

الجمهورية العربية السورية وزارة التعليم العالي جامعة تشرين كلية الهندسة المدنية قسم الهندسة الجيوتكنيكية

دراسة مقارنة بين الجدران الاستنادية بتربة مسلحة ميكانيكيا (MSEW) بالجيوغريد و الجدران الاستنادية التقليدية

رسالة علمية أعدت لنيل درجة الماجستير في الهندسة المدنية باختصاص هندسة جيوتكنيكية

إعداد المهندسة خلود محمود حواط

د.مالك توفيق حسن

د. رامي اسطة

2014-2013

Syrian Arab Republic Ministry of Higher Education Tishreen University Faculty of Civil Engineering Geotechnical Engineering Department



Comparison Between Mechanical Stabilized Earths (MSE) With Geogrid Vs. Traditional Retaining Walls

A Thesis

Submitted to the Faculty of Civil Engineering at Tishreen University In partial fulfillment of the Requirements for the degree of Master of Science in Geotechnical Engineering

in

The Department of Geotechnical Engineering

Prepared by **Kholod Mahmoud Hawatt**

B.Sc., in Civil Engineering, Tishreen University, 2009

Supervised by

Dr.-Eng. Malek Hasan

Dr.-Eng. Rami Ousta

January 2014



جامعة تشرين كلية الأداب والعلوم الإنسانية قسم اللغة العربية

السيد الدكتور عميد كلية البسبة الحدثية

بجامعة تشرين

عملا بقرار مجلس قسم اللغة العربية رقم / ٢٩ / تاريخ ٢٠١٣ / ٩ / ١٠ المتضمن مدققا لغويا لرسالة الماجستير لمؤلفها الطالب محلود محمد وهوال وهي بعنوان (دراسة مقارنة بين الجدران الاستنادي بتمبة عسلحه تسكانيكياً را154/ مالجيويخريد والجدران الاستنادية المقليدية

> وتم تصويب الرسالة وتدقيقها بعد المناقشة النهائية ، كما تم الالتزام بملاحظات المدقق اللغوي أصولا

> > وتفضلوا بقبول الاحترام

اسم المدقق وتوقيعه د. ابت_م حد

عميد كلية الآداب والعلوم الإنسانية

الدكتور يوسف جابر

رنيس قسم اللغة العربية مدنان أحمد

شهادة

نشهد بأنّ هذا العمل الموصوف في هذه الرسالة بعنوان : " دراسة مقارنة بين الجدران الاستنادية بتربة مسلحة ميكانيكياً بالجيوغريد (MSEW) و الجدران الاستنادية التقليدية"

هو نتيجة بحث علمي قامت به المرشحة المهندسة خلود محمود حواط بإشراف الدكتور المهندس مالك توفيق حسن (المدرس في قسم الهندسة الجيوتكنيكية في كلية الهندسة المدنية بجامعة تشرين ، باختصاص ميكانيك تربة)، و الدكتور المهندس رامي اسطة (المدرس في قسم الهندسة الجيوتكنيكية في كلية الهندسة المدنية بجامعة تشرين ، باختصاص أسس وقواعهد المنشآت) وإنّ أي مرجع ورد في هذه الرسالة مونَّق في النص.

المشرف الرئيسي	المشرف المشارك	المُرشّح
د. مالك توفيق حس	د. رامي اسطة	خلود محمود حواط
195	P	tiles

د. مالك توفيق حسن Afas-

2014 /1/12

CERTIFICATION

It is hereby certified that, the work described in this thesis

"Comparison Between Mechanical Stabilized Earths (MSE) With Geogrid Vs. Traditional Retaining Walls"

is the results of MS. KHOLOD MAHMOUD HAWATT own investigations under the supervision of Dr.-Eng. Malek HASAN (Faculty of Civil Engineering, Tishreen University, Lattakia, SYRIA), Dr.-Eng. Rami Ousta (Faculty of Civil Engineering, Tishreen University, Lattakia, SYRIA) and any reference of other researchers work has been duly acknowledged in the text.

Candidate	Supervisors	
Kholod Hawatt	DrEng. Rami Ousta	DrEng. Malek HASAN
the	- P	Ma

2014 /1/12

تصريح

أُصرّح بأنّ هذا البحث " دراسة مقارنة بين الجدران الاستنادية بتربة مسلحة ميكانيكياً بالجيوغريد (MSEW) و الجدران الاستنادية التقليدية"

لم يسبق أن قُبل للحصول على شهادة، ولا هو مُقدّم حاليّاً للحصول على شهادة أخرى.

اسم المُرشّح خلود محمود حواط

2014 /1/12

DECLERATION

This is to declare that, this work

"Comparison between mechanical stabilized earths (MSE) with Geogrid vs. traditional Retaining Walls"

Has not been being submitted concurrently for any other degree.

Candidate name KHOLOD MAHMOUD HAWATT

Signature. file

2014 /1/12

قُمت هذه الرسالة

دراسة مقارنة بين الجدران الاستنادية بتربة مسلحة ميكانيكيا بالجيوغريد (MSEW) و الجدران الاستنادية التقليدية

إلى كلية الهندسة المدنية بجامعة تشرين استكمالاً لمتطلبات نيل درجة الماجستير في اختصاص الهندسة الجيوتكنيكية من كلية الهندسة المدنية في جامعة تشرين في قسم الهندسة الجيوتكنيكية

This Thesis

"Comparison between mechanical stabilized earths (MSE) with Geogrid vs. traditional Retaining Walls"

Submitted to the Faculty of Civil Engineering at Tishreen University In partial fulfillment of the Requirements for the degree of Master of Science in Geotechnical Engineering

in

The Department of Geotechnical Engineering

كلمة شكر

ACKMOWLEDGMENT

أتوجه بالشكر الجزيل لكل من ساهم ويساهم في رفد و تطوير البحث العلمي في الجمهورية العربية السورية بشكل عام وفي وزارة التعليم العالي بشكل خاص، كما أتوجه بالشكر لكل العاملين في جامعة تشرين، كلية الهندسة المدنية، من أساتذة و مدرسين و إداريين و فنيين، وأخص بالذكر قسم الجيوتكنيك بكافة أعضائه و إداريين و فنيين، وأخص بالذكر قسم الجيوتكنيك بكافة أعضائه د. توفيق فياض د. رامي أسطة د. مالك حسن القصلهم بالإشراف على هذه الدراسة ودعمهم وتوجيهاتهم القيمة التي ساندتني في إتمام هذا العمل نوقشت رسالة الماجستير

دراسة مقارنة بين الجدران الاستنادية بتربة مسلحة ميكانيكياً بالجيوغريد (MSEW) و الجدران الاستنادية التقليدية "

> المقدمة من المهندسة خلود محمود حواط بإشراف

د.رامي اسطة (مشرف مشارك) د. مالك توفيق حسن (مشرف رئيسي) بتاريخ ٢٠١٤ / ١/١٢ وأُجيزت

لجنة الحكم:

الدكتور وائل حرفوش الأستاذ في قسم الهندسة الجيوتكنيكية في كلية الهندسة المدنية، جامعة تشرين باختصاص ميكانيك تربة .رئيساً .

التوقيع

الدكتور توفيق فياض المدرس في قسم الهندسة الجيوتكنيكية في كلية الهندسة المدنية جامعة تشرين باختصاص ميكانيك تربة / رئيس قسم الهندسة الجيوتكنيكية في جامعة تشرين / .عضواً. التوقيع

الدكتور مالك حسن المدرس في قسم الهندسة الجيوتكنيكية في كلية الهندسة المدنية، جامعة تشرين باختصاص ميكانيك تربة.عضواً ومشرفاً.

التوقيع that

anges

ملخص البحث

جدران التربة المسلحة (MSEW) هي منشآت بناء مركبة، يتم فيها زيادة مقاومة تربة الردم من خلال إدراج عناصر تسليح قابلة للشد بشكل أشرطة معدنية، جيوتكستيل أو جيوغريد.

وعلى الرغم من انتشارها المتزايد، سجلت حالات انهيار لهذا النوع من الجدران، لذلك لا يزال هناك ضرورة لإجراء المزيد من الدراسات حول سلوك هذا النوع من الجدران من أجل الحصول على التصميم الأمثل والأمين لها. وخصوصاً عند تغير الخواص الميكانيكية للمواد المستخدمة والأبعاد الهندسية للجدار.

سيتناول هذا البحت دراسة سلوك الجدران الاستنادية من التربة المسلحة بالجيوغريد باستخدام طريقة العناصر المنتهية (FEM) مع إجراء دراسة لأهم المتغيرات المؤثرة على التصميم (أبعاد الجدار، طول وتباعد وخواص الجيوغريد، خواص تربة الردم والحمولات السطحية خلف الجدار). إضافة إلى ذلك سيتم إجراء مقارنة بين ميزات جدران التربة المسلحة بالجيوغريد والجدران الاستنادية التقليدية البيتونية.

تظهر الدراسة أن استقرار جدران التربة المسلحة يتأثر ب ارتفاع الجدار، صلابة وأبعاد الجيوغريد، وغيرها من البرامترات المدروسة. إضافة إلى أن كلفة جدران التربة المسلحة أقل تقريبا ب (%25–20) من الجدران البيتونية المصبوبة بالمكان (CIP).

> كلمات مفتاحيه : الجدران الاستنادية – جدران التربة المسلحة – الجيوغريد- طريقة العناصر المنتهية – برنامج Plaxis.

Abstract

Mechanically Stabilized Earth (MSE SRW) Wall is a composite construction material in which the strength of the engineering fill is enhanced by the addition of strong tensile reinforcement in the form of metal strips, geotextiles, or geogrids.

Although reinforced earth is widely used in different parts of the world, it is found cases of the collapse of this type of walls. So it is still necessary to make further studies on the behavior of the reinforced earth wall when the mechanical properties and geometry of its composite materials changes for optimum and safty design of the wall.

In this study the Finite-Element analysis is used to study the behavior of geogrid reinforced earth retaining walls and carrying out parametric study on the effective parameters on the design such as wall height and geometry, characteristics length and vertical spacing of geogrid, soil properties and surcharge. In addition to, a comparison between the advantages of geogrid reinforced earth retaining walls (MSE SRW) vs. traditional concrete retaining walls will be made.

This study shows that the behaviour of the MSE wall is dependent on wall height, stiffness and dimension of geogrid, and other parameters that is studed. also the MSE walls costs 20 to 25 percent less than that of CIP concrete walls.

Keywords: Retaining Walls – MSE SRW – Geogrid- FEM- Plaxis.

الفهرس

لمخص	Ι
5	
فهرس	III
0.36	
للحق الأشكال	VI
لحق الحداول.	Х
••••••	

الفصل الأول : مدخل البحث

1	1.1 مقدمة
1	2.1 أهمية البحث
2	3.1 موضوع البحث
2	4.1 أهداف البحث
2	5.1 منهجية البحث
3	6.1 محتوى البحث

الفصل الثاني : الجدران الاستنادية ومفهوم التربة المسلحة

4	1.2 الجدران الاستنادية
4	2.2 مفهوم تسليح التربة ومراحل تطورها
	3.2 الجدران الاستنادية من تربة مسلحة ميكانيكياً
	4.2 أنواع عناصر التسليح
	5.2 أنواع عناصر الواجهة
8	6.2 تصميم الجدران الاستنادية من تربة مسلحة بالجيوغريد وآليات
	الانهيار

3. الفصل الثالث : در اسات مرجعية حول جدر ان التربة المسلحة بالجيو غريد

15	1.3 مقدمة
15	2.3 لمحة تاريخية عن تطور تسليح التربة
15	3.3 الطرق الحالية لتصميم جدران التربة المسلحة
15	

الفصل الرابع : النمذجة بطريقة العناصر المنتهية FEM

32	1.4 مقدمة
32	2.4 البرنامج المستخدم plaxis- V.8.5 البرنامج المستخدم 2.4
32	3.4 معايرة سلوك النموذج (Model calibration):
35	4.4 التحليل العددي باستخدام طريقة العناصر المنتهية (FEM) – برنامج Plaxis:
35	1.4.4. خواص المواد المستخدمة:
39	2.4.4. النموذج الرياضي (FE-Model):

	الفصل الخامس : دراسة المتغيرات وتحليل ومناقشة النتائج
43	1.5 مقدمة
44	2.5 حالة جدار غير مسلح
45	3.5 حالة جدار مسلح بالجيوغريد:
45	1.3.5. تأثير الجيوغريد على سلوك الجدار الاستنادي
49	2.3.5. دراسة الانتقالات في واجهة الجدار
49	✓ تأثير ارتفاع الجدار H
51	✓ تأثير طول الجيوغريد من خلال النسبة
51	Lr/H
52	√ تأثير تغير الحمولة السطحية qq
54	√ تأثير صلابة الجيوغريد EA
55	3.3.5. دراسة عامل أمان الجدار:
55	√ تأثير طول الجيوغريد على من خلال النسبة Lr/H
56	√ تأثير التباع د الشاقولي بين شرائح الجيوغريد (h)
50	
57	√ تأثير تغير الحمولة السطحية q
58	√ تأثير صلابة الجيوغريد
50	✔ تأثير الكثافة النسبية لتربة الردم
39	Dr%
60	4.5 مقارنة بين جدران التربة المسلحة بالجيوغريد(MSEW) والجدران البيتونية التقليدية المصبوبة
UU	في المكان(CIP) الكتلية والظفرية:
	الفصل السادس : النتائج والتوصيات
	1.6 نتائج البحث
64	1.1.6 نتائج الدراسة العددية بطريقة العناصر المنتهية
64	1.1.6 نتائج المقارنة مع الجدران الاستنادية البيتونية التقليدية:
65	
05	2.0-النوصيات
	المراجع
66	المر اجع
	C. •

الملحق

فهرس الأشكال

رقم الصفحة	عنوان الشكل	رقم الشكل
7	مخطط يبين أنواع الجدران الاستنادية التقليدية البيتونية المصبوبة في المكان (CIP)	الشكل(1.2)
9	مقطع عرضي عام لجدار استنادي من تربة مثبتة ميكانيكياً (FHWA,2009)	الشكل(2.2)
10	أنواع عناصر التسليح المستخدمة في منشآت التربة المسلحة.	الشكل(3.2)
11	أمثلة عن أنواع وأشكال الواجهات في الجدران من تربة مثبتة ميكانيكياً (FHWA, 2009).	الشكل(4.2)
11	مخطط يبين أنواع عناصر الواجهة في جدران التربة المسلحة ميكانيكياً.	الشكل(5.2)
12	أشكال البلوكات الحجرية المصنعة (MBW) المستخدمة في واجهة جدران التربة المسلحة (FHWA, 1995) .	الشكل(6.2)
12	أشكال الاتصال بين القطع الحجرية المسبقة الصنع(Helwany et al. , 2001).	الشكل(7.2)
13	آليات الانهيار وعوامل الأمان المستخدمة لتصميم جدران التربة المسلحة حسب(FHWA(2001.	الشكل(8.2)
18	تفاصيل جدار التربة المسلحة كما هي في مكانها (Bowles, 1996).	الشكل(1.3)
18	مقطع عرضي في الجدارين وأجهزة القياس المتوضعة على طول عناصر التسليح (Carrubba et al. ,1999).	الشكل(2.3)
19	مقارنة بين خطوط الآنهيار المقاسة والمحسوبة بال FEM و ال RESLOPE (مقارنة بين خطوط الآنهيار المقاسة و	الشكل(3.3)
19	مقارنة بين خطوط الانهيار وتشوهات الجيوغريد المقاسة والمحسوبة بال FEM و RESLOPE (1999, 1999).	الشكل(4.3)
20	مقطع عرضي في الجدار المدروس يوضح أجهزة القياس وأماكن توضعها (Ling et al. 2000,).	الشكل(5.3)
21	الانتقالات الأفقية المقاسة والمتوقعة(FEM) في واجهة الجدار (2000, Ling et al.).	الشكل(6.3)

21	الإجهادات الشاقولية المقاسة والمتوقعة(FEM) في قاعدة الجدار (Ling et al.,2000).	الشكل(7.3)
22	الجدران الاستنادية التي تمت دراستها من 1~4 (Bathurst et al., 2000).	الشكل(8.3)
23	مقطع عرضي في الجدار المدروس يوضح أجهزة القياس وأماكن توضعها (Bathurst et al., 2000).	الشكل(9.3)
23	انتقالات واجهة الجدار المقاسة والمحسوبة(Huang et al,2009).	الشكل(10.3)
24	الإجهادات الشاقولية المقاسة والمحسوبة أسفل الجدار (q=50kPa وفي نهاية مرحلة البناء) (Huang et al,2009).	الشكل(11.3)
26	الانتقالات الجانبية في كل جدار (Onodera et al, 2004)	الشكل(12.3)
26	تشوهات الجيوغريد فر الجدارين2 و 3 (Onodera et al, 2004).	الشكل(13.3)
27	مقطع عرضي في الجدار المدروس (Kim and Bilgin, 2007).	الشكل(14.3)
27	تأثير طول الأساس البيتوني على تشوهات الجدار (% ا (bh /H) (Kim and Bilgin, 2007).	الشكل(15.3)
28	تأثير طول الأساس البيتوني على تشوهات الجدار العظمى(% δ _h) _{max} /H)) (Kim and Bilgin, 2007)	الشكل(16.3)
29	الانتقالات من اجل حالات الرمل الأربعة عند نفس تباعد الجيوغريد والحمولة المطبقة (Oyegbile, 2011).	الشكل(17.3)
30	العلاقة بين الصلابة والانتقالات (Oyegbile, 2011).	الشكل(18.3)
33	النموذج الرياضي للجدار وفق معطيات التجربة الحقلية موضح عليه مواصفات التربة والجدار	الشكل(1.4)
34	الانتقالات الكلية للنموذج المستخدم للمعايرة في مرحلة الحساب الأخيرة.	الشكل(2.4)
34	مقارنة بين نتائج نموذج الــ FEM و القياسات المرجعية بالنسبة لانتقال واجهة الجدار.	الشكل(3.4)
35	مقارنة بين نموذج FEM والقياسات المرجعية لتغير الإجهادات الشاقولية عند منسوب أسفل الجدار مع البعد عن واجهة الجدار من اجل حمولة سطحية موزعة بانتظام قدرها	الشكل(4.4)

.(q=50KN/m2)

36	التدرج الحبي للتربة الرملية المستخدمة في النموذج	الشكل (5.4)
37	شكل توضيحي لجهاز الطاولة الهزازة مع القوالب المستخدمة (ASTM)	الشكل(6.4)
38	نتائج تجربة القص المباشر من أجل كثافة نسبية %Dr=83	الشكل(7.4)
38	منحني (الإجهاد– التشوه) من خلال تجربة الانضغاط الأدومتري للعينة ذات الكثافة النسبية %Dr=83	الشكل(8.4)
40	النموذج المدروس ومواصفات تربة الردم والتربة الأصلية.	الشكل(9.4)
40	شبكة العناصر المنتهية (FE-Mesh) المستخدمة للنموذج المدروس (H=4.8m).	الشكل(10.4)
41	الانتقالات الكلية في النموذج في مرحلة الحساب الأخيرة.	الشكل(11.4)
42	تشوهات القص في النموذج التي تبين سطوح الانهيار.	الشكل(12.4)
44	نموذج الجدار غير المسلح بالجيوغريد	الشكل(1.5)
45	تغير عامل الأمان مع تغير ارتفاع الجدار غير المسلح	الشكل(2.5)
46	الجدار (H=2.7m)المسلح بالجيو غريد.	الشكل(3.5)
47	مقارنة الانتقالات الأفقية للواجهة في الجدارين المسلح وغير المسلح	الشكل(4.5)
47	الانتقالات الكلية في الجدارين (المسلح وغير المسلحH=2.7m).	الشكل(5.5)
48	الانتقالات الكلية في الجدارين(المسلح وغير المسلح H=2.4m)	الشكل(6.5)
49	تأثير الجيوغريد على انتقالات الأفقية للواجهة من اجل جدار (H=2.4m)	الشكل(7.5)
50	العلاقة بين ارتفاع الجدار والانتقالات الأفقية للواجهة(EA=1500 kN/m , q=0 Kpa)	الشكل(8.5)
50	العلاقة بين ارتفاع الجدار والانتقالات الأفقية للواجهة(EA=620 kN/m , q=20 Kpa)	الشكل(9.5)
51	العلاقة بين الانتقالات الأفقية الأعظمية 8x _{max} والنسبة Lr/H	الشكل(10.5)

52	الانتقالات الأفقية ∆ لواجهة الجدار من اجل مناسيب مختلفة من الجدار z/H (حالة جدار H=7.5m).	الشكل(11.5)
53	تغير الانتقالات الأفقية للواجهة مع تغير الحمولة السطحية عند مناسيب مختلفة من الجدار (حالة جدار H=4.8m).	الشكل(12.5)
53	تغير الانتقالات الأفقية للواجهة مع تغير النسبة Lr/H من أجل حمولات سطحية مختلفة (حالة جدار H=4.8m).	الشكل(13.5)
54	تغير موقع قيمة الانتقالات الأفقية الأعظمية للواجهة مع تغير الحمولة السطحية.	الشكل(14.5)
54	تغير الانتقالات الأفقية للواجهة مع تغير صلابة الجيوغريد (حالة جدار H=4.8m).	الشكل(15.5)
55	تغير الانتقالات الأفقية الأعظمية للواجهة مع تغير النسبة Lr/H من أجل صلابات مختلفة (حالة جدار H=4.8m).	الشكل(16.5)
55	تأثير طول الجيوغريد Lr/H على عامل أمان الجدار من اجل ارتفاعات مختلفة للجدار.	الشكل(17.5)
56	تأثير النسبة Lr/H على عامل أمان الجدار من اجل تباعدات مختلفة (حالة جدار H=4.8m).	الشكل(18.5)
57	تغير عامل الأمان مع تغير التباعد الشاقولي h من اجل نسب مختلفة من(-0.9-0.8-Lr/H. 1m).	الشكل(19.5)
58	تأثير الحمولة السطحية q على عامل أمان الجدار (حالة جدار H=4.8m) .	الشكل(20.5)
58	تغير عامل الأمان مع تغير الحمولة السطحيةq من أجل Lr/H=0.8 (حالة جدار H=4.8m)	الشكل(21.5)
59	تأثير صلابة الجيوغريدEA على عامل أمان الجدار (حالة جدار H=4.8m).	الشكل(22.5)
59	تأثير الكثافة النسبية لتربة الردم %Dr على عامل أمان الجدار (حالة جدار H=3m).	الشكل(23.5)
60	نماذج عن الجدران المدروسة (حالة H=4.8): a) جدار كتلي ، b) جدار ظفري ، c) جدار من تربة مسلحة Lr=0.8H.	الشكل(24.5)
	مقارنة ببن الحد إن الاستنادية من تربة مساحة بالحدم غيبد مالتقاربية البيتمنية المصيمية	

مقاربة بين الجدران الاستنادية من تربة مسلحة بالجيوغريد والتقليدية البينونية المصبوبة 61 بالمكان (الكتلية غير المسلحة والظفرية المسلحة) من حيث الكلفة. النسبة المئوية للتوفير في الكلفة بين جدران التربة المسلحة بالجيوغريد والتقليدية البيتونية

62 الشكل(26.5) المصبوبة بالمكان (الكتلية غير المسلحة والظفرية المسلحة)، إذ (△p/p) تمثل النسبة المئوية للتوفير كفرق للكلفة بين نوعين من الجدران على كلفة الجدار التقليدي.

فهرس الجداول

رقم الجدول	عنوان الشكل	رقم الصفحة
الجدول(1.4)	برامترات تربة الردم والواجهة المستخدمة في برنامج الـــ Plaxis (مرحلة المعايرة).	33
الجدول (2.4)	نتائج التجارب المخبرية على الرمل المستخدم	39
الجدول(3.4)	مواصفات الجيوغريد المستخدم.	39
الجدول(4.4)	أبعاد النموذج وفق برنامج Plaxis	40
الجدول(5.4)	برامترات تربة الردم والتأسيس والواجهة والأساس البيتوني المستخدمة في برنامج الـــPlaxis	41
الجدول(1.5)	سلاسل الحسابات العددية.	43
الجدول(2.5)	تغير عامل الأمان بوجود التسليح	45

الفصل الأول

الفصل الأول

1. مدخل البحث :

1.1 مقدمة (Introduction):

يشهد العديد من دول العالم على مدى السنوات الـ 20 الماضية تزايد استخدام جدران التربة المسلحة ميكانيكيا (MSEW) بشكل كبير، إذ تُعدُ هذه الجدران ذات كفاءة وقابلية للتنفيذ، و اقتصادية. و على الرغم من انتشارها الواسع لا يز ال هناك ضرورة لإجراء المزيد من الدراسات حول سلوك هذا النوع من الجدران من أجل الحصول على التصميم الأمثل لها. إذ إن أول استخدام للتربة المسلحة كان لبناء الجدران في الحضارات القديمة، مثل المعابد القديمة (ziggurats) في العراق وسور الصين العظيم. حيث تم تسليح المعدر العراقي من القديمة، مثل المعابد القديمة (ziggurats) في العراق وسور الصين العظيم. حيث تم تسليح المعدرا في الحضارات (ziggurat) بواسطة حصيرة منسوجة من القصب وضعت أفقياً وبحبال مجدولة من نفس المادة مطمورة في طبقات من الرمل والحصى، في حين أن سور الصين العظيم سلح بواسطة أغصان أشجار طمرت في خليط من الطين والحصى. وحديثاً عرف مفهوم التربة المسلحة عام ،1960 من قبل هنري فيدال في فرنسا. حيث من الطين والحصى. وحديثاً عرف مفهوم التربة المسلحة عام ،1960 من قبل هنري فيدال في فرنسا. حيث من الطين والحصى. وحديثاً عرف مفهوم التربة المسلحة عام ،1960 من قبل هنري فيدال في فرنسا. حيث من الطين والحصى. وحديثاً عرف مفهوم التربة المسلحة عام ،1960 من قبل هنري فيدال في فرنسا. حيث من الحين يوني ولين والحصى. وحديثاً عرف مفهوم التربة المسلحة عام ،1960 من قبل هنري فيدال في فرنسا. حيث معدنية مسلحة مطمورة في التربة. وفي عام 1970 تم استخدام شبكة معدنية مسلحة مطمورة في التربة. وفي عام 1970 تم الجيوتكستيل معدنية كيا معدن التسليح وظهور مواد جيوتكنيكية مصنعة – مثل الجيوتكستيل معدنية كيسيرة فيوز مواد أدى لاحقاً إلى استخدام هذه المواد الجديدة كيامير تسليح في بناء جدران ، الجيوغريد، الجيونت وغيرها أدى لاحقاً إلى استخدام هذه المواد الجدية كياميرة ملما تسليح معامر من القصر معاد منورة في من المواد الجديدة كياميرة شيكة من الجيوتكسير الحيوغريد، الجيونت وغيرها أدى لاحقاً إلى استخدام هذه المواد الجدية كيامير تسليح في بناء جدران ، الجيو غريد، الجيو فريد، الجيوني ما أدى نحقق العديد من المهام من تدعيم وسند وتوازن للتربة والمحدرات، والتربة الملحة، يمكن لهذه الجدران أن تحقق العديد من المهام من تدعيم وسند وتوازان للتربة والمحدرات) . وولسلحة، يمكن لهذه المدران أن تحقق العديد من الممهام من تدعيم وسند

إن أغلب طرق التصميم المستخدمة لمثل هذا النوع من الجدران تعتمد على طرق حسابية تقريبية مبنية على افتراضات وموديلات مبسطة ولا تأخذ بعين الاعتبار السلوك الحقيقي للمنشأ والتربة. سيتناول هذا البحث دراسة سلوك الجدران الاستنادية من التربة المسلحة بالجيوغريد بطريقة التحليل العددي FEM، مع إجراء دراسة متغيرات لأهم العوامل المؤثرة ، إضافة إلى مقارنة هذه الجدران مع الجدران الاستنادية التقليدية.

2.1 أهمية البحث (Scope of the Work):

لاقت الجدران الاستنادية بتربة مسلحة ميكانيكيا (MSE) بالجيوغريد رواجاً كبيراً لدى العديد من المهندسين المعماريين والمدنيين وازداد الاهتمام فيها في العقد الأخير، فهي لا تقدم حلولا تقنية بسيطة ذات كفاءة وحسب بل تُعدُّ مرغوبة بشكل كبير لأسباب جمالية و لسهولة تنفيذها و مقاومتها للعوامل الخارجية ، إضافة إلى أنها تقدم حلولا اقتصادية بكلفة محدودة مقارنة بالجدران الاستنادية التقليدية من البيتون المصبوب في المكان ذات الانتشار الواسع في الحياة العملية.

هذا البحث سوف يسهم في إغناء البحث العلمي فيما يتعلق بدراسة استقرار الجدران الاستنادية بتربة مسلحة بالجيوغريد و العوامل المؤثرة على تصميم هذه الجدران، وكذلك توضيح الميزات المتعددة التي يقدمها هذا النوع من الجدران الاستنادية. كما أن هذا البحث يسلط الضوء على أهم الاعتبارات التصميمية في أثناء دراسة هذا النوع الخاص من الجدران، التي يجب الاهتمام في أثناء الدراسة بهدف الوصول إلى تصميم أمين و اقتصادي.

3.1 موضوع البحث (Research subject) :

دراسة سلوك الجدران الاستنادية للتربة المسلحة ميكانيكاً (MSEW) بالجيوغريد من خلال نمذجة رياضية للمسألة المدروسة وإجراء تحليل عددي باستخدام طريقة العناصر المنتهية (FEM) و ذلك باستخدام برنامج Plaxis-8.2 ، نتضمن دراسة متغيرات لأهم العوامل المؤثرة على التصميم. إضافة إلى إجراء مقارنة بين جدران التربة المسلحة بالجيوغريد والجدران الاستنادية النقليدية البيتونية.

4.1 أهداف البحث (Research Objectives

- بيدف هذا إلى دراسة سلوك الجدران الاستنادية للتربة المسلحة ميكانيكا بشرائح الجيوغريد باستخدام طريقة
 العناصر المنتهية (FEM) برنامج (Plaxis) من خلال دراسة أهم المعاملات المؤثرة على استقرار
 وانتقالات هذا النوع من الجدران وهي :
 - دراسة تأثير ارتفاع الجدار.
 - 2. دراسة تأثير أبعاد الجيوغريد (طول وتباعد).
 - دراسة تأثير صلابة الجيوغريد.
 - دراسة تأثير الحمو لات السطحية الموزعة بانتظام.
 - دراسة تأثير خواص تربة الردم.
- ب إضافة لذلك يهدف البحث إلى إجراء دراسة مقارنة بين الجدران الاستنادية للتربة المسلحة ميكانيكا بالجيو غريد مع الأنواع التقليدية للجدران الاستنادية البيتونية المصبوبة بالمكان (CIP).

5.1 منهجية البحث (Research methodology :

اعتمد في هذا البحث على المنهج التحليلي المقارن، حيث تم إتباع المراحل التالية لإنجازه:

- برنامج التجارب المخبرية: فقد تمَّ إجراء التجارب المخبرية الكافية لتحديد مواصفات الرمل المستخدم في الموديل الهندسي المستخدم في الدراسة العددية.
- النمذجة بطريقة العناصر المنتهية: تم نمذجة موديل مخبري لجدار من تربة مسلحة بالجيو غريد بطريقة الـ FEM- برنامج Plaxis، وبعد التحقق من أن نموذج الـ FEM يعكس السلوك الاجهادي-التشوهي بدقة مقبولة مقارنة مع نتائج القياسات المخبرية، قمنا بإجراء دراسة متغيرات لأهم العوامل المؤثرة على سلوك جدران التربة المسلحة بالجيو غريد على ضوء أهداف البحث.
- مقارنة بين جدران التربة المسلحة بالجيوغريد (MSEW) والجدران البيتونية التقليدية المصبوبة في المكان(CIP) الكتلية والظفرية.
 - تحليل النتائج ومناقشتها.

6.1 محتوى البحث (Research Outlines):

تم توزيع الفصول في هذا البحث كما يلي :

- الفصل الأول : تضمن هذا الفصل مقدمة حول موضوع وإشكالية البحث وأهميته، كما تم توضيح أهداف البحث وتلخيص منهجية الدراسة.
- د. الفصل الثاني : خصص هذا الفصل لعرض خلفية نظرية عن الجدران الاستنادية ومفهوم التربة المسلحة.
- 3. الفصل الثالث : تناول هذا الفصل در اسة مرجعية عن الجدر ان الاستنادية من تربة مسلحة بالجيو غريد.
- 4. الفصل الرابع : تم في هذا الفصل استخدام طريقة العناصر المنتهية الـ FEM إذ تم في البداية معايرة السلوك الإجهادي-التشوهي للتربة لنموذج مخبري قام بها (Bathurst et all, 2001) باستخدام برنامج (Bathurst et all, 2001) ، ومقارنة نتائج نموذج الـ FEM مع النتائج التجريبية. ومن ثم إجراء مجموعة من التجارب المخبرية على الرمل المستخدم ، كما تم نمذجة الجدار الاستنادي المستخدم في دراسة المتغيرات على ضوء أهداف البحث.
- 5. الفصل الخامس: خصص هذا الفصل لإجراء دراسة المتغيرات لأهم العوامل المؤثرة (ارتفاع الجدار، طول عناصر الجيوغريد من خلال النسبة Lr/H، تباعد طبقات التسليح، صلابة عناصر الجيوغريد، درجة تراص تربة الردم، الحمولات السطحية خلف الجدار) على سلوك الجدران الاستنادية من تربة مسلحة بالجيوغريد. إضافة لإجراء مقارنة بين جدران التربة المسلحة بالجيوغريد (MSEW) والجدران البيتونية التقليدية المصبوبة في المكان(CIP) الكتلية و الظفرية.

6. الفصل السادس: تم في هذا الفصل عرض أهم النتائج التي تم التوصل إليها في هذا البحث، وصياغة أهم التوصيات والمقترحات الختامية للاستفادة منها مستقبلاً.

الفصل الثاني

2. الجدران الاستنادية ومفهوم التربة المسلحة:

1.2. الجدران الاستنادية:

إن الجدران الاستنادية هي منشآت تستخدم لحجز منحدرات التربة الشاقولية أو شبه الشاقولية أو أيـة مادة أخرى، إذ إن التربة المحجوزة قد تكون تربة أصلية أو مردومة على نحو يمنع انهيارها. وتصـمم علـى نحو يقاوم الدفع الجانبي للتربة المحجوزة خلفها. وهناك أنواع وأشكال متعددة من الجـدران الاسـنتادية منهـا بحسب طبيعة مكوناتها:

- 1- الجدر ان الاستنادية البيتونية: أكثرها انتشاراً، تتكون بشكل رئيسي من البيتون أو البيتون المسلح
 المصبوب في الموقع (CIP: Cast in place). ولها أنواع متعددة مبينة بالشكل (1.2) أهمها:
- √ جدران استنادية ثقلية (كتلية): عادة نكون من البيتون المغموس وحجارة بنسبة لا تزيد عن 20% وبقطر 25 سم. تعتمد على وزنها الذاتي الكبير في تأمين استقرارها.
- ✓ جدران استنادية شبيهة بالكتلية: عمليا هي جدران كتلية بروز من الأمام أو الخلف وقد تحتوي عل تسليح بنسبة بسيطة.
- ✓ جدران استنادية ظفرية بشكل T او L : وتتكون من البيتون المسلح ، ويلعب وزن التربة المردومة فوق
 البروز الخلفي للجدار (الكعب) دورا في دعم استقرارها.
- ✓ جدران استنادية ذات دعامات خلفية أو أمامية: وهي عبارة عن جدران ظفرية بشكل T مزودة بأعصاب داعمة تربط الأساس مع جسم الجدار (خلفية من جهة الردم أو أمامية من الجهة الأمامية للجدار)، تستخدم من أجل الارتفاعات الكبيرة.
- ✓ جدران استنادية ذات بلاطات راجعة: وهي جدران ظفرية من نوع T يزود جذع الجدار بعدد من البلاطات الظفرية على طول الجدار عددها (2-1)، وكذلك يتعلق طول الامتداد الظفري للبلاطة بموقع موشور الانزلاق ومواصفات تربة الردم ، تخفف هذه البلاطات مقدار الدفع الجانبي على الجدار وبالتالي تخفيض قيم العزوم والقص في الجدار وذلك من خلال تحمل وزن التربة المردومة فوقها.
 - √ جدران الأقبية .
 - للركائز الطرفية للجسور.



الشكل(1.2) أنواع الجدران الاستنادية التقليدية البيتونية المصبوبة في المكان(CIP)

- 2- الجدران الاستنادية المركبة: هي منشات ساندة تتكون من:
 - 1- التربة (مادة بناء أساسية).
- 2- عناصر تسليح خطية (شدادات، مسامير، مواد جيوتكنيكية مصنعة).
- 3- واجهة عناصر مسطحة- (بلاطات بيتونية مسلحة، صفائح وتدية مدقوقة، بيتون مقذوف مسلح، رقائق جيوتكستيل.....).
 - لهذه الجدران أنواع عديدة منها:
 - 1- جدر ان أحو اض التأسيس.
 - 2- الجدر ان المثبتة بشدادات
 - -3 الجدر ان الاستنادية المثبتة بمسامير في التربة.
 - 4- الجدر ان الاستنادية من التربة المسلحة.

2.2. مفهوم تسليح التربة ومراحل تطورها:

التربة المسلحة ميكانيكياً (MSE) هي تقنية بناء تتتاوب فيها طبقات التربة مع عناصر التسليح لبناء الجدران الاستنادية والمنحدرات والأساسات ...الخ، وتعتمد بشكل أساسي على الاحتكاك المتولد بين التربة وعناصر التسليح المطمورة فيها على نحو تصبح التربة مع عناصر التسليح قادرة على تحمل إجهادات شد(Alzamora and Barrows,2007). استخدام التسليح في بناء هياكل التربة الاصطناعية مثل الجدران والردميات هو أسلوب بناء قديم يعود على الأرجح نحو 6000-6000 سنة (Jones, 2002).

أول استخدام للتربة المسلحة كان لبناء الجدران في الحضارات القديمة، مثل المعابد القديمة متل المعابد القديمة (ziggurat) في العراق وسور الصين العظيم. حيث تم تسليح المعبد العراقي (ziggurat) بواسطة حصيرة منسوجة من القصب وضعت أفقياً وبحبال مجدولة من نفس المادة مطمورة في طبقات من الرمل والحصى، في حين سلّح سور الصين العظيم بواسطة أغصان أشجار مطمورة في خليط من الطين والحصى. وحديثاً عرف مفهوم التربة المسلحة عام 1960م من قبل (Henry Vidal) في فرنسا. إذ كان التركيب يتألف من أشرطة تسليح معدنية مسلحة مطمورة في التركيب يتألف من عرف مفهوم التربة المسلحة عام 1960م من قبل (Henry Vidal) في فرنسا. إذ كان التركيب يتألف من أشرطة تسليح معدنية مسلحة مطمورة في التربة. وفي عام 1970م تم استخدام شبكة معدنية كعناصر تسليح، لكن مشكلة تأكل معدن التسليح وظهور مواد جيوتكنيكية مصنعة –مثل الجيوتكستيل الجيوغريد الجيونت وغيرها أدى لامماحة، يمكن وغيرها و أدى لاحقاً إلى استخدام هذه المواد الجديدة كعناصر تسليح في بناء جدران التربة المسلحة، يمكن المواد المواد وتوازن، وأشكالها عديدة جداً ولكن لها نفس المبدأ وغيرها المبدأ ولكن لهذه المواد المواد الجديدة كعناصر تسليح في بناء جدران التربة المسلحة، يمكن وغيرها و أدى لاحقاً إلى المتخدام هذه المواد الجديدة كعناصر تسليح في بناء جدران التربة المسلحة، يمكن وغيرها أدى لاحقاً إلى المتخدام هذه المواد الجديدة كعناصر تسليح في بناء جدران التربة المسلحة، يمكن ولهذه الجدران أن تحقق العديد من المهام من تدعيم وسند وتوازن، وأشكالها عديدة جداً ولكن لها نفس المبدأ لهذه المودان ألكن منا المواد الجديدة كعناصر تسليح في بناء جدران التربة المسلحة، يمكن وغيرها أدى لاحقاً إلى المتخدام هذه المواد الجديدة كعناصر تسليح في بناء جدران التربة المسلحة، يمكن وينده الجدران أن تحقق العديد من المهام من تدعيم وسند وتوازن، وأشكالها عديدة جداً ولكن لها نفس المبدأ لهذه الجدران أن تحقق العديد من المهام من تدعيم وسند وتوازن، وأشكالها عديدة جداً ولكن لها المبدأ لهذه المبدا المبدأ أليد الجدران أن تحقق العديد من المهام من تدعيم وسند وتوازن، وأشكالها عديدة جداً ولكن لها المبدأ إلى المبدا المبدا المبلحة من المبلحة من المبلحة ولكن لها المبدا المبلم من تدعيم وسند وتوازن، وأشكالها عديدة مداً ولكن لها المبلة المبلحة من المبله من المب المبلحة من المبلم أله من

مقاومة كتلة التربة المسلحة نتوقف على (مقاومة التربة، مقاومة المواد الجيوتكنيكية المصنعة وتباعداتها). عادة نتقل الحمولة إلى تربة الردم بين طبقات التسليح ولأن التربة أضعف من المواد الجيوتكنيكية المصنعة تبدأ بالانزلاق على طبقات التسليح مولدة احتكاك يتطور ويولد مقاومة الشد في عناصر التسليح. تباعد عناصر التسليح الكبير يسبب انهيار التربة كما لو أنها غير مسلحة أبدا. ولذلك التباعد الصغير ضروري لتفعيل مقاومة التسليح في الجدار لكي يكون فعالا (Elton and Patawaran, 2005) .

3.2. الجدران الاستنادية من تربة مسلحة ميكانيكياً:

تتألف جدران التربة المسلحة بالجيوغريد كما يوضح الشكل (2.2): من ثلاثة مكونات أساسية، تعمل فيما بينها بتأثير متبادل لتكوين نظام مشترك يقوم بتأمين توازن الجدار وهذه المكونات هي: 1. تربة الردم : عادة تختار من مواد حبيبية خشنة نسبياً (%F200<15) .

- عناصر التسليح: هي أشرطة أو قضبان من المعدن، أو صفائح من الجيوتكستيل أو الجيو غريد تثبت على الواجهة وتمتد داخل الردم مسافة معينة.
- الواجهة: غير ضرورية وتكون عادة من البيتون أو الحجر المصنع أو تسليح ملتف وغيرها ، وتستخدم للحفاظ على المظهر وتجنب تآكل التربة بين عناصر التسليح .(Bowles,1997)



الشكل(2.2) مقطع عرضي عام لجدار استنادي من تربة مثبتة ميكانيكيا (FHWA,2009).

تتمتع الجدران الاستنادية من التربة المسلحة بالجيوغريد(MSEW) بمزايا متعددة مقارنة بالجدران البيتونية التقليدية المصبوبة في المكان(CIP) الكتلية والظفرية أهمها:

- يتطلب إنشائها إجراءات تتفيذ سهلة وبسيطة و لا يتطلب معدات تتفيذ ضخمة.
 - لا تحتاج مهارات تنفيذية خاصة.
 - تتطلب إجراءات تحضير لموقع العمل اقل بكثير مقارنة بالجدران البيتونية.
- تتطلب مكاناً أقل أمام الجدار من أجل عمليات التنفيذ، وبالتالي يؤدي ذلك لتخفيض مساحات الاستملاك من الأرض من أجل تنفيذ المشروع.
- لا تحتاج إلى أساسات صلدة لأن هذا النوع من الجدران أكثر مرونة وأكثر قدرة على تحمل الهبوطات النسبية والإجمالية بالمقارنة مع الجدران البيتونية المصبوبة بالمكان.
 - تُعدُ كلفة هذه الجدران اقتصادية نسبياً مقارنةً بالجدران الأخرى.
 - يمكن تقنياً تنفيذ هذه الجدر إن بارتفاعات تتجاوز الـ 15م.

- سرعة تنفيذ هذه الجدران كبيرةً نسبياً بالمقارنة مع الأنواع البيتونية التقليدية المصبوبة في المكان التي
 تحتاج لأعمال تركيب قالب وتسليح وانتظار تصلب البيتون وفك القالب وتتفيذ فواصل صب وتمدد....
- تصنف هذه الجدران ضمن معايير بيئية أعلى من الأنواع الأخرى لأن بعضها يمكن تغطية واجهته بزراعة بعض أنواع النباتات، والانواع الأخرى ذات الواجهة الحجرية تُعدُّ من الناحية الجمالية أعلى قيمة بالمقارنة مع الأنواع الأخرى البيتونية التي تحتاج إلى إكساء حجري وبالتالي كلفة اقتصادية أعلى لتجاريها في المستوى الجمالي .

4.2. أنواع عناصر التسليح:

هناك أنواع مختلفة من المواد التي يمكن استخدامها كعناصر تسليح لتربة الردم . حيث إذ تم استبدال القصب وفروع الأشجار التي كانت مستخدمة في العصور القديمة بمواد أخرى يمكن تقسيمها إلى مواد قابلة للتمدد وأخرى غير قابلة للتمدد كما هو مبين بالشكل (3.2) .



الشكل(3.2) أنواع عناصر التسليح المستخدمة في منشآت التربة المسلحة.

√ المواد الجيوتكنيكية المصنعة:

عرفت المواد الجيوتكنيكية المصنعة منذ أوائل السبعينات كمادة تسليح في الجدران الاستنادية من التربة المسلحة كبديل عن الفولاذ وهي منتجات مستوية مصنعة من مواد بولميرية، يمكن استخدامها مع التربة أو الصخور أو أية مادة جيوتكنيكية هندسية أخرى (ASTM, 1995). يمكن استخدامها لأغراض متعددة منها الفصل، الترشيح (الفلترة)، التصريف، التسليح، التكتيم، الحماية...الخ، وهناك عدة أنواع منها : الجيوتكستيل، الجيوغريد، الجيونت.....

5.2. أنواع عناصر الواجهة:

استخدم أنواع مختلفة من عناصر الواجهة في الجدران الاستنادية من تربة مسلحة ميكانيكيا ، فهي تعمل على إضفاء منظر جمالي على الجدار إذ إنها العنصر المرئي الوحيد من الجدار . كما تعمل على منع انهيار وتآكل التربة بين عناصر التسليح ، ويمكن استخدامها كعناصر تصريف في بعض الحالات وهناك أنواع مختلفة منها مبينة بالأشكال (5.2 , 4.2).



الشكل(4.2) أمثلة عن أنواع وأشكال الواجهات في الجدران من تربة مثبتة ميكانيكياً (FHWA, 2009).



الشكل(5.2) مخطط يبين أنواع عناصر الواجهة في جدران التربة المسلحة ميكانيكياً.

البلوكات الحجرية المصنعة(MBW): تنفذ عادة بالطريقة الجافة (بدون مواد رابطة) قطع الجدار الحجرية تصنع من البيتون ويوجد أشكال كثيرة وأبعاد مختلفة لهذه القطع ، يبين الشكل (6.2) بعضاً من هذه الأشكال. وتكون القطع الحجرية متصلة فيما بينها عن طريق الاحتكاك أو حرف بيتوني أو مفتاح قص بيتوني أو اتصال ميكانيكي (أقلام معدنية) كما في الشكل (7.2).



الشكل(6.2) أشكال البلوكات الحجرية المصنعة (MBW) المستخدمة في واجهة جدران التربة المسلحة (FHWA, 1995)



الشكل (7.2) أشكال الاتصال بين القطع الحجرية المسبقة الصنع (Helwany, et al. ,2001).

6.2. تصميم الجدران الاستنادية من تربة مسلحة بالجيو غريد واليات الانهيار:

الجدران الاستنادية من تربة مسلحة بالجيوغريد تدرس إضافة للاستقرار الخارجي (انزلاق و انقلاب و انهيار عام و قدرة تحمل التربة) على الاستقرار الداخلي (انقطاع الجيوغريد، انسحاب الجيوغريد، الاتصال بين عناصر التسليح والواجهة).ويبين الشكل(8.2) آليات الانهيار وعوامل الأمان المستخدمة في تصميم جدران التربة المسلحة بالجيو غريد.



الشكل(8.2) آليات الانهيار وعوامل الأمان المستخدمة لتصميم جدران التربة المسلحة بحسب (2001) FHWA.
الفصل الثالث

3. دراسات مرجعية حول جدران التربة المسلحة بالجيوغريد

1.3. مقدمة:

يتناول هذا الفصل عرض لأهم الدراسات المرجعية والأبحاث السابقة حول جدران التربة المسلحة وفق تسلسل زمني مع توضيح لأهم النتائج التي تم التوصل إليها، إضافة إلى التعريف بأهم طرق دراسة الجدران الاستنادية من تربة مسلحة بالجيوغريد مع توضيح لميزات وعيوب كل من هذه الطرق .

2.3. لمحة تاريخية عن تطور تسليح التربة:

- تقنية تسليح التربة المسلحة تعود إلى أكثر من ألف سنة، حيث جربت أنواع مختلفة من عناصر التسليح من الخيزران إلى الأشرطة الفولاذية ، ومن فروع الأشجار إلى الجيوغريد.
- كان أول استخدام للتربة المسلحة في الحضارات القديمة، لبناء معابد العراق وسور الصين العظيم وذلك باستخدام القصب والحبال المجدولة ضمن طبقات التربة.
- حديثاً عرف مفهوم التربة المسلحة عام 1960 من قبل هنري فيدال في فرنسا، حيث استخدم أشرطة تسليح معدنية مسطحة مطمورة في التربة.
 - في الثمانينات عرف مفهوم تسليح التربة بالرقائق الجيوتكنيكية المصنعة (جيوتكستيل، جيوغريد.....).
- أما في التسعينات فقد انتشر بشكل واسع استخدام التربة المسلحة بالرقائق الجيوتكنيكية مع واجهة حجرية (Leshchinsky & Han, 2004) (SRW).

3.3. الطرق الحالية لتصميم جدران التربة المسلحة:

أغلب الطرق المتبعة لتحليل وتصميم جدران التربة المسلحة إما تجريبية في الطبيعة أو تعتمد على التوازن الحدي. هذه الطرق لا تأخذ بعين الاعتبار خصائص الإجهاد – تشوه للجدار. أو التفاعل بين مكونات الجدار (تربة، عناصر تسليح، الواجهة والأساس). والهدف الرئيسي لها هو حساب عامل الأمان من أجل حالات مختلفة للانهيار. منها:

طريقة ضغط التربة :

تفترض هذه الطريقة أن قوى الشد الأعظمية في التسليح مساوية لضغط التربة الجانبي المتولد في جدار التربة المسلحة وفق العلاقة(Elias, et al., 2001): T_{max}=[$rac{K_r}{K_a}$] $K_a * \gamma * z * S_v$ حيث $\left[rac{K_r}{K_a}
ight]$: معامل يأخذ قيم مختلفة بحسب أنواع التسليح، ويأخذ القيمة (1) للتسليح بالمواد الجيونكنيكية المصنعة.

من خلال معرفة قوة التسليح يمكن معرفة كون هذه القوة كافية على المدى الطويل، وبالتالي حساب طول التسليح المطلوب لمقاومة انسحاب عناصر التسليح من كتلة التربة المسلحة، وكذلك حساب قوة اتصال التسليح مع الواجهة.

- ويؤخذ على هذه الطريقة ما يلى(Christopher et al, 2005):
- √ تظهر التجارب في السنوات الأخيرة أن هذه الطريقة محافظة لدرجة كبيرة(قوة التسليح العظمى اكبر من المتوقعة).
- ✓ تستخدم فقط من أجل التراكيب البسيطة ومن الصعب استخدامها في الجدران المعقدة (الجدران الضيقة أو متعددة الطبقات).
 - ✓ خاصة بالتربة الحبيبية المنتطمة و لا تستخدم في حالة ترب التسليح (الردم) غير المثالية.
 ✓ لا تأخذ بعين الاعتبار ضغط الماء الصافي في تربة التسليح وكذلك تشوهات التربة والجدار.
 ✓ تفترض أن التربة تصل إلى مقاومتها القصوى في الحالة النشطة.
 - طريقة التوازن الحدى:

تستخدم هذه الطريقة لدراسة توازن المنحدرات منذ عدة سنوات من خلال فرض أن التربة في مرحلة الانهيار تتصرف وفق معيار مور – كولومب تام اللدونة.في هذه الطريقة تدخل القوى المثبتة الناتجة عن قوى الشد في التسليح في معادلة التوازن الحدي. يتم في هذه الطريقة يتم فرض الشد الأعظمي في التسليح ومن ثم يتم الحساب حتى الحصول على سطح الانزلاق الحرج الذي يعطي اصغر عامل أمان ويكون مساويا: $FS = \frac{S}{S_m}$

حيث:

T_m: مقاومة الشد المعبأة في التسليح.

يمكن أن تستخدم هذه الطريقة في حالة المسائل المعقدة والترب غير المتجانسة . ويمكن أن تأخد ضغط الماء الصافي بعين الاعتبار في أثناء الدراسة ، ويمكن أن تُقيِّم الاستقرار العام كما هو الحال في الاستقرار الموضعي في أي مكان من الجدار .

يؤخذ على هذه الطريقة مايلي(Christopher et al, 2005):

- \sim لا تستخدم من أجل ميول اكبر من 70°.
- ✓ تحتاج إلى تعديلات من أجل أن تكون قادرة على دراسة حمو لات الاتصال وتأثير عناصر الواجهة.
 - ٧ لا تأخذ بعين الاعتبار تشوهات الجدار أو التربة.

✓ <u>طريقة العناصر</u> المحددة:

استخدمت طريقة العناصر المنتهية لتحليل أنواع مختلفة من المنشآت الجيوتكنيكية، كالسدود الترابية، الردميات، الأساسات السطحية والعميقة، المنحدرات، والجدران الاستنادية. استخدام طريقة العناصر المنتهية لتحليل منشآت التربة المسلحة حديثة نسبيا. على الرغم من أن التربة المسلحة هي نظام معقد يتضمن تفاعلات بين التربة وعناصر إنشائية متوضعة داخلها، إلا أن استخدام العناصر المنتهية لتحليل منشآت التربة المسلحة يمكن من الحصول على معلومات إضافية مقارنة مع الطرق التحليلية. التقليدية. (التشوه، قوى الشد في التسليح)، وهي ضرورية لفهم أداء منشآت التربة المسلحة.

يتطلب استخدام العناصر المنتهية في تحليل منشآت التربة المسلحة برامج حاسوبية تحاكي التفاعل بين التربة والمنشآت المتوضعة داخلها. ويجب أن يكون البرنامج قادر على محاكاة تسلسل البناء (الردم، وضع طبقات التسليح وواجهة الجدار).

في بدايات السبعينات اقتصر التحليل باستخدام العناصر المنتهية على أجهزة الكمبيوتر المركزية فقط، واستخدام أساليب مركبة لنمذجة أنظمة التربة المسلحة، وذلك بسبب التكاليف الحاسوبية العالية (Romstad et al. 1976; shen et al. 1976). في حين استخدمت الطرق الحديثة أساليب منفصلة لنمذجة التربة والتسليح والواجهة كل على حدة. وذلك بسبب انخفاض التكاليف الحاسوبية.

ركزت الدراسات السابقة باستخدام طريقة العناصر المنتهية على دراسات برامترية للتربة المسلحة ، وهناك محاولات للمقارنة مع نتائج النماذج المخبرية ونتائج نماذج بأبعاد حقيقية (Ling et al. 2000)، سنورد بعضها في هذا الفصل منها:

حدد (Bowles, 1996) طول التسليح المطلوب بـ 0.8H في حالة التسليح المعدني كما هو مبين بالشكل
 (1.3).



الشكل(1.3) تفاصيل جدار التربة المسلحة كما هي في مكانها (Bowles, 1996).

•قام (Carrubba et al. 1999) بدر اسة تجريبية على جدارين استناديين كما يوضح الشكل بارتفاع 4م وطوله 10م الأول مسلح بالجيوغريد نوع GG45PE والأخر من نوع GG20PP اعتمدوا في در استهم على طريقة التوازن الحدي بحسب (Leshchinsky,1995) وبرنامج RESLOPE ، تم مراقبة الجدارين من المرحلة الأولية وفي مرحلة الخدمة وفي الانهيار، حيث زودت طبقات التسليح بمقاييس لقياس التشوهات والإجهادات في الجيوغريد، وأجهزة لقياس الإزاحة الأفقية، بالإضافة إلى أجهزة قياس ضغط التربة الكلي ثبتت داخل الجدارين لمراقبة الإجهادات الداخلية في الجدارين وتمكنوا من خلالها استنتاج موضع خطوط الانهيار المتشكلة.



الشكل (2.3) مقطع عرضي في الجدارين المدروسين ويبين أجهزة القياس المتوضعة على طول عناصر (Carrubba et al. ,1999)

انضم إليهم (Luchetta, 2000) وقاموا بدراسة الجدارين دراسة عددية بطريقة العناصر المحددة بالنتائج المبينة بالتنائج المبينة ، وتوصلوا للنتائج المبينة بالأشكال (3.3 – 4.3) :



الشكل(3.3) مقارنة بين خطوط الانهيار المقاسة والمحسوبة بال FEM و ال RESLOPE .



الشكل (4.3) مقارنة بين خطوط الانهيار وتشوهات الجيوغريد المقاسة والمحسوبة بال FEM و FESLOPE. واستنتجوا أن خطوط الانهيار متشابهة بين البرامج، وأن خطوط الانهيار المستنتجة من برنامج الــ Abaqus والقياسات التجريبية حادة وتقع ضمن الخطوط المستنتجة من برنامج Reslope وخطوط الانهيار المركبة Compound failure lines.

• أجرى (Ling et al., 2000) در اسة عددية بطريقة العناصر المنتهية باستخدام برنامج Ling et al., 2000) لتجربة مخبرية بالأبعاد الحقيقية لثلاث جدران استنادية من تربة مسلحة بالجيوغريد مع واجهة من قطع بيتونية بنيت في معهد أبحاث الأشغال العامة في اليابان تختلف هذه الجدران عن بعضها بالواجهات الأول الواجهة بلوكات بيتونية، والثاني ألواح منفصلة والثالث بلوكات من البوليسترين القابل للتمدد، درسوا تشوهات الجيوغريد والانتقالات الأفقية في واجهة الجدار وضغط التربة الجانبي المؤثر على خلف الواجهة والحمات الواجهة للائت بلوكات من البوليسترين القابل التمدد، درسوا الواجهة بلوكات بيتونية، والثاني ألواح منفصلة والثالث بلوكات من البوليسترين القابل للتمدد، درسوا والجهة بلوكات الجيوغريد والانتقالات الأفقية في واجهة الجدار وضغط التربة الجانبي المؤثر على خلف الواجهة والحمولات الأفقية والشاقولية المؤثرة على قدم الجدار إضافة للضغط الشاقولي أسفل كتلة التربة المسلحة الناتج عن تربة الردم. ويبين الشكل (5.3) مقطع عرضي للجدار المدروس مع أجهزة القياس المستخدمة:



الشكل (5.3) مقطع عرضى في الجدار المدروس يوضح أجهزة القياس وأماكن توضعها.

وقارنوا نتائج القياسات التجريبية مع القياسات العددية واستنتجوا:

 أن اكبر قيمة للانتقالات تكون في منتصف الجدار وتساوي تقريبا %0.5 من ارتفاع الجدار كما مبين بالشكل(6.3):



الشكل (6.3) الانتقالات الأفقية المقاسة والمتوقعة(FEM) في واجهة الجدار (2000, Ling et al.).

2) في نهاية مرحلة البناء تم قياس ضغط التربة الجانبي K وتبين أن قيم معامل ضغط التربة الجانبي المقاسة بالتجربة والمحسوبة من البرنامج العددي تقع بين قيم معامل ضغط التربة الساكن والفعال.

3) أن اكبر قيمة للإجهاد الشاقولي للجدار تحدث في مقدمة الجدار حيث وزن بلوكات الواجهة كبير مقارنة مع التربة كما هو مبين بالشكل(7.3) :



الشكل (7.3) الإجهادات الشاقولية المقاسة والمتوقعة(FEM) في قاعدة الجدار (Ling et al.,2000).

4) درس التشوهات في عناصر التسليح واستنتج أن التشوهات تزداد بزيادة ارتفاع الجدار (الردم).

 قام (Bathurst et al., 2000) بإجراء نماذج مخبرية بأبعاد حقيقية لمجموعة جدران استنادية مبينة بالشكل (8.3)، من أجل تطوير مفهوم سلوك هذه الجدران خلال مراحل البناء و التشغيل والتحميل وبالقرب من مرحلة الانهيار:



الشكل (8.3) الجدران الاستنادية التي تمت دراستها من 1~4 (Bathurst et al., 2000).

وزود النموذج ب 300 جهاز قياس كما هو مبين بالشكل (9.3) لقياس:

- 1. التشوهات في طبقات الجيو غريد (100 strain gauges)
 - 2. حمولات الاتصال بين التسليح والواجهة.
 - انحناء واجهة الجدار تحت تأثير ضغط الحمولة .
 - الحمو لات الشاقولية و الأفقية عند قدم الجدار
 - ضغط التربة الشاقولي عند قاعدة وداخل كتلة التربة .
 - التشو هات الشاقولية داخل وعلى سطح كتلة التربة.



الشكل (9.3) مقطع عرضي في الجدار المدروس يوضح أجهزة القياس وأماكن توضعها (Bathurst et al., 2000). قام (Huang et al,2009) بإجراء دراسة عددية للجدران المذكورة سابقا بواسطة برنامج FLAC واستخدموا في نمذجة تربة الردم موديلات (Mohr-Coulomb, Lade's and Duncan-Chang model) وقارنوا نتائج الدراسة العددية مع نتائج القياسات المخبرية وتوصلوا للنتائج التالية:

 الانتقالات الأفقية الأعظمية للواجهة تكون في أعلى الجدار وتزداد بزيادة الحمولات السطحية، كما استنتجوا أن نتائج (Mohr-Coulomb و Lade) أقرب إلى القياسات الحقلية من نتائج Duncan-chang ، كما هو مبين بالشكل (10.3).



الشكل (10.3) انتقالات واجهة الجدار المقاسة والمحسوبة(Huang et al,2009).

 درسوا الإجهادات الشاقولية أسفل الجدار واستنتجوا أن الإجهادات وفق النماذج الثلاثة متقاربة ولا يمكن التمييز بينها بصريا، وتشير إلى انخفاض في الإجهادات الشاقولية خلف واجهة الجدار مباشرة. كما هو مبين بالشكل (11.3).



Distance from front of wall (m)

الشكل (11.3) الإجهادات الشاقولية المقاسة والمحسوبة أسفل الجدار (q=50kPa وفي نهاية مرحلة البناء). (Huang et al,2009).

- قام (Rowe et al., 2001) بدراسة جدار استنادي مسلح بالجيوتكستيل مبني على تربة تأسيس منطبقة باستخدام طريقة التحليل العددي، واستنتج أن لصلابة طبقة التأسيس دور في سلوك الجدار، كما استنتج أن المتغير الوحيد الذي لم يتأثر بشكل ملحوظ بقوة وصلابة طبقة التأسيس هو الإجهاد الأفقي وراء واجهة الحدار. إضافة لذلك لاحظ أنه كلما كانت الطبقة الناعمة قريبة من قاعدة الجدار تزداد التشوهات في واجهة واجهة واجهة وقاعدة الجدار والتشوه في عناصر التسليح في النصف السفلي من الجدار.
- قدم (Vulova & Leschinsky, 2001) بحثا لنيل درجة الماجستير، إذ قام بإجراء دراسة عددية على تأثير تباعد التسليح على جميع آليات الانهيار العام والداخلي في جدران التربة المسلحة مع واجهة بيتونية وتوصل إلى أن تباعد التسليح يلعب دورا رئيسيا في سلوك الجدار، و يؤثر تأثيراً كبيراً على طريقة الانهيار السائدة.حيث أن التباعد الصغير لعناصر التسليح يؤثر على الاستقرار الخارجي الذي يتحكم

بانهيار الجدار (تصرف التربة المسلحة ككتلة متماسكة)، بعكس التباعد الكبير (ما يعادل 600 مم أو أكبر) يؤثر على الانهيار الداخلي (فشل الاتصال) والمركب وهو الأكثر شيوعا في جدران التربة المسلحة. إضافة لذلك درسوا تأثير صلابة التسليح وتوصلوا إلى أن صلابة التسليح تؤثر على طريقة الانهيار، حيث أن انخفاض صلابة التسليح يعطي نتائج مماثلة لنتائج التباعد الكبير في الجدار (زيادة تشوهات الجدار بان انخفاض صلابة التسليح يعلي نتائج مماثلة لنتائج التباعد الكبير في الجدار (زيادة تشوهات الجدار بعد أن انخفاض صلابة التسليح يعلي نتائج مماثلة لنتائج التباعد الكبير في الجدار (زيادة تشوهات الجدار بان انخفاض صلابة التسليح يعلي نتائج مماثلة لنتائج التباعد الكبير في الجدار (زيادة تشوهات الجدار بالنهاية تؤدي إلى الانهيار الداخلي بالجدار)، مثلا من أجل ارتفاع معين عند استخدام جدران بصلابة من يتسليح منخفضة يحدث انهيار مركب بالجدار، في حين أنه من أجل نفس الارتفاع تمنع الصلابة العالية من تطور أي سطح انز لاق وكذلك يسمح التسليح القوي باستقرار جدران بارتفاعات أعلى.

- استخدم (Leshchinsky & Han, 2004) طريقة التوازن الحدي والطرق العددية للتحقق من استقرار الجدران من تربة مسلحة . في التحليل بطرق التوازن الحدي تم استخدام خيار بيشوب في برنامج (FLAC 2D Version 4.0) في التحليل العددي. وأظهرت النتيجة اختلاف في موقع سطح الانزلاق الحرج المتوقع بطريقة التوازن الحدي والطريقة العددية. وعامل الأمان المحسوب في الطريقتين تقريبا نفسه .
- درس (Onodera et al, 2004) نوعين من الجدران الاستنادية من التربة المسلحة بالجيوغريد بارتفاع
 درس (V:H=1:0.1) (النوع المعلف و الثاني كتلة خرسانية بشكل L) بنيت عام 1990، وفي عام
 1995 بني جدار شاقولي بارتفاع 8 م مسلح بالجيوغريد بواجهة بيتونية. تم مراقبة الجدران من بداية مرحلة الإنشاء إذ تم قياس انتقالات الجدار وتشوهات الجيوغريد وضغط التربة والهبوط في تربة التأسيس ولفترة زمنية طويلة. عام 2002 عندما أصبح عمر الجداران الأولى 12 سنة والجدار الثاني 7 سنوات نقبت أجزاء من جداران التربة المسلحة وفحصت حالة الجداران ومجموعات الجيزغريد ونمو النباتات عام 2003 عندما أصبح عمر الجداران ومجموعات الجيزغريد ونمو على الثاني 10 سنوات مرحلة الإنشاء إذ من جداران التربة المسلحة وفحصت حالة الجداران ومجموعات الجيزغريد ونمو النباتات على الواجهة . وتوصلوا إلى النتائج التالية:
- ✓ فيما يتعلق بالتشوهات في الجدار بعد البناء، في حالة مادة واجهة الجدار مرنة نسبيا، تزداد الانتقالات في الطبقة العليا، أما في حالة مادة الواجهة صلبة نسبيا، يظهر التشوه بشكل قوس وقمته قريبة من منتصف ارتفاع الجدار، كما هو مبين بالشكل (12.3).



الشكل (12.3) الانتقالات الجانبية في كل جدار (Onodera et al, 2004)

- فيما يتعلق بزيادة الإزاحة الأفقية للجدار، بالنسبة للأنواع الثلاثة من الجدار المسلح، أغلب الزيادة تحدث

 فيما يتعلق بزيادة الإزاحة الأفقية للجدار، بالنسبة للأنواع الثلاثة من الجدار المسلح، أغلب الزيادة تحدث
- ✓ في حالة واجهة الجدار مرنة، تشوهات الجيوغريد تتوزع بشكل قطع مكافئ قمته قريبة من خط الانهيار النشط، وفي حالة الوجهة الصلبة التوزع يكون مثلثي بقمة قريبة من الواجهة، شكل (13.3).



الشكل (13.3) تشوهات الجيوغريد فر الجدارين2 و 3 (Onodera et al, 2004).

 درس (Kim & Bilgin, 2007) جدار مثبت ميكانيكيا بارتفاع 10 وأجريت الدراسة البرامترية للجدار لتحري تأثير أبعاد الأساس البيتوني (concrete key) على أطوال التسليح وزوايا احتكاك تربة التأسيس ويبين الشكل (14.3) الجدار المدروس.



0.0 0.4 0.8 1.2 1.6 2.0 2.4 0.0 0.4 0.8 1.2 1.6 2.0 2.4 0.0 0.4 0.8 1.2 1.6 2.0 2.4 Horizontal Deformation / Wall Height, δ_h/H (%)

الشكل(15.3) تأثير طول الإساس البيتوني على تشوهات الجدار (% Ah /H) (Kim and Bilgin, 2007).

 الأساس البيتوني يمكن أن يقلل من تشوهات الجدار العظمى بشكل ملحوظ ، وخصوصا بالنسبة للجدران ذات أطوال التسليح الأقصر، كما هو مبين بالشكل (16.3).



الشكل(16.3) تأثير طول الأساس البيتوني على تشوهات الجدار العظمى (% المساس)) الشكل(16.3) (Kim and Bilgin, 2007).

- قام (Oyegbile, 2011) بإجراء دراسة عددية لسلوك جدران التربة المسلحة تحت تأثير الحمولات الستاتيكية والديناميكية وفق الأهداف التالية:
 - لتحديد تأثير التغيرات الهندسية على أداء الجدران الاستنادية من التربة المسلحة .
 - ٤. لتحديد تأثير تغيرات الحمو لات المطبقة على أداء الجدران الاستنادية من التربة المسلحة .
 - ٤. لتحديد تأثير تغير الخواص الميكانيكية للجيوغريد على أداء الجدر إن الاستنادية من التربة المسلحة .

وتوصل للنتائج التالية:

- يعتمد سلوك جدران التربة المسلحة على مجموعة من العوامل يمكن أن تؤثر سلباً أو إيجاباً على الأداء العام للجدار. وتشمل هذه العوامل مقدار وامتداد الحمولة الموزعة وطول، صلابة وتباعد الجيوغريد.
- سلوك الرمل اللوسي من حيث الانتقالات مشابه لسلوك الرمل السيلتي ، في حين أن استجابات الرمل
 الكثيف والغضاري متشابهة، كما هو مبين بالشكل(17.3).



الشكل(17.3) الانتقالات من اجل حالات الرمل الاربعة عند نفس تباعد الجيوغريد والحمولة المطبقة

- يظهر الرمل السيلتي واللوسي درجات عالية من عدم الاستقرار عند استخدامها كمواد ردم وتأسيس في جدران التربة المسلحة.
- الرمل الغضاري والرمل الكثيف أكثر استقرارا ومناسبين كمواد ردم وتأسيس في جدران التربة المسلحة.
- يتطلب استخدام الرمل الكثيف والرمل الغضاري حداً أدنى من أطوال التسليح ،بينما قد تؤدي زيادة طول التسليح إلى زيادة تشوهات الجدران في حال استخدام رمل سيلتي او رمل لوسي كمواد ردم.
 - بشكل عام، يُعد الرمل الغضاري أكثر استقراراً كما يعطي انتقالات أفقية وشاقولية أقل.
- تلعب صلابة الجيوغريد دورا حيويا في استقرار التربة، تغير قوة الشد العظمى اتجاهها نحو الواجهة أو مستوي الانهيار في حالة عناصر التسليح القصيرة او الصلابة الضعيفة.
- يوجد مجال واسع من صلابات الجيوغريد التي من خلالها يبقى الجدار المدروس مستقرا وبعدها يصبح
 التغير السريع في انتقالات الجدار واضحاً كما يوضح الشكل(18.3).



الشكل (18.3) العلاقة بين صلابة الجيوغريد والانتقالات.

الفصل الرابع

4. النمذجة بطريقة العناصر المنتهية FEM :

1.4. مقدمة:

إن دراسة تأثير الأبعاد الهندسية وخواص المواد المستخدمة في الجدران الاستنادية من تربة مسلحة بالجيوغريد مخبرياً يتطلب إجراء عدد كبير جداً من التجارب المخبرية، ونظراً لصعوبة إجراء هذه التجارب وللكلفة العالية نسبياً، وللجهد والوقت الكبيرين المطلوبين، استخدمت طرق التحليل العددي ومنها طريقة العناصر المنتهية في الحياة العملية وفي الأبحاث بشكل فعال لدراسة سلوك هذا النوع من الجدران الاستنادية وأعطت نتائج مقبولة مقارنة بالقياسات الحقلية والمخبرية، وخصوصاً مع التطور السريع لطرق النمذجة والبرمجيات المستخدمة، لذلك تم في هذا البحث استخدام طريقة العناصر المنتهية العران عن المذابية عندي والمناه. 8.5 لنمذجة الجدار المسلح بالجيوغريد ولإجراء دراسة متغيرات لأهم العوامل المؤثرة بتوسع أكبر.

2.4. البرنامج المستخدم Plaxis-V.8.5

سيتم في هذه الدراسة استخدام برنامج plaxis هو برنامج يستخدم طريقة العناصر المحددة من أجل التحليل الثنائي الأبعاد (2D) للمنشآت والمسائل الهندسية الجيوتكنيكية، ويعطي إمكانية استخدام عدد كبير من قوانين المادة الأساسية والمتطورة لنمذجة السلوك الإجهادي-التشوهي الخطي واللاخطي للتربة. إضافةً لإمكانية نمذجة شرائح الجيوغريد من خلال عناصر خطية خاصة (geogrid) وإمكانية دراسة الفعل المتبادل بين المنشأ والتربة من خلال عناصر تماس خاصة (interface elements) توجد جاهزة ضمن بيئة البرنامج تأخذ بعين الاعتبار الإجهادات المماسية بين المادتين، وذلك من خلال معامل يدعى R_{inter} يربط بين معاملات المواد المختلفة ويتعلق بنوعية المادة وخشونة السطح (Plaxis, 2005).

3.4. معايرة سلوك النموذج (Model calibration):

تم إعداد نموذج رياضي لجدار تربة مسلحة بالجيوغريد بارتفاع 3.6m وواجهة من الحجارة المصنعة باستخدام برنامج plaxis بنفس الأبعاد الهندسية والشروط الطرفية ومواصفات المواد المستخدمة في التجربة المخبرية التي قام بها(plaxis et all, 2001) والموضحة بالشكل(1.4). حيث تم نمذجة جدار بارتفاع H=3.6m وعرض للنموذج B=4Lr=8m وبميل عن الشاقول بمقدار α=8°. أما مواصفات الجيوغريد المستخدم هي ذاتها المستخدمة في التجربة الحقاية طول الجيوغريد معدار الجيوغريد عمر معاما المواد المستخدمة عن من مقدمة واجهة الجدار وبتباعد شاقولي قدره h=0.6m وصلابة محورية قدرها EA=290Kn/m تم مند ومواصفات تمن مقدمة واجهة الجدار وبتباعد شاقولي قدره معاه البرنامج تدعى جيوغريد.

الفصل الرابع : النمذجة بطريقة العناصر المنتهية



الشكل (1.4): النموذج الرياضي للجدار وفق معطيات التجربة الحقلية موضح عليه مواصفات التربة والجدار

أظهرت نتائج الأبحاث التي قام بها (Huang et al,2009) أن استخدام قانون مور – كولومب يعطي نتائج أقرب إلى القياسات الحقلية من نماذج أخرى لذلك تم استخدام (Mohr-Coulomb model) في نمذجة السلوك الاجهادي-التشوهي للتربة والواجهة المستخدمة في هذا البحث ومواصفاتهما مبينة بالجدول (1,4)، أما بالنسبة للشروط الطرفية للنموذج فقد تم الاخذ بعين الاعتبار شروط التجربة المخبرية حيث يسمح بالحركة الشاقولية على الجانب الأيمن للنموذج ويمنع من الحركة الأفقية والشاقولية أسفل النموذج ومن الأعلى يوجد حمولة سطحية موزعة بانتظام قيمتها متغيرة متغيرة (80-60-60-20-20).

كما تم تمثيل الخلايا المستخدمة لقياس ردود الأفعال في قاعدة واجهة الجدار باستخدام عناصر خاصة تدعى Fixed-end anchors . في حين تم تمثيل التأثير المتبادل (تربة – واجهة) و (تربة – جيوغريد) باستخدام عناصر تماس تدعى (interface elements) .

Mol	hr-Coulomb	Backfill	Facing	
	Туре	Drained	Non – porous	
γunsat	[kN/m ³]	16.8	22	
Ysat	[kN/m ³]	18	22	
k _x	[m/day]	-	-	
k _y	[m/day]	-	-	
$\mathbf{E_{ref}}$	[kN/m ²]	4*10 ⁴	2*10 ⁷	
ν	[-]	0.3	0.2	
C _{ref}	[kN/m ²]	0.2	57.5	
φ	[°]	44	62.547	
Ψ	[°]	11	-	
R _{inter}	[-]	0.67	0.8	

الجدول(1.4) برامترات تربة الردم والواجهة المستخدمة في برنامج الــ Plaxis (مرحلة المعايرة).

تم استخدام شبكة عناصر منتهية(FE-Mesh) مكونة من عنصر مثلثي بــ 15 عقدة . توصلنا للنتائج التالية : يبين الشكل(5) الانتقالات الإجمالية في الجدار والتربة، حيث نلاحظ ان اكبر قيمة للانتقالات تكون عند قمة الجدار وهذا ما تظهره النتائج التجريبية، كما يظهر سطح الانزلاق المتوقع بشكل تقريبي.



الشكل (2.4) الانتقالات الكلية للنموذج المستخدم للمعايرة في مرحلة الحساب الأخيرة.

تم مقارنة الانتقالات الإجمالية الناتجة في واجهة الجدار عند مناسيب مختلفة من أجل حمولات سطحية مختلفة الانتقالات الإجمالية الناتجة في واجهة الجدار عند مناسيب مختلفة من أجل حمولات سطحية مختلفة FEM مع القياسات المرجعية للتجربة الحقلية الموضحة بالشكل (3.4) الذي يبين أن نتائج النموذج الرياضي FEM يعكس تقارب مقبول مع النتائج المرجعية للتجربة الحقية من أجل جميع الحمولات السطحية.



الشكل (3.4): مقارنة بين نتائج نموذج الـ FEM و القياسات المرجعية بالنسبة لانتقال واجهة الجدار

كما تم مقارنة تغير الإجهادات الشاقولية خلف الجدار عند منسوب أسفل الجدار مع البعد عن الواجهة من أجل حمولة سطحية موزعة بانتظام قدرها (q=50KN/m) والتي تظهر أيضاً التقارب بين نتائج الحسابات ونتائج القياسات التجريبية كما يوضح الشكل(4.4).



الشكل(4.4) مقارنة بين نموذج FEM والقياسات المرجعية لتغير الإجهادات الشاقولية عند منسوب أسفل الجدار مع البعد عن واجهة الجدار من أجل حمولة سطحية موزعة بانتظام قدرها (q=50KN/m2).

مما سبق نلاحظ أن النموذج الرياضي باستخدام برنامج plaxis يعكس السلوك الإجهادي – التشوهي للتربة المسلحة بالجيوغريد بدقة مقبولة وبالتالي يمكن استخدام هذا النموذج لإجراء دراسة متغيرات لأهم العوامل المؤثرة على أمان واستقرار هذا النوع من الجدران.

- 4.4. التحليل العددي باستخدام طريقة العناصر المنتهية (FEM) برنامج Plaxis:
 - 1.4.4. خواص المواد المستخدمة:

1.1.4.4. تربة الردم الخلفي(Reinforced fill & Retained backfill):

تم في هذا البحث اعتماد تربة رملية خشنة (رمل عدسي) كتربة ردم خلفي للجدار بسبب احتكاكها العالي نسبياً، تم تحديد خواصه الفيزيائية والميكانيكية عن طريق إجراء العديد من التجارب المخبرية في جامعة تشرين – كلية الهندسة المدنية – قسم الهندسة الجيوتكنيكية – مخابر ميكانيك التربة وأهم هذه التجارب:

- 1. تجربة الوزن النوعى (Specific gravity test).
- 2. تجربة التحليل الحبي المنخلي (Grain Size Analysis).
 - 3. تجربة القص المباشر (Direct shear test).

الفصل الرابع : النمذجة بطريقة العناصر المنتهية

- 4. تجربة الكثافة الأصغرية و الأعظمية (max. and min. density test).
 - 5. تجربة الانضغاط الأدومتري (Odometer test)
 - تم إجراء و تقييم نتائج التجارب اعتماداً على الكودات التالية:
 - الكود العربي الموحد لميكانيك التربة و الأساسات.

- المنظمة الأمريكية لاختبار المواد (ASTM) American Society of Testing Materials

• تجربة التحليل الحبي(Grain Size Analysis) :

تم إجراء تجربة التحليل الحبي المنخلي على العينة وذلك بعد غسل العينة على المنخل No.200 ، وتم تمثيل المنحنى الحبي للعينة بالشكل(5.4).



الشكل (5.4): التدرج الحبى للتربة الرملية المستخدمة في النموذج

من خلال نتائج الاختبار يمكن تصنيف العينة على أنها تربة رملية خشنة – جيدة التدرج الحبي القطر الوسطي d₅₀=1.4mm . تتمي للمجموعة SW حسب نظام التصنيف الموحد للتربة(USCS) .

تجربة الكثافة الأصغرية و الأصغرية (الكثافة النسبية) (Dr (Relative Density :

أجريت تجربة الكثافة الأعظمية والأصغرية للعينة الرملية بواسطة جهاز الطاولة الرجاجة المبين بالشكل(6.4) بهدف تحديد الكثافة النسبية لما لها من تأثير على جميع خواص التربة الميكانيكية وتعبر عن درجة ارتصاص العينة.



الشكل (6.4) شكل توضيحي لجهاز الطاولة الهزازة مع القوالب المستخدمة (ASTM)

تم تعيين الكثافات الصغرى والعظمى و النسبية باستخدام الطاولة الرجاجة، وكانت النتيجة كمايلي:
$$ho d_{max} = 1.783 \ {
m gr/cm}^3$$
, $ho d_{min} = 1.317 \ {
m gr/cm}^3$

بمعرفة الكثافة الطبيعية للتربة المستخدمة يمكن تحديد الكثافة النسبية للتربة من العلاقة التالية:

$$Dr = \frac{e_{max} - e_0}{e_{max} - e_{min}} \times 100 = \frac{\rho_{d \max}(\rho_d - \rho_{d \min})}{\rho_d \left(\rho_{d \max} - \rho_{d \min}\right)} \times 100$$

الفصل الرابع : النمذجة بطريقة العناصر المنتهية

ثم من أجل كثافات نسبية معينة يمكن تحديد الكثافة الطبيعية المطلوبة للحسابات وكذلك تعيين الخواص الميكانيكية للتربة (مقاومة على القص ومعامل الانضىغاط) .

تجربة القص المباشر (القص البسيط) (Direct shear) : أجرينا تجربة القص المباشر من أجل ثلاث قيم مختلفة للكثافة النسبية: (60% , 70% , 83%)، ونتائج هذه التجارب مبينة بالجدول(2.4) والشكل(7.4) يوضح نتائج تجربة القص من أجل كثافة نسبية 83%.



الشكل (7.4) نتائج تجربة القص المباشر من أجل كثافة نسبية %Dr=83

تجربة الانصغاط الأدومتري: أجريت تجربة الانضغاط الأدومتري أيضا عند ثلاث كثافات نسبية (8.%) والشكل(8.%) يوضح نتائج تجربة الانضغاط من أجل كثافة نسبية 83%.



الفصل الرابع : النمذجة بطريقة العناصر المنتهية

تلخص مواصفات التربة الرملية بالجدول (2.4)

التجربة	البيان	الرمز	Dr=60%	Dr=70%	Dr=83%
الوزن الحجمي	الوزن الحجمي	γ	15.62 kN/m ³	16.12 kN/m ³	16.8 kN/m ³
تجربة الكثافة الجافة	الكثافة الجافة الأعظمية	ρ _{dmax}	1.783 g/cm ³	1.783 g/cm ³	1.783 g/cm ³
الاعظمية والاصغرية (الطاولة الرجاجة)	الكثافة الجافة الأصغرية	ρ _{dmin}	1.317 g/cm ³	1.317 g/cm ³	1.317 g/cm ³
تجربة القص المباشر	زاوية الاحتكاك الداخلي	φ	37.1°	40.4°	44.1°
	التماسك	с	0 Кра	2Kpa	3.3 Kpa
تجربة الانضغاط الاودومتري	معامل مرونة التربة الاودومتري	E _{oed}	18.18Mpa	25.6Mpa	32.3Mpa

الجدول (2.4): نتائج التجارب المخبرية على الرمل المستخدم:

2.1.4.4. الواجهة: هي قطع حجرية مصنعة من البيتون العادي بوز حجمي _{7b}=21.7KN/m³ وبأبعاد(b=0.3m h=0.15m).

(الصلابة المحورية) EA (KN/m)
620
820
1500

الجدول (3.4): مواصفات الجيوغريد المستخدم.

4.1.4.4. تربة التأسيس (Foundation soil): هي تربة غضارية مواصفاتها محددة بالجدول (5.4) ولم يتم إجراء دراسة متغيرات لخواصها في هذا البحث.

2.4.4. النموذج الرياضي (FE-Model):

تم إعداد نموذج رياضي لجدار من تربة مسلحة بالجيوغريد المبين بالشكل (9.4) باستخدام برنامج (plaxis) بابعاد مبينة بالجدول (4.4) إذ تم استخدام الواحدات المترية والحالة التشوهية – المستوية (Plane strain) وتم استخدام شبكة العناصر المنتهية (FE-Mesh) الموضحة في الشكل (10.4) و المكونة من 716 عنصر متلثي بـ 15 عقدة. تم نمذجة السلوك الإجهادي – التشوهي للتربة والواجهة باستخدام موديل مور – كولومب، مواصفات تربة الردم والتأسيس والواجهة والأساس البيتوني أسفل الواجهة مبينة بالجدول (5.4)، كما تم نمذجة الجيوغريد باستخدام عناصر تدعى Geogrid.الشروط الطرفية تحاكي الواقع، إذ إن الحركة الشاقولي فقط مسموحة على الجانبين الأيمن والأيسر وغير مسموح بالحركة الأفقية أو الشاقولية في الأسفل ومن الأعلى توجد حمولة سطحية موزعة بانتظام متغيرة. أجريت الحسابات من أجل الحصول على عامل الأمان(global safty factor) باستخدام طريقة(phi/c - reduction). وكانت النتائج كما هي موضحة بالأشكال (11.4 – 12.4).



الشكل (9.4) النموذج المدروس ومواصفات تربة الردم والتربة الأصلية.

الجدول(4.4): أبعاد النموذج وفق برنامج Plaxis

	Min.	Max.
X	0	40
Y	0	حسب ارتفاع الجدار



الشكل(10.4): شبكة العناصر المنتهية (FE-Mesh) المستخدمة للنموذج المدروس (H=4.8m).

		تربة الردم	تربة التأسيس	الواجهة	أساس الواجهة
		Backfill	Nature soil	facing	foundation
n	nodel	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	linear elastic
	Туре	Drained	Drained	Non – porous	Non – porous
Yunsat	[kN/m ³]	16.8	16.8	2.17	25
γsat	[kN/m ³]	18	20	-	-
k _x	[m/day]	-	1*10 ⁻⁴	-	-
ky	[m/day]	-	1*10 ⁻⁴	-	-
Eref	[kN/m ²]	2.399*10 ⁴	1.5*10 ⁴	$2*10^{7}$	3*10 ⁷
ν	[-]	0.3	0.35	0.2	0.2
Cref	[kN/m ²]	0.2	10	57.5	-
¢	[°]	44.1	28	62.547	-
Ψ	[°]	8.7	-	-	-
Rinter	[-]	0.8	0.8	0.7	0.7

الجدول (5.4) برامترات تربة الردم والتأسيس والواجهة والأساس البيتوني المستخدمة في برنامج الـ Plaxis

يبين الشكل(11.4) قيم الانتقالات الكلية في النموذج المدروس (حالة جدار H=4.8m، Lr=0.8H) والتي تظهر أن الانتقال الأعظمي في الجزء العلوي من واجهة الجدار مرحلة الحساب الأخيرة.





الشكل(11.4): الانتقالات الكلية في النموذج في مرحلة الحساب الأخيرة.

يوضح الشكل (12.4) شكل سطوح الانهيار المتشكلة في مرحلة الحساب الأخيرة من خلال نتائج تشوهات القص النسبية.



الشكل (12.4): تشوهات القص في النموذج التي تبين سطوح الانهيار.

من الشكل(12.4) نلاحظ أن سطوح الانهيار تشير إلى كتلة تربة الردم مع الجيوغريد(التربة المسلحة) تتصرف ككتلة واحدة ويحدث الانفصال عن التربة غير المسلحة عند نهاية الجيوغريد ويتشكل موشور الانهيار النموذجي خلف التربة المسلحة إضافة إلى وصول تشوهات القص في تربة التأسيس إلى قيم كبيرة أسفل الأساس.

الفصل الخامس

5. دراسة المتغيرات وتحليل ومناقشة النتائج:

1.5. مقدمة :

تم إجراء مجموعة سلاسل من الحسابات العددية على النموذج المدروس من أجل دراسة المتغيرات على ضوء أهداف البحث حيث بلغ عدد الحسابات المنفذة (887 runs) موضحة بالجدول (1.5).

نوع الجدار	السلسة	Н	Lr/H	h	q	EA	Dr	Noruns
		m	_	m	Кра	KN/m	7.	
غير مسلح		1.5				-	83%	5
	1		-		0			
		2.7						
	-	3	0.5		0	620	83%	168
	2			0.3				
		7.5	1.1		60			
		3	0.5		0			
	3			0.6		620	83%	168
		7.5	1.1		60			
		3	0.5	0.9	0	620	83%	168
	4							
-		7.5	1.1		60			
Crimo	5	3	0.5	0.3 0.6				126
					0	820	83%	
		7.5	1.1	0.9				
		3	0.5	0.3		1500	83%	126
	6			0.6	0			
		7.5	1.1	0.9				
		3	0.5			620	60%	126
	7			0.6	0		70%	
		7.5	1.1				83%	
	di C						Σ	887

الجدول(1.5): سلاسل الحسابات العددية.

من أجل تحديد تأثير الخواص الهندسية والميكانيكية للجدران الاستنادية من تربة مسلحة بالجيوغريد وخواص مكوناتها على سلوك هذا النوع من الجدران تم تقسيم الدراسة إلى قسمين أساسيين:

 دراسة جدار استنادي غير مسلح بالجيو غريد وبدون حمولة سطحية لتحديد الارتفاع الأعظمي الذي ينهار عنده الجدار والارتفاع الذي يحقق عامل أمان أصغري 1.3، ثم تم تسليح الجدار ذي الارتفاع الأعظمي الذي ينهار بعده الجدار لمعرفة تأثير التسليح على الانتقالات الأفقية لواجهة الجدار. دراسة حالة جدران استنادية مسلحة بالجيوغريد بارتفاعات مختلفة (H=3-3.9-4.8-5.7-6.6-7.5m) وصلابات وبأطوال تسليح (h=0.3-0.6-0.9 m) وصلابات (Lr=0.5-0.6-0.7-0.8-0.9-1.1H) وصلابات جيوغريد مختلفة (q=0-20-40-60Kpa) وحمولات سطحية (q=0-20-40-60Kpa) وكثافات مختلفة لتربة الردم (Dr=83-70-60K)، لمعرفة تأثير هذه البرامترات المختلفة على سلوك الجدران الاستنادية من تربة مسلحة بالجيوغريد من ناحيتين:

- التأثير على الانتقالات الأفقية لواجهة الجدار.
 - التأثير على عامل أمان الجدار.

2.5. حالة جدار غير مسلح :

تم إجراء سلسلة من الحسابات بواسطة برنامج Plaxis بحالة الجدار غير المسلح بالجيوغريد بواجهة حجرية مواصفاتها موضحة سابقا في الجدول (5.4) وبدون حمولة سطحية من أجل ارتفاعات مختلفة للجدار (6.4) وبدون حمولة سطحية من أجل ارتفاعات مختلفة للجدار (1.2-2.1-2.1-2.4). أبعاد النموذج والشروط الطرفية وكذلك تربة الردم والتأسيس والأساس البيتوني هي ذاتها المستخدمة في النموذج المسلح المدروس في الفقرة (1.4.4). ويبين الشكل (1.5) النموذج الهندسي للجدار غير المسلح بالجيوغريد بواجهة حجرية من أجل ارتفاعات مختلفة الجدار



الشكل(1.5) نموذج الجدار غير المسلح بالجيوغريد

تم استخدام طريقة (phi/c – reduction) في مرحلة الحساب من أجل دراسة تغير عامل الأمان مع تغير ارتفاع الجدار كما هو م وضح بالشكل(2.5) ، إذ يمكن استنتاج أن عامل الأمان يتناقص مع زيادة ارتفاع الجدار حتى (H=2.7m) وهو الارتفاع الأعظمي الذي ينهار عنده الجدار غير المسلح وبدون حمولة سطحية. كما نستنج أن الارتفاع الذي يحقق عامل أمان اصغري 1.3 هو (H≅2m) حيث أنه من أجل ارتفاعات أكبر الفصل الخامس: دراسة المتغيرات وتحليل ومناقشة النتائج للجدار أو بوجود حمولات سطحية نحتاج إلى إجراءات أخرى مختلفة لتامين استقرار الجدار وتحقيق معاملات الأمان المطلوبة (مثال : استخدام جدران من تربة مسلحة).



الشكل (2.5) تغير عامل الأمان مع تغير ارتفاع الجدار غير المسلح

3.5. حالة جدار مسلح بالجيوغريد:

1.3.5. تأثير الجيوغريد على سلوك الجدار الاستنادي:

تم دراسة جدارين استناديين بارتفاع (H=2.4 , 2.7m) لمعرقة تأثير الجيوغريد على عامل الأمان والانتقالات الأفقية لواجهة الجدارين إذ تم استخدام أبعاد وخواص المواد المستخدمة (تربة الردم – التأسيس – الأساس البيتوني) ذاتها في النموذج المدروس في الفقرة (1.4.4) كما تسليح الجدارين بشرائح جيوغريد خواصها (EA=620kN/m, Lr/H=0.8, h=0.6m). تم بدايةً دراسة تأثير الجيوغريد على عامل الأمان وكانت النتائج كما هو مبين بالجدول (2.5):

التسليح	بوجود	الأمان	عامل	: تغير	(2.5)	لجدول(
---------	-------	--------	------	--------	-------	--------

Fs			
مسلح بالجيو غريد	بدون تسليح		
2.91	1.133	2.4	
2.69	1	2.7	

أما تأثير الجيوغريد على الانتقالات الأفقية لواجهة الجدارين فهي كما يلي:

أ) جدار H=2.7m:

تم تسليح الجدار بشرائح جيو غريد بتباعد شاقولي قدره h=0.6m وبطول Lr/H=0.8 وبصلابة محورية قدرها EA=620kN/m فرها قدرها EA=620kN/m



الشكل (3.5) الجدار (H=2.7m)المسلح بالجيو غريد

تم مقارنة الانتقالات الأفقية للواجهة في الجدارين المسلح وغير المسلح وتمثيل النتائج وفق المخطط المبين بالشكل (4.5).



الشكل(4.5) مقارنة الانتقالات الأفقية للواجهة في الجدارين المسلح وغير المسلح

ويبين الشكل(5.5) مقارنة للانتقالات الكلية في الجدارين المسلح وغير المسلح إذ نلاحظ أن الانتقالات الأفقية في الجدار الاستنادي غير المسلح بالجيوغريد تكون أكبر ما يمكن في أعلى الجدار، في حين تكون مهملة تقريباً في الجدار الاستنادي المسلح بالجيوغريد وتكون القيمة الأعظمية عند قاعدة الجدار المسلح . ومنه نستنتج أن التسليح بالجيوغريد يخفف انتقال أعلى الجدار نحو الخارج بالتالي زيادة استقرار الجدار. ويؤكد هذه النتيجة الجدار H=2.4m



الشكل(5.5) الانتقالات الكلية في الجدارين (المسلح وغير المسلحH=2.7m).


يبين الشكل (7.5) تأثير التسليح على الانتقالات الأفقية للواجهة. إذ نلاحظ أن التسليح يخفف من الانتقالات الأفقية للواجهة.



الشكل(7.5) تأثير الجيوغريد على انتقالات الأفقية للواجهة من اجل جدار (H=2.4m)

2.3.5. دراسة الانتقالات في واجهة الجدار:

تم دراسة ستة ارتفاعات مختلفة من الجدار (H=3-3.9-4.8-5.7-6.6-7.5m) من أجل كثافة نسبية ثابتة لتربة الردم Dr=83%، وأطوال جيو غريد مختلفة (Lr/H=(0.5-0.6-0.7-0.8-0.9-1.1) وصلابات مختلفة للجيو غريد TA=(620-820-1500)kN/m، وبتباعد شاقولي ثابت بين شرائح الجيو غريد h=0.6m وحمو لات سطحية مختلفة add(60-00-00-0)=0. وتم دراسة تأثير كلا من ارتفاع الجدار، طول وصلابة الجيو غريد والحمو لات السطحية على الانتقالات الأفقية لواجهة الجدار وكانت النتائج كما يلي:

۲
 ۲
 ۲
 ۲
 ۲
 ۲
 ۲
 ۲
 ۲
 ۲
 ۲
 ۲
 ۲
 ۲
 ۲
 ۲
 ۲
 ۲
 ۲
 ۲
 ۲
 ۲
 ۲
 ۲
 ۲
 ۲
 ۲
 ۲
 ۲
 ۲
 ۲
 ۲
 ۲
 ۲
 ۲
 ۲
 ۲
 ۲
 ۲
 ۲
 ۲
 ۲
 ۲
 ۲
 ۲
 ۲
 ۲
 ۲
 ۲
 ۲
 ۲
 ۲
 ۲
 ۲
 ۲
 ۲
 ۲
 ۲
 ۲
 ۲
 ۲
 ۲
 ۲
 ۲
 ۲
 ۲
 ۲
 ۲
 ۲
 ۲
 ۲
 ۲
 ۲
 ۲
 ۲
 ۲
 ۲
 ۲
 ۲
 ۲
 ۲
 ۲
 ۲
 ۲
 ۲
 ۲
 ۲
 ۲
 ۲
 ۲
 ۲
 ۲
 ۲
 ۲
 ۲
 ۲
 ۲
 ۲
 ۲
 ۲
 ۲
 ۲
 ۲
 ۲
 ۲
 ۲
 ۲
 ۲
 ۲
 ۲
 ۲
 ۲
 ۲
 ۲
 ۲
 ۲
 ۲
 ۲
 ۲
 ۲
 ۲
 ۲
 ۲
 ۲
 ۲
 ۲
 ۲
 ۲
 ۲
 ۲
 ۲
 ۲
 ۲
 ۲
 ۲
 ۲

تم دراسة تأثير ارتفاع الجدار على الانتقالات الأفقية في واجهة الجدار وتم تمثيل النتائج بالأشكال (8.5 – 9.5) التي تبين العلاقة بين الانتقالات الأفقية (Δx(m لواجهة الجدار وارتفاع الجدار وذلك من أجل أطوال مختلفة من الجيو غريد، نلاحظ من الأشكال:

- الانتقال الأفقي للواجهة يزداد مع زيادة ارتفاع الجدار.
- وجود انحناء في واجهة الجدار يشير الى القيمة الأعظمية للانتقال الأفقي يكون أوضح من أجل
 H=3.9m ويكون أكبر ما يمكن عند الارتفاع H=7.5m . أما الارتفاعات الصغيرة -H=3
 H=7.5m غير واضح بشكل دقيق.

قيمة الانتقال الأفقي الأعظمي في واجهة الجدار تزداد بزيادة ارتفاع الجدار.

4. موقع القيمة العظمى للانتقالات الأفقية لواجهة الجدار يختلف باختلاف ارتفاع الجدار وتتراوح من
 4. موقع القيمة العظمى للانتقالات الأفقية لواجهة الجدار يختلف باختلاف ارتفاع الجدار وتتراوح من / 2/10 × 2/H=0.4%
 7.5m من أجل H=7.5m حتى 2/H=0.4% عند h=4.8m أي موقع القيمة ينزاح باتجاه أعلى الجدار مع نقصان ارتفاع الجدار حتى H=3m الذ نلاحظ أن الواجهة عند هذا الارتفاع تنزاح بشكل أفقي والقيمة العظمى عند أسفل الجدار حتى H=3m الجدار مع نقصان ارتفاع الجدار حتى H=3m الجدار مع نقصان ارتفاع الجدار حتى H=3m الخارجي وبقية النتائج موضحة في الملحق (1).
 و القيمة العظمى عند أسفل الجدار دون أي تغير في شكلها الخارجي وبقية النتائج موضحة في الملحق (1).
 هذه النتائج تتوافق مع النتيجة التي توصل إليها الباحثين (1000 et al.2000) و (2004) و (2004)
 و هي (في حالة مادة الواجهة صلبة نسبيا، يظهر التشوه في الواجهة بشكل قوس وقمته قريبة من منتصف ارتفاع الجدار)



الشكل(8.5) العلاقة بين ارتفاع الجدار والانتقالات الأفقية للواجهة (EA=1500 kN/m , q=0 Kpa)



الشكل(9.5) العلاقة بين ارتفاع الجدار والانتقالات الأفقية للواجهة (EA=620 kN/m , q=20 Kpa)

✓ تأثير طول الجيوغريد من خلال النسبة Lr/H:

تم دراسة تأثير النسبة (Lr/H=0.5~1.1) على الانتقالات الأفقية في واجهة الجدار من أجل ارتفاعات مختلفة للجدار من (Dr=83%, h=0.6m)، وثبات (H=3-3.9-4.8-5.7-6.6-7.5m) وتغير q و EA وتوصلنا للنتائج التالية:

- 1 تتناقص الانتقالات الأفقية في واجهة الجدار بزيادة طول الجيوغريد حتى Lr=0.8H بعدها يصبح تأثير طول الجيوغريد طفيف على الانتقالات الأفقية (أي ان زيادة طول الجيوغريد عن 0.8H لا يسبب تناقص ملحوظ في الانتقالات الأفقية) كما هو مبين بالشكل (10.5)، ويظهر هذا التأثير بشكل أوضح على الجدران ذات الارتفاعات الكبيرة أما من أجل الارتفاعات الصغيرة <math display="block"><math display="block">Math de الجيوغريد حتى 10.8 لا يسبب تناقص ملحوظ في الانتقالات الأفقية) كما هو مبين بالشكل (10.5)، ويظهر هذا التأثير بشكل أوضح على الجدران ذات الارتفاعات الكبيرة أما من أجل الارتفاعات الصغيرة <math display="block"><math display="block">Math de التأثير بشكل أوضح على ملحوظ في الانتقالات الأفقية) كما هو مبين بالشكل (10.5)، ويظهر هذا التأثير بشكل أوضح على الجدران ذات الارتفاعات الكبيرة أما من أجل الارتفاعات الصغيرة <math display="block"><math display="block">Math de الانتقالات الأفقية) كما هو مبين بالشكل (Math display="block") ، ويظهر هذا التأثير بشكل أوضح على الجدران ذات الارتفاعات الكبيرة أما من أجل الارتفاعات الصغيرة <math display="block"><math display="block</math display="block">Math de U</math display="block</math display="block"</math display="block"><math display="block</math display="block">Math display="block</math display="block"</math display="block"</math display="block"><math display="block</math display="block"</math display="block"</math display="block"><math display="block</math display="block"</math display="block"</math display="block"</math display="block"</math display="block"</math display="block"</math display="block"
- 2 حوقع القيمة الأعظمية للانتقالات الأفقية لواجهة الجدار لا يتغير بتغير طول الجيوغريد مهما كان ارتفاع الجدار مع ثبات بقية البرامترات، كما يوضح الشكل (11.5) لحالة جدار بارتفاع 7.5m. أما بقية النتائح موضحة بأشكال في الملحق (1).



الشكل (10.5) العلاقة بين الانتقالات الأفقية الأعظمية Δxmax والنسبة Lr/H



الشكل (11.5) الانتقالات الأفقية ∆x لواجهة الجدار من أجل مناسيب مختلفة من الجدار z/H (حالة جدار H=7.5m).

۲ تأثير تغير الحمولة السطحية q:

تم دراسة تأثير تغير الحمولات السطحية (q=0- 20- 40 - 60 kpa) مع ثبات بقية العوامل (q=0- 20- 40 - 60 kpa) وتغير Hr/H و H وتوصلنا للنتائج التالية:

1. تزداد الانتقالات الأفقية بشكل ملحوظ كلما زادت الحمولات السطحية q كما يوضح بالشكل (12.5)
 وهذا يتوافق مع النتيجة التي توصل إليها (Huang et al,2009).

مقدار الزيادة في الانتقالات الأفقية مع زيادة طول الجيوغريد مهمل تقريباً من أجل الحمولات الصغيرة q حين تكون هذه الزيادة أوضح من أجل الحمولات الأكبر، شكل (13.5).
 يتغير موقع القيمة الاعظمية للانتقالات الأفقية لواجهة الجدار بتغير الحمولة السطحية q بشكل خطي مهما كان ارتفاع الجدار ، ويكون هذا الموقع أخفض من منتصف الجدار وموافق لـ (0.46 – 0.4)

من أجل حمولة سطحية q=0kpa ويرتفع موقع الانتقال الأعظمي باتجاه النصف العلوي من الجدار مع تزايد الحمولة السطحية كما يوضح الشكل (14.5).



الشكل(12.5) تغير الانتقالات الأفقية للواجهة مع تغير الحمولة السطحية عند مناسيب مختلفة من الجدار (حالة جدار بارتفاع H=4.8m).



الشكل(13.5) تغير الانتقالات الأفقية للواجهة مع تغير النسبة Lr/H من اجل حمولات سطحية مختلفة (حالة جدار بارتفاع H=4.8m).





تم دراسة تغير صلابة الجيوغريد (EA=620-820-1500 kN/m) مع ثبات بقية العوامل (EA=620-820-1500 kN/m) مع ثبات بقية العوامل (Dr=83%- q=0 kN/m - h=0.6m) نتائج الدراسة إذ نلاحظ :

كلما زادت صلابة الجيوغريد تتناقص الانتقالات الأفقية في واجهة الجدار.

 لا يتأثر موقع القيمة الأعظمية للانتقالات الأفقية لواجهة الجدار بتغير صلابة الجيوغريد مهما كان ارتفاع الجدار مع ثبات بقية البرامترات.



الشكل(15.5) تغير الانتقالات الأفقية للواجهة مع تغير صلابة الجيوغريد (حالة جدار H=4.8m).



الشكل(16.5)الانتقالات الأفقية الأعظمية للواجهة مع تغير Lr/H من أجل صلابات مختلفة (جدار H=4.8m).

3.3.5. دراسة عامل أمان الجدار:

تم در اسة تغير كلا من (ارتفاع الجدار ، كثافة تربة الردم، طول وتباعد وصلابة الجيو غريد، والحمولة السطحية) على عامل أمان الجدار كما يلي:

✓ تأثير طول الجيوغريد من خلال النسبة Lr/H:

تم دراسة تغير النسبة (Lr/H=0.5-0.6-0.7-0.8-0.9-1-1.1) من اجل ارتفاعات مختلفة للجدار (Lr/H=0.5-0.6-0.7-0.8-0.9-1 من 7.5m~3 ، وتم تمثيل النتائج وفق المنحني المبين بالشكل (17.5). إذ نستنتج أن : 1. عامل الأمان يزداد مع زيادة النسبة Lr/H بشكل منحني تحت خطى .

يتناقص عامل الأمان مع تزايد ارتفاع الجدار.



الشكل(17.5) تأثير طول الجيوغريد على عامل أمان الجدار من اجل ارتفاعات مختلفة للجدار من خلال النسبة . Lr/H.

✓ تأثير التباعد الشاقولى بين شرائح الجيوغريد (h) على أمان الجدار:

تم در اسة ثلاثة تباعدات شاقولية مختلفة لشرائح الجيو غريد (h=0.3-0.6-0.9m) ، وتوصلنا للنتائج المبينة بالأشكال (h=0.3-0.6-0.9m) و التي توضح :

- 1. زيادة عامل الأمان مع نقصان التباعد الشاقولي h.
- 2. زيادة عامل الأمان بشكل شبه خطي مع زيادة Lr/H حتى قيمة محددة فعالة ، تتغير مع تغير h التباعد h، إذ تأخذ هذه النسبة القيم التالية (1-0.9-0.9) من أجل تباعدات (0.9-0.6-0.3m) على الترتيب، بعدها ينخفض معدل التزايد .
- 6. يوضح الشكل (19.5) تناقص عامل الأمان مع تزايد التباعد h بشكل طفيف حتى التباعد h=0.6، وبعدها يصبح التناقص بمعدلات أكبر مع زيادة h.



الشكل (18.5) تأثير النسبة Lr/H على عامل أمان الجدار (حالة جدار H=4.8m).



الشكل(19.5) تغير عامل الأمان مع تغير التباعد الشاقولي h من اجل نسب مختلفة من(Lr/H=0.8-0.9-1m).

۲ تأثير تغير الحمولة السطحية q على أمان الجدار:

1. تناقص عامل الأمان مع تزايد الحمولة q بنسبة ثابتة لا تتغير مع تغير Lr/H.

2. من أجل النسبة 1.7H=0.8 نلاحظ من الشكل (21.5) أن نسبة التناقص في عامل الأمان تبلغ Lr/H=0.8 القيمة 13% عند تغير الحمولة السطحية kpa (0-20) ، وتصل إلى 23% عند تغير الحمولة بين 13% (0-60)، و إلى 30% عند تغير الحمولة بين kpa (0-60).



الشكل (20.5) تأثير الحمولة السطحية q على عامل أمان الجدار (حالة جدار (H=4.8m) .



الشكل(21.5) تغير عامل الأمان مع تغير الحمولة السطحيةq من أجل Lr/H=0.8 (حالة جدار H=4.8m)

۲ تأثير صلابة الجيوغريد على أمان الجدار:

يوضح الشكل (22.5) أن تأثير صلابة الجيوغريد على عامل الأمان من خلال تغير الصلابة المحورية (Axial stiffness يُعدُ طفيفاً نسبياً ويظهر هذا التأثير أكثر من أجل Lr/H>0.8، إذ يتزايد معامل الأمان بشكل خطي تقريبا مع تزايد صلابة الجيوغريد . فمن أجل النسبة Lr/H=0.8 تبلغ زيادة معامل الأمان بشكل خطي تقريبا مع تزايد صلابة الجيوغريد . فمن أجل النسبة 6.0% لا المان يناخ ريادة معامل الأمان من المله من المله من أجل زيادة صلابة الجيوغريد . فمن أجل النسبة عالي المال تبلغ زيادة معامل الأمان من من المله من أجل من أجل المان من المان مان المان من المان من المان مان المان مان مان المان مان المان مان المان مان المان مان المان من المان مان المان مان المان من المان مان مان المان مان مان م



أكبر من 0.8H يحدث الانهيار داخل كتلة التربة المسلحة وهنا يلعب الجيوغريد دوراً كبيراً في استقرار الجدار ويظهر تأثير الصلابة بشكل كبير.

الشكل (22.5) تأثير صلابة الجيوغريد EA على عامل أمان الجدار (حالة جدار H=4.8m).

✓ تأثير الكثافة النسبية لتربة الردم %Dr على أمان الجدار:

من الشكل (23.5) نلاحظ تزايد عامل الأمان بزيادة الكثافة النسبية Dr لتربة الردم خلف الجدار وتكون نسبة الزيادة بمقدار %4.5 وسطيا عند زيادة Dr من %(60-83) وبمقدار 10% وسطيا عند زيادة Dr من%(60-83).



الشكل (23.5) تأثي الكثافة النسبية لتربة الردم %Dr على عامل أمان الجدار (حالة جدار H=3m).

4.5. مقارنة بين جدران التربة المسلحة بالجيوغريد (MSEW) والجدران البيتونية التقليدية المصبوبة في المكان (CIP) الكتلية والظفرية:

تم إجراء مقارنة بين أنواع مختلفة من الجدران الاستنادية البيتونية التقليدية (كتلي غير مسلح – ظفري مسلح) وجدران من تربة مسلحة بالجيو غريد، من إذ كلفة إنشاء متر طولي من الجدار على ضوء أسعار مواد البناء والتنفيذ، وفق جدول تحليل الأسعار الصادر عن وزارة الإدارة المحلية – محافظة اللاذقية للعام 2013، و ذلك من أجل ارتفاعات مختلفة للجدار (3-7.5m)، يبين الشكل (24.5) نماذج عن الجدران المدروسة .



الشكل(24.5) نماذج عن الجدران المدروسة (حالة H=4.8): a) جدار كتلي ، b) جدار ظفري ، c) جدار من تربة مسلحة Lr=0.8H.

أهم المعايير التي اُعتُمدت في أثناء المقارنة بالكلفة هي اختيار أبعاد الجدران البيتونية التي تحقق معاملات أمان متقاربة مع جدران التربة المسلحة و ميول متساوية للردميات خلف الجدران المختلفة. وتم تمثيل النتائج بالأشكال (25.5 – 26.5) التي تبين ما يلي:

- 1 تزداد كلفة المتر الطولي مع ازدياد ارتفاع الجدار بشكل منحني فوق خطي بالنسبة لجميع أنواع الجدران.
- 2 تكون الجدران البيتونية التقليدية الكتلية (غير المسلحة) أكثر كلفة من الجدران التقليدية البيتونية الظفرية (المسلحة) بنسبة تتراوح من %7 إلى 20% من أجل تغير الارتفاعات من 3m إلى m.
- 3 ⊣ن كلفة إنشاء المتر الطولي للجدران الاستنادية من تربة مسلحة بالجيوغريد اقل من النوعين السابقين بنسبة توفير عن الجدار البيتوني الكتلي تتراوح من % 18 إلى % 39، من اجل تغير الارتفاعات من 3m إلى "7.5m وبنسبة توفير عن الجدار الظفري تتراوح من %12 إلى % 27 من أجل تغير الارتفاعات من 3m إلى 3m إلى 12%.



الشكل (25.5) مقارنة بين الجدران الاستنادية من تربة مسلحة بالجيوغريد والتقليدية البيتونية المصبوبة بالمكان (الكتلية غير المسلحة والظفرية المسلحة) من حيث الكلفة.



الشكل (26.5) النسبة المئوية للتوفير في الكلفة بين جدران التربة المسلحة بالجيوغريد والتقليدية البيتونية المصبوبة بالمكان (الكتلية غير المسلحة والظفرية المسلحة)، إذ (Δp/p) تمثل النسبة المئوية للتوفير كفرق للكلفة بين نوعين من الجدران على كلفة الجدار التقليدي.

الفصل السادس

6. النتائج والتوصيات (conclusions and recommendations) :

1.6. نتائج البحث :

1.1.6 نتائج الدراسة العددية بطريقة العناصر المنتهية :

تم من خلال نتائج الدراسة العددية ودراسة المتغيرات التوصل إلى مجموعة من الاستنتاجات يمكن تلخيصها بما يلي:

 أ. في حالة الجدران غير المسلحة بالجيوغريد أظهرت الدراسة انه يمكن تنفيذ جدران أمينة بواجهة حجرية من تربة غير مسلحة بالجيوغريد حتى ارتفاع 2m. ومن اجل جدران بارتفاعات اكبر من 2م يتطلب استقرار الجدار استخدام تربة مسلحة أو أنواع أخرى من الجدران.

- في حالة الجدران المسلحة بالجيو غريد أظهرت الدراسة النتائج التالية :
- ✓ الطول الفعال للجيوغريد (Lr=0.8H)، بعد هذا الطول لا يظهر تغير ملحوظ في عامل الأمان والانتقالات الأفقية لواجهة الجدار. وهذا يوافق (Bowles, 1996) (Lr=0.7H) (Bowles, 1996) و (NCMA (Lr=0.6 H).
 - ✓ التباعد الأمثل للجيو غريد (h=0.6m) ، وعند التباعدات الأقل يزداد عامل الأمان بشكل طفيف.
- ✓ تتتاقص الانتقالات الأفقية في واجهة الجدار بزيادة طول وصلابة الجيوغريد، وتزداد بزيادة ارتفاع الجدار والحمولة السطحية .
- ✓ يتأثر موقع القيمة العظمى للانتقالات الأفقية فقط بالحمو لات السطحية ، حيث تكون عند منتصف الجدار تقريبا بدون حمولة سطحية وينتقل للأعلى بزيادة شدة الحمولة.
- ✓ يزداد عامل الأمان بزيادة الكثافة النسبية لتربة الردم وبزيادة صلابة وطول الجيوغريد، بينما يتناقص بزيادة ارتفاع الجدار، والحمولة السطحية والتباعد الشاقولي بين عناصر التسليح.

2.1.6 نتائج المقارنة مع الجدران الاستنادية البيتونية التقليدية:

أظهرت نتائج الدراسة المقارنة اعتماداً على الكلفة الاقتصادية ما يلى:

إن الجدران الاستنادية من تربة مسلحة بالجيوغريد تعطي كلفة إنشاء للمتر الطولي أقل من النوعين السابقين بنسبة توفير عن الجدار البيتوني الكتلي تتراوح من 18% إلى% 39 من أجل تغير ارتفاعات الجدار من m 3 إلى 7.5 m وبنسبة توفير عن الجدار البيتوني الظفري تتراوح من 12% من

2. تقدم الجدران الاستنادية بتربة مسلحة بالجيوغريد بديلاً اقتصادياً بالمقارنة مع الأنواع التقليدية للجدران الاستنادية البيتونية المصبوبة في المكان على الرغم من انتشارها الواسع. إضافة إلى ميزاتها الأخرى المتعددة مثل سرعة التنفيذ وسهولته و تصنيفها ضمن مستويات جمالية وبيئية أعلى من الأنواع الأخرى.

2.6 التوصيات :

- يوصى مستقبلا بإجراء دراسات تجريبية على نماذج بأبعاد حقيقية، وتوسيع مجال الدراسة من حيث ارتفاعات الجدران وأبعاد الواجهة الحجرية وميلانها، تأثير خواص تربة التأسيس.
 - 2. ينصح مستقبلا دراسة سلوك جدران التربة المسلحة بالجيو غريد تحت تأثير الزلازل.
- يمكن الاستفادة من نتائج هذا البحث في تصميم الجدران المسلحة بالجيو غريد في المشاريع الهندسية المختلفة .



- 1. AASHTO, (, 2012)"AASHTO LRFD Bridge Design Specification", AASHTO , Washington, D.C. 6th edition.
- ALZAMORA, D. ; BARROWE, R. Mechanically Stabilized Earth Walls on the Interstate Highway System. TR NEWS 249, Federal Highway Administration, Washington, 2007, 32-33.
- 3. ASTM, (1995), "*ASTM standards on Geosynthetics*". Sponsored by ASTM Committee D-35 on Geosynthetics, Fourth Edition, 178p.
- BATHURST, R. J., WALTERS, D., VLACHOPOULOS, N., BURGESS, P. & ALLEN, T. M. *Full scale testing of geosynthetic reinforced walls*. ASCE Special Publication Denver. No. 103,2000, 201–217.
- BERG, R.R.; CHRISTOPHER, B.R.; SAMTANI, N.C. Design of Mechanically Stabilized Earth Walls and Reinforced Soil Slopes – Volume I. Report Federal Highway Administration Washington, D.C. FHWA-NHI-10-024, FHWA GEC 011-Vol I, 2009, 332 pages.
- 6. BOWLES, J. E. *Foundation analysis and design*, 5th ed., The McGraw-Hill Companies, Inc. 1997, 1230 pages.
- 7. CARRUBBA, P., MORACI, N., and MONTANELLI, F., (1999) "Instrumented Soil Reinforced Wall", Proceeding Geosynthetic '99, Boston, U.S.A., pp. 921-934.
- CHRISTOPHER B. R., LESHCHINSKY D. and STULGIS R. (2005). "Geosynthetic-Reinforced Soil Walls and Slopes: US Perspective", International Perspectives on Soil Reinforcement Applications. ASCE Geotechnical Special Publication No. 141, ASCE Press, Reston, Virginia, January 2005, ISBN 0-7844-0769-X, 166 p.
- 9. ELIAS, V., CHRISTOPHER, B.R., and BERG, R.R., (2001), "Mechanically Stabilized Earth Walls and Reinforced Soil Slopes Design and Construction Guidelines" Report No. FHWA-NHI-00-043, National Highway Institute, Federal Highway Administration, Washington, D.C. March.
- 10. ELTON, D.; PATAWARAN, M. Mechanically Stabilized Earth (MSE) Reinforcement Tensile Strength From Tests Of Geotextile Reinforced Soil. Report to the Alabama Highway Research Center Frazier Parker, Jr., Director, Auburn university, 2005, 80 pages.
- 11. FHWA Publication (1995), "Geosynthetic Design and Construction Guideline", FHWA Publication Number: FHWA-HI-95-038, Publication Year: 1995,

http://isddc.dot.gov/OLPFiles/FHWA/011431.pdf

- 12. FHWA Publication (2009), "Design of Mechanically Stabilized Earth Walls and Reinforced Soil Slopes Volume I", . FHWA-NHI-10-024, FHWA GEC 011-Vol I, 332 pages.
- Helwany, S., Budhu, M., and McCallen, D. (2001). "Seismic Analysis of Segmental Retaining Walls. I: Model Verification." J. Geotech. Geoenviron. Eng., Vol. 127, No. 9, pp. 741-749.

- 14. HUANG, B, BATHURST, R., AND HATAMI, K. (2009). "Numerical study of reinforced soil segmental walls using three different constitutive soil models", Journal of Geotechnical and Geoenvironmenal Engineering, 135(10), pp. 1486-1498.
- 15. JONES, C.J.F.P. *Guide to Reinforced Fill Structures and Slope Design*, Geoguide 6. Geotechnical Engineering Office, Civil Engineering Department, the Government of Hong Kong Special Administrative Region, 2002, 236 pages.
- KIM, H. S. and BILGIN, O. (2007) "Studying the Effect of Concrete Key Size on Mechanically Stabilized Earth Wall Deformations using Finite Element Method", Geotechnical Special Publications GSP 157, Computer Applications in Geotechnical Engineering, Proceedings Of Sessions Of Geo-Denver 2007, New Peaks in Geotechnics, February 18-21, 2007, Denver, Colorado, ASCE- 2007.
- 17. LESHCHINSKY, D. AND HAN, J. *Geosynthetic Reinforced Multitiered Walls*. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering U.S.A. Vol. 130, No 12, ASCE, 2004, 1225-1235.
- 18. LING, H.I., CARDANY, C.P., SUN, L-X. And HASHIMOTO, H., 2000, "Finite Element Study of a Geosynthetic-Reinforced Soil Retaining Wall With Concrete-Block Facing", *Geosynthetics International, Vol. 7, No. 2, pp. 137-162.*
- 19. LUCCHETTA, F., CARRUBBA, P., MONTANELLI, F., MORACI, N. (2000), "Instrumented Reinforced Wall: Measurements and F.E.M. Results". GEODENVER 2000, pag.271-291 (ISBN: 0-7844-0510-7).
- 20. MAHMOOD, T. (2009), "Failure Analysis Of A Mechanically Stabilized Earth (Mse) Wall Using Finite Element Program Plaxis" PhD Dissertation, Department of Civil Engineering, the University of Texas, Arlington.
- 21. MURTHY, V. N. S. "Geotechnical Engineering: Principles and Practices of Soil Mechanics and Foundation Engineering", CRC Oress, 2002, 1050 pages.
- 22. NCMA, "Design Manual for Segmental Retaining Walls, 3rd Ed.," TR 127B, National Concrete Masonry Association(NCMA), Herndon, VA. 2009, 282 pages.
- 23. ONODERA, S., NAKANE, A. and FUKUDA, N., 2004, "Long-term Behavior of Geogrid Reinforced Soil Walls", Proc. Int. Symp. Earth Reinforcement Practice (IS Kyushu '92), pp.391-396
- 24. OYEGBILE, O. B. (2011), " *Parametric Studies on the Behaviour of Reinforced Soil Retaining Walls under Static and Dynamic Loadings*" PhD Dissertation, Department of Civil Engineering, The National Technical University Of Athens, Greece.
- 25. PLAXIS. 2005. "*Plaxis Finite Element Code for Soil and Rock Analyses*", Version 8.2, P.O. Box 572, 2600 AN Delft, The Netherlands.
- ROWE, K. R. AND SKINNER, G. D., 2001," Numerical Analysis Of Geosynthetic Reinforced Retaining Wall Constructed On A Layered Soil Foundation". Geotextiles and Geomembranes, Vol 19, 387-41.

- 27. ROMSTAD, K.M., HERRMANN, L.R. and SHEN, C-K., 1976, "Integrated Study of Reinforced Earth I: Theoretical Formulation", Journal of Geotechnical Engineering, Vol. 102, No. GT5, pp. 457-471.
- 28. SHEN, C-K., ROMSTAD, K.M. and HERRMANN, L.R., 1976, "Integrated Study of Reinforced Earth II: Behavior and Design", Journal of Geotechnical Engineering, Vol. 102, No. GT6, pp. 577-590.

الملحق

1. الانتقالات الافقية:

• حالة H=3m:











• حالة H=3.9 m









• حالة H=4.8 m









• حالة H=5.7 m+







الملحق



:H=6.6m	• حالة
---------	--------




الملحق



• حالة H=7.5m•

































2. عامل الأمان:











































- 34 -





