

## The Effect of Geogrid Reinforcing Site in Improving Flexible Road Pavement

Dr. Bassam Soutan\*

Dr. Rami Hann\*\*<sup>1</sup>

Nourshan nzha\*\*\*

(Received 1 / 8 / 2023. Accepted 2 / 10 / 2023)

### □ ABSTRACT □

Geosynthetics have been proven to be an ideal element in civil engineering, specifically in the field of pavement. Numerous international research studies have demonstrated the feasibility of using reinforcement in flexible pavement layers, and the clear benefits of this on improving pavement performance. This research focuses on reinforcing road pavements in various locations (aggregate base layer and asphalt cover layer) using biaxial geogrid through experimental laboratory studies. The optimal location for reinforcement is determined by preparing molds of asphalt concrete. A model is then developed for the pavement layers without reinforcement and with reinforcement in the optimal location of the asphalt cover layer and the middle of the aggregate base layer, followed by a plate loading test. The laboratory model is then simulated using the finite element method with the PLAXIS 2D software.

The results of the laboratory study revealed the maximum values of the elasticity modulus when reinforcing in the lower third of the sample thickness, as determined by the flexural tension test on the asphalt concrete molds. Additionally, the plate loading test on the laboratory model of the reinforced flexible pavement showed a 41.56% reduction in vertical surface deformations compared to the unreinforced laboratory model. The use of geogrids in the middle of the aggregate base layer and the lower third of the asphalt cover layer significantly reduces vertical deformations, with a reduction of 20.83% in settlement values when reducing the thickness of the layer subbase by 42.86%.

The computer modeling also produced similar values to those of the laboratory results, indicating the accuracy of the experimental tests conducted on the model developed in this research.

**Keywords:** Geogrid-Flexible pavement - Optimal location- Deformations- Reinforcement- PLAXIS 2D - Elasticity modulus.

**Copyright**



:Tishreen University journal-Syria, The authors retain the copyright under a CC BY-NC-SA 04

\* Associate Professor , Department of Traffic and Transportation , Faculty of Civil Engineering , Tishreen University , Lattakia, Syria

\*\* Professor , - Dep. Of Transport& Traffic Engineering- Tishreen University - Lattakia- Syria.

\*\*\* Master Student, Tishreen University- Dep. Of Transport& Traffic Engineering- Tishreen University - Lattakia- Syria- nourshannha@gmail.com.

## تأثير موقع التسليح باستخدام الجيوغريد في تحسين اداء الرصف الطرقي المرن

\* د. رامي حنا

\*\* د. بسام سلطان

\*\*\* نورشان حسن نزهه

(تاريخ الإيداع 1 / 8 / 2023. قُبِلَ للنشر في 2 / 10 / 2023)

### □ ملخص □

اثبتت التجارب العديدة على مستوى العالم أن المواد الصناعية (الجيوستينك) عنصر مثالي في الرصف الطرقي اذا ما احسن اختيار موقعها ضمنه ، وأظهرت أبحاث عديدة جدوى استخدام التسليح في طبقات الرصف المرن وفوائده على زيادة أداء وديمومة الرصف بشكل واضح. ركز بحثنا هذا على تسليح الرصف الطرقي وتحديد موقعه ضمن الرصف (طبقات الأساس الحصوية وطبقة التغطية الإسفلتية) باستخدام الجيوغريد الصناعي ثنائي الشد. تلخصت الدراسة المخبرية على إعداد قوالب من المبول الإسفلتي وتسليحها بالجيوغريد مع تحديد الموقع الأمثل للتسليح (بينت نتائج تجربة إجهاد الشد بالانعطاف على قوالب المبول الإسفلتي أقصى قيم لمعامل المرونة عند التسليح في الثلث السفلي لسماكة العينة)، تلا ذلك إعداد نموذج مخبري متكامل لطبقات الرصف بدون تسليح ومع تسليح طبقة التغطية الإسفلتية ضمن الموقع الأمثل في الثلث السفلي منها، اما طبقة الاساس الحصوية فالتسليح كان في وسطها (تمت على النماذج المخبرية اختبارات صفيحة التحميل وتم استنتاج التشوهات المقابل لكل حلالة تحميل، أعطت نتائج تجربة صفيحة التحميل على الموديل المخبري لطبقات الرصف المرن المسلح قيمة اخفض للتشوهات الشاقولية السطحية بلغت (41.56%) بالمقارنة مع الموديل المخبري لطبقات الرصف بدون تسليح. كما أن إدراج الجيوغريد ضمن منتصف طبقة الأساس الحصوية و الثلث السفلي لطبقة التغطية الإسفلتية يخفض بشكل ملموس التشوهات الشاقولية وقد بلغت قيمتها (20.83%).

كما قمنا في بحثنا باعداد نموذج حاسوبي باستخدام طريقة العناصر المنتهية بالاعتماد على برنامج PLAXIS 2D، أما النمذجة الحاسوبية أعطيت قيم مشابهة لقيم النتائج المخبرية مما يدل على دقة التجارب المخبرية على الموديل المعد في هذا البحث.

الكلمات المفتاحية: الجيوغريد - الرصف المرن - الموقع الأمثل - التشوهات-التسليح - PLAXIS 2D - معامل مرونة.

حقوق النشر : مجلة جامعة تشرين- سورية، يحتفظ المؤلفون بحقوق النشر بموجب الترخيص



CC BY-NC-SA 04

\* أستاذ مساعد - قسم هندسة المواصلات والنقل -كلية الهندسة المدنية -جامعة تشرين -اللاذقية - سورية.

\*\* أستاذ - قسم المواصلات والنقل- كلية الهندسة المدنية- جامعة تشرين- اللاذقية- سورية.

\*\*\* طالبة ماجستير - قسم المواصلات والنقل - كلية الهندسة المدنية- جامعة تشرين - اللاذقية- سورية.

nourshannha@gmail.com

**مقدمة:**

تعتبر طبقات الرصف المرن من أكثر الجمل الإنشائية انتشاراً على مستوى العالم باعتبار أن مواد الإنشاء على الغالب منتشرة بالقرب من مكان إنشاء وتنفيذ الطريق عدا عن أنها لا تحتاج لأزمة طويلة للإنشاء والتنفيذ، لكن لطبقات الرصف المرن مشاكل متعددة من أهمها أنها سريعة العطب وتتشكل فيها تشوهات بعد زمن قليل من تنفيذها، خاصة ان المشاكل والتشوهات زادت بشكل أكبر مع تطور حركة المواصلات وزيادة الكثافة المرورية التي تسبب بنتيجة إجهادات كبيرة ستاتيكية وديناميكية على سطح الطريق.

أثبتت التجارب أنه على الرغم من دقة التصاميم الهندسية فإن طبقات الرصف تعاني من ديمومة قليلة ومن الحاجة المستمرة للصيانة وإعادة التأهيل عدى عن الكلف الكبيرة المرتبطة ببنائها أي الحاجة لسماكات رصف كبيرة لاستيعاب الحمولات التصميمية. بناء على تزايد وتطور المشاكل المرتبطة باستثمار وإنشاء الطرق وصيانتها دعت الحاجة إلى البحث الدائم والمستمر عن مواد بناء جديدة مقاومة لتأثير العوامل المناخية والعوامل الديناميكية التي يتعرض لها الطريق وخاصة في الطبقات العلوية (طبقات التغطية البيتومينية). تنوعت الأبحاث المرتبطة بتطوير أداء طبقات الرصف منها ما طور أداء طبقات الرصف السفلية (طبقات تربة المسار العلوية من خلال معالجتها بالإضافات والمواد المثبتة كالإسمنت والكلس والمواد الرابطة ومنها من سلحاها بالمواد الصناعية كالجيوغريد او الجيوتكستائل ) ومنها من حسن طبقات الرصف العلوية (طبقات الأساس وما تحت الأساس من خلال معالجتها كذلك بالتثبيت بالإسمنت والمواد الرابطة، كما تم تسليحها بالمواد الصناعية كالجيوتكستائل او الجيوغريد )، كما ظهرت أبحاث عديدة على المستوى العالمي قدمت دراسات لطبقات الرصف تنافست على تسليح طبقات التغطية الاسفلتية [1,2,3,5].

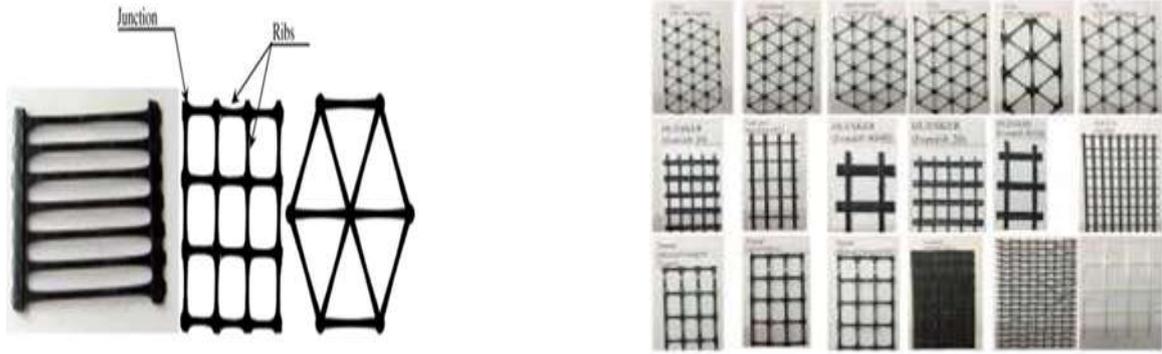
في بحثنا هذا اعتمدنا تسليح طبقات الأساس والتغطية الإسفلتية بالجيوغريد الصناعي ، ودراسة تأثير ذلك على أداء الرصف من خلال النمذجة المخبرية لطبقات الرصف والنمذجة الحاسوبية باستخدام البرمجيات التي تعتمد على تحليل العناصر المنتهية، كل ذلك من خلال الاختبار للمكان الأمثل للجيوغريد في طبقة التغطية الاسفلتية وطبقة الاساس الحصوية.

والجيوسنتيكتك هي منتجات صناعية هندسية جديدة مصنوعة بشكل رئيس من مواد بوليميرية (polymers) ومن أبرز هذه المواد المستخدمة في التصنيع اربعة، هي (PP) البولي بروبيلين، (PE) البولي إيثيلين، (PVC)البولي فينيل كلوريد، PA النايلون- البولي اميد، (PVA)البولي فينيل استيات، (PES)البوليستر.

تشتمل مواد الجيوسنتيكتك الأكثر شيوعاً واستعمالاً في مجال الهندسة المدنية وبناء الطرق والمواصلات على الجيوتكستيل (المنسوجة وغير المنسوجة) والجيوغريد (ثنائية المحور ومتعددة المحاور)، بالإضافة إلى استخدام مواد الجيوسل والجيونيت (أو المواد الصناعية المركبة للتصريف) والجيوممبران في عدد من التطبيقات أيضاً.

بدأ نهج استخدام مواد الجيوسنتيكتك كتسليح في أساسات الرصف في السبعينيات [5] ( Cuelho and Perkins 2017). منذ ذلك الحين، تم تطوير أنواع مختلفة من مواد الجيوسنتيكتك واستخدامها في أساسات الرصف. ومن اهم انواعها الجيوغريد نوضح فيما يلي اهم خواصه:

انواع وخواص الجيوغريد الصناعي: وهو منتج أكثر حداثة من الجيوتكستائل ومصنوع من مواد بوليميرية ذات معاملات مرونة عالية ومنها (البولي بروبيلين والبولي إيثيلين) وهي شبكة ذات فتحات بين الأضلاع المشكلة لها والتي تتميز بمقاومة شد عالية يتم معالجتها حسب الطلب، وهي تعمل على الشد باتجاه واحد أو باتجاهين (biaxial-uniaxial) ويستخدم الجيوغريد لمنع الانزلاقات على المنحدرات الحادة عند الإنشاء وتحسين أداء طبقات الرصف في الطرق من أجل وظيفة التسليح. موضحة في الشكل (1):



الشكل (1): الأنواع المختلفة للجيوغريد الصناعي.

### أهمية البحث وأهدافه:

- إن الهدف الأساسي للبحث هو تحسين وتقوية ورفع كفاءة طبقات الرصف المرن من خلال:
1. تحديد الموقع الأمثل لوضع لشبكة الجيوغريد ضمن طبقات الرصف المرن.
  2. بالإضافة إلى دراسة إمكانية تخفيض سماكات الطبقات (التغطية الإسفلتية \_ الأساس الحصوي) الذي ينتج عنه تخفيف استهلاك مواد الإنشاء.
  3. التقليل من الحاجة لمواد بناء الطرق والحفاظ على البيئة المحيطة.
- يقع هذا البحث في مجال هندسة المواصلات والنقل -تصميم وتنفيذ طبقات الرصف الطرقي المرن.
- سيركز البحث على تدعيم الرصف الطرقي من خلال التسليح ضمن مواقع مختلفة (طبقات الأساس الحصوية وطبقة التغطية الإسفلتية) باستخدام الجيوغريد الصناعي ثنائي الشد Geogrid أحد منتجات المواد الصناعية Geocynthetic من خلال دراسة مخبرية تجريبية وحاسوبية:
- الحالة الأولى: ضمن طبقة التغطية الإسفلتية وتحديد الموقع الأمثل.
- الحالة الثانية: في الموقع الأمثل لطبقة التغطية الإسفلتية ومنتصف طبقة الأساس الحصوي.

### طرئق البحث ومواده:

#### (1) مواد الرصف.

يتكون الرصف من ثلاث طبقات: طبقة التغطية الإسفلتية والأساس وما تحت الأساس سوف نلخص هنا المواصفات الفنية لكل من تربة المسار وما تحت الأساس والأساس بالجدول رقم (1) على أن نستعرض مواصفات المواد الداخلة في الخلطة الإسفلتية لاحقاً:

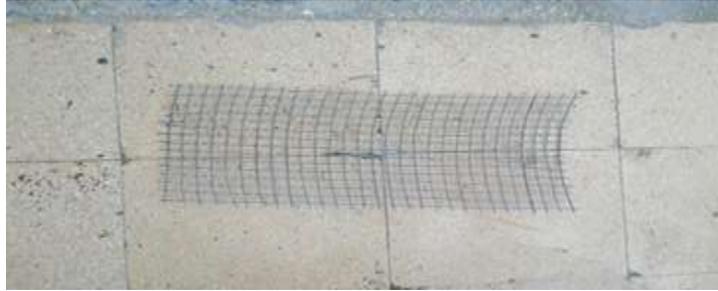
الجدول رقم (1) مواصفات مواد طبقات تربة المسار والأساس وما تحت الأساس

طبقة الأساس الحصوي	طبقة ما تحت الأساس	تربة المسار		
2.8	3.6	21.0	نسبة الرطوبة الطبيعية (%)	Natural moisture content (%)
NLL	22.0	57	حد السيولة (%)	Liquid Limit (%)

NPL	19	29	حد اللدونة (%)	Plastic Limit (%)
NPI	3.0	28	الثقل النوعي (غ/سم <sup>3</sup> )	Specific Gravity (g/cm <sup>3</sup> )
2.204	2.112	2.007	الكثافة الرطبة (غ/سم <sup>3</sup> )	Loose density (g/cm <sup>3</sup> )
2.05	2.02	1.72	كثافة جافة عظمى (غ/سم <sup>3</sup> )	Maximum dry density (g/cm <sup>3</sup> )
7.5	9.5	16.7	محتوى الرطوبة الأمثل (%)	Optimum moisture content (%)
A-1-a	A-1-b	A7	AASHTO مجموعة تصنيف	AASHTO classification group
GW	GM	CH	مجموعة التصنيف الموحدة	Unified classification group
0.0	0.01	0.036	التماسك (نيوتن/مم <sup>2</sup> )	Cohesion (N/mm <sup>2</sup> )
40	36	12.8	الاحتكاك الداخلي (درجة)	Internal friction (°)
89	56	3.0	CBR (%)	CBR (%)
-	-	0.21	ضغط غير محصور. قوة (نيوتن/مم <sup>2</sup> )	Unconfined comp. strength (N/mm <sup>2</sup> )
750.0	180.0	50	معامل المرونة (نيوتن/مم <sup>2</sup> )	Modulus of elasticity (N/mm <sup>2</sup> )

## (2) مواد الجيوجريد الصناعي.

تم اختبار مادة الجيوجريد الصناعي عبارة عن أسلاك معدنية مغلقة تشكل شبكة متراصة. مبينة في الشكل (3).



الشكل (3): عينات الجيوجريد المستخدمة في البحث

الجدول التالي (2) يبين نتائج الاختبارات والتوصيف لمادة الجيوجريد.

النتائج		المواصفة	الاختبار
TD	MD		
33.23	31.34	بياكوليس	مقاس الفتحة (mm)
1.9		بياكوليس	سماكة الضلع (mm)
2.1		ASTM D 5199	سماكة العقدة (mm)

2840		ASTM D 5261	الوزن بوحدة المساحة (g/m <sup>2</sup> )
29.13	22.6	ASTM D 663	مقاومة الشد عند التشوه 2% (kN/m)
40.3	39.15	ASTM D 6637	مقاومة الشد عند التشوه 5% (kN/m)
81.55	78.06	ASTM D 6637	مقاومة الشد القصوى (kN/m)

نلاحظ من الجدول (2) أن مادة الجيوغريد تحقق المواصفات الفنية المطلوبة لاستخدامها في الرصف الطرقي وفق المواصفات الفنية ASTM-3214-92.

### (3) قوالب خشبية لتصنيع عينات إسفلتية مسلحة وغير مسلحة بالجيوغريد.

تم اختيار أبعاد للقوالب الخشبية (50,30,7 cm)، استخدمت لتصنيع عينات بيتونية إسفلتية مسلحة وغير مسلحة بالجيوغريد الصناعي بحيث تمكنا من توصيف مقاومة المجبول الإسفلتي للانعطاف واستنتاج عامل صلابة الطبقة الإسفلتية في كلا الحالتين مع اعتماد أماكن مختلفة لمواقع التسليح ضمن العينات البيتومينية.

### (4) أنبوب بولي إيثيلين عالي الصلابة لتصنيع نموذج تجريب مخبري لطبقات الرصف مع المكبس وساعات قياس التشوه.

تم اختيار انبوب بولي إيثيلين عالي الكثافة بارتفاع (70cm) وقطر (40cm) وسماكة جداره (4cm) لاحتواء طبقات رصف الموديل المخبري ضمنه، كما تم اختيار مكبس هيدروليكي باستطاعة 25 طن، تقسيمات الساعة كل 200 كيلو غرام، كما استخدمنا في الموديل المخبري ساعات قياس تشوه بدقة قياس 0.01 مم وبمطال أعظمي 5 cm.

### (5) برنامج حاسوبي لنمذجة موديل طبقات الرصف واستنتاج سلوك الموديل مقارنة بسلوك النموذج المخبري.

Plaxis 2D هو برنامج جيوتكنيكي يستخدم لمحاكاة الظروف الميدانية والحصول على النتائج المطلوبة، مجهز بميزات للتعامل مع مختلف المنشآت الجيوتكنيكية المعقدة، بالإضافة إلى أنه برنامج سهل الاستخدام، فعال ودقيق.

### 4- العمل المخبري والحاسوبي:

#### (1) تصميم الخلطة الإسفلتية.

لغاية تصميم خلطة إسفلتية قمنا بإجراء تجارب توصيفية على المواد المستخدمة في الدراسة من حصويات وبيتومين في مخبر المواصلات والنقل في كلية الهندسة المدنية، بالإضافة لنتائج اختبار العينات الإسفلتية التي تم تصنيعها مخبرياً وفق طريقة مارشال، وتحليل هذه النتائج ومقارنتها مع المواصفات والشروط القياسية السورية.

#### • نتائج اختبارات الإسفلت:

الجدول (3): التجارب التوصيفية للبيتومين.

52	نقطة التميع (°C)
135	الاستطالة (cm)
284	نقطتي الوميض والاشتعال (°C)
0.4	الفاقد بالحرارة (%)
60	الغرز (1/100cm)

## • نتائج اختبارات الحصىيات:

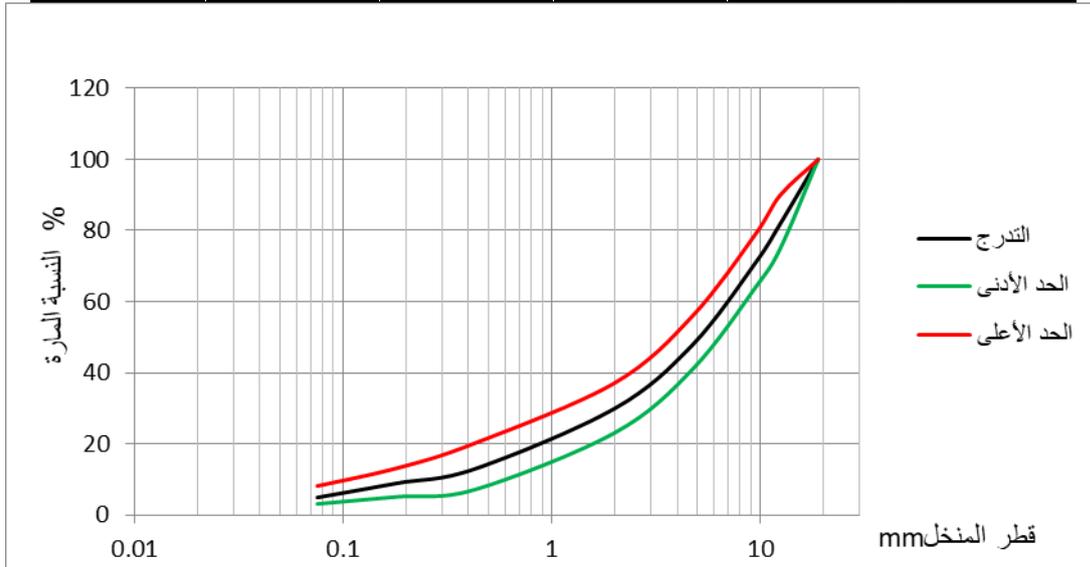
الجدول(4): التجارب التوصيفية للحصىيات

24.93	لوس أنجلوس (%)
2.658	الوزن النوعي للحصىيات
2.952	الوزن النوعي للحصىيات الأقل من 0.075mm
62	المكافئ الرملي (%)
0.232	امتصاص الماء للحصىيات الخشنة (%)
0.340	امتصاص الماء للحصىيات الناعمة (%)

## • نتائج اختبار التركيب الحبي على عينات الحصىيات:

الجدول (5): نتائج اختبار التدرج الحبي على عينات الحصىيات.

الوزن المتبقي gr	منوية متبقية %	منوية تراكمية %	منوية مارة %	الحزمة النظامية
0	0	0	100	100
2700	18	18	82	90- 75
1650	11	29	71	79- 64
3450	23	52	48	56- 41
2700	18	70	30	37 - 23
2550	17	87	13	20 – 7
600	4	91	9	13 – 5
600	4	95	5	8 – 3
750	5	100		الفقر



الشكل (4): نتائج اختبار التركيب الحبي على عينات الحصىيات.

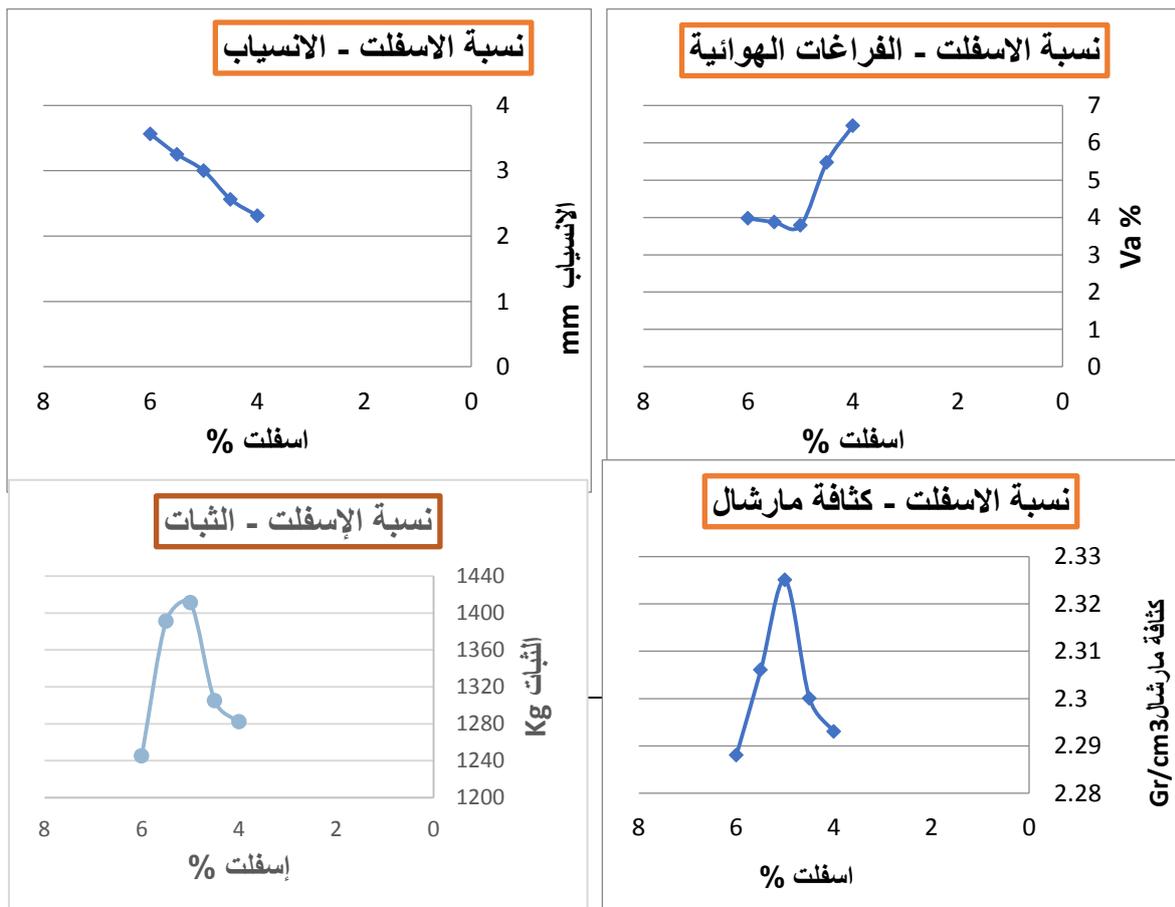
• نتائج تصميم الخلطة الإسفلتية:

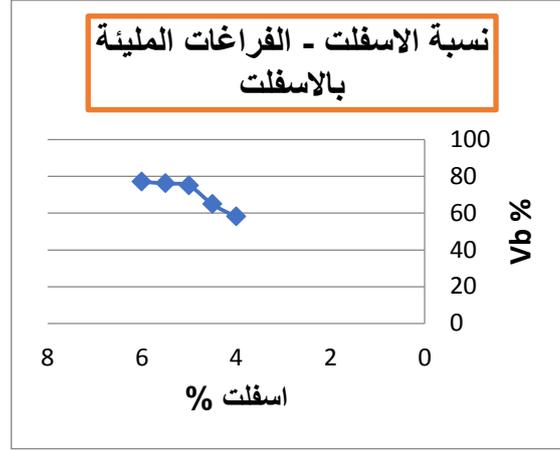
فيما يلي نبين نتائج تصميم الخلطة الإسفلتية ضمن الجدول (6)

جدول (6): نتائج تحليل الفراغات ونتائج الكسر لعينات الخلطة الإسفلتية.

رقم العينة	محتوى الرابطة %	الوزن بالهواء gr	الوزن بالماء gr	الكثافة gr/cm <sup>3</sup>	حجم العينة cm <sup>3</sup>	الثبات المصحح kg	الانسياب mm
1	4	1224	693	2.288	535	1281	2.25
2		1205	682	2.287	527	1280	2.33
3		1215	686	2.284	532	1285	2.27
وسطي				2.288		1282	2.28
1	4.5	1200	689	2.299	522	1298	2.50
2		1201	689	2.301	522	1310	2.67
3		1204	689	2.302	523	1307	2.55
وسطي				2.300		1305	2.58
4	5	1204	690	2.324	518	1394	3.00
5		1209	692	2.325	520	1412	3.12
6		1203	690	2.322	518	1427	2.94
وسطي				2.325		1411	3.02
7	5.5	1217	692	2.305	528	1396	3.35
8		1209	690	2.307	524	1387	3.29
9		1214	690	2.303	526	1390	3.40
وسطي				2.306		1391	3.35
10	6	1210	694	2.292	528	1267	3.89
11		1213	694	2.293	529	1225	4.02
12		1216	694	2.294	530	1241	4.16
وسطي				2.293		1245	4.02

فيما يلي ربط نسب الإسفلت المستخدم مع القيم الناتجة وفق منحنيات مارشال:





الشكل (5): منحنيات طريقة مارشال.

من النتائج السابقة نجد أن المتطلبات الفنية للمجبول الإسفلتي تتحقق عند خلط 95 % حصويات مع 5 % إسفلت وزناً .  
 (2) تصنيع قوالب المجبول الإسفلتي بدون تسليح ومع تسليح واختباراتها على الشد بالانعطاف واستنتاج عوامل الصلابة للمجبول الإسفلتي.

اعتماداً على نتائج تجربة مارشال تم تحضير عينات من المجبول الإسفلتي بالأوزان التي تكفي لتصنيع القالب وفق الكثافة التصميمية لتجربة مارشال (بلغ وزن المجبول اللازم في تصنيع القالب (kg 17.44) تحقق كثافة مارشال (2.325gr/cm<sup>3</sup>)). حيث تم تصنيع 9 عينات (قوالب) تتضمن:

1. ثلاث عينات بدون تسليح.
  2. ثلاث عينات مع تسليح بالجيوغريد الصناعي في ثلث سماكة العينة (القالب).
  3. ثلاث عينات مع تسليح بالجيوغريد الصناعي في منتصف العينة (القالب).
- ثم يتم فك العينات من القالب مبينة في الشكل (3-20) ووضعها في حمام مائي بدرجة حرارة (60 درجة مئوية) ولمدة 20 دقيقة ومن ثم إجراء اختبار العينات على الشد بالانعطاف وقياس قوة الانهيار. (علماً أننا ثبتنا قيم النتائج بعد ثلاث محاولات وبعد الحصول على الانحراف المعياري المطلوب)



الشكل (6): تسلسل العينات من رقم (1) إلى (9) (توضح القوالب مع وبدون تسليح).

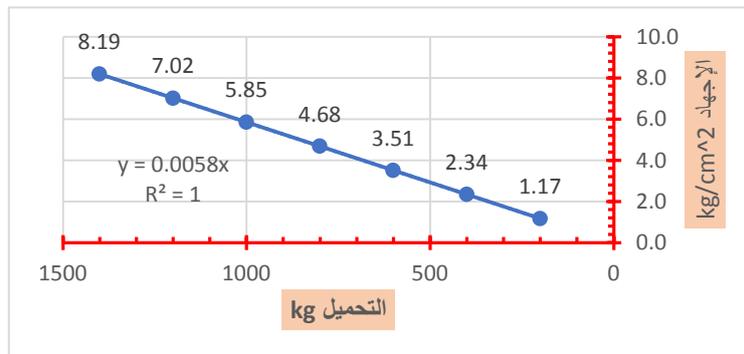
تم اختبار القوالب المسلحة وغير المسلحة على الشد بالانعطاف flexural tension، سيتم عرض نتائج الاختبار على العينات و تحديد قيم معامل الصلابة للعينات ضمن الجدول (7).

الجدول(7):قيم إجهاد الشد بالانعطاف و معاملات المرونة لعينات القوالب المسلحة وغير المسلحة.

موقع التسليح	رقم العينة	قوة الكسر (kg)	الإجهاد (kg/cm <sup>2</sup> )	الإجهاد (Mpa)	التشوه (mm)	التشوه النسبي	معامل المرونة (Mpa)
بدون تسليح	1	300	24	2.4	1.12	0.0028	857.14
	2	250	20	2.0	0.96	0.0024	833.33
	3	275	22	2.2	0.73	0.0018	1205.48
ثلث الطبقة التجريبية	1	9200	736	73.6	2.95	0.0074	9979.66
	2	9050	724	72.4	2.91	0.0073	9951.89
	3	9000	720	72.0	2.9	0.0073	9931.03
منتصف الطبقة التجريبية	1	8800	704	70.4	3.12	0.0078	9025.64
	2	8600	688	68.8	3.0	0.0075	9173.33
	3	8750	700	70	3.01	0.0075	9302.33

### (3) تصنيع وتجريب موديل مخبري لطبقات الرصف.

اختيار موديل لطبقات الرصف وتصميم الموديل، حيث تم إحضار أنبوب بولي إيثيلين بقطر 40cm وارتفاع 70 cm لإيواء أقسام الرصف المدروسة. يحتوي النموذج على أربع طبقات (علماً ان كل طبقة تم رصها بالقالب وفقاً للكثافة الجافة العظمى والرطوبة المثالية لكل طبقة على حده مع الاخذ بعين الاعتبار حالة الاشباع لتربة المسار) طبقة تربة مسار بسماكة (15 cm)، طبقة ما تحت أساس (35 cm)، طبقة أساس (15 cm)، طبقة خلطة إسفلتية حارة HMA (5 cm). لإجراء تجربة صفيحة التحميل تم إرفاق مكبس هيدروليكي تقسيمات ساعة القياس كل (200 kg) حيث يوضح الشكل (7) قيم الإجهادات المطبقة تبعاً لكل حمولة، حيث تم تأمين انتقال الحمولة إلى سطح النموذج من خلال آلية تثبيت أنبوب معدني صلب إلى سقف قادر على تحميل الحمولة المطلوبة، كانت لوحة التحميل عبارة عن صفيحة فولاذية بسمك 5 cm وقطرها 14.8cm وضعت على سطح الطبقة السطحية HMA. تم الحفاظ على الحمل المطبق تدريجياً ابتداءً من (200 kg)، مما أدى إلى ضغط تحميل قدره 1.17 kg/cm<sup>2</sup> (0.117 Mpa)، ومحاكاة الإطارات المزدوجة (حمل أحادي المحور مكافئ يطبق إجهاد على سطح الطبقة الاسفلتية 0.7 Mpa) الشكل (8) يوضح معدات الاختبار.



الشكل(7): مخطط الحمولات-الإجهادات المطبقة على النموذج.

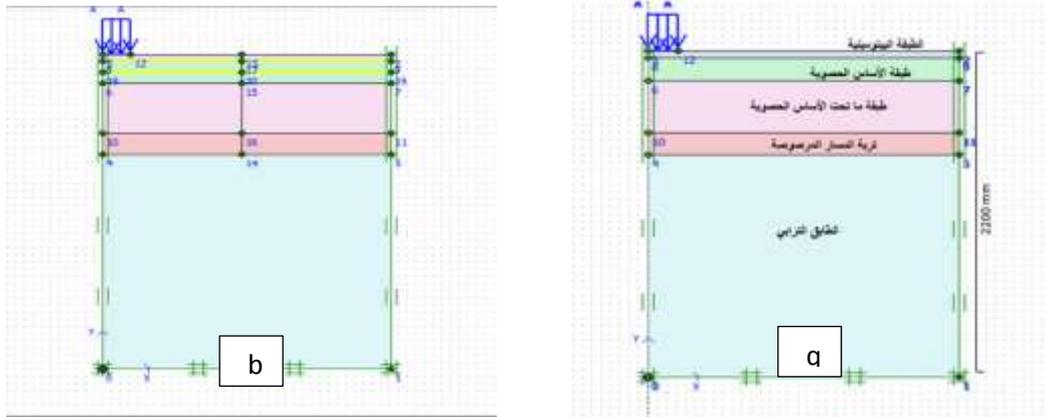


الشكل(8):إعداد النموذج لإجراء تجربة صفحة التحميل

تم تصنيع موديلين:

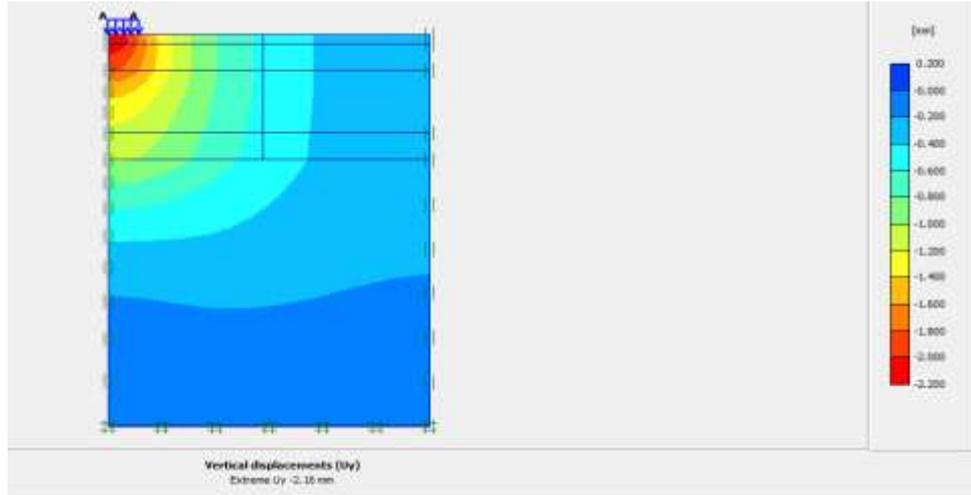
- الموديل الأول بدون تسليح.
  - الموديل الثاني مع تسليح ضمن موقعين (في الموقع الأمثل لطبقة الخلطة الإسفلتية ومنتصف طبقة الأساس الحصوية).
- 4) نمذجة حاسوبية لطبقات الرصف بدون ومع تسليح.

تم تحليل أداء الموديلين مع وبدون تسليح بطريقة العناصر المحددة بواسطة برنامج ( PLAXIS 2D ) لتقييم تأثير التسليح بالجيوغريد الصناعي من حيث التشوه (الانتقال) الحاصل على الطبقة السطحية من النموذج، حيث تم الاحتفاظ بقيم سماكات الطبقات والكثافات ومعاملات المرونة وقيم معامل بواسون وكافة البارامترات الأخرى على التوالي في جميع مراحل التحليل.



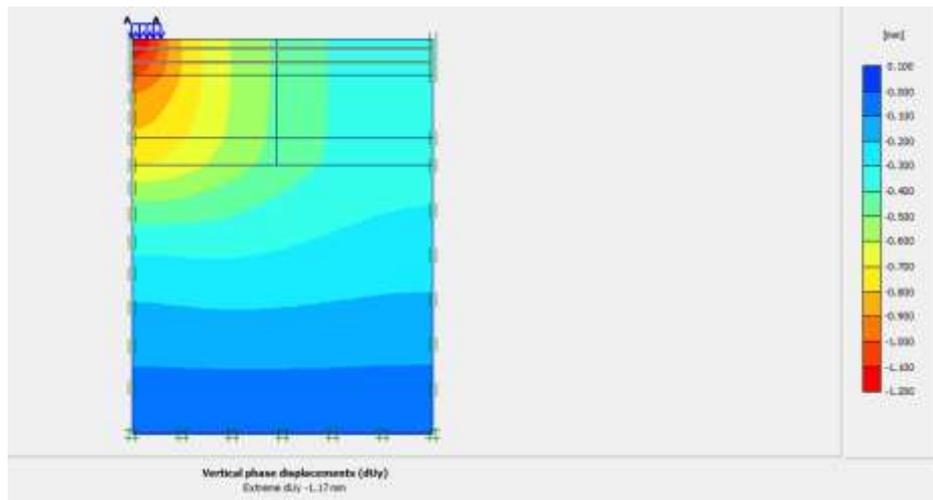
الشكل(9):النموذج (مع وبدون تسليح) ضمن بيئة عمل البرنامج. (بدون تسليح a ، مع تسليح b)

بعد الانتهاء من مرحلة الإدخالات تتم مرحلة الحساب لنصل إلى مرحلة الإخراجات، حيث يظهر الشكل التالي (10) أكبر انتقال حاصل في طبقات الرصف للنموذج غير المسلح بالجيوغريد الصناعي.



الشكل (10): الانتقالات الشاقولية ضمن طبقات الرصف للنموذج الأول بدون تسليح.

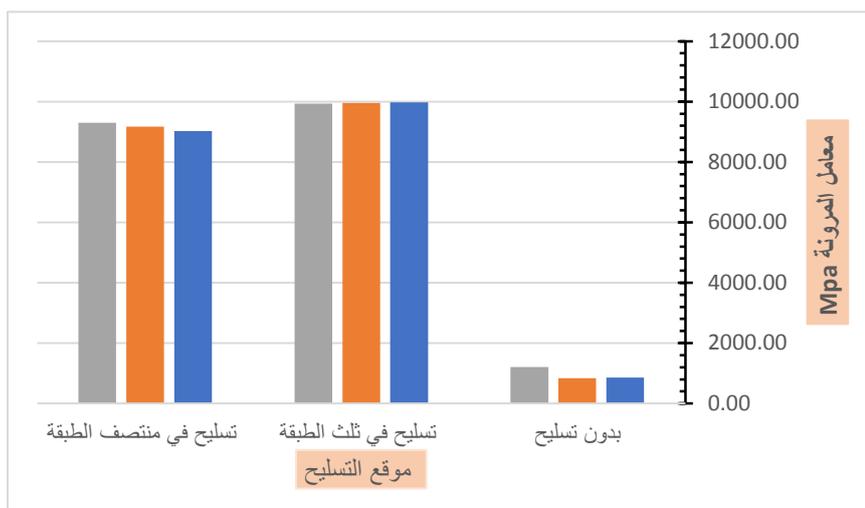
أما الشكل التالي (11) يبين الانتقال الشاقولي ضمن طبقات الرصف للنموذج المسلح بالجيوريد الصناعي:



الشكل (11): الانتقالات الشاقولية ضمن طبقات الرصف للنموذج الثاني المسلح.

### النتائج والمناقشة:

- 1- نتائج اختبار الشد بالانعطاف على عينات قوالب الخلطة الإسفلتية. الشكل (12) يبين قيم معاملات المرونة لعينات القوالب مع وبدون تسليح.



الشكل (12): مقارنة قيم معاملات المرونة لجميع حالات التسليح

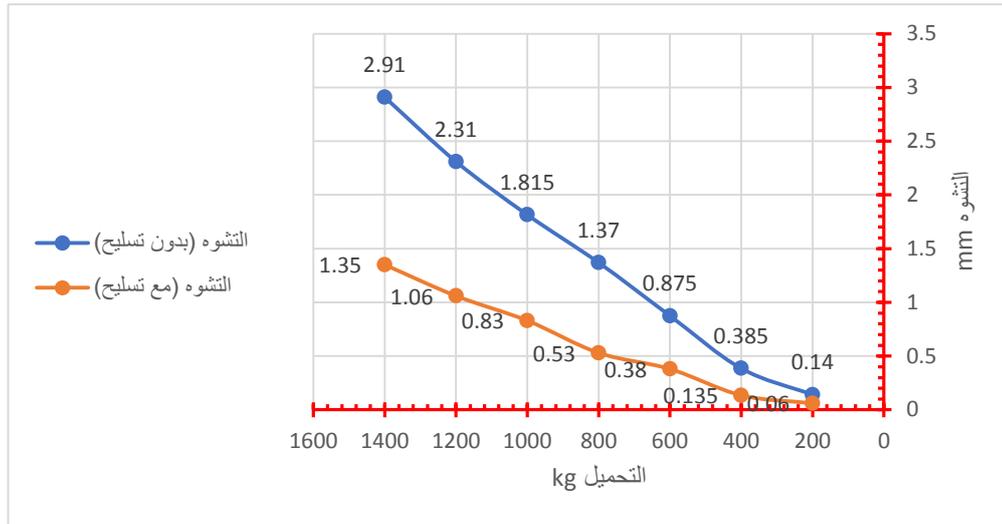
بمقارنة النتائج نجد أن عينات القوالب المسلحة في الثلث السفلي من سماكة القالب أعطيت أفضل قيم لمعاملات المرونة، مما يدل على أنه الموقع الأمثل للتسليح، هذا لا يمنع أن يوضع الجيوغريد في منتصف السماكة للقالب شريطة أن يحقق المواصفات المطلوبة من المجبول الإسفلتي المسلح بالجيوغريد. إن ذلك مؤشر جيد يساعد في إعادة تأهيل الطبقة الإسفلتية في حال فقدت ثباتها بعد عمر تصميمي معين.

2- نتائج اختبار تجربة صفيحة التحميل على الموديل المخبري المسلح بالجيوغريد الصناعي وغير المسلح. للمقارنة بين أداء الرصف بدون ومع تسليح قمنا بتطبيق إجهادات متزايدة على النموذجين تحاكي الإجهادات التي تتعرض لها الطبقات حقيقياً، كل ذلك أعطانا مؤشرات مهمة حول حدوث التحدد وعمقه تحت سطح التحميل من الإجهادات المطبقة على قرص التحميل، حيث تم تسجيل الإجهادات الرأسية على سطح طبقة الخلطة الإسفلتية الحارة، وكذلك عمق تحدد سطح الأسفلت. لمراقبة هذا التحدد، تم استخدام ساعتين لقياس التشوه. حيث تم تسجيل القراءات عند كل قيمة للإجهاد المطبق.

الجدول (8): يوضح قيم التشوهات الشاقولية السطحية للنموذجين (مع وبدون تسليح).

التحميل kg	النموذج غير المسلح			النموذج المسلح		
	الساعة (1) التشوه mm	الساعة (2) التشوه mm	متوسط القياسات	الساعة (1) التشوه mm	الساعة (2) التشوه mm	متوسط القياسات
200	0.18	0.1	0.14	0.12	0	0.06
400	0.27	0.5	0.385	0.17	0.1	0.135
600	0.35	1.4	0.875	0.21	0.55	0.38
800	0.55	1.82	1.37	0.26	0.8	0.53
1000	1.2	2.42	1.815	0.36	1.3	0.83
1200	1.6	3.02	2.31	0.46	1.66	1.06
1400	2.1	3.72	2.91	0.66	2.04	1.35

فيما يلي نتائج التحدد (التشوهات الشاقولية) للنموذجين مع وبدون تسليح عند كل قيمة من قيم الإجهادات المطبقة.



الشكل (13): مخطط الحملات\_ التشوهات للنموذج المخبري مع وبدون تسليح.

ومن الشكل (13) يظهر جلياً على أن عمق التحدد يتناقص مع وجود التسليح حيث كان الفرق بين التحدد بدون تسليح ومع تسليح عند قيمة الإجهاد (0.7 Mpa) المكافئ لحمولة الدولاب (1200 kg) 1.06mm، أي انخفض التشوه في النموذج مع تسليح بنسبة 41.56% بالنسبة للنموذج بدون تسليح.

في هذه الدراسة تم حساب معامل المرونة لكامل طبقات النموذج ككل وفق العلاقة التالية:

$$E = \frac{P * D(1 - \mu^2)}{L}$$

حيث  $P$  الإجهاد المطبق على النموذج ( $\text{kg/cm}^2$ )،  $D$  قطر صفيحة التحميل (cm)،  $L$  الهبوط (التشوه) (cm) معامل بواسون.

تم حساب معامل المرونة وفق العلاقة السابقة لكل من النموذجين مع وبدون تسليح، مبينة بالجدول (3-21)

الجدول (9) يوضح قيم معاملات المرونة لكل من النموذجين مع وبدون تسليح.

معامل المرونة ( $\text{kg/cm}^2$ )	التشوه (cm)	الإجهاد ( $\text{kg/cm}^2$ )	
409.3	0.231	7.02	النموذج الأول (بدون تسليح)
891.9	0.106	7.02	النموذج الثاني (مع تسليح)

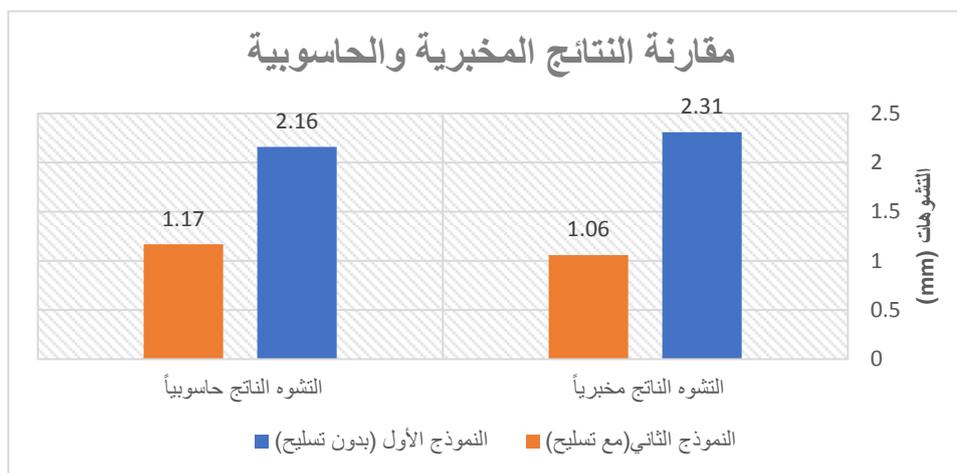
مما سبق نستنتج أن إدراج الجيوبريد الصناعي ضمن طبقات الرصف (في تلت طبقة المبول الإسفلتية ومنصف طبقة الأساس الحصوي) أدى إلى تحسن بقيم معامل المرونة بنسبة 54.1% قياساً بالنموذج بدون تسليح.

### 3- مقارنة بين النتائج المخبرية ونتائج النمذجة الحاسوبية.

بعد عملية النمذجة بطريقة العناصر المحددة بواسطة برنامج PLAXIS 2D والتوصل إلى نتائج التشوهات الشاقولية الحاصلة في كل من النموذجين مع تسليح وبدون تسليح، تم مقارنة هذه النتائج الحاسوبية مع النتائج المخبرية موضحة بالجدول (10) والشكل (14):

الجدول (10): قيم التشوهات الشاقولية الكلية الحاصلة في النموذجين مخبرياً وحاسوبياً.

التشوه الناتج مخبرياً (mm)	التشوه الناتج حاسوبياً (mm)	
2.31	2.16	النموذج الأول (بدون تسليح)
1.06	1.17	النموذج الثاني (مع تسليح)



الشكل (14): نتائج التشوهات الشاقولية للنموذجين (مع وبدون تسليح) مخبرياً وحاسوبياً.

نستنتج أن هناك تشابه بين النمذجة الحاسوبية والنمذجة المخبرية مما يدل على دقة التجارب المخبرية على النموذج المعد في هذا البحث.

وبناءً على هذا الاستنتاج قمنا بدراسة تأثير إدراج الجيوغريد على سماكات طبقات الرصف المرن بواسطة النمذجة الحاسوبية، حيث قمنا بتحليل الموديل (النموذج) بعد تخفيض سماكة طبقة ما تحت الأساس الحصوية من (35 cm) إلى (20 cm) للحصول على التشوهات الشاقولية الناتجة ومناقشة النتائج لدراسة إمكانية تخفيض سماكات الطبقات. تم نمذجة الموديل المسلح وغير المسلح مع سماكة طبقة ما تحت الأساس 20 cm، حيث تم الاحتفاظ بكافة البارامترات الأخرى ثابتة. نلاحظ أن قيمة الانتقال الكلي للنموذج غير المسلح 2.9mm بينما كانت قيمته للنموذج المسلح 1.71 mm. لدراسة إمكانية تخفيض السماكات تم مقارنة نتائج التشوهات الشاقولية، نجد أن إدراج الجيوغريد ضمن النموذج مع تخفيض سماكة طبقة الأساس أدى إلى انخفاض بقيمة التشوهات الشاقولية بنسبة (20.83%) مقارنة مع النموذج الحاسوبي غير المسلح. مما يدل على تحسن أدى الطبقات وتوفير في مواد الإنشاء.

## الاستنتاجات والتوصيات:

### الاستنتاجات:

استناداً إلى كل النتائج السابقة المرتبطة بالتجارب المخبرية على النماذج لطبقات رصف حقيقية وعلى النتائج لنفس النماذج المخبرية ولكن حاسوبياً وجدنا أن هناك جدوى من تسليح طبقات الرصف بالجيوغريد الصناعي ويمكن من خلال كل ذلك تحديد الأماكن المثلى لتوضع تلك الطبقات ونلخص فيما يلي أهم النتائج والاستنتاجات:

(1) فيما يخص تسليح طبقة التغطية الاسفلتية توصلنا الى أن الموقع الأمثل لمادة التسليح بالجيوغريد هو الثلث السفلي لطبقة التغطية الإسفلتية.

(2) فيما يخص سلوك طبقات الرصف للنموذج المخبري تبين أن الهبوطات (التشوهات) تتناقص بشكل ملحوظ عند تسليح طبقات الرصف حيث انخفض الهبوط تحت سطح التحميل بمقدار (41.56%) مقارنة مع النموذج غير المسلح مما يدل على جدوى التسليح بالجيوريد.

(3) إدراج التسليح بالجيوريد ضمن طبقة الأساس الحصوية يخفض بشكل ملموس التشوهات الشاقولية وقد تصل قيمة التخفيض في الهبوطات (20.83%) عدا عن تخفيض سماكة هذه الطبقة بمقدار (42.86%)

(4) فيما يخص النموذج الحاسوبي تبين أن سلوك طبقات الرصف بدون تسليح ومع تسليح يتطابق تقريباً مع السلوك التجريبي على النموذج المخبري حيث كان الفرق بين النموذجين لا يتجاوز (9.4%) للنموذج المخبري مع تسليح وبدون تسليح (6.5%).

#### التوصيات:

(1) نوصي باستخدام مادة الجيوريد في تسليح طبقات الرصف لما لها من فائدة في رفع أداء طبقات الرصف وزيادة ديمومتها.

(2) نوصي بتوسيع البحث باستخدام أنواع مختلفة من الجيوريد الصناعي المعدني المغلفن واللامعدني المسلح بأسلاك فولاذية عالية المقاومة.

(3) نوصي بإجراء اختبارات نوعية على مادة الجيوريد مع المبول الإسفلتي ومواد الرصف المختلفة كاختبارات الثلاثي المحاور الديناميكية لاستنتاج معاملات المرونة والصلابة ومعاملات الارتداد الديناميكية لما لها من أهمية في استنتاج سلوك مواد الرصف بشكل أدق.

(4) يفضل تنفيذ ساحات تجريب لطبقات رصف مسلحة بالجيوريد وخاصة كساحات التحميل وساحات التخزين في المرافئ وخاصة المرافئ جافة.

#### References:

- 1) Sri Widodo, Bambang Sugeng Subagio, and Bagus Hario Setiadji. Geogrid as Asphalt Pavement Reinforcement. Canadian Journal on Computing in Mathematics, Natural Sciences, Engineering and Medicine Vol. 4 No. 4, August 2013.
- 2) G. K.MOUSSA, R.A.ELSAIED AND W A. BEKHEET. REINFORCEMENT OF ASPHALT CONCRETE LAYERS USING BIAXIAL AND TRIAXIAL GEOGRIDS. Department of Civil Engineering, Alexandria University Gamal Abd EL nassr St, Alexandria, ,Egypt.2019.
- 3) Van Zanten, R. V. (1986). Geotextiles and Geomembranes in Civil Engineering, A. A. Balkema Publ., Rotterdam, The Netherlands, 685 pgs.
- 4) Sarsby, R. W. Ed. (2007). Geosynthetics in Civil Engineering, Woodhead Publishing Ltd., Cambridge, England, 295 pgs
- 5) Cuelho, E. V., and S. W. Perkins. 2017. Geosynthetic Subgrade Stabilization – Field Testing and Design Method Calibration. Transportation Geotechnics, Vol. 10, pp. 22–34.
- 6) Ingle, G. S., and S. S. Bhosale. 2017. Geosynthetics Reinforced Flexible Pavement: Review of Laboratory Model Studies. International Journal of Engineering and Technology, Vol. 6, No. 4, pp. 103–107.
- 7) AASHTO. 2001. American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington.