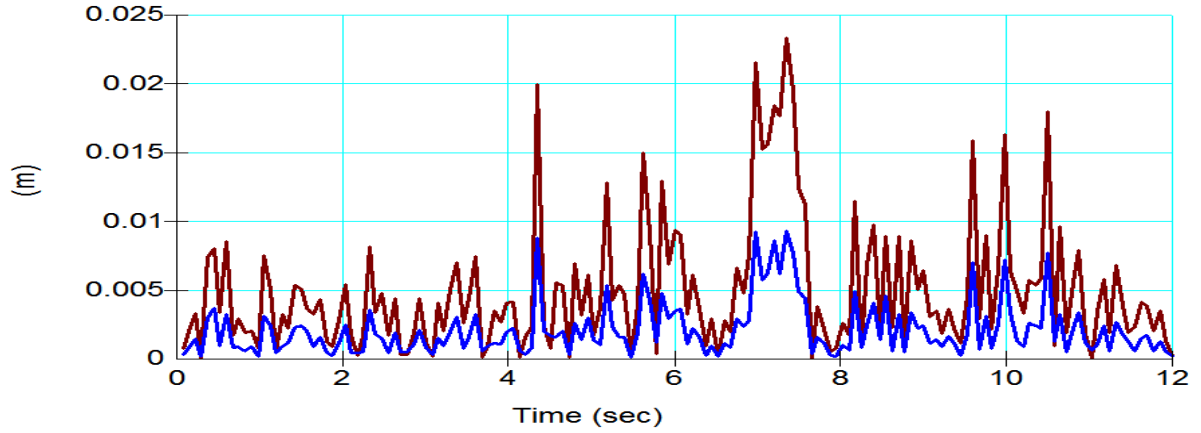


(b) – مقارنة الانتقالات الأفقية في أسفل و أعلى جدار الكتامة في النموذج التحليلي.
 الشكل(44):مقارنة السجل الزمني للانتقالات الأفقية في أسفل و أعلى الجدار.

تبين المقارنة السابقة ان القيمة الأعظمية للانتقالات الأفقية في أعلى الجدار في كل من نتائج التجربة و الدراسة التحليلية المعيارية لا تتجاوز 2.5 سنتيمتر بينما لا تتجاوز 1 سنتيمتر في أسفل الجدار و لكلا الحالتين أيضا.

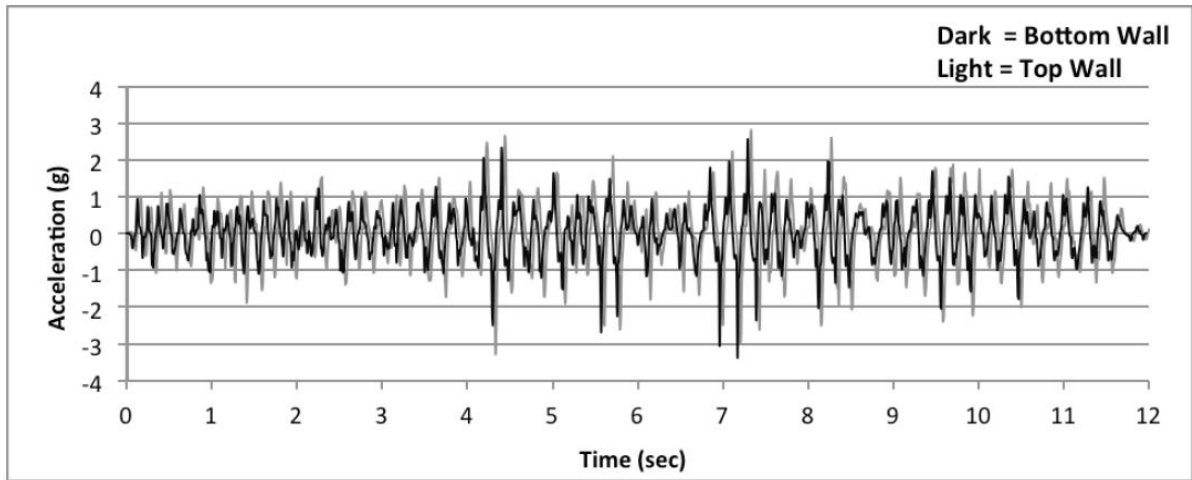


(a) – مقارنة الانتقالات الشاقولية في جدار الكتامة و التربة المحيطة في تجربة الطاولة الرجاجة.[Graham et al]

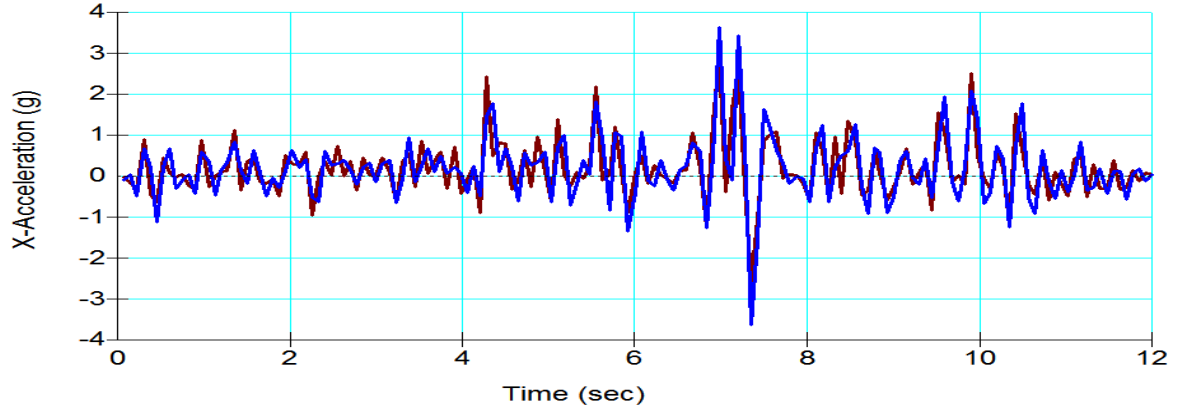


(b) – مقارنة الانتقالات الشاقولية في جدار الكتامة و التربة المحيطة في النموذج التحليلي.
الشكل (45): مقارنة السجل الزمني للانتقالات الشاقولية في اسفل و أعلى الجدار.

تبين المقارنة السابقة ان القيمة الأعظمية للانتقالات الشاقولية (الهبوطات) في التربة المحيطة تبقى بحدود 2 سنتيمتر في كل من التجربة و الدراسة التحليلية المعيارية و بحدود 0.5 سنتيمتر في جدار الكتامة لكلتا الحالتين.

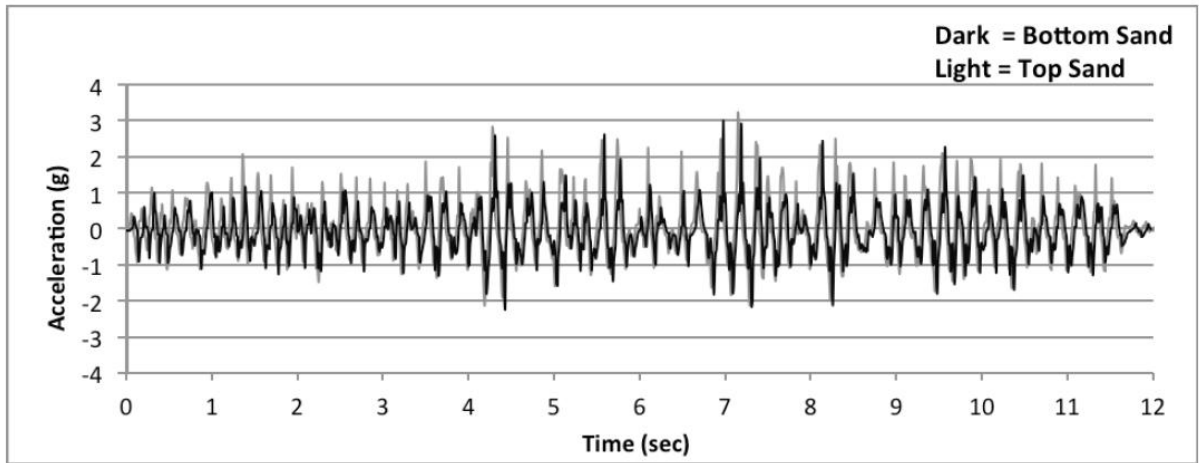


(a) – مقارنة السجل الزمني للتسارعات في أعلى و أسفل جدار الكتامة في تجربة الطاولة الرجاجة. [Graham et al]

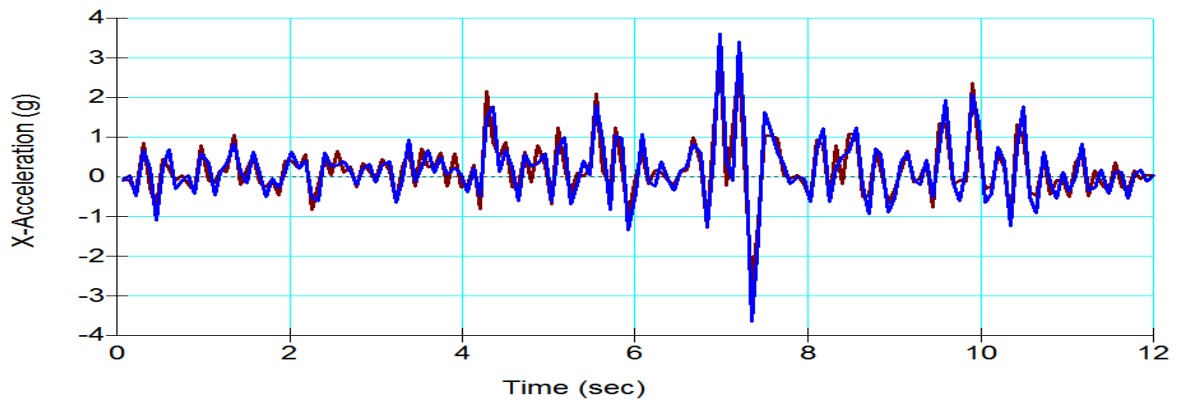


(b) – مقارنة السجل الزمني للتسارعات في أعلى و أسفل جدار الكتامة في النموذج التحليلي.
الشكل(46):مقارنة السجل الزمني للتسارعات الأفقية في اسفل و أعلى الجدار.

تبين المقارنة السابقة ان القيمة الأعظمية للتسارعات الأفقية في أعلى و أسفل جدار الكتامة تبلغ قيمة أعظمية بحوالي(0.3g) في كل من التجربة و الدراسة التحليلية المعيارية .



(a) – مقارنة السجل الزمني للتسارعات في أعلى و أسفل التربة المحيطة في تجربة الطاولة الرجاجة.[Graham et al]



(b) – مقارنة السجل الزمني للتسارعات في أعلى و أسفل التربة المحيطة في النموذج التحليلي.

الشكل(47):مقارنة السجل الزمني للتسارعات الأفقية في اسفل و أعلى التربة المحيطة.

تبين المقارنة ان القيمة الأعظمية للتسارعات الأفقية في أعلى و أسفل التربة المحيطة تبلغ قيمة أعظمية بحوالي(0.3g) في كل من التجربة و الدراسة التحليلية المعيارية .

و أكدت النتائج المتوافقة بين الدراستين التحليلية و التجريبية صلاحية البرنامج المستخدم للدراسة هو -GEO STUDIO والذي يعتبر احدا همالبرنامج المستخدم فيدراسة السدود ستاتيكي اوزلزاليا , مع الأخذ بالاعتبار ان التوافق لا يمكن تحقيقه بشكل مطابق بين الدراسات التحليلية و التجريبية.

الفصل الرابع: الدراسة التحليلية

1.4 دراسة و تحليل الوضع الراهن للسد و تحديد تأثير الوضع الليتولوجي على الاستقرار الستاتيكي و الديناميكي للسد (تأثير الموقع).

يتميز موقع السد موضوع البحث بتركيب ليتولوجي معقد و متغير حيث لوحظ وجود العديد من تطبيقات التربة تحت السد يمكن تبسيطها بهدف التحليل إلى طبقتين بحسب التقارب في المواصفات الجيوتكنيكية و عامل النفوذية و بالتالي الرشوحات و ضغط الماء المسامي ضمن أساسات السد مما يؤثر على استقراره الستاتيكي و الديناميكي. لذلك كان لا بد من دراسة تأثير الوضع الليتولوجي على استقرار السد لعزل هذه التأثيرات عن تأثير جدار الكتامة البيتوني على السلوك الديناميكي للسد و أساساته و هو الموضوع الأساسي لهذا البحث.

1.1.4 دراسة تأثير تغير عمق طبقة الأساسات ذات عامل النفوذية العالي على استقرار السد ستاتيكيًا.

تم إجراء دراسة لرشوحات فيجسما لسد و أساساتهم أنجلثا لثلاث حالات نفوذية k (1×10^{-4} m/s, 4.5×10^{-5} m/s, 4.5×10^{-6} m/s) كمنها يتعلق بعامل نفاذية مختلف طبقته بترتبة ضمن الأساسات ذات السماكة القليلة و عالية النفوذية

(Layer 3-1)

و تهدف دراسة الحالات الثلاثة لتقييم تأثير عامل النفوذية على السد و أساساته مع الأخذ بعين الاعتبار أن الحالة الثالثة ($k = 4.5 \times 10^{-6}$ m/s) هي الحالة الحقيقية.

يتم تقييم هذا التأثير من خلال دراسة العلاقة بين منسوب خط الرشح فيجسما لسد و عمق طبقة الأساسات عالية النفوذية

(Layer 3-1)

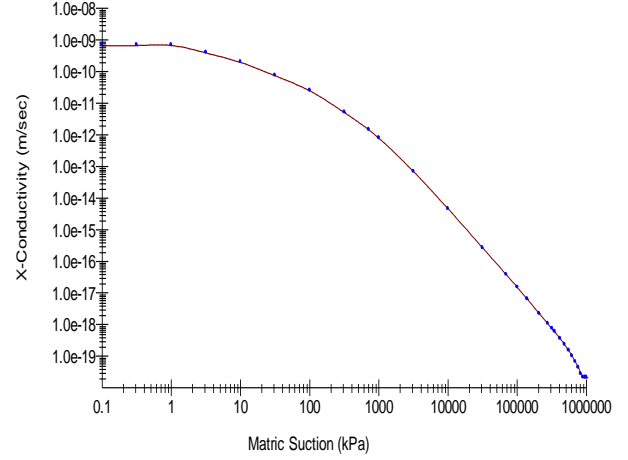
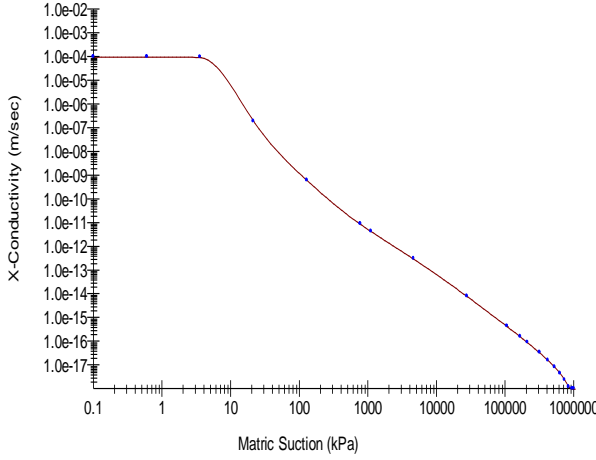
بعد الانتهاء من دراسة الرشوحات و المقارنة بين الحالات المختلفة و التأكد من تأثير اختلاف معامل النفاذية في الطبقة Layer 3-1 على الضغط المسامي فيجسما لسد و اعتماد الضغط المسامي الناتج عن دراسة الحالة الحقيقية ($k = 4.5 \times 10^{-6}$ m/s) فيدراسة و تحليلها لاجتهادات الفعالة المتكونة فيجسما لسد و أساساته.

ثم تم إدخال التأثيرات للضغط المسامي و الاجتهادات المتكونة فيجسما لسد و أساساته في حساب و املا لأمان استقرار الوجه الخلفي لسد و الموافقة لأعماق مختلفة للطبقة Layer 3-1 و ذلك باستخدام طريقة العناصر المحدودة [5].
تم استخدام نتائج دراسة الاستقرار بطرق (Bishop, Janbu and Morgenstern-Price) لأجل المقارنة و استخلاص النتائج [7], [19], [23].

دراسة الرشوحات

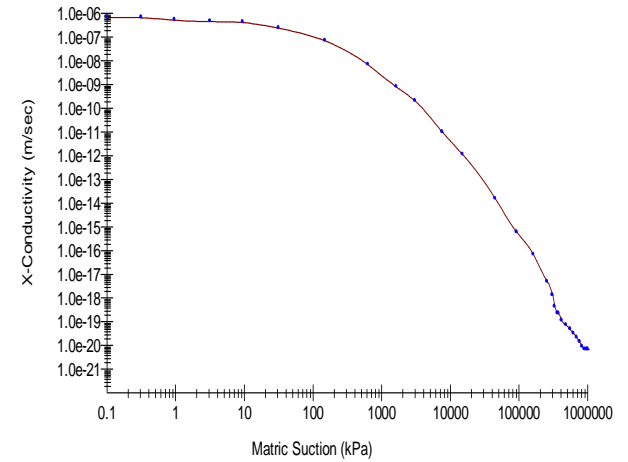
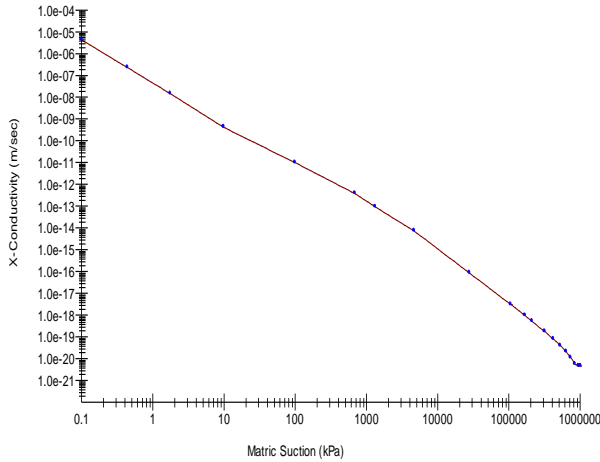
لدراسة النماذج التحليلية لهذا البحث تم افتراض شروط و طعامة للرشوحات , تتضمن الشروط و طعامة البحير و بالماء لفترة كافية لتشكيل جريان مستقر ضمن التربة و جسم السد (steady state seepage) أما الشروط المحيطية فتتضمن تحقيق قبالضاغط الكلي قدر ب36 متر بين الوجه الأمامي للسد و قدام السد من جهة الوجه الخلفي ف [28] كما تم اعتماد ثلاثة عوامل للنفوذية تم تخصيصها للطبقة الأساس Layer 3-1 و دراسة تأثير كل منها على هذه العوامل و حما بين عالية النفوذية المتوسطة النفوذية [9].

تفيد دراسة الحالات الثلاثة فيتكو ينمفهوم محسيلاتأثير عاملا لنفاذية عليقيمة التدفق علمنسو بخطالشرح حيثما فتر اضا نطبقات التربة فياساساتالسدهي فيالحالة المشبعة لذلك يمكناسناد عاملنفوذية ثابتلكا طبقة , أما بالنسبة لمواد جسمالسدفهيتتوز عينالحالة المشبعةوالغير مشبعة بحسبموقعها فوقاو تحتخطالرشحاذلكيجب تحصى صتايعر بطبييضغطالماء المساميسالبو بينعاملا لنفوذيةلهذا المودا حيثيتم تحديد هذا التابعاعتمادا علىنظرية VAN GENUCHTEN, [40] الشكل (48).



(a) , تابعالنفوذيةللنواة الغضارية- $7E-10$.K at saturation= $7E-10$

(b) , تابعالنفوذيةلموادشير الاستناد- $1E-4$.K at saturation= $1E-4$



(c) , تابعالنفوذيةلطبقة الأساسات Layer3-1 .K at saturation= $4.5E-6$

(d) , تابعالنفوذيةلطبقة الأساسات Layer2-3 .K at saturation= $7E-7$

الشكل (48): توابالنفوذيةلمواد جسم السد و أساساته.

تماجراء التحليل بالأخذبالاعتبار جريانالماء ضمنطبقاتالتربة المشبعةوالغير المشبعة بحسب قانون دارسي (Darcy's Law $Q=K*I$), حيثأن Q هيالغزارة K , عاملا لنفاذية I , هوميلا لضاغطالهيدروليكيالكلي, بحسبالافتراضاتالسابقة بأنالجريانانضمنمواد جسمالسدو أساساتهيجرياناتمستقرة (steady-state) تكونالمعادلة التفاضلية المستخدمة فيدراسة العناصر المحدودة هيالتالية:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(k_x \frac{\partial H}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(k_y \frac{\partial H}{\partial y} \right) + Q = m_w \gamma_w \frac{\partial H}{\partial t}$$

بتطبيق طريقة المتبقي الموزون (Galerkin method) على المعادلة التفاضلية تنتج معادلة العناصر المحدودة ثنائية البعد للرشوحات التالية:

$$[K]\{H\} + [M]\{H\}, t = \{Q\}$$

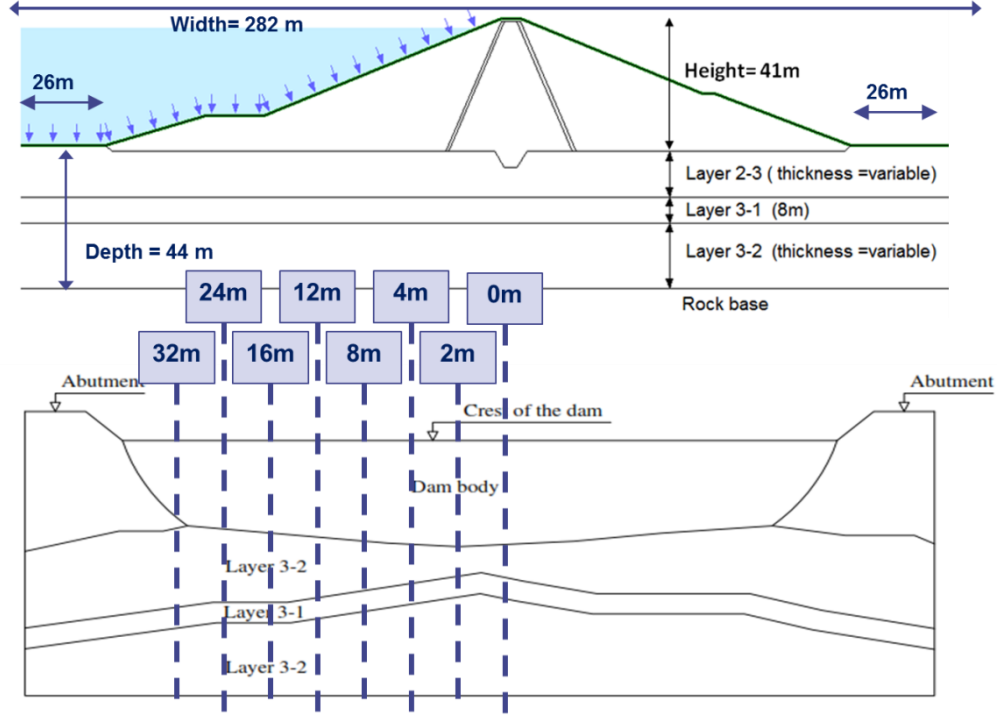
حيث:

[K]	: المصفوفة المميز للعناصر المحدودة.
[M]	: مصفوفة الكتلة للعناصر المحدودة.
{Q}	: شعاع التدفق المطبق على العنصر المحدود.
{H}	: شعاع الضاغطة على العقد.
t	: الزمن.

عند التحليل يافتراض أن الجريان مستقر في جسم السد وأساساته لا يكون الضاغطة بالزمنو بالتالي يختفي الحدين {H} و t من المعادلة مما يمكن من تبسيط المعادلة السابقة للمعادلة العناصر المحدودة المختصرة التالية والتي تعبر عن المعادلة الأساسية للرشوحات بحسب قانون دارسي (Darcy's Law):

$$[K]\{H\} = \{Q\}$$

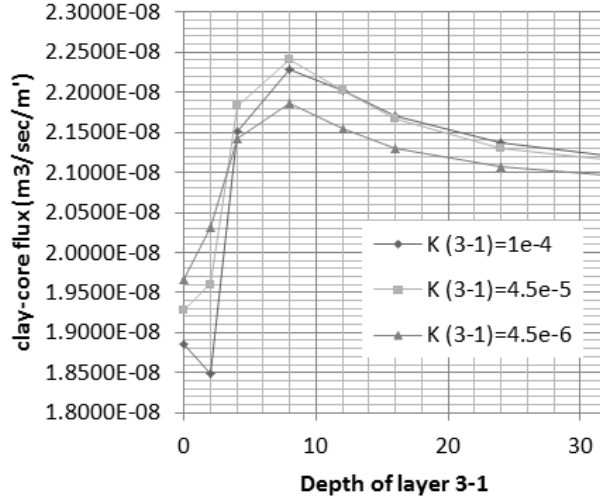
تم إجراء دراسة تحليلية للرشوحات للحالات الثلاثة المذكورة سابقاً. حيث تتميز كل حالة بعاملاً نفاذية مختلف K m/Sec (4.5E-6, 4.5E-5, 1E-4) تم تخصيصها للطبقة النفوذة (layer3-1) وذلك عندما يختلف عمق هذه الطبقة بحسب الأعماق (32, 24, 16, 12, 8, 4, 2, 0) m الشكل (49) يوضح مقطع عرضي ومقطع طولياً مبسط للسد وأساساته.



الشكل (49): مقطع طوليو عرضي مبسط للسد وأساساته.

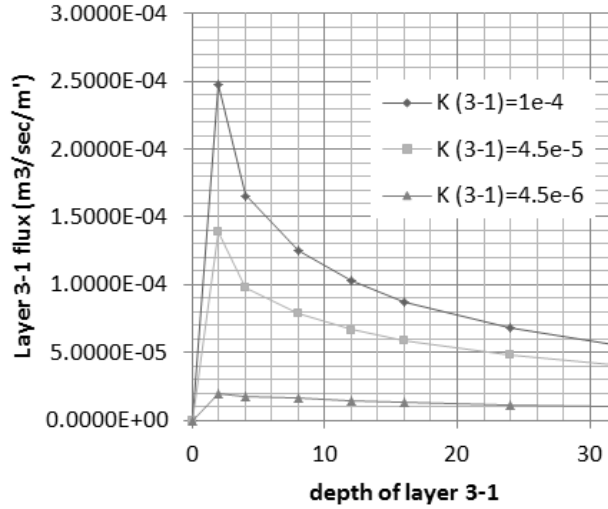
الهدف والأول مندراسة الرشوحات لكل الحالة لعمل نفوذية K هو تحديد التدفق في النواة الغضارية لجسم السد وفي الطبقة (layer 3-1) وذلك من أجل الحالة لتغير عمق الطبقة (layer 3-1). حيث بيننا النتائج أن التدفق في النواة الغضارية يميز دامت انخفاض عمق الطبقة (layer 3-1) لكافة من حالات الدراسة الشكل (50). كما يزداد التدفق ضمن الطبقة (layer 3-1) مع نقصان العمق باضطراد وذلك حتى العمق (4) متر، حيث ينخفض التدفق لقيمة تقارب الصفر عند العمق (0) متر، هذه النتيجة مبررة بعملامنع الغضارية للسد التي تقطع الطبقة النفوذة عند هذا العمق.

ظهرت تغيرات كبيرة في التدفق ضمن الطبقة (layer 3-1) من أجل الحالة الدراسة، الشكل (51). كما يلاحظ أن منسوب خط الرشح مع انخفاض عمق الطبقة (layer 3-1) كما يوضح ذلك المقطع طولوي يقع على بعد 45.5 متر من محور السد باتجاه الواجهة الخلفية للسد، الشكل (52). كما يلاحظ بأن منسوب خط الرشح ينخفض بشدة عندما تكون الطبقة النفوذة في العمق (0) متر وذلك بسبب عملامنع الغضارية للسد التي تقطع الطبقة النفوذة وهذا يعني أن حالة العمق (0) متر لا فائدة منها وسيتم تجاهل حالة وجود الطبقة (layer 3-1) في التحليلات التالية لأنها لا تعطينا نتائج يمكن الاستفادة منها في هذا البحث.



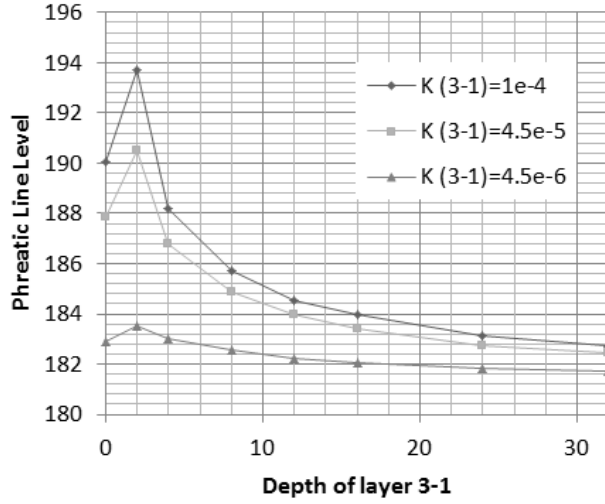
الشكل (50): التدرجات في انواله الغضارية مع تغير عمق الطبقة (Layer 3-1).

عند وجود الطبقة النفوذة عند العمق 2 متر يزاد منسوب خط الرشح بالقيمة التالية (3.3-1.8-1.1) متر وذلك من أجل حالات تغير النفوذية ($K=1 \times 10^{-4}$ m/s, $K=4.5 \times 10^{-5}$ m/s, $K=4.5 \times 10^{-6}$ m/s) علنا لترتيب يزاد منسوب خط الرشح نتيجة لزيادة ضغط الماء المسامي في جسم السد وأساساته. الشكل (a-53) يبين منسوب خط الرشح في حالة وجود الطبقة (layer 3-1) علنا لعمقين 2 و 32 متر.

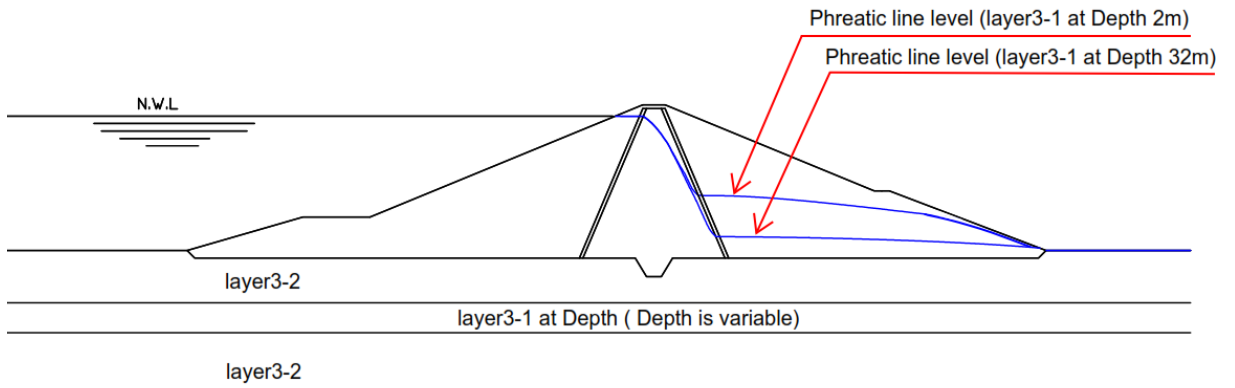


الشكل (51): تغير التدرجات في الطبقة layer 3-1 مع تغير عمقها.

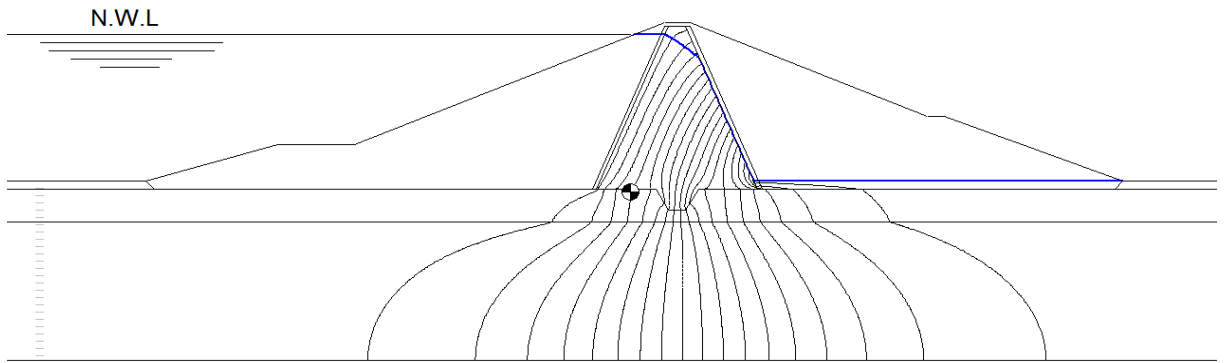
الشكل (54) يبين مقدار نلتوز ضغط المسامي في مقطع عشاقو ليقع على بعد 17 متر من محور السد باتجاه الواجهة الخلفي , وذلك من أجل حالات النفوذية الثلاثة الخاصة بالطبقة (layer 3-1) عند وقوعها علنا لعمق (2) متر.



الشكل (52): منسوب خط الرشح في النواة الغضارية مع تغير عمق الطبقة Layer 3-1.

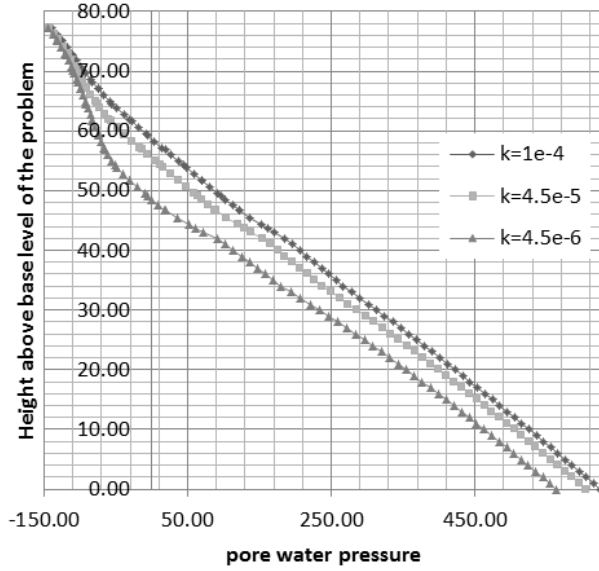


(a) - منسوب خط الرشح في حالة وجود الطبقة (layer 3-1) عند الأعماق 2 و 32 متر من أجل حالة النفوذية ($K = 1e-4 m/S$).



(b) - خط الرشح في جسم السد عند نمذجة السد دون مواد المشور الخلفي للسد.

الشكل (53): مناسب خطوط الرشح في السد.



الشكل (54): ضغط الماء المسامي مع تغير الارتفاع ضمن جسم السد عند اتكونا الطبقة (layer 3-1) عند العمق 2 متر.

يتولد ضغط الماء المسامي بالأعلى عند متاعا الطبقة (layer 3-1) عند العمق 2 متر. يبين الشكل (54) أن قيم ضغط الماء المسامي تزداد في جسم السد وأساساته عندما يزداد عاملا لنفاذية في الطبقة (layer 3-1). إن خط الرش المتكون في جسم السد بحسب الدراسة السابقة, الشكل (53-a) ينتج بالأخذ بالحسبان تأثير نفوذية و الضغط المسامي المتولد في مواد الموشور الخلفي لجسم السد, و الفلاتر بحسب طريقة العناصر المحدودة التي يقوم عليها التحليل و نتيجة لتطبيق عوامل النفوذية للفلاتر و الواردة في الاضبارة المرجعية لتقييم السد [2] و التي تعتبر عالية جدا (19 و 30 متر/اليوم) و المختلفة عن القيم التصميمية للسد. للحصول على خط رش اخر يماثل ما يمكن رسمه بنتيجة تطبيق طرق التحليل الرياضي التقليدية, الشكل (53-b). يجب اتخاذ اجراءات خاصة بالنمذجة تتمثل بعدم نمذجة الموشور الخلفي للسد الركامي و الفلاتر ذات النفوذية العالية جدا, [34]. لكن في حال تطبيق هذه الاجراءات لا يمكن الحصول ضغط الماء المسامي في الموشور الخلفي لجسم السد و بالتالي لا يمكن ادخال تأثيره في حساب الاجهادات و الاستقرار في الحالتين الستاتيكية و الزلزالية. لذلك سيتم اعتماد خط الرش المبين بالشكل (53-a) في الدراسة اللاحقة.

دراسة الإجهادات

تجاء التحليل بالأخذ بعين الاعتبار العوامل التالية:

- لم يتم تطبيق أية حمول أو أثار خارجية في التحليل الأول والمرحلة الأولى (Initial Analysis) بينما تم إدخال التأثير حمولة وزن المياه في البحر في التحليل النهائي (المرحلة الثانية Load/Deformation analysis,).
- تم اعتماد السلوك الخطي المرن (Linear-Elastic) في التحليل الأول والسلوك المرن- اللدن (Elastic-plastic) في التحليل النهائي.
- تمت نمذجة الشروط المحيطية بحيث تكون الحركة الأفقية والعمودية مقيدة في حدود قاعدة النموذج التحليلي بينما تتميز ال حدود الجانبية بحركة أفقية مقيدة وحركة عمودية مسموحة .
- تستخدم الزاوية F_B لتحويل مقاومة التماسك إلى تابيضغط الماء المسامي السالب (أي ضغط السحب عند المواد الغير مشبعة كلياً بالماء).
- تمت نمذجة منطقتين من العناصر الفنية غير المحدودة [6] على جانبي النموذج التحليلي بحيث تمكننا من إعطاء الحدود المحيطية للنموذج أبعاداً كبيرة كافية للحد من تأثيرها على التحليل ما يجعلها أقر بما يكون للواقع.
- إن النموذج التحليلي لهذا البحث هو نموذجان ثنائي البعد من نمط التشوهات المستوية (Plain Strain) حيث يعتبر البرنامج المعتمد أن جميع العناصر المحدودة هي ذات سماكة ثابتة (T=1m) كما تم تكوين معادلة العناصر المحدودة الرابطة بين الأجهادات والتشوهات باستخدام نظرية الطاقة (Potential Energy), فتكون معادلة العناصر المحدودة كالتالي:

$$[K]\{a\} = \{F\} = \{F_b\} + \{F_s\} + \{F_n\}$$

حيث:

[K]	مصفوفة القساوة المميزة للعناصر المحدودة
$\int_A ([B]^T [C] [B]) dA = t$	من أجل مسائل التشوهات المستوية.
{a}	الانتقالات المتمز أيدة النقطية
{F}	القوى المتمز أيدة النقطية المطبقة والتي تكون من التالى:
{F _b }	حمولات الوزن الذاتي المتمز أيدة
{F _s }	الحمولات الناتجة عند الضغوط المتمز أيدة السطحية والمطبقة على حدود النموذج
(Pt ∫L (N)T dL = صيغة المعادلة من أجل تحليل ثنائي البعد)	
{F _n }	القوى بالمركز المتمز أيدة النقطية
t	الزمن
P	الضغط السطحي المتمز أيد
A	المساحة على حدود العنصر
(N)	شعاع السطرن لتوابع الشكل
[B]	مصفوفة الانتقالات والتشوهات النسبية

Geo-Studio

يقوم بر نامج

بحلمعادلة العناصر المحدودة المذكورة أعلاه للحصول لعلايا انتقالا تومتيمت محسابا لاجهادا تواتشوها تالنسبية الناتجة ت
ميتماي جاد محصلة نتاا ل التحليل لأوليمعا ل التحليل لانهائيو تقديما لمحصلة النهائية فيا نتاا ل

الجدول (6): البيانات الجيو تكنيكية

K _o	الوزن γ الحجمي KN/m ³	زاوية التشوه الحجمي α	عامل ν < 0.49 بواسون	F _B	F زاوية الاحتكاك	التماسك C Kpa	عامل يونغ E Kpa	
0.64	20.3	0-11.5°	0.39	15	11.5°	73	38000	النواة الغضارية
0.31	20	0-29°	0.238	15	29°	11.2	27500	مواد مواشير الاستناد
0.25	20.6	0-28°	0.2	15	28°	2	3000	الفلاتر
0.67	17.7	0-15.43°	0.4	15	15.43°	39	13000	طبقة الاساسات Layer 2-3
0.45	18.6	0-18°	0.31	15	18°	23	32500	طبقة الاساسات layer 3-1

إن التحليل لأوليممجد التحديد توزع ا لاجهادا تالأولية الفعالة والكلية في جسم السدو أساسا تهماي ستخدم التحليل لأوليك
ر حلة أو ل التحليل لانهائي .

نتيجة لبساطة التحليل لأوليمنا المفيدو السهلا لتحققة مندقة النتاا ل التيتيتيما لوصول لعلها و التيتيتي تصححة التحليل لأولي و بالتالي
التحليل لانهائي الديقين عليه .

مناجلا لاجهادا تالفعالة والكلية على بعد 189

متر من محور السدباتجا هالوجهالأميتكونا لاجهادا تالكلية مساوية حصيلة مجموعع ا لاجهادا تالفعالة و ضغط الماء الم
سامي , فتكون حصيلة الحسابا ليدوي عند عمق 44 متر (قاعدة النموذج التحليلي) هيكالتالي:

ضغط الماء المسامي :

$$U = 44m \times 9.81 = 431.64 \text{ Kpa}$$

الاجهادا الكليا لأفقي:

$$\sigma_h = 284.04 \times 0.67 + 70.32 \times 0.45 + 431.64 = 653.59 \text{ Kpa}$$

الاجهادا الكليا العامودي :

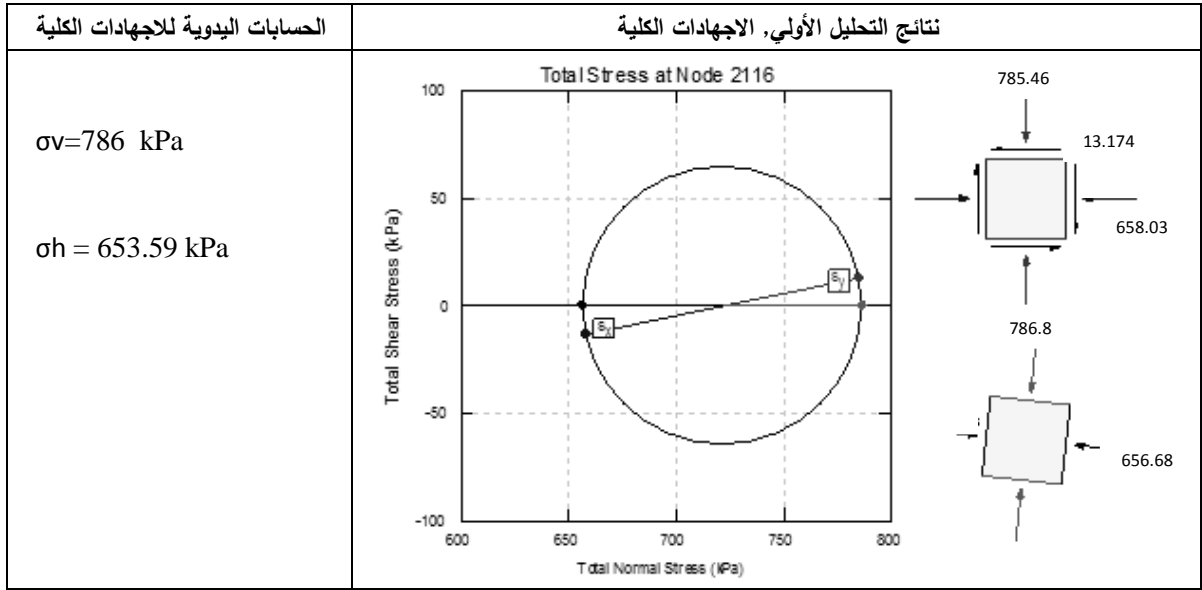
$$\sigma_v = (17.7 - 9.81) \times 36 + (18.6 - 9.81) \times 8 + 431.64 = 786 \text{ Kpa}$$

بالمقارنة بينا الحسابا تاليدوي و نتاا ل التحليل لأولي و ليتبينو وجود فروقا تبسيطة كما يبين الشكل (55) ,
حيث تعود هذ هالفروقاتا لوزن نالسدو واقبالقر بمنا المقطع المختار و الديقين تقبلر طبقاتا أساسا تالتربة .

نتاا ل التحليل لأولي . الاجهادا تالكلية الحسابا تاليدوية لاجهادا تالكلية

$$\sigma_v = 786 \text{ kPa}$$

$$\sigma_h = 653.59 \text{ kPa}$$

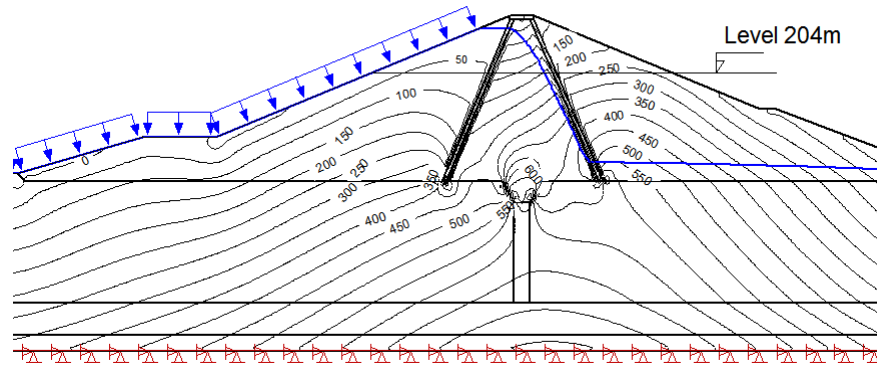
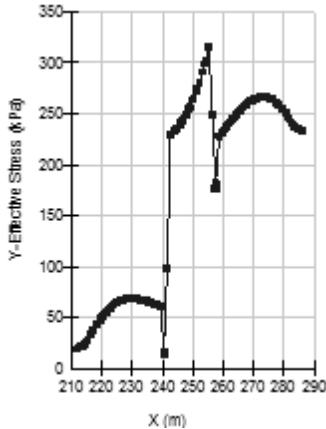


الشكل (55): دائرة مور عند العمق المدروس (قاعدة النموذج).

فيكمنا تحليلاً لأولي الذي يعتمد السلوك كالمرن- الخطي للمواد والتحليل النهائي الذي يعتمد السلوك كالمرن- اللدن للمواد ومن أجل حسابات الاجهادات الفعالة العامودية،

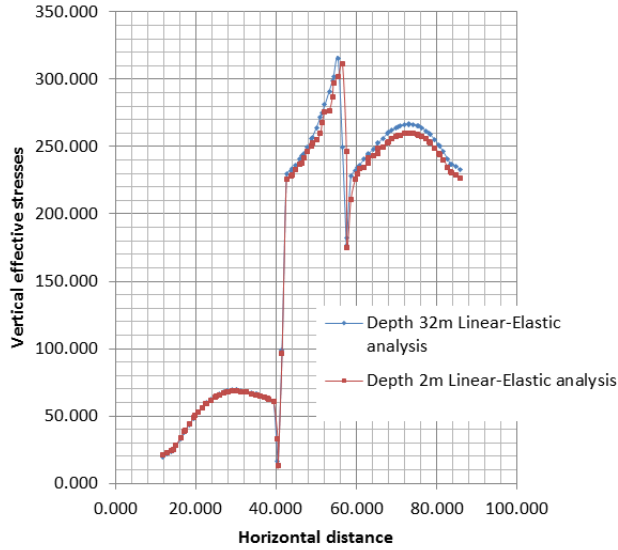
يتم ضغط الماء المسامي من أجل الاجهاد الكلي العامودي وذلك عند الحسابات منسوب بخط الرشح ، $(\sigma' = \sigma_t - u)$ ،
 ويتم إضافة ضغط الماء المسامي إلى الاجهاد الكلي العامودية عند الحسابات فوق منسوب بخط الرشح ، $(\sigma' = \sigma_t - (-u))$ ،
 كما يبين الشكل (56) والذبيو افعال قيم لحالة النفوذية ($K = 4.5 \times 10^{-6} \text{ m/s}$) والعمق (depth 32m) عند المنسوب (204) متر حيث

يظهر بأن الاجهادات الفعالة العامودية هي أكبر فوق منسوب خط الرشح حيث أنه هو باهما لاجهادات الفعالة العامودية في المدى $(x = 240 \text{ m} \Rightarrow 260 \text{ m})$ والتي تخص مادة آخر بهي انواة الغضارية ذات توزيع نجيم مختلف ،
 والاكتفاء بالمقارنة للاجهادات في مادة موشير استناد السد التي تكون وبالاحالة المشبعة عند الوجه الامامي للسد وبالاحالتين المشبع
 ةوالغير مشبعة عند الوجه الخلفي،
 يمكن ملاحظة ان الاجهادات الفعالة عند المنسوب (204m) هي أكبر فوق منسوب خط الرشح من هاتحت خط الرشح بما يتوافق مع النشر السابق.



الشكل (56): الاجهادات الفعالة العامودية عند المنسوب 204 متر ، (التحليل النهائي Load/Deformation analysis)

بمقارنة البيانات الخاصة بالاجهادات الفعالة العمودية عند المنسوب 204 متر للتحليل النهائي (load/deformation analyses) ومناجلاحتين مختلفتين عمقا طبقة (3-1) layer يظهر بأن الاجهادات الفعالة العمودية قبل (x=40) لا تتغير مع تغير عمق الطبقة (3-1), layer لكن بعد (x=68) تتخفوا لاجهادات الفعالة العمودية مع انخفاض عمق الطبقة (layer 3-1), الشكل (57). إن تغير الاجهادات الفعالة العمودية مع تغير العمق سيؤثر على عوامل استقرار الوجه الخلفي للسد كما ستبين التحليلات التالية الخاصة بالاستقرار.



الشكل (57): تغير الاجهادات الفعالة العمودية عند المنسوب 204 متر مع تغير المسافة الأفقية من نقطة بداية المقطع عند الوجه الأمامي للسد (مناجلاحتين عمق 3-1 layer هما 32 مترو 2 متر)

دراسة الإستقرار

تتم إجراء الدراسة التحليلية للاستقرار بالأخذ بعين الاعتبار وزن المياه في حير السد إضافة للحمولة الذاتية تمادخال تأثير ضغط الماء المسامي الناتج من دراسة الرشوات الموائج ل حالة عاملا لنفوذية الحقيقية ($K=4.5 \times 10^{-6}$ m/s) فيدراسة الاستقرار [17]. كما تم ادخال الاجهادات التربة والناتجة من التحليل النهائي للاجهادات (load/deformation analysis) التي اعتمد السلوك المرن-اللدن للمواد (elastic-plastic).

إن معامل الأمان (S.F) المحسوب بطريقة العناصر المحدودة هو نسبة محصلة القوا بالقاصة المقاومة (Sr) المؤثرة على امتداد سطح الانزلاق، إلى محصلة القوا بالقصالز القة (Sm) المؤثرة على امتداد سطح الانزلاق [7]، ويعبر عن معامل الأمان (S.F) في هذا الحالة بالعلاقة التالية:

$$S.F. = \frac{\sum S_r}{\sum S_m}$$

تحتسب القوا بالقاصة المقاومة للانزلاق لكل شريحة بضر بمقاومة قصالتربة في مركز قاعدة الشريحة بطول قاعدتها. لذلك من أجل الصيغة المعدلة لمعادلة (Mohr-Coulomb) للتربة غير المشبعة تحسب القوا بالمقاومة للانزلاق كالتالي:

$$S_r = s\beta = (c' + (\sigma_n - u_a) \tan \phi' + (u_a - u_w) \tan \phi^b) \beta$$

حيث:

S = مقاومة القصا للترربة عند مركز قاعدة الشريحة
b = طول قاعدة الشريحة
 σ_n = الاجهاد العادي (normal stress) عند مركز قاعدة الشريحة
بشكل مماثلت حسب القوا بالقاسة الز القة لكشريحة بضر باجهاد القصالز الق
عند مركز قاعدة الشريحة بطول قاعدتها. (τ_m)

$$S_m = \tau_m \beta$$

يمكن الحصول على معامل الأمان المحلي علنا الاستقرار بمقارنة تقوى بالقصا المقاومة المتاحة لكشريحة معقوى بالقصا الز القة المؤثر
ة على قاعدتها.

$$Local S.F. = \frac{S_r}{S_m} = \frac{s\beta}{\tau\beta}$$

ان الاجهاد العادي (σ_n) واجهاد القصالز القة (τ_m) هي قيم حسابية يتم الحصول عليها من دراسة الاجهادات-
التحليل الانهائي (load/deformation).
سنتناول المقارنة لاحقاً بين نتائج دراسة الاستقرار بطريقة العناصر المحدودة ودراسة الاستقرار بطريقة التوازن بالمحدد.

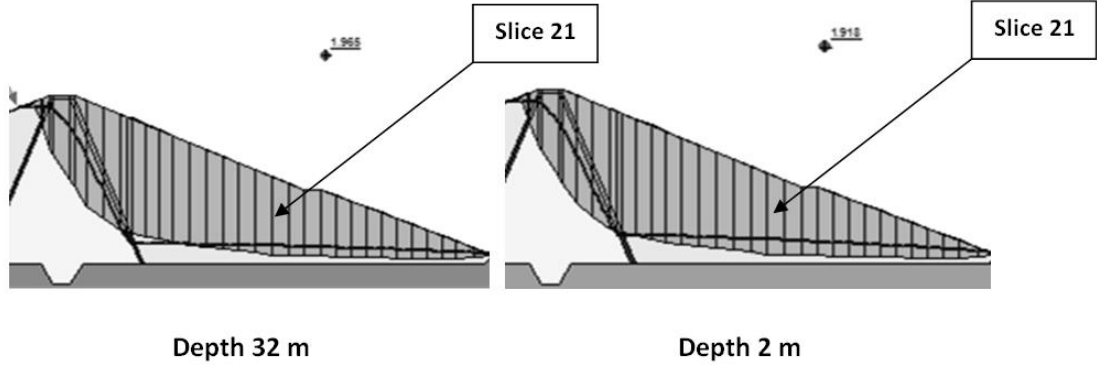
إن الهدف من هذا البحث هو تحديد تأثير تغير اتمنوسو بخطر الشحوا الناتج عن انخفاض عمق الطبقة (layer 3-1)
علو عمالامالامان الناتجة من دراسة الاستقرار. لذلك فنتر اكباً تأثير لعمالامالآخر بمقاومة القصل للطبقة (layer 3-1)
في حالمر سطح الانزلاق ضمن هذه الطبقة ,
يمكننا ان نؤدى بنتائج متداخلة لا تمكن من صد التأثير المطلوب بتغير اتمنوسو بخطر شحوا خاصة اذا اخذنا بعيننا اعتبار ان مقاومة
ة القصل للطبقة (layer 3-1) هي اكبر من مقاومة القصل باق طبقات التربة. (layer 2-3)

ولتجنب اي نتائج غير واضحة او ناتجة عن عوامل متداخلة تتم تحديد سطح انزلاق ثابت يمر عبر جسم السد و فوق اساساته حيث سيتم
حساب عمالامالامان الاستقرار الوجه الخلفي للسد عند سطح الانزلاق الثابت وذلك من اجل عمق مختلفة للطبقة (layer 3-1)
ومناجعة طرق التحليل.

كما ذكر سابقاً فيدراسة الاجهاد اتقاننا الاجهاد العادي العمودية الفعالة تحسب كنتيجة من الاجهاد الكلية العامودية و ضغط الماء ال
مسامي ($\sigma' = \sigma_t - u$) , تحت منسوسو بخطر الشح () ($\sigma' = \sigma_t - (-u)$). , فوق منسوسو بخطر الشح.
وهذا يعيننا ان القيم الموجبة لضغط الماء المسامي تحت منسوسو بخطر الشح لديها تأثير ز القمط بقسطح الانزلاق المدرس

من ناحية اخرى فاننا لقيم السالبة لضغط الماء المسامي (السحب)
لديها تأثير مثبت علنا الكتلة المنز لقة الواقعة فوق منسوسو بخطر الشح. عندما ينخفض عمق الطبقة (layer 3-1)
يرتفع منسوسو بخطر الشح كما تبين في الدراسة السابقة للرشحواتو بما ان سطح الانزلاق قد تم تثبيته لتفادي اي تأثيرات متداخلة تعيق

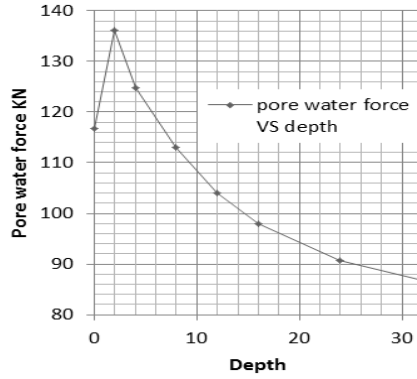
هدفالاساسيالبحثوهورصدتأثيرتغيراتممنسوبخطالرشح،
فإنارتفاعمنسوبخطالرشحيعنيانقسماكبرمناالكتلةالمنزلةتصبحتحتهممايظهرمنالشكل(58).



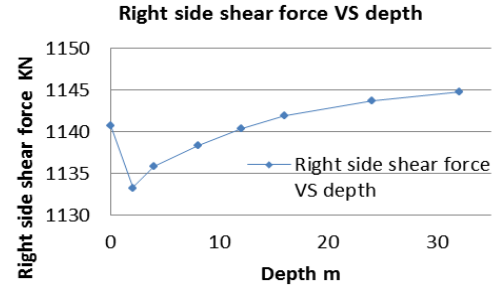
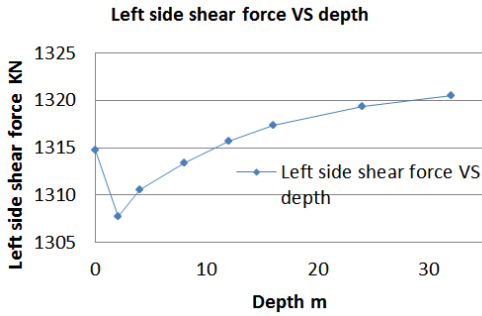
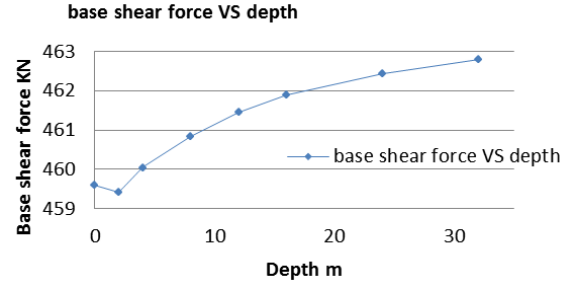
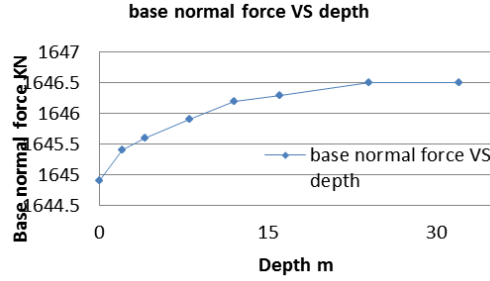
الشكل (58): الكتلة المنزلة عند ماتت واجد الطبقة (layer 3-1) على كمان العمقين 2 مترو 32 متر.

يبين الشكل (58) انقسماكبرمناالكتلةالمنزلةتصبحتحتمنسوبخطالرشحوهذايعنيانضغظالماءالمساميسببزيادةفيالقوالبالقوت خفيضا فيالقوالمثبتة. كمثل عند ذلك كما التأكيد من الشريحة (Slice 21) والتي تقع على بعد 84 متر من محور السد باتجاهها الخلفي حيث تكون ناقول بالمطبقة على الشريحة هي: القو بالعامودية وقو بالقصالتين تؤثر السطوح الشاقولية بين الشرائح المتجاورة وقو بالتماسك وهي مقاومة التماسك مخروبة بطول قاعدة الشريحة.

انالمقارنةبينالقوبتبينزيادةالقوالبالقو (القو بالناتجة عنضغظالماءالمسامي) وانخفاضا فيالقوالمثبتة (مقاومة القصال المسامية على السطوح الجانبية بين الشرائح) ومقاومة القصد القاعدة والقو بالعامودية على قاعدة الشريحة) أماوزنالشريحة فيبقى ثابتا (تمتجاهالنتائجعندالحالةوجودالطبقةالنفوذةعلىالعمق0 متر بسبب وجود تأثير المانعة الغضارية للسد). الشكل (59) والشكل (60).



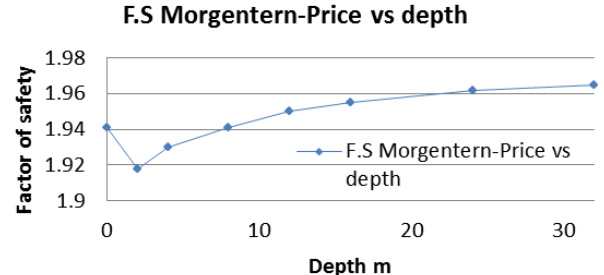
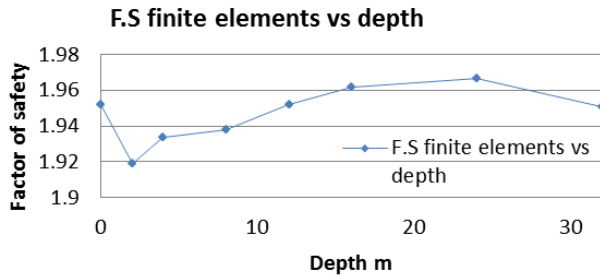
الشكل (59): تغير قو بضغط الماء المسامي مع تغير عمق الطبقة النفوذة.

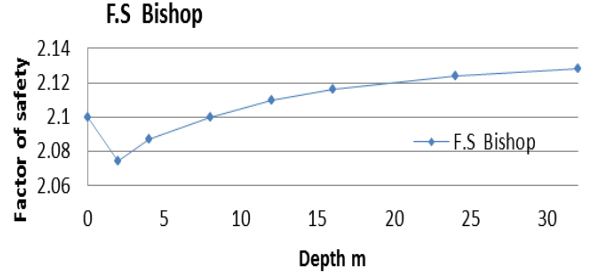
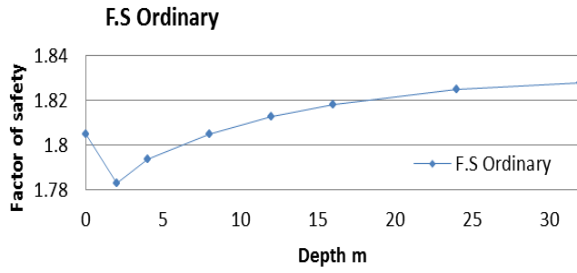


الشكل (60): تغير القوا المثبتة مع تغير عمق الطبقة النفوذة. (layer 3-1)

إن التغير اتفيا القوا المطبقة على شرا ئا الكتلة المنز لقوا الناتجة عن نقصان عمق الطبقة (layer 3-1) تؤدي إلى تخفيض عاملاً مانلاً استقرار. يتماهما القيم عاملاً مانلاً الموافقة لحالة عمق الطبقة (layer 3-1) ، 0 مترو ذلك بسبب تأثير المانعة الغضارية للسد. يبين الشكل (61) أن المخطط البياني لعمق المانعة الاستقرار والمحسوبة بطريقة العناصر المحدودة يزداد عندما ينخفض عمق الطبقة من 32 متر إلى 24 متر ، ثم يعود المخطط البياني لانخفاض تدريجياً مع انخفاض عمق الطبقة (layer 3-1). إن هذا الظاهرة تظهر فقط في المخطط البياني لعمق المانعة المحسوبة بطريقة العناصر المحدودة وذلك لأننا لاجهات اتفيا الترب ة يتم ادر اجها في حسابات الاستقرار بطريقة العناصر المحدودة بينما لا يتم ادر اجها عند الحساب بالطرق الأخرى . ومنه عندما ينخفض عمق الطبقة (layer 3-1) من 32 متر إلى 24 متر يحدث تغير بسيط جداً يمكن ملاحظته في منسوب خطر الشح لكن عندما ينخفض عمق الطبقة (layer 3-1) من 24 متر إلى 16 متر فإن التغير في منسوب خطر الشح تكون أكبر ، الشكل (62) .

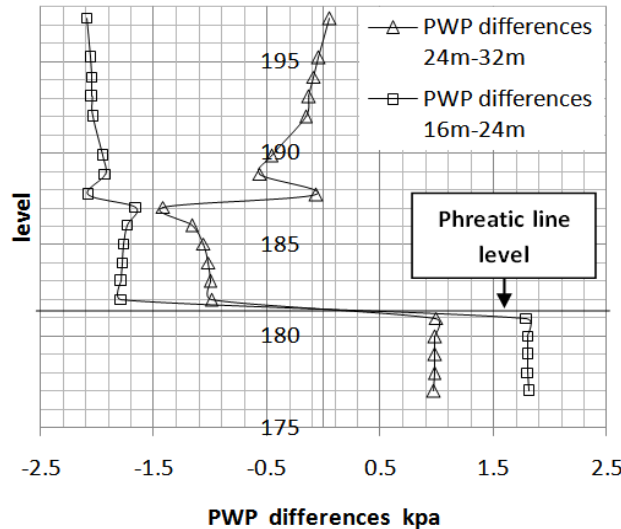
مما سبق يتبين بأنهمنا المهم مقارنة الفرق وقات في ضغط الماء المسامي (القيمة الموجبة لضغط الماء المسامي تحت خط الرش) ، والسحب (القيمة السالبة لضغط الماء المسامي فوق خط الرش) من أجل حالة تغير العمق من 32 متر إلى 24 متر (PWP32m-PWP24m) ومن العمق 24 متر إلى 16 متر (PWP24m-PWP16m) ، وذلك عند مقطع عمود ييمر عبر الشريحة 21 ، الشكل (58) .





الشكل (61): عوامل الأمان لاستقرار معتغير عمق الطبقة (layer 3-1)

منال مفيد مقارنة الفرق وقاتلقيم ضغط الماء المسامي تحت منسوب بيقارب 185.5 متر (عندما تكون قيم PWP موجبة) , ومقارنة القيم فوق المنسوب 181.5 متر (عندما تكون قيم PWP سالبة - سحب) , الشكل (37) . يمكن ملاحظة أن قيم (PWP32m-PWP24m) هي أقل من قيم (PWP24m-PWP16m) تحت منسوب خط الرشح , وهذا يعني أن الزيادة في القيم الزاوية في الحالة (PWP32m-PWP24m) هي أقل منها في الحالة (PWP24m-PWP16m) , بينما يحدث العكس تماما فوق منسوب خط الرشح , وهذا هو السبب في كون عوامل الأمان F.S للاستقرار تزداد عند انخفاض العمق من 32 متر إلى 24 متر بينما تعود للتناقض باضطراد معتنا قص عمق الطبقة (layer 3-1).



الشكل (62): الفرق وقاتلي PWP معالم منسوب.

فيتصميم السدود الترابية من المهم ألاخذ بعين الاعتبار وجود طبقة ترابية في أساسات السدود تعامل نفوذية عالية وذلك نتيجة لتأثيرها الواضح على استقرار السد.

بينت نتائج الدراسة الستاتيكية

لتأثيرات التغير في عمق طبقة الأساسات العالية النفوذ على التدفق الكلي ومنسوب خط الرشح والجهودات واستقرار الوجه الخليل سد , أن منسوب خط الرشح تحفيز جسم السد عند انخفاض عمق طبقة الأساسات النفوذ ذو الذي يؤدي أيضا إلى زيادة التدفق الكلي وضغط طالماء المساميو القوبالز القة في جسم السد , كما تويدى إلى انخفاض قيم القوبالز بال مثبتة عوامل الأمان

1.7 /

أكبر من /

F.S

لكن بكلا الحوالين أقل عوامل الأمان

هذه النتائج تؤكد أهمية التأثير السلبيلوجو طبقة ترربة نفوذة ضمن أساسات سد زيز ونعلنا استقرار هفيالظر وفالستاتيكية وعل بالرممنأنها قد لا تكونالسببالرئيسيفيانهياره.

2.1.4 دراسة تأثير تغير عمق طبقة الأساسات ذات عامل النفوذية العالي على استقرار السد ديناميكيا.

إضافة الى البيانات اللازمة لاجراء التحليل الستاتيكي , الجدول (6) , فإن التحليل الديناميكي يستلزم المزيد من الخصائص و البرامترات الجيوتكنيكية للتربة , الجدول (7).

إن هذه البرامترات ضرورية لنمذجة سلوك التربة في الحالة الديناميكية حيث اعتمد السلوك المكافئ الخطي (equivalent linear mode) لنمذجة المواد ديناميكيا.

الجدول (7):البيانات الجيوتكنيكية الديناميكية

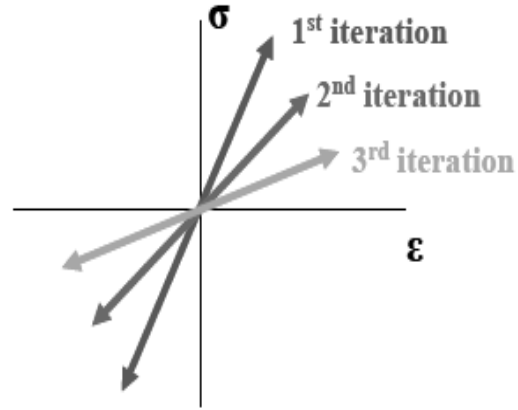
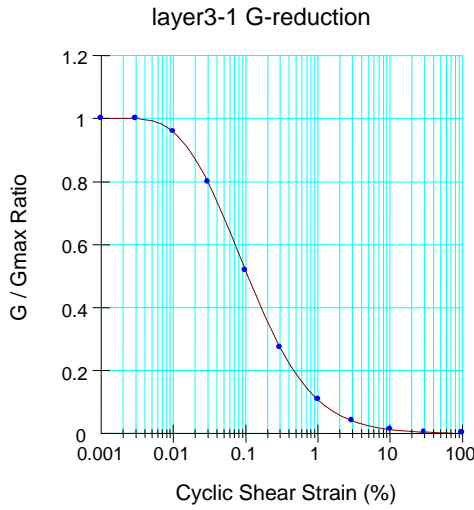
المادة	نموذج التحليل	عامل التخامد	قرينة اللدونة	عامل القص الديناميكي الأعظمي Gmax Kpa
النواة الغضارية	المكافئ الخطي Equivalent linear	تابع (منحني)	26.5	13670
مواشير الاستناد	المكافئ الخطي Equivalent linear	تابع (منحني)	20.2	11106
الفلاتر	المكافئ الخطي Equivalent linear	تابع (منحني)	20	1500
الطبقة Layer 2-3	المكافئ الخطي Equivalent linear	تابع (منحني)	25.59	4643
الطبقة Layer3-1	المكافئ الخطي Equivalent linear	تابع (منحني)	11.29	12405
الطبقة Layer 2-3 infin	المرن الخطي Linear elastic	ثابت (0.05)	-	4643
الطبقة Layer 3-1 infin	المرن الخطي Linear elastic	ثابت (0.05)	-	12405

إن النموذج التحليلي المكافئ الخطي شبيهه بالنموذج المرن-الخطي لكن الفرق بين النموذجين أن قساوة التربة (soil stiffness) في النموذج المكافئ الخطي تعرف بواسطة معامل القص الديناميكي الأعظمي (Dynamic shear modulus) و الإجهاد الديناميكي المطبق (dynamic stress) , حيث تتغير هذه

العوامل باستمرار خلال الهزة الزلزالية مع الافتراض بأن التربة ستخضع قساوتها استجابة للتشوه النسبي الدوري الناتج عن القص (computed cyclic shear strain) و الذي يتم حسابه خلال باستمرار خلال الهزة الزلزالية. تعرف هذه العملية كنسبة مئوية من معامل القص الديناميكي الأعظمي (G_{max}) و يحددها تابع يدعى بتابع تخفيض معامل القص الديناميكي (G reduction function).

يبين الشكل (63) التابع الذي يحدد عملية تعديل معامل القص الديناميكي (G) و قيمته المعدلة التي تدخل في كل عملية حسابية تكرارية (iteration) حيث تستمر هذه العملية حتى تصل قيمة G المعدلة الى حدود التسامح المحددة مسبقا، الشكل (64). قام (Ishibashi and Zhang 1993) بتطوير معادلة لتقدير نسبة معامل القص الديناميكي اللحظي G إلى معامل القص الديناميكي الأعظمي G_{max} (G/G_{max}) , حيث يقوم البرنامج المعتمد في هذا البحث بتكوين هذا التابع تلقائيا بالاعتماد على هذه المعادلة.

تم تحديد عامل تخامد كقيمة ثابتة و تخصيصه للتحليل الخطي المرن و ذلك بالنسبة لطبقات التربة في اساسات السد من النوع layer3-1infi و layer2-3infi كما هو مبين بالجدول (7) , حيث أن هاتين الطبقتين هما امتداد للطبقتين layer3-1 و layer2-3 و ليهما نفس الخصائص الجيوتكنيكية الستاتيكية الا أن نمذجة حدود لا نهائية على اطراف النماذج التحليلية لمنع ارتداد الموجات الزلزالية.

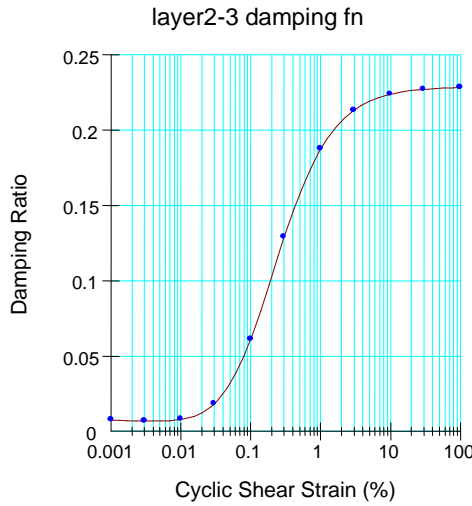


الشكل (64): كيفية عمل النمط المكافئ الخطي الذي يخفض قيمة G عند كل عملية حسابية تكرارية. **الشكل (63):** تابع تخفيض معامل القص الديناميكي G , و المخصص للطبقة layer 3-1.

في التحليل الديناميكي يستلزم انشاء مناطق لا نهائية (infinite regions) على اطراف النماذج و هذه المناطق يجب نمذجتها بطريقة العناصر اللامحدودة (infinite elements method) التي تعتمد السلوك المرن الخطي للمادة الذي يعتبر عامل التخامد أحد مدخلاته كقيمة ثابتة حصرا. أما من أجل طبقات تربة الاساسات المقابلة لها و التي توجد داخل النموذج تحت جسم السد و التي تتم نمذجتها بهدف دراسة تأثير استجابة الموقع الديناميكي وتأثيرها على السد و كذلك بالنسبة لمواد جسم السد التي تحدد استجابته الزلزالية

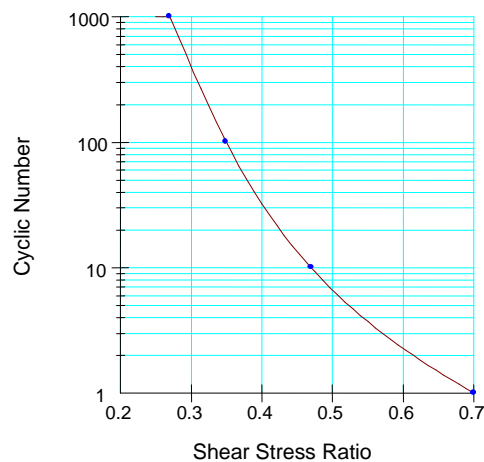
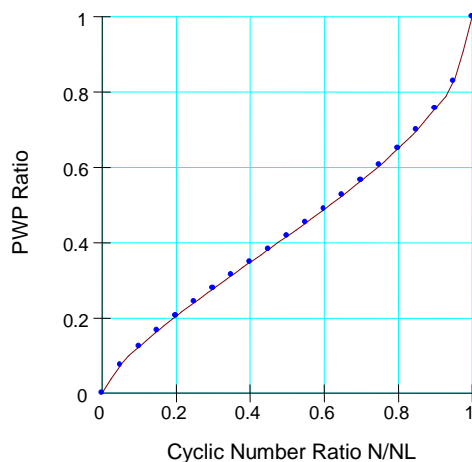
فيجب اعتماد السلوك المرن-اللدن للمادة و النمذجة بطريقة العناصر المحدودة و التي يمكن ان يتم ادخال التخامد في حساباتها كتابع لتشوّه القص النسبي الدوري (cyclic shear strain).

قام [18] Ishibashi and Zhang, 1993 بتطوير معادلة لتقدير تابع عامل التخامد حيث أن مدخلات هذه المعادلة هي قرينة اللدونة (PI) و عامل تخفيض معامل القص الديناميكي (G/Gmax), الشكل (65). يمكن أن يتولد نتيجة للهزة الزلزالية ضغط ماء مسامي اضافي (Excess pore-water pressure) في المواد الخشنة (granular materials) و هي مواد مواشير الاستناد. يوجد تابعين اساسيين يلزمان لحساب ضغط الماء المسامي المتولد الاضافي و هما تابع ضغط الماء المسامي و تابع الرقم الدوري (cyclic number function) و الذي يرمز له بالرمز (N) و هو تابع الرقم المكافئ الدوري المتجانس (a function of the equivalent number of uniform cycles N) و يحدد بناء على مقدار الهزة الزلزالية (earthquakemagnitude) , بحسب [29] Kramer 1996 .



الشكل (65):تابع التخامد المخصص للطبقة 1-3 layer.

إن هزة زلزالية محددة لديها بعدد دورات محدد (number of cycles, NL) و لحالة محددة لتربة معينة تتعرض لظروف اجهادات معينة , سيتولد ضغط ماء مسامي اضافي خاص بهذه التربة. قام كل من Lee and Albaisa 1974 [20] , بإيجاد معادلة خاصة لتقدير ضغط الماء المسامي المتولد, الشكل (66). كما قام [33] Seed and Lee 1965 بتكوين تابع الرقم الدوري (cyclic number function) بالاعتماد على CSR و هو عامل اجهاد القص الدوري (CSR cyclic shear stress ratio) حيث أن عامل اجهاد القص الدوري هو علاقة بين عامل اجهاد القص و العدد اللازم لحدوث التميع في تربة معينة مع الاخذ بالاعتبار ان هذه التوابع يمكن تحديدها حصرا في الترب الخشنة القابلة للتميع في ظروف ديناميكية معينة , الشكل (67).



الشكل (67): تابع الرقم الدوري لمواد مواشير الاستناد. الشكل (66): تابع ضغط الماء المسامي الاضافي المتولد ديناميكيا لمواد مواشير الاستناد.

فيما يلي معادلة الحركة النازمة للاستجابة الديناميكية للنموذج المبني بحسب نظرية العناصر المحدودة:

$$[M] \{\ddot{a}\} + [D] \{\dot{a}\} + [K] \{a\} = \{F\}$$

حيث:

[M] مصفوفة الكتلة.

[D] مصفوفة التخماد.

[K] مصفوفة القساوة.

\{F\} شعاع القوى المتزايدة النقطية المطبقة.

\{\ddot{a}\} شعاع التسارع النقطي.

\{\dot{a}\} شعاع السرعة النقطية.

إن شعاع القوا بالمتزايدة النقطية المطبقة يتكون مما يلي:

$$\{F\} = \{F_b\} + \{F_s\} + \{F_n\} + \{F_g\}$$

حيث:

\{F_b\} حمولات الوزن الذاتي المتزايدة

\{F_s\} الحمولات الناتجة عند الضغوطات المتزايدة السطحية والمطبقة على حدود النموذج

$$= Pt \int_L (N) T dL \text{ (صيغة المعادلة من أجل تحليل ثنائي البعد)}$$

\{F_n\} القوا بالمركزة المتزايدة النقطية

\{F_g\} القوا بالناتجة عن الحمولة الزلزالية.

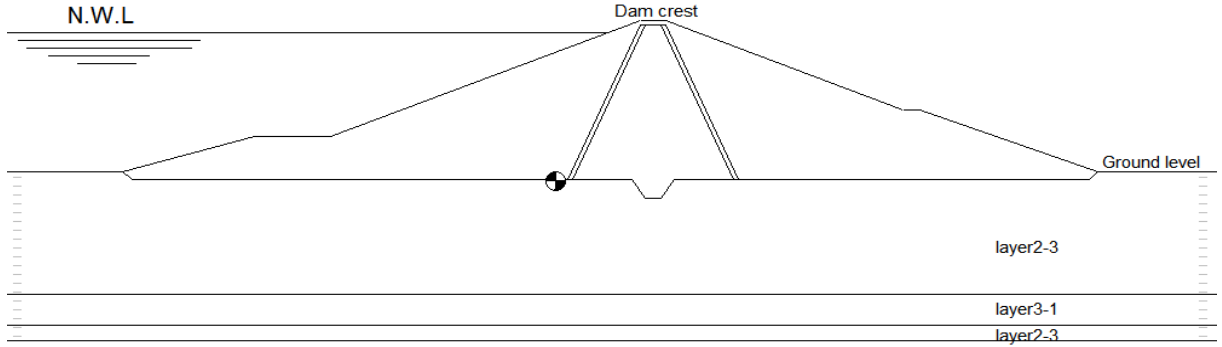
دراسة تأثير الوضع الليتولوجي على تغير الاستجابة الزلزالية عند كل تغير ليتولوجي او جيومتري

تمثل مواد تربة الاساسات و جسم السد خصائص ديناميكية مختلفة , و يحدد البرنامج المستخدم Geo-

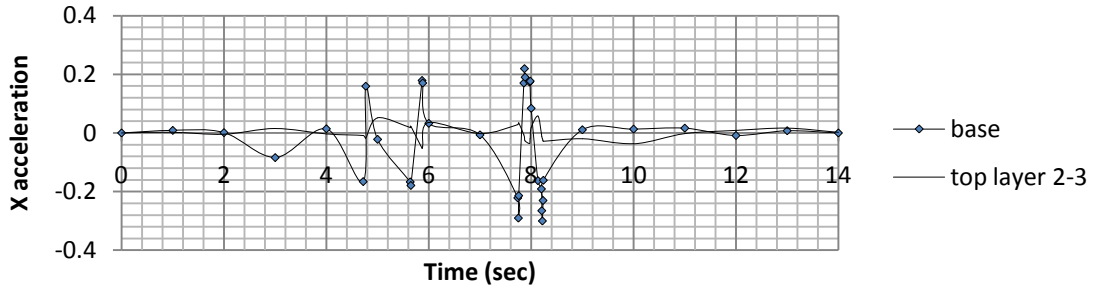
studio بأن الخصائص الديناميكية الاساسية هي عامل اجهاد القص و عامل التخماد. إن العمق المتغير

للطبقة layer3-1 الشكل (49), قد يؤثر على استجابة الموقع و كذلك جسم السد عند حدوث الهزة الزلزالية.

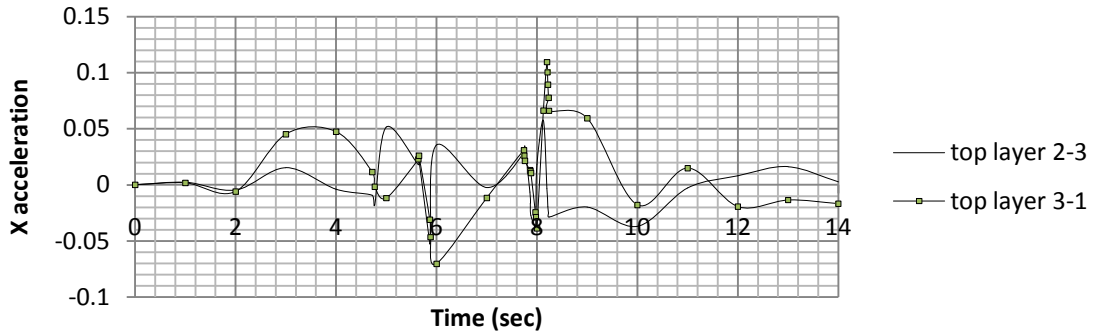
في هذه الفقرة ستتم مقارنة التسارعات الزلزالية الأفقية (earthquake horizontal acceleration) عند مناسيب مختلفة وذلك عندما نثبت عمق الطبقة layer3-1 عند العمق 32 متر , الشكل (68) و الشكل (69). إن حساب عامل التضخيم Af (amplification factor) عند عدة مناسيب سيشكل مفهوما واضحا للسلوك الديناميكي لكل طبقة و المادة المكونة لها.



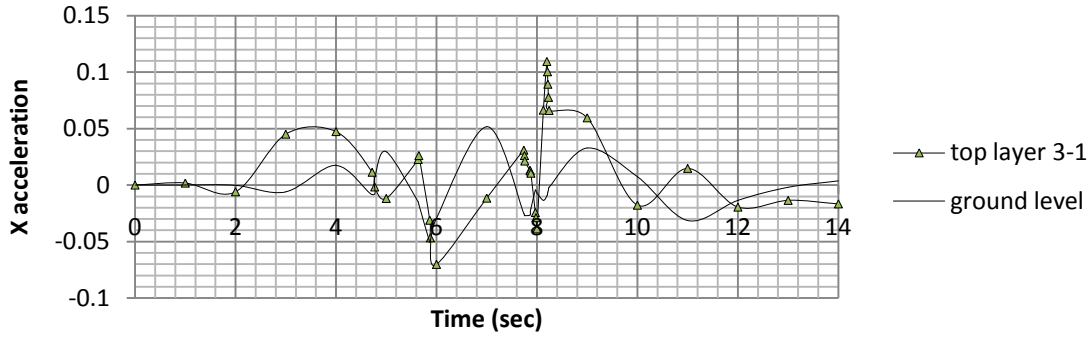
الشكل (68): النموذج التحليلي عندما يكون عمق الطبقة Layer3-1 ثابتا عند العمق 32 متر.



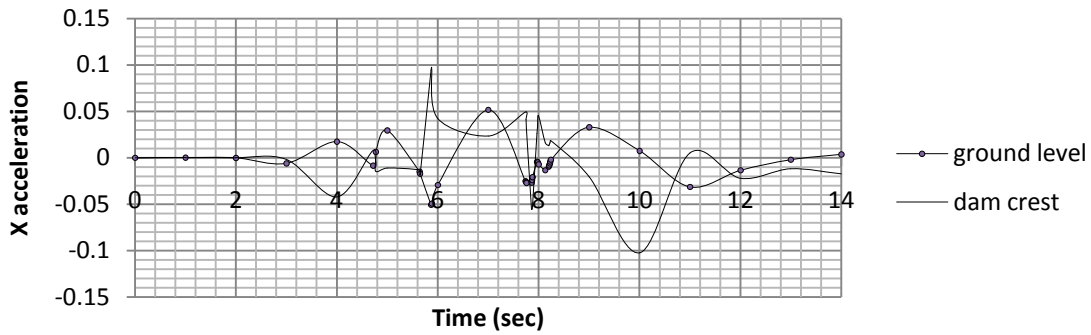
(a) المقارنة بين منسوب القاعدة الصخرية التي تشكل قاعدة النموذج و منسوب أعلى الطبقة layer2-3 .



(b) المقارنة بين منسوب أعلى الطبقة layer2-3 و منسوب أعلى الطبقة layer3-1 .



(c) المقارنة بين منسوب أعلى الطبقة layer3-1 و منسوب سطح الأرض.



(d) المقارنة بين منسوب سطح الأرض و قمة السد.
الشكل (69): مقارنة التسارعات الزلزالية الأفقية.

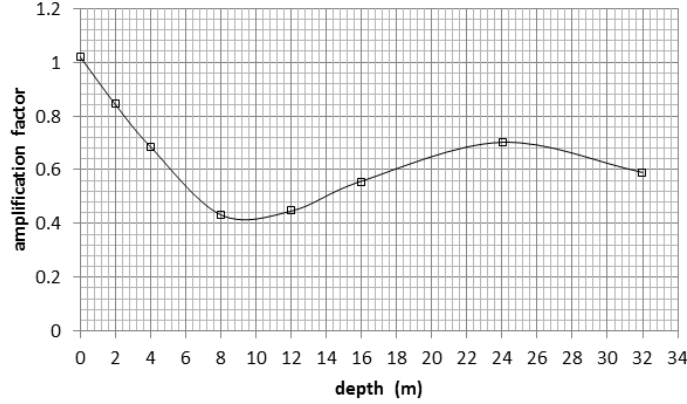
بحساب عامل التضخيم لكل حالة مبينة في الأشكال (69- a,b,c,d) و هو النسبة بين القيمة الاعظمية للتسارع الزلزالي الأفقي في أعلى منسوب للمقارنة إلى قيمته عند أسفل منسوب المقارنة و ذلك لكل حالة على حدة يكون مفهوم واضح لاستجابة كل طبقة من طبقات تربة أساسات السد بالإضافة إلى جسم السد نفسه.

الجدول (8): عوامل التضخيم.

حالة المقارنة	(69)-a	(69)-b	(69)-c	(69)-d
عامل Af – التضخيم	0.192	1.904	0.472	1.978

يبين عاملا التضخيم للحالتين (69)-a و (69)-c والذان يتعلقان بسلوك الطبقة layer2-3 أن هذه الطبقة لديها تأثير محمد بينما تبين الحالة (69)-b و المتعلقة بسلوك الطبقة layer3-1 أن لديها تأثير مضخم. إن الحالة (69)-d و المتعلقة بجسم السد تبين تأثيره المضخم و هو ينسجم منطقيا مع شكل جسم السد المرتفع عن سطح الأرض. إن هذه النتائج تتوافق مع قساوة التربة و المعبر عنها بعامل القص الديناميكي الأعظمي الموضح بالجدول (7) و الذي يبين أن الطبقة layer3-1 لديها القساوة الأعلى ضمن أساسات السد. إن التأثير المضخم المحتمل لانخفاض عمق الطبقة layer3-1 سيظهر تأثيره بالتسارع الزلزالي الأفقي عند قمة السد و بالتالي يمكن رصد تأثير التغيرات الليتولوجية لتربة أساسات السد من خلال النسبة بين التسارع الزلزالي الأفقي عند قمة السد و التسارع الزلزالي الأفقي عند القاعدة الصخرية للاساسات و ذلك من أجل جميع

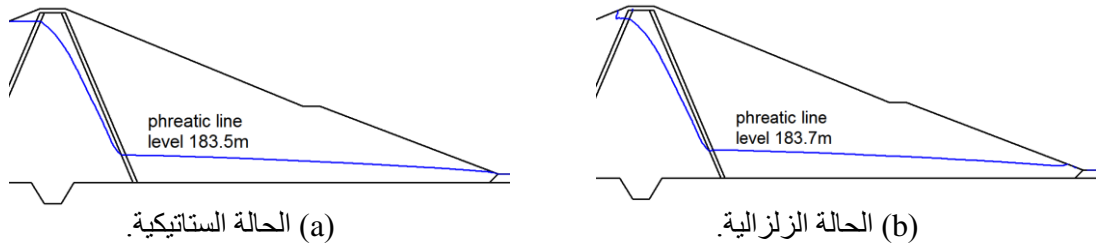
حالات العمق. يبين الشكل (70) أن عامل التضخيم الأكبر ($A_{f acc} = 1.02$) يكون في حالة العمق 0 متر اي عندما يكون أعلى الطبقة layer3-1 عند سطح الأرض. يبين الشكل (18) أن الموقع لديه تأثير عام مخمد على الهزة الزلزالية باستثناء حالة العمق 0 متر اي عندما يكون أعلى الطبقة layer3-1 عند منسوب سطح الأرض.



الشكل (70): عوامل التضخيم مع تغير عمق الطبقة Layer 3-1

دراسة تأثير ضغط الماء المسامي الإضافي المتولد ديناميكيا

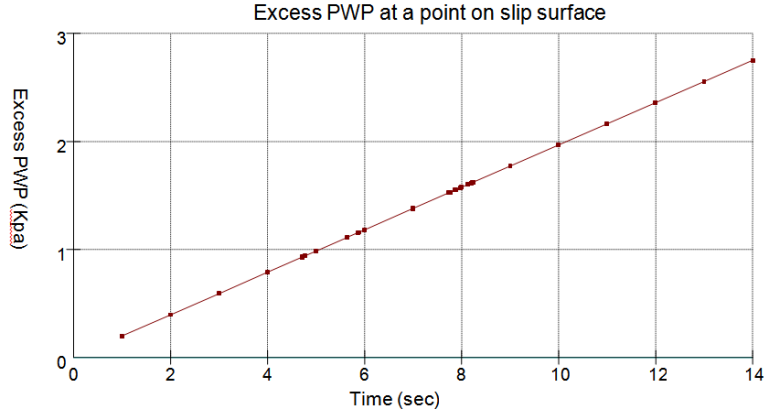
كما تم توضيحه أعلاه فعند الشروط الزلزالية سيتولد ضغط ماء مسامي اضافي و الذي سيؤدي بدوره الى ارتفاع منسوب خط الرشح و ذلك لكل حالة من حالات عمق الطبقة Layer3-1. و كما ذكر سابقا فإن حالة العمق (2m) ينتج عنها أعلى منسوب لخط الرشح في الحالة الستاتيكية, لذلك فإن مقارنة منسوب خط الرشح لحالة العمق (2m) بين الحالتين الستاتيكية و الديناميكية سيبين تأثير ضغط الماء المسامي الإضافي المتولد ديناميكيا (excess PWP) على ارتفاع منسوب خط الرشح في جسم السد و ذلك عند لحظة انتهاء الزلزال, الشكل (71).



الشكل (71): منسوب خط الرشح في جسم السد.

بما أن سطح الانزلاق قد تم تثبيته سابقا لأغراض هذا البحث, كما تم توضيحه في الدراسة الستاتيكية, يمكن تحديد نقطة ثابتة على سطح الانزلاق لدراسة (excess PWP) عندها خلال الهزة الزلزالية و بالتالي تحديد اللحظة الزمنية التي يصل فيها إلى قيمته الاعظمية, يبين الشكل (72) انه يبلغ قيمته الاعظمية عند نهاية الزلزال (الزمن) 14 Sec. بحسب منهجية البرنامج المستخدم يتم حساب ضغط الماء المسامي

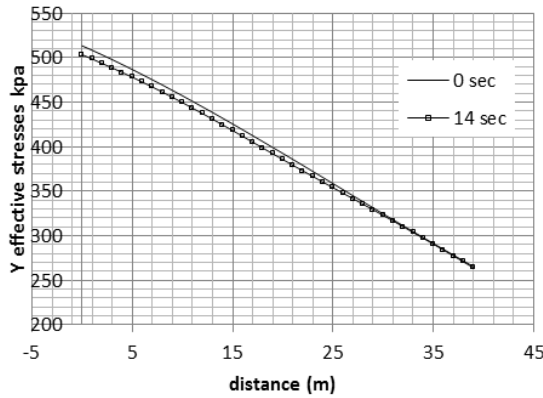
الاضافي المتولد ديناميكيًا بحساب الفروقات بين ضغط المسامي في نهاية الهزة الزلزالية و ضغط الماء المسامي الستاتيكي, و تتعلق هذه الحسابات بمواصفات المواد, الشكلين (66), (67).



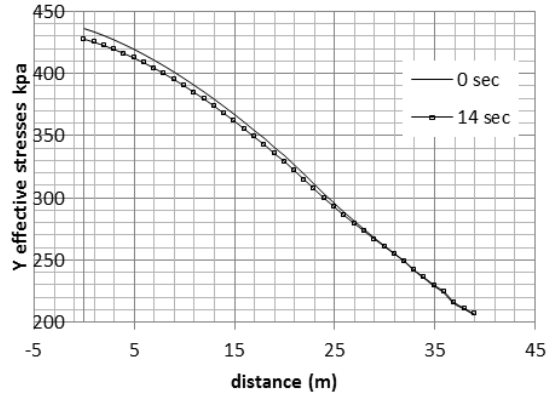
الشكل (72): ضغط الماء المسامي الاضافي في نقطة ثابتة على خط الرشح خلال الهزة الزلزالية.

و بالتالي ينعكس انخفاضاً في الاجهادات الفعالة. مثلاً و من أجل نقطة واقعة تحت منسوب خط الرشح و قبل بداية الهزة الزلزالية (الزمن 0 Sec) و في الحالة الستاتيكية يكون $PWP=34.13$ Kpa أما في نهاية الهزة الزلزالية, الزمن 14 Sec يكون $PWP=36.88$ Kpa بالتالي يكون ضغط الماء المسامي الاضافي هو $PWP=36.88-34.11=2.77$ Kpa كما هو موضح في الشكل (72).

يعني ما ذكر سابقاً أن الاجهادات الفعالة ستتناقص فوق منسوب خط الرشح بسبب نقصان ضغط السحب, و ستتناقص تحت منسوب خط الرشح بسبب زيادة ضغط الماء المسامي, الشكل (73).



(a) عندما يقع المقطع تحت منسوب خط الرشح.



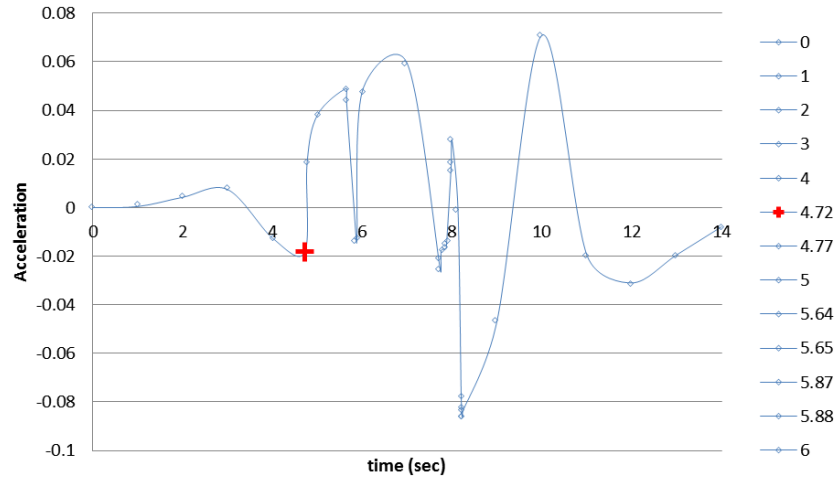
(b) عندما يقع المقطع فوق منسوب خط الرشح.

الشكل (73): مقارنة بين الاجهادات الفعالة في الحالتين الستاتيكية و الزلزالية في مقطع تحت الوجه الخلفي للسد.

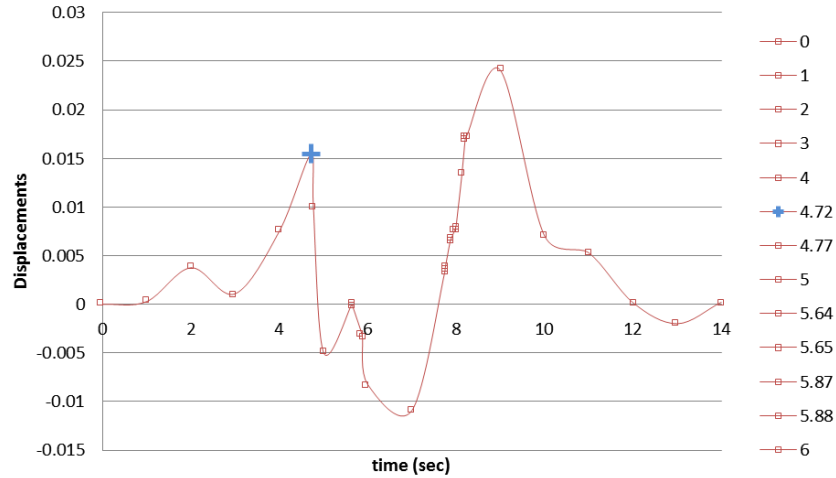
دراسة الاستقرار في الحالة الزلزالية

كما ذكر سابقا فإن التأثير الأكبر للتطبيقات الليتولوجية يكون عندما تبلغ الطبقة 1-layer3 العمقين 0 متر و 2 متر .

إضافة لذلك فإن القيمة الأكبر لضغط الماء المسامي الإضافي هي في حالة الطبقة 1-layer3 عند العمق 2 متر, لذلك فإن حالة العمق 2 متر هي مناسبة لمقارنة السجل الزمني (Time history) للتسارعات و السجل الزمني للانتقالات بهدف اختيار اللحظة الزمنية التي يمكن أن ينشأ عنها عامل امان الاستقرار الأصغري , يبين الشكل (74) أن هذه اللحظة هي 4.72 ثانية.



(a) السجل الزمني للتسارعات.



(b) السجل الزمني للانتقالات

الشكل (74): السجل الزمني للتسارعات و الانتقالات عند المصطبة الواقعة على الوجه الخلفي للسد – حالة العمق 2 متر.

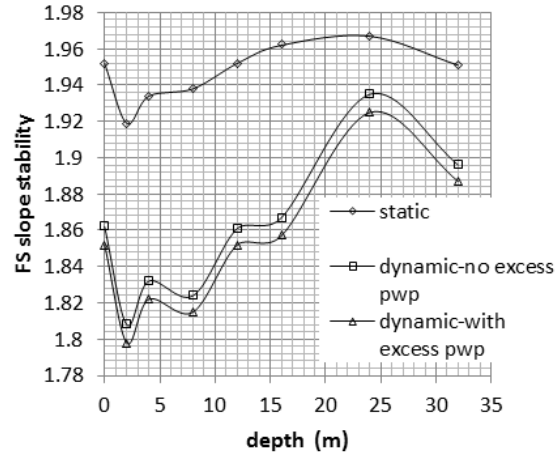
تم اجراء تحليلين لدراسة الاستقرار لكل حالة عمق , الأول يتضمن تأثير ضغط الماء المسامي الاضافي بينما لا يتم تضمينه في التحليل الثاني.

يبين الجدول (9) مقارنة بين القوى المثبتة و الزلقة المطبقة على الشريحة 21 المبينة بالشكل (58) لكل من هذين التحليلين, حالة العمق 2 متر .

الجدول (9):مقارنة القوى المطبقة على الشريحة 21.

مع تضمين ضغط الماء المسامي الإضافي	حالة عدم تضمين ضغط الماء المسامي الإضافي	
1.7977	1.8078	عامل الأمان لاستقرار السد
2.2703	2.2866	عامل أمان استقرار الشريحة 21
35.263 Kpa	32.492 Kpa	ضغط الماء المسامي
142.15 kN	130.98 kN	قوى ضغط الماء المسامي
860.02 kN	866.21 kN	قوى القص القاعدية المقاومة Base Shear Res. Force
213.34 Kpa	214.88 Kpa	اجهاد القص القاعدي المقاوم Base Shear Res. Stress

تبين المقارنة ازدياد في قوى ضغط الماء المسامي و نقصان في قوى القص القاعدية المقاومة (Base shear resistance force) و ذلك عندما يتم تضمين ضغط الماء المسامي الاضافي في دراسة الاستقرار. يبين الشكل (75) مقارنة بين عوامل الامان لاستقرار الوجه الخلفي للسد في كل من حالات و السناتيكية [7]Janbu 1954 [19] – 1960, 1965 . Bishop and Morgenstern , و الزلزالية مع تضمين ضغط الماء المسامي الاضافي. و الزلزالية دون تضمين ضغط الماء المسامي الاضافي و ذلك من أجل جميع حالاتتغير العمق للطبقة Layer3-1.



الشكل (75): عوامل أمان الاستقرار مع العمق.

يبين هذا الشكل تأثير الهزة الزلزالية و ضغط الماء المسامي الاضافي المتولد ديناميكيا على عوامل الأمان على الاستقرار. و أن ضغط الماء المسامي الاضافي لديه تأثير في تخفيض معاملات الأمان على الاستقرار و ذلك لكل حالات أعماق الطبقة 1-3 Layer. يظهر من الشكل ازدياد في معاملات الامان من العمق 32 متر الى العمق 24 متر للسبب الذي سبق و تم شرحه في الدراسة السنتاتيكية الشكل (62).

إن الفكرة الأساسية لهذا البحث هو دراسة تأثير الخواص الديناميكية للتربة و ضغط الماء المسامي الاضافي على تغيير عوامل الامان لاستقرار السد , لذلك فإن قيم عوامل الامان الناتجة الأكبر من 1 يجب ان لا تعتبر دليلا على عدم علاقة التأثير الزلزالي على انهيار السد لأن تأثير الهزة الزلزالية يتعلق بقيمة PGA من جهة و بمدى سيطرة PGA و القيم القريبة منها من جهة ثانية.

الشكل (43) يبين بان التسارع الزلزالي الارضي يبلغ قيمة عظمى تساوي 0.3g لمدة قصيرة جدا لا يمكن ان تولد قوى زلقة كبيرة مع الاخذ بالاعتبار التأثير المخمد لتربة الاساسات التي تخفض قيمة PGA من 0.3g عند القاعدة الصخرية الى 0.07g عند سطح الارض لحالة العمق 32 متر , كما تخفضها الى القيمة 0.18g لحالة العمق 2 متر.

من المهم في الدراسات السنتاتيكية و الديناميكية للسدود الترابية الأخذ بعين الاعتبار وجود طبقة تربة عالية النفوذية و اكثر قساوة من باقي تربة الاساسات. تعود هذه الاهمية لتأثيرها على استقرار السد. في هذا البحث تم بناء عدة نماذج تحليلية للحالتين السنتاتيكية و الزلزالية لدراسة الرشحات و الاجهادات و الاستقرار و تحديد تأثير تغيير عمق هذه الطبقة على منسوب خط الرشح و الاجهادات و الاستجابة الزلزالية و الاستقرار للسد و اساساته. بينت النتائج أن عامل التضخيم يزداد كما يرتفع منسوب خط الرشح في جسم السد مع تناقص عمق الطبقة 1-3 Layer و الذي ينتج عنه زيادة في ضغط الماء المسامي و ضغط الماء المسامي الاضافي المتولد ديناميكيا و القوى الزلقة في جسم السد, كما ينتج عنه ايضا انخفاض في القوى المثبتة و انخفاض في عوامل امان استقرار الوجه الخلفي للسد. إن هدف هذا البحث هو دراسة تأثير الخواص الديناميكية و ضغط الماء المسامي الاضافي الناتج عن طبقة التربة متغيرة العمق و عالية النفوذية

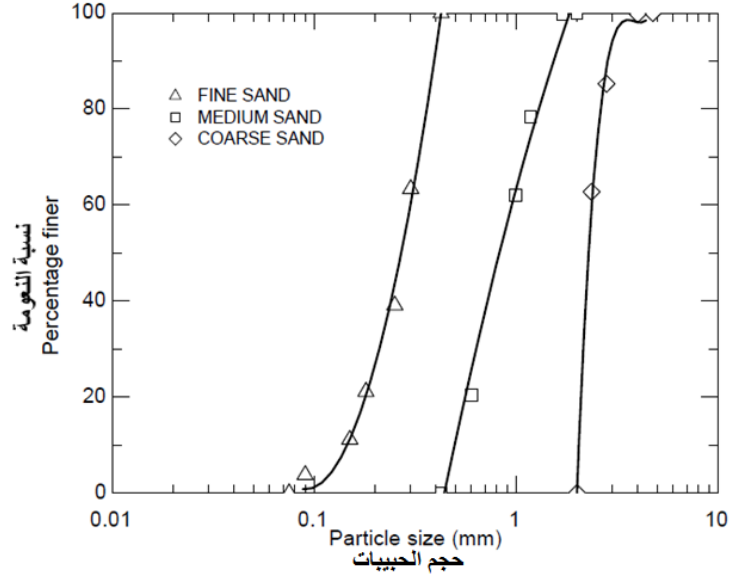
و القساوة على عوامل الامان لاستقرار السد, كما أن تأثير الهزة الزلزالية يتعلق بقيمة ذروة التسارع الزلزالي و مدة سيطرتها مع القيم القريبة منها (Surveillance duration) مما يعني أن هذه الآثار السلبية ستتحقق عند حدوث أي زلزال لكن ستختلف حدتها باختلاف الاشارة الزلزالية المطبقة.

2.4 دراسة السدمع وجود جدار الكتامة

كما ذكر إن التأثير الأكبر للتطبقات اليتولوجية يكون عندما تبلغ الطبقة layer3-1 العمقين 0 مترو 2 متر. إضافة لذلك فإن القيمة الأكبر لضغط الماء المساميا لاضافيه في حالة الطبقة layer3-1 عند العمق 2 متر, لذلك فإن حالة العمق 2 متر هي مناسبة لمقارنة السجل الزمني (Time history) للتسار عاتو السجل الزمني لانتقال التو بالتالي يتم دراسة تأثير وجود جدار الكتامة في هذه الحالة. تم استخدام جدار كتامة منالبي نتونايتو الاسمنتو التربة (الرمل) (SCB (Soil-Cement-Bentonite), [30].

1.2.4 مواصفات مواد انشاء جدار الكتامة

- الماء: تم اضافة مياه نقيه الى الخلطة بحيث تحقق رطوبة طبيعية (Natural water content 10%).
- التربة المستخدمة: هي بالتحديد رمل نهري (Meduim Sand) تجفيفه بحسب المواصفة ASTM (D-2487) وبحسب التركيب الحبيبي المبين بالشكل (76).



الشكل (76): التركيب الحبيبي للرمل المستخدم في انشاء جدار الكتامة. [Kumar]

- الاسمنت : تم استخدام اسمنت بورتلاندي عادي grade 43 بحسب المواصفة (269- IS 1989) وبحسب المواصفات الفيزيائية المبينة بالجدول (10). حيث أن نسبة الاسمنت المعتمدة في الخلطة هي 10%.

الجدول (10): مواصفات الأسمنت. [Kumar]

SI.No.	Property	Characteristic value
1	Standard Consistency	28%
2	Initial setting time	131 minutes
3	Final setting time	287 minutes
4	Blaine's Sp. Surface	298500 mm ² /g
5	Sp. Gravity	3.14
6	Compressive strength (i) 7days (ii) 28days	35.1 N/mm ² 44.0 N/mm ²

- البينتونايت : تم استخدام بينتونايت تجاري بحسب المواصفات المبينة بالجدول (11).

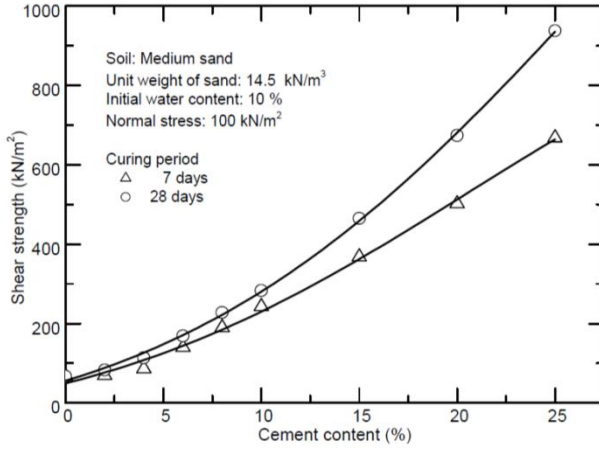
الجدول (11): مواصفات البينتونايت. [Kumar]

SI. No.	Property	Characteristic value
1	Specific gravity	2.8
2	Liquid limit (%)	410
3	Plastic limit (%)	45
4	Plasticity index (%)	365
5	Shrinkage limit (%)	1.34
6	Volume change (%)	97.5
7	Linear shrinkage (%)	49.61
8	Activity	5.03
9	Free swell index (cc/g)	17.5
10	Cation exchange capacity (meq/ 100g)	60.8
11	pH	7.4
12	Surface area (m ² / g)	87.5
13	Conductivity (μs /cm ²)	10800
14	Organic matter (%)	1.48

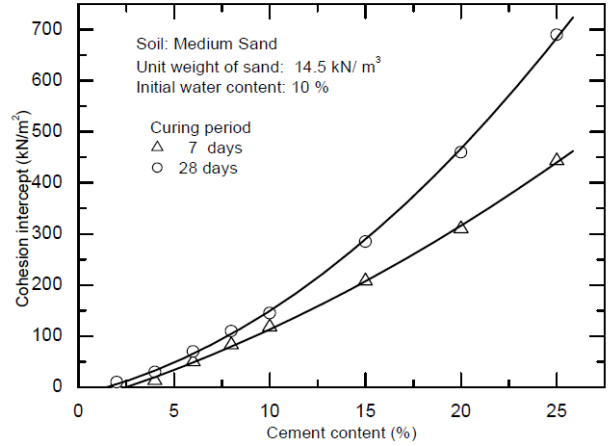
ان نتيجة المواصفات الخاصة بخلطة جدار الكتامة تحقق المواصفات الواردة في الجدول (12), و الشكل (77).

الجدول (12):مواصفات خلطة SCB.

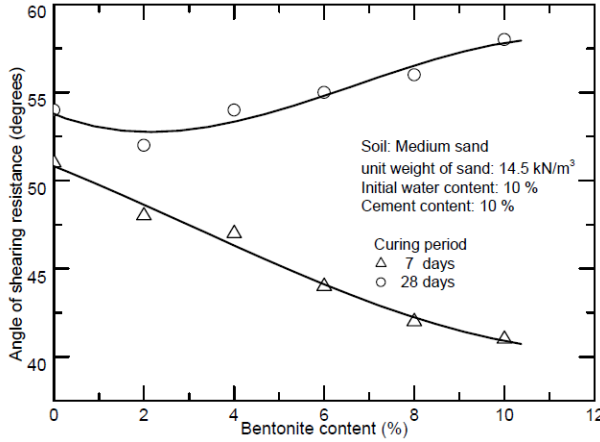
معامل المرونة	زاوية الاحتكاك	التماسك	عامل القص
156250 kpa	57	150 kpa	62500 kpa



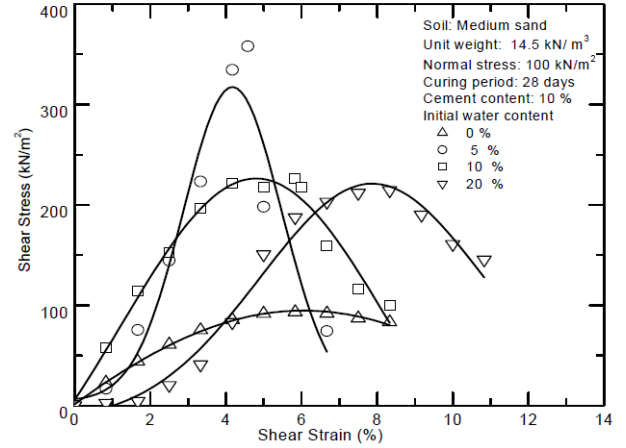
(b) مقاومة القص (kn/m2).



(a) اجهد التماسك (kn/m2).



(d) زاوية الاحتكاك لمقاومة القص.



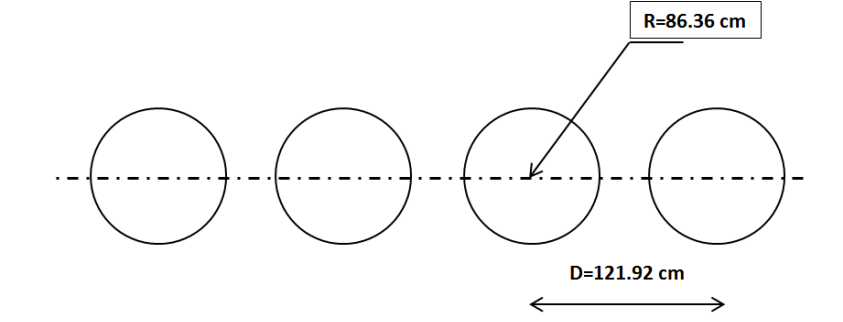
(c) سلوك المادة (اجهد القص مقابل التشوه النسبي).

الشكل (77):مواصفات خلطة جدار الكتامة.[Kumar]

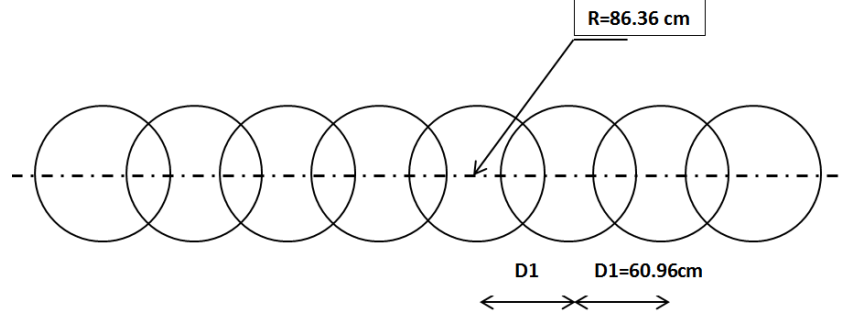
2.2.4 مواصفات السطح الفاصل بين جدار الكتامة و التربة المحيطة (Interface)

تم تحديد مواصفات السطح الفاصل بين جدار الكتامة و التربة المحيطة (Interface) بالاعتماد على طريقة تنفيذ وانشاء جدار الكتامة Slurry wall. حيث تعتمد عدة طرق للحفر و انشاء جدار الكتامة ضمن التربة و منها الطريقة المقترحة لانشاء جدار الكتامة في السدم و هو حالة الدراسة التي

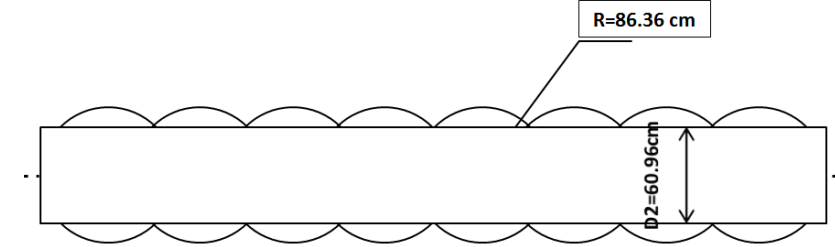
تعتمد على حفر سبور متجاورة وتمتد اذلة بشكاشطر نجيو منتمص بخلطة الجدار في هذا السبور , حيث تعتمد آلية الحفر على استخدام اسائل الحفر يتكون ايضا من الماء والبنتنونايت, الشكلين (78) و (79).



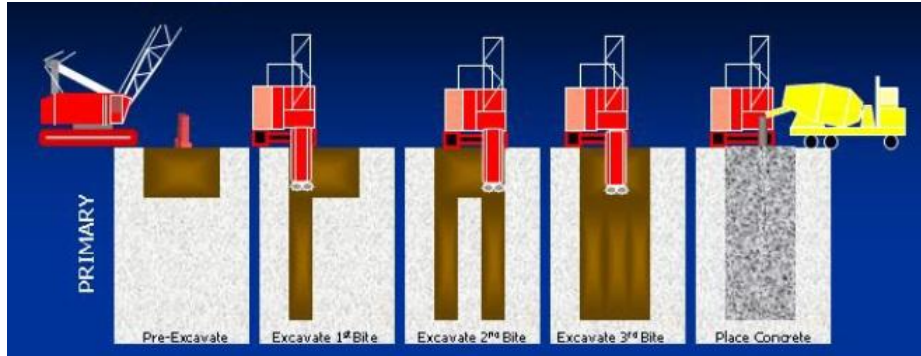
(a) المرحلة الأولى من حفر السبور.



(b) المرحلة الثانية من حفر السبور.

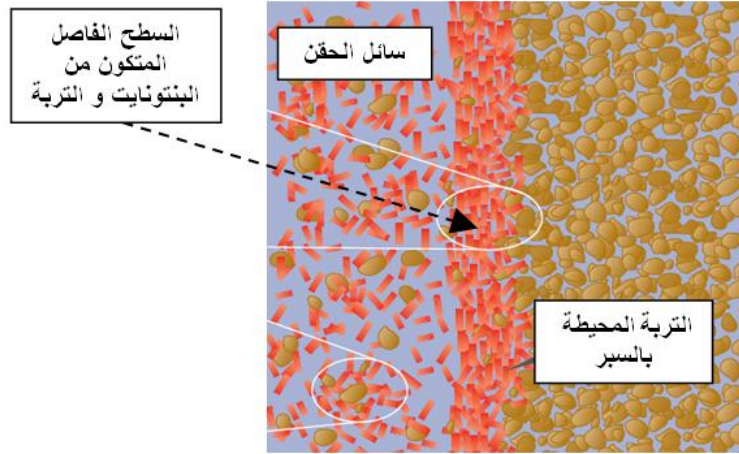


(c) جدار الكتامة الناتج بعد صب خلطة SCB.
الشكل (78): مسقط أفقي لمراحل انشاء جدار الكتامة.



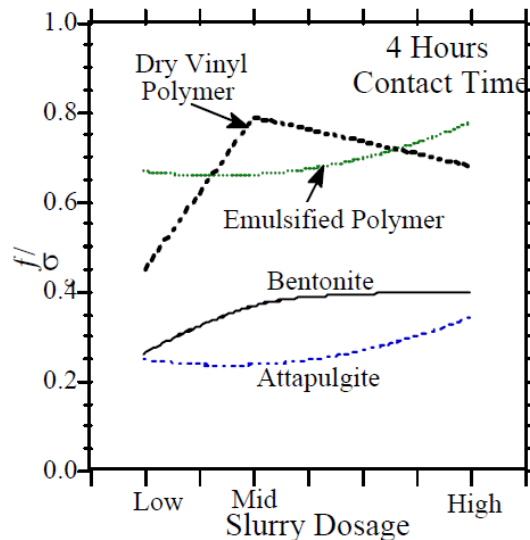
الشكل (79): مقطع شاقولي لمراحل انشاء جدار الكتامة.

ان طبيعة عملية الحفر تؤدي الى تشكل طبقة من البنتونايت و التربة على حواف السبر تسمى Bentonite cake بسماكة تقريبية 2 مم الشكل (80). تشكل عمليا السطح الفاصل بين جدار الكتامة و التربة المحيطة و بالتالي تما لا افتراض بان مقاومة القص لطبقة Bentonite cake هي مقاومة القص لسطح الفاصل interface خصوصا و أن البرنامج المستخدم في الدراسة يمكن من نمذجة السطح الفاصل كطبقة ذات سماكة قليلة جدا يجب تحديد بارامترات القص لها.



الشكل (80): شكل طبقة Bentonite cake و التي تمثل السطح الفاصل و المتكونة على جدران السبر

تتعلق مواصفات طبقة bentonite cake و بالتالي السطح الفاصل , بنسبة البنتونايت المستخدم ضمن سائل الحقن حيث أن المواصفات المستخدمة في هذه الدراسة هي خاصة بحالة استخدام نسبة 36 kg/m^3 من البنتونايت للماء, و التي يرمز لها بالرمز (mid) في الشكل (81) الذي يبين عدة منحنيات تمثل كل منها نوع الاضافات المختلفة و يعنى هذه البحث بالمنحني الخاص بإضافة البنتونايت لسائل الحقن, Majano and O'Neil 1993 , [21]. كما تتعلق مواصفات الطبقة المتشكلة على جدران السبور بزمن الانشاء و الذي بينت الخبرات بانه يستغرق 4 ساعات .



الشكل (81): علاقة نسبة البينتونايتفي سائل الحقن المستخدم بنسبة قوة القص الجانبي

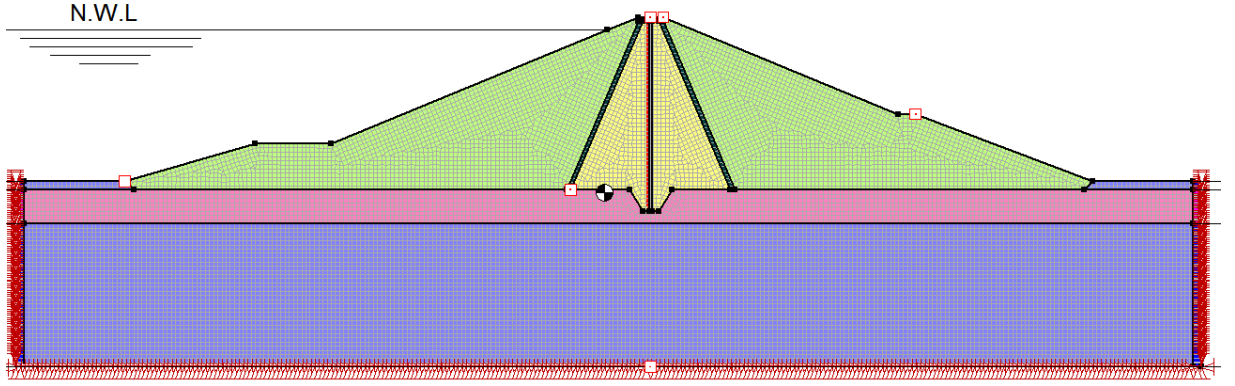
السالضغط الجانبي. [Majano and O'Neil]

تم اعتماد مواصفات interface كالتالي:

من أجل ضغط جانبي 140 kpa و لأجل قطر سبير 60 سم تم افتراض اجهاد مقاومة قص لـ bentonite cake و هي 42 kpa.

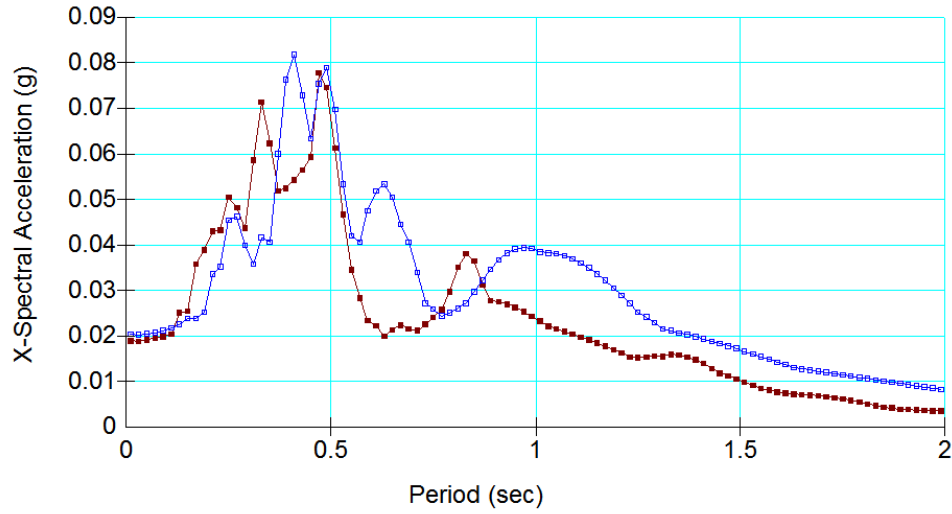
3.2.4 دراسة الاستجابة الزلزالية لجملة السد و جدار الكتامة.

تمت نمذجة جدار الكتامة ضمن النواة الغضارية للسد و بحسب الأبعاد المبينة سابقا (عرض 60 cm), مع الأخذ بعين الاعتبار خصائص خلطة الجدار و مواصفات السطح الفاصل (Interface), المبينة في الفقرة السابقة.

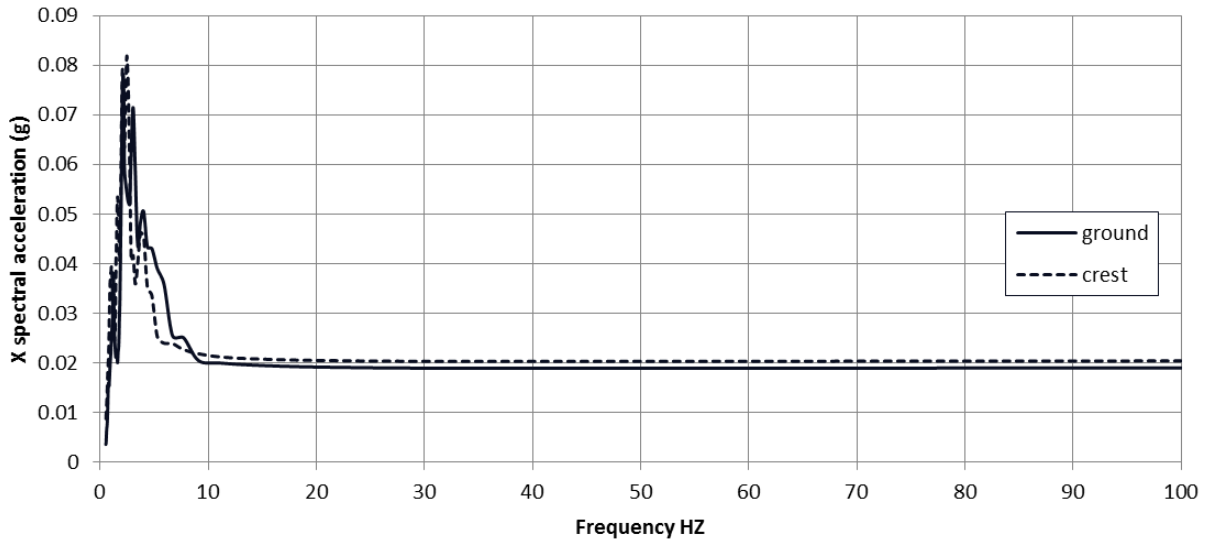


الشكل (82): النموذج التحليلي لجملة السد مع جدار الكتامة

بينت الدراسة الزلزالية أن طيف الاستجابة للتسارع الأرضي عند منسوب سطح الأرض و قمة السد في حالة وجود جدار الكتامة , قد ازداد فقط بنسبة 7.38% حيث بلغ عامل التضخيم 1.05 مقارنة بعامل تضخيم 1.494 قبل تنفيذ الجدار, الشكلين (83), (84).

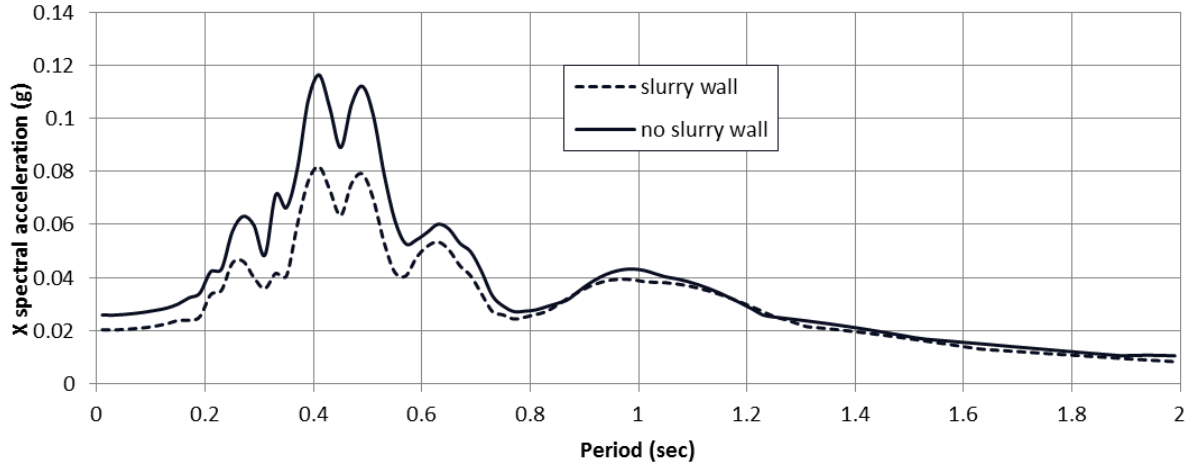


الشكل (83): طيف الاستجابة للتسارع الزلزالي عند سطح الأرض و في قمة السد لجملة السدمعجدار الكتامة

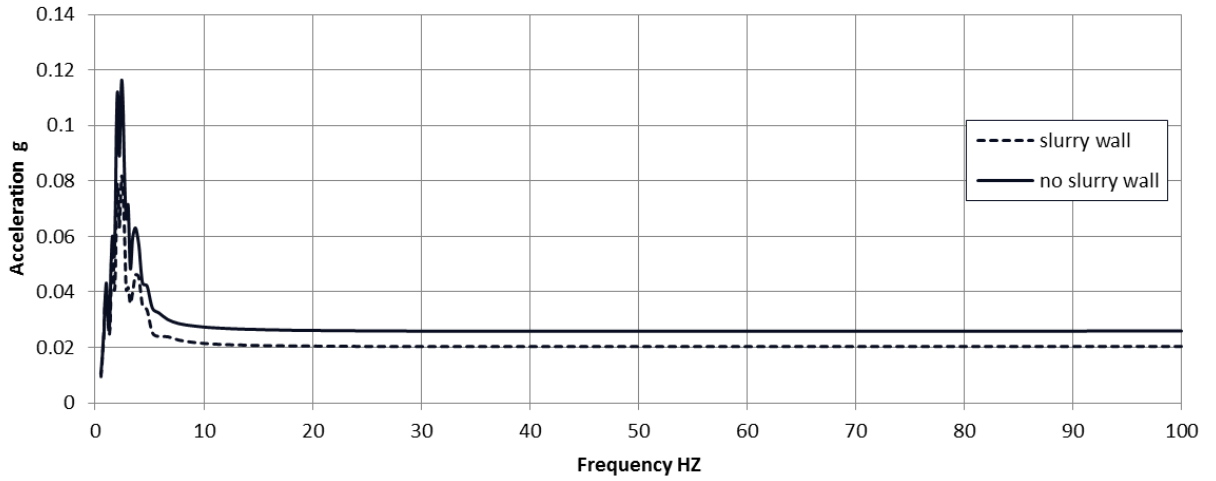


الشكل (84): سلاسل فورييه للتسارع الزلزالي عند سطح الأرض و في قمة السد لجملة السدمعجدار الكتامة

بالمقارنة بين مخططي طيف الاستجابة للتسارع الزلزالي الأفقي عند قمة السد في حالة جملة (سد- جدار) و حالة سد دون جدار, يظهر بأن جدار الكتامة يخفض التسارع الزلزالي الأفقي في قمة الجدار بنسبة 30.5% الشكلين (85), (86).

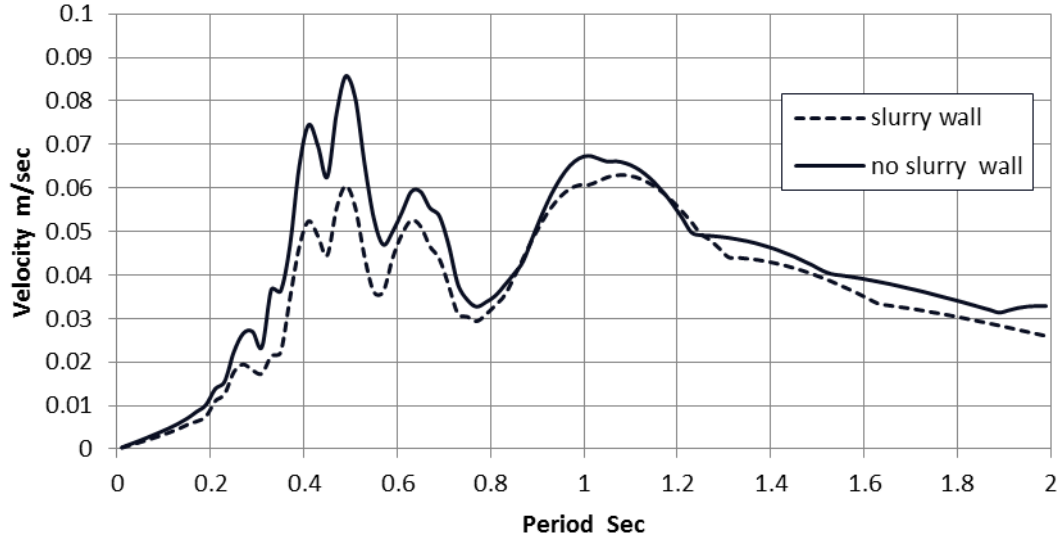


الشكل (85): طيف الاستجابة للتسارع الزلزالي عند قمة السد لحالة جملة السد وجدار الكتامة و لحالة السد دون جدار.

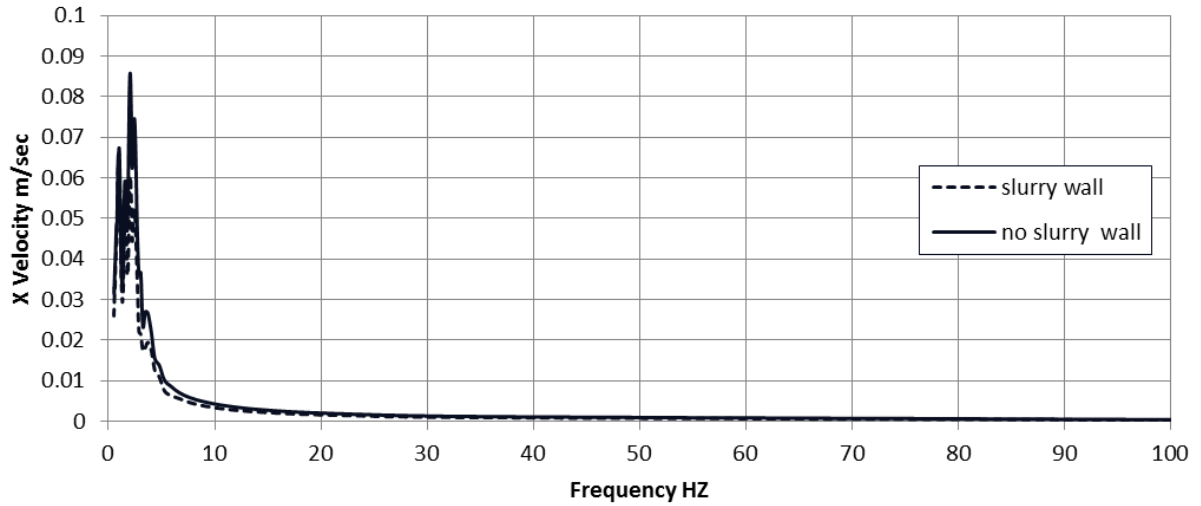


الشكل (86): سلاسل فورييه للتسارع الزلزالي عند قمة السد لحالة جملة السد وجدار الكتامة و لحالة السد دون جدار.

بالمقارنة بين مخططي طيف الاستجابة للسرعة الزلزالية الأفقية عند قمة السد في حالة جملة (سد- جدار) و حالة سد دون جدار, يظهر بأن الجدار يخفض السرعة الزلزالية الأفقية في قمة الجدار بنسبة تصل إلى 20% , الشكلين (87), (88).

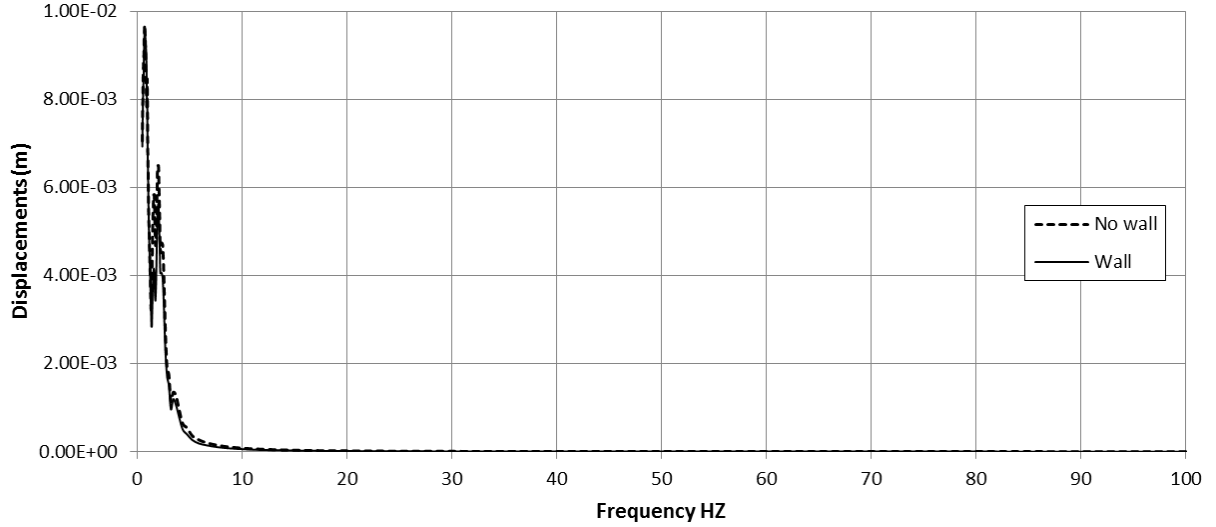


الشكل (87): طيف الاستجابة للسرعة الزلزالية عند قمة السد لحالة جملة السد وجدار الكتامة و لحالة السد دون جدار.



الشكل (88): سلاسل فورييه للسرعة الزلزالية عند قمة السد لحالة جملة السد وجدار الكتامة و لحالة السد دون جدار.

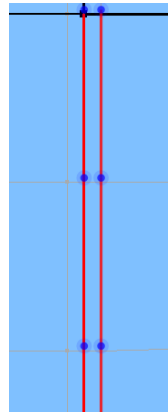
بالمقارنة بين مخططي سلاسل فورييه للانتقالات الأفقية عند قمة السد في حالة جملة (سد- جدار) و حالة سد دون جدار. يظهر بأن الجدار يخفض الانتقالات الأفقية في قمة الجدار بنسبة تصل إلى 30% , الشكل (89).



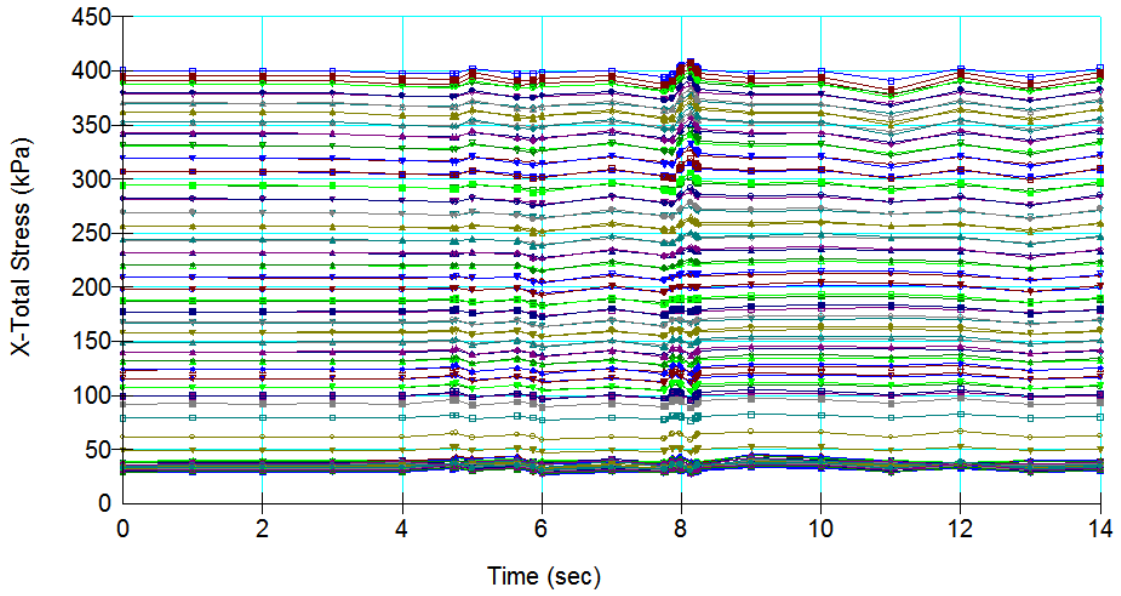
الشكل (89): سلاسل فورييه للانتقالات الأفقية عند قمة السد لحالة جملة السد وجدار الكتامة و لحالة السد دون جدار.

إن تأثير وجود الجدار على الاستجابة الزلزالية للسد من حيث تخفيض التسارعات الزلزالية و السرعة الزلزالية الأفقية في قمة السد يعود الى قيامه بتخفيض الانتقالات الأفقية للسد بشكل عام و ذلك نتيجة لصلابته التي تعتبر أكبر من صلابة التربة المحيطة و المكونة للسد.

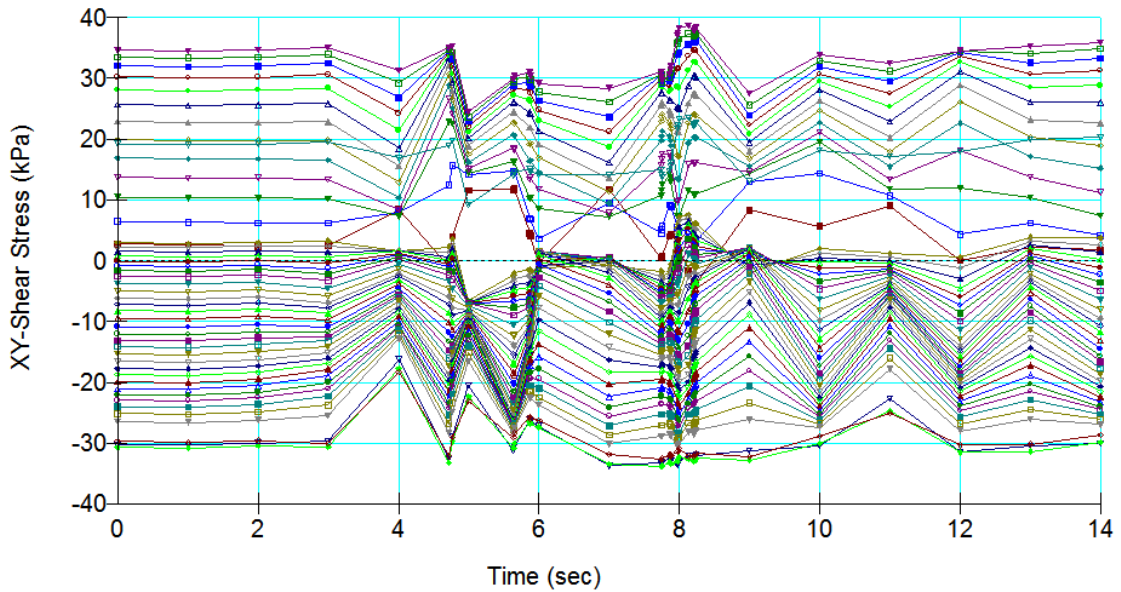
إن الخطوط البيانية للاجهادات الافقية لكافة النقاط الواقعة على طرفي السطح الفاصل بين جدار الكتامة و التربة المحيطة و تغيراتها خلال مدة الهزة الزلزالية تبين بان الاجهادات دائما موجبة اي انها اجهادات ضغط و لا تتكون اجهادات شادة في interface و بالتالي لا تحدث أية تشققات شد فيه الشكل (91) . الشكل (90) يمثل جزء من شبكة العناصر المحدودة على طرفي السطح الفاصل و النقاط التي تم رسم الخطوط البيانية للاجهادات الافقية عندها.



الشكل (90): النقاط على طرفي السطح الفاصل.

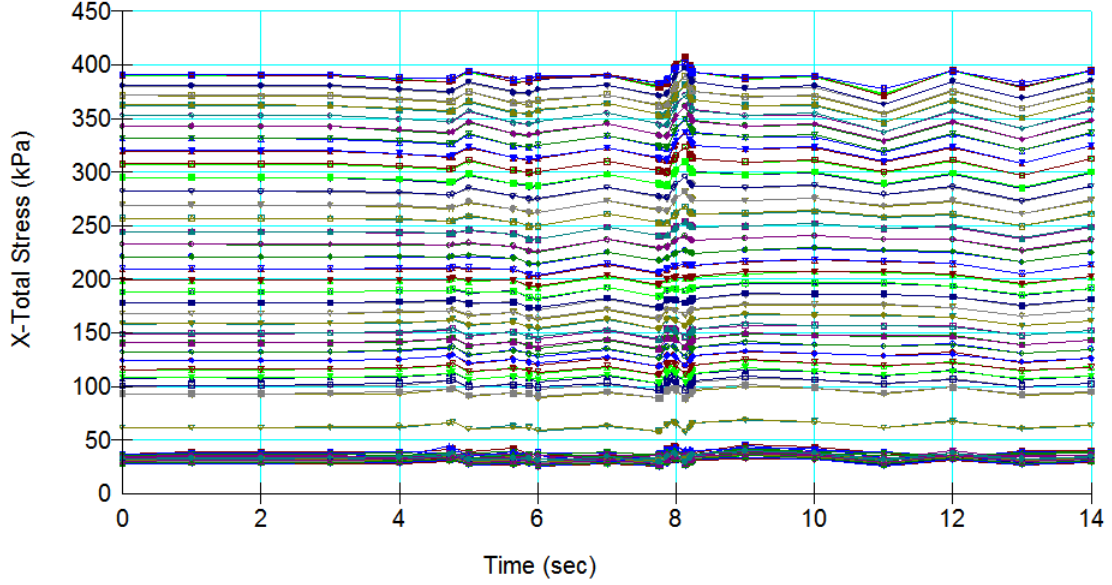


الشكل (91): مغلف الاجهادات الأفقية لكافة النقاط على طرفي السطح الفاصل بين جدار الكتامة و التربة المحيطة. إنالخطوط البيانية لاجهاداتاتاقصلكافةالنقاط الواقعة علىالسطح الفاصل بين جدار الكتامة و التربة المحيطة وتغيراتها خلال مدة الهزة الزلزالية تبين بانالاجهاداتاتدائماً أقل من 40 kpa وهذا يعني انالسطح الفاصل لا ينهار علناقص, الشكل (92).



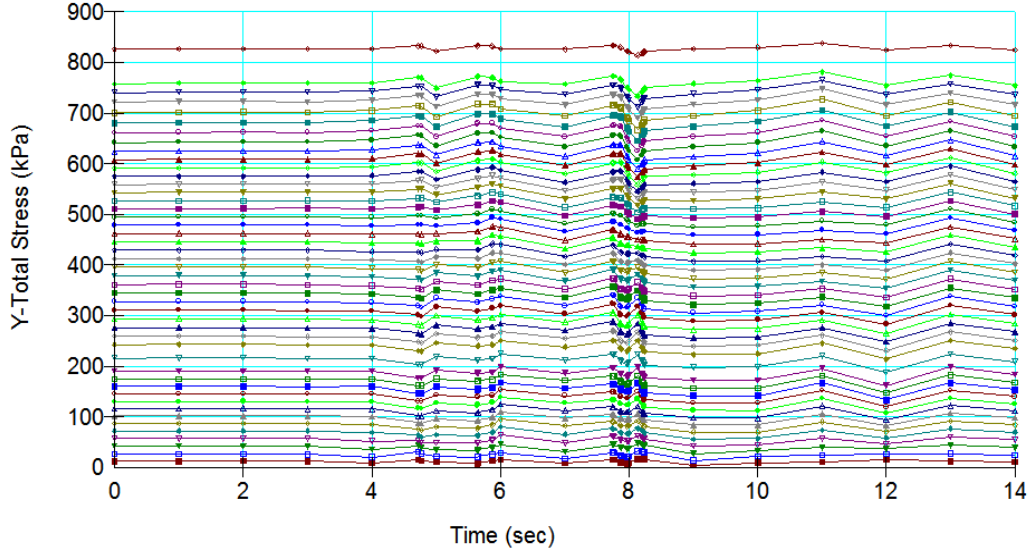
الشكل (92): مغلف اجهادات القص لكافة النقاط على طرفي السطح الفاصل بين جدار الكتامة و التربة المحيطة.

توضح الخطوط البيانية للاجهادات الأفقية لكافة النقاط الواقعة داخل الجدار قرب السطح الفاصل بين جدار الكتامة و التربة المحيطة خلال مدة الهزة الزلزالية ان الاجهادات دائما موجبة اي انها اجهادات ضغط و لا تتكون اجهادات شادة في الجدار و بالتالي لا تحدث أية تشققات شد فيه , الشكل (93).

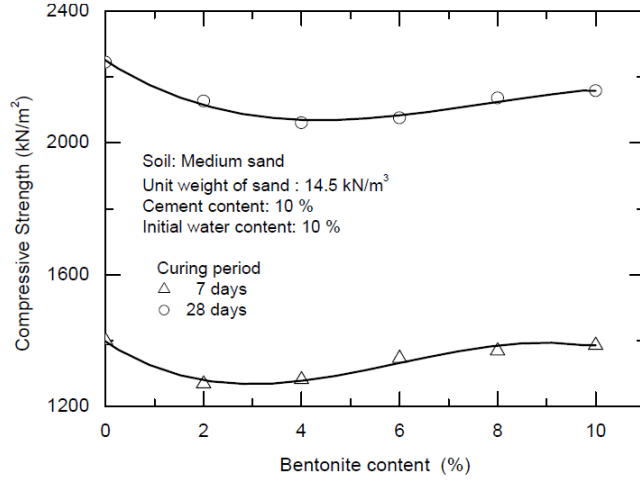


الشكل (93):مغلف الاجهادات الأفقية لكافة النقاط داخل جدار الكتامة.

إن الخطوط البيانية للاجهادات الشاقولية لكافة النقاط الواقعة داخل الجدار قرب السطح الفاصل بين جدار الكتامة و التربة المحيطة خلال مدة الهزة الزلزالية تبين بان الاجهادات تصل الى قيم تتجاوز 800 kpa , الشكل (94) و هي قيمة أكبر من القيمة التصميمية للعديد من الخلطات المستخدمة و التي تبلغ عادة 700 kpa , كما بينت الدراسة المرجعية , لكن بالنسبة للخلطة المستخدمة في هذا التحليل و التي تتجاوز اقل قيمة لها 1200 kpa , الشكل (95).

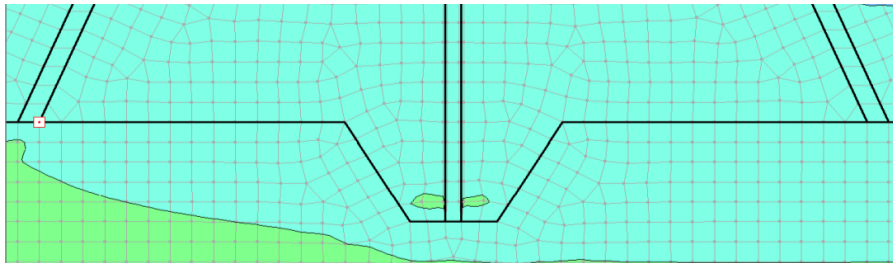


الشكل (94): مغلف الاجهادات الشاقولية لكافة النقاط داخل جدار الكتامة.



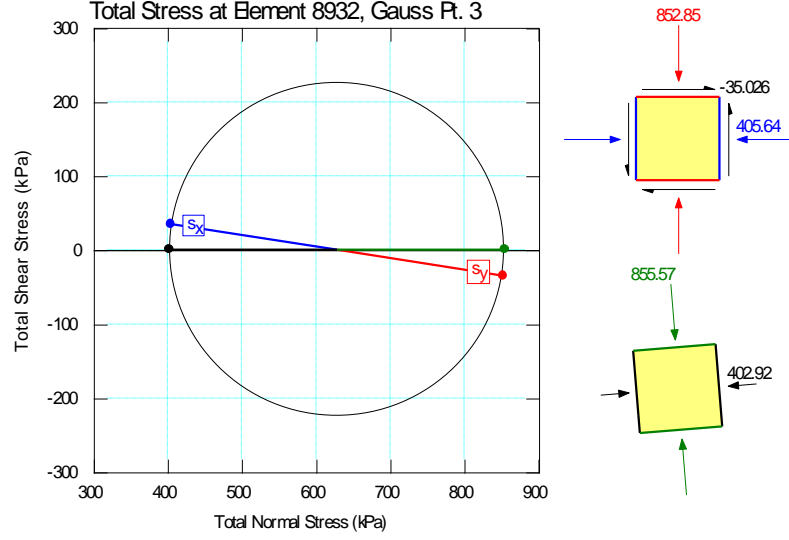
الشكل (95): مقاومة الضغط للخلطة المستخدمة في انشاء جدار الكتامة. [Kumar]

إن أكبر قيمة لاجهاد الضغط الشاقولي تقع في أسفل الجدار عند التقاء المانعة الغضارية بالطبقة -3 Layer 1, الشكل (96), حيث ينشأ على طرفيها مناطق ذات اجهادات أعظمية ضمن المانعة الغضارية .



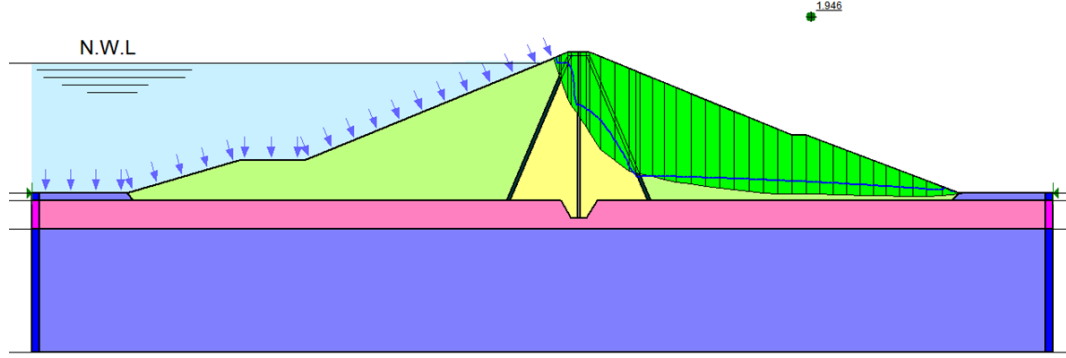
الشكل (96): أماكن تكون اجهادات الضغط الشاقولية الأعظمية عند أسفل الجدار.

الشكل (97), يبين الإجهادات الأفقية و الشاقولية و إجهادات القص المتكونة في اماكن تكون قيمها الأعظمية عند التقاء جدار الكتامة و المانعة الغضارية بطبقة الأساسات Layer3-1.



الشكل (97): الإجهادات الأفقية و الشاقولية و إجهادات القص الأعظمية.

تمحساب عاملاً ماناً استقرار الوجه الخلفي للسد ونفس سطح الانزلاق المحدد سابقاً فظهر تأثير جدار الكتامة بزيادة عاملاً لامن من 1.82 الى 1.946 حيث تعتبر هذه القيمة غير واقعية بسبب اختيار سطح انزلاق ثابت بهدف المقارنة مع حالات السابقة , وتبدو هذه الزيادة مبررة بسبب دخول تأثير مقاومة قص الجدار ضمن القوالمقاومة للانزلاق, الشكل (98).



الشكل (98): سطح الانزلاق للوجه الأمامي في حالة جملة (سد - جدار).

الفصل الخامس: النتائج و التوصيات

1.5 النتائج و التوصيات:

- فيتصميم السدود الترابية من المهمم الاخذ بعين الاعتبار وجود ايطبقه تربة فياساسات السد ذات معامل نفوذية عاليو ذلكنت يجة لتأثيرها الواضعلنا استقرار السد .
- أثبتت الدراسة أن منسوب خط الرشحير تفعفيج جسم السد عند انخفاض عمق طبقة الاساسات النفوذةو الذي يؤدي ايضا لزيادة التدفق الكليو ضغط الماء المساميو القوبالز القة فقيج جسم السد , كما تؤدي لاناخفاض قيم القوبالمثبتة و عوامل الأمان الستاتيكية . لكنبكلالأحوال يبقىناقلعاملا للآمان F.S أكبر من /1.7/

- ينتج عن التأثير الزلزالي زيادة في ضغط الماء المسامي وضغط الماء المساميا لاضافيا لمتولد ديناميكي و القوبالز القبة في جسم السد , كما ينتج عنها ايضا انخفاض في القوبالمتثبتة وانخفاض في عواملا مانا مستقر الوجه الخلفي للسد.
- يؤدي وجود الجدار التخفيض عام لتضخيم التسار عالزل الي الافقيين بسطح الارض وقمة السد من القيمة 1.494 البالقيمة 1.05. حيثينخفض التسار عالافقيين نسبة 30.5%.
- بالمقارنة بين حالة وجود جدار الكتامة وحالة عدم وجوده يظهر بأن الجدار يخفض التسار عالزل الي الأفقية في قيمة الجدار بنسبة تصل إلى 20%.
- بالمقارنة بين حالة وجود جدار الكتامة وحالة عدم وجوده يظهر بأن الجدار يخفض الانتقالات الأفقية في قمة الجدار بنسبة تصل إلى 30%.
- إن تأثير وجود الجدار علنا لاستجابة الزلزالية للسد من حيث تخفيض التسار عاتالزل الي التسار عالزل الي الأفقية في قيمة السد يعود النقيامه بتخفيض الانتقالات الأفقية للسد بشكل عام وذلك كنتيجة لصلابتها التي تعتبر أكبر من صلابة التربة المحيطة والمكونة للسد.
- لا تتكون اجهاد اتشادة في interface السطح الفاصل بين الجدار والتربة وبالتالي تحدث ثاية تشققات شديده .
- تم إجراء الدراسة من أجل جدار كتامة بعرض 60 سم و لم يتم الأخذ بالاعتبار تأثير تغير عرض الجدار على الاستجابة الزلزالية للسد حيث تعد دراسة هذه الناحية بحثا مستقلا بذاته يمكن اجراؤه لاحقا.
- يجب اعطاء اهمية خاصة للخطة المستخدمة في انشاء الجدار و الحرص على ان تكون مقاومتها على الضغط و القص اكبر من القوى المطبقة حيث بينت نتائج الدراسة و بالمقارنة مع البيانات الواردة في الدراسة المرجعية بأن أغلب الخطات المتعارف عليها لا تمتلك مقاومة القص و الضغط الكافية لتحمل الاجهادات المطبقة التي تختلف بحسب اختلاف جسم السد و ابعاده و القوى الستاتيكية و الزلزالية المطبقة عليه , لذلك فإن القيام بدراسة نمذجة تحليلية لجملة السد الجدار هامة جدا لحساب الاجهادات الناشئة في السد و الجدار و تصميم الخطة المناسبة بناء على هذه النتائج.
- تمت دراسة حالة سد زيزون لاغراض بحثية بحتة و لا يمكن اعتبار مخرجات هذه الدراسة كاستنتاجات تحدد اسباب انهيار السد.

2.5 البارامترات التصميمية

- معامل النفاذية m/sec K coefficient of permeability
- معامل المرونة E modulus of elasticity Kpa
- التماسك C cohesion Kpa
- زاوية الاحتكاك الداخلي F' friction angle
- معامل بواسون ν Poisson ratio
- زاوية التمدد γ Dilation angle
- الوزن الحجمي الكلي γ total unit weight KN/m³

- ζ damping ratio عاملا لتخامد
- I_p plasticity index قرينة اللدونة
- G_{max} maximum shear modulus Kpa معاملا لقصا لأعظمي

الفصل السادس: المراجع

6. المراجع:

- [1] Abramson et al, "Slope stability ad stabilization method ", second edition, book, 2002.
- [2] AGROCOMPLECT- PLC, "Rehabilitation of Zeizoun dam and the appurtenant structures ", Evaluation and Engineering study, 2005.
- [3] Andromalos and Fisher, " Design and Control of Slurry Wall Backfill Mixes for Groundwater Containment ", technical paper, 2001.
- [4] Axtell and Stark, "Peak and Post-Peak Shear Strength of Cement-Bentonite ", technical paper, 2010.

- [5] BATHE K-J, "**Finite Element Procedures in Engineering Analysis** ", book, 1982.
- [6] Bettress, "**Infinite elements**", book, 1992. (Modified in 2006).
- [7] BISHOP A-W and MORGENSTERN N, "**Stability coefficients for earth slopes** ", book, 1960.
- [8] Bruce, Dreese and Heenan, "**Concrete Walls and grout curtains in the twenty-first century: the concept of composite cut-offs for, seepage control**", technical paper, 2008.
- [9] CHILDS E-C and COLLIS-GEORGE, "**The Permeability of Porous Materials** ", Proceedings of the Royal Society, 1950.
- [10] Das, "**Advanced soil mechanics**", book, 2008.
- [11] Day, "**Geotechnical earthquake engineering handbook**", book, 2002.
- [12] Geo-Slope, "**Dynamic Modeling with QUAKE/W 2007** ", book (Third Edition), 2008.
- [13] Fisher et al, "**Construction of self-hardening slurry cutoff wall at Taylorsville dam, Ohio**", technical paper, 2004.
- [14] Ghazavi et al, "**Response of plastic concrete cut-off walls in earth dams to seismic loading using finite element methods**", technical paper, 2004
- [15] Glagovsky and Kourneva, "**Numerical modeling of concrete face rockfill dam at seismic impact**", technical paper, 2008.
- [16] Graham et al, "**Seismic Performances of Slurry Walls** ", technical paper, 2012.
- [17] HASANI, MAMIZADEH and KARIMI, "**Stability of Slope and Seepage Analysis in Earth Fills Dams Using Numerical Models (Case Study: Ilam DAM-Iran)** ", Journal, 2013
- [18] Ishibashi and Zhang, "**Unified Dynamic Shear Modulus and Damping Ratios of Sand and Clay** ", Journal, 1993.
- [19] JANBU, "**Applications of Composite Slip Surfaces for Stability Analysis** ", The European Conference on the Stability of Earth Slopes, 1954.
- [20] Lee K-L and Albaisa, "**Earthquake induced settlement in saturated sands** ", Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division, 1974.
- [21] Majano and O'Neil, "**Effect of dosage and exposure time of slurries on perimeter load transfer in bored piles** ", International Geotechnical Seminar on Deep Foundations, Belgium, 1993.

- [22] Mahinroosta, Shoaie and Pishgar, "**Evaluation of the penetration depth of sealing plastic concrete walls in the clay core of earth dams** ", technical paper ,2012.
- [23] MORGENSTERN and PRICE, "**The Analysis of the Stability of General Slip Surfaces** ", Geotechnique Journal, 1965.
- [24] Owaidat, Andromalos and Sisley, "**Construction of soil-cement-Bentonite slurry wall for a levee strengthening program** ", technical paper, 1999.
- [25] Pashazadeh and Chekhaniazar, "**Estimating an appropriate plastic concrete mixing design for cutoff walls to control leakage under earth dam**", technical paper, 2011.
- [26] Kim et al, "**Seismic behaviors of earth-core, concrete-faced-rock-fill, and composite dams** ", technical paper, 2012.
- [27] Koirala et al, "**Cement bentonite slurry wall strength - Tuttle creek dam seismic remediation** ", technical paper, 2011
- [28] KOKANEH et al, "**Seepage evaluation of an earth dam using Group Method of Data Handling (GMDH) type neural network: A case study** ", Journal of Scientific Research and Essays , 2013.
- [29] Kramer, "**Geotechnical Earthquake Engineering** ", Prentice Hall, 1996.
- [30] Kumar , "**A study on the engineering behavior of grouted loose sandy soil**", Doctorate Thesis 2010.
- [31] Rice and Duncan, "**Findings of case histories on the long-term performance of seepage barriers in dams**", technical paper, 2010.
- [32] Ryan and Day , "**Soil-Cement-Bentonite Slurry Walls** ", technical paper, 2013.
- [33] Seed and Lee, "**Liquefaction Of Saturated Sands During Cyclic Loading** ", Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division, 1966.
- [34] Seepage Modeling with SEEP/W 2007, an Engineering Methodology, Third Edition, March 2008.
- [35] Soroush and Rayati, "**Numerical analysis of Karkheh dam, foundation, and its cutoff wall subjected to earthquake loading**", technical paper, 2004.
- [36] Stability Modeling with SLOPE/W 2007 Version, an Engineering Methodology, Third Edition, March 2008.

[37] Stress-Deformation Modeling with SIGMA/W 2007, an Engineering Methodology, Third Edition, March 2008.

[38] Walberg et al, " **Seismic retrofit of Tuttle creek dam** ", technical paper, 2012.

[39] Xuanming et al, " **Finite element analysis of dynamic response of Maoergai earth-rockfill dam in earthquake disaster** ", technical paper, 2012.

[40] VAN GENUCHTEN, " **A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils** ", Soil Science Society of America Journal, 1980.