

## تقوية طبقة أساس الخط الحديدي في حالة الترب الضعيفة

د. محمد الشلاش\*

### ملخص البحث

يُعد النقل بالخطوط الحديدية ركيزة أساسية للتنمية الاقتصادية والاجتماعية نظراً لكفاءته وقدرته الاستيعابية العالية. لكن وجود الترب الضعيفة على مسار الخطوط الجديدة يحتاج إلى معالجة لما له من أثر على انخفاض قدرة تحمل أساس الخط أو الهبوط الكبير تحت تأثير الحمولات الديناميكية لمحاور عجلات القطارات. وللتغلب على المشاكل الناتجة عن ذلك فقد تم الحل باستبدال التربة الضعيفة. حيث يتم إزالة الترب ذات المواصفات السيئة واستبدالها بتربة ذات مواصفات أفضل وذات قدرة تحمل مناسبة. ومن الحلول أيضاً التثبيت الكيميائي (بالإسمنت) عن طريق خلط التربة الموجودة بنسبة معينة من الإسمنت مما يؤدي إلى تحسن ملحوظ في خصائصها الميكانيكية (التماسك، زاوية الاحتكاك) وزيادة قدرة التحمل بشكل كبير. ويستخدم الجيوتكستايل الذي يعمل كطبقة فاصلة تمنع اختلاط المواد كما تساعد على توزيع الحمولات على مساحة أكبر، الأمر الذي ينعكس إيجاباً على خفض قيمة الضغوط التي يتعرض لها أساس الخط. في هذا البحث تمت دراسة حالتها الاستبدال لأعلى طبقة الأساس أو تثبيتها بواسطة الاسمنت، بوجود الجيوتكستايل على عينات من تربة على مسار خط حديدي ووفقاً للمواصفات الفنية للخط الحديدي موضوع الدراسة.

الخط الحديدي، تقوية طبقة أساس الخط، تثبيت طبقة الأساس، الجيوتكستايل.

## تقوية طبقة أساس الخط الحديدي في حالة الترب الضعيفة

### 1 - مقدمة:

نظراً للدور الحيوي للخطوط الحديدية في النقل والانعكاس الاقتصادي لتطور شبكات الخطوط الحديدية، فمن الضرورة بمكان ضمان جودة واستقرار وأمان هذه الخطوط.

تشكل الترب الضعيفة تحدياً كبيراً للبنية التحتية للخط الحديدي (الطابق الترابي) وذلك نتيجة انضغاطيتها العالية وضعف قدرتها على تحمل الضغوط الناتجة عن حمولات المحاور للقطارات. وكذلك الأمر حساسية هذه الترب وبالأخص الغضارية للمياه، الأمر الذي يؤدي إلى هبوط غير منتظم للطابق الترابي. ولتفادي ما سبق لابد من تقوية أساس الخط لتحسين قدرته على التحمل والتخلص من الهبوط التفاضلي الناتج عن الحمولات الشاقولية التي يتعرض لها الخط.

### 2 - الهدف من البحث:

سوف نتعرض في هذا البحث للمقارنة والتقييم والفاعلية لطريقتين من طرق تحسين التربة (استبدال جزء من طبقة الأساس والتنبيت بالأسمنت) واستخدام الجيوتكستايل في كلا الحالتين وما يعكس من استخدام هاتين الطريقتين على:

- تحسين توزيع الإجهادات وخفضها على سطح طبقة الأساس.
- تقليل الهبوط وانتظامه.
- زيادة قدرة التحمل للطابق الترابي الخط الحديدي.

### 3- الأساس النظري:

#### 1-3 السلوك الهندسي للترب الغضارية الضعيفة:

للقوف على سلوك الترب الطينية الضعيفة لابد من معرفة الخواص الهندسية لهذه الترب:

- قوة قص منخفضة: تتميز بحبيبات دقيقة جداً (أصغر من 0.002 مم) ومسامية عالية، مما يجعلها ضعيفة وغير قادرة على تحمل الأحمال العالية دون تشوه.
- نفاذية منخفضة جداً: الفراغات بين حبيباتها ضيقة جداً، مما يعيق تسرب الماء منها بسرعة.
- الانضغاطية العالية: بسبب هيكلها المسامي والضعيف، فإنها تتنضغط بشكل كبير عند تطبيق الحمل، حيث يخرج الماء من مسامها ببطء.
- حساسية للماء: تتأثر خصائصها بشكل كبير بمحتوى الرطوبة. عند تشبعها بالماء (وهي الحالة الشائعة في الطبقات العميقة)، تفقد جزءاً كبيراً من قدرة تحملها.
- 3-2 النظريات والأساليب المقترحة لتقوية الأساس الترابي الضعيف
- نعرض فيما يلي الأساليب النظرية المتبعة لتقوية الأساس الترابي الضعيف
- 3-2-1 تحسين خصائص التربة نفسها

- a - مبدأ الاستبدال: إزالة التربة الطينية الضعيفة إلى عمق مناسب واستبدالها بمواد حبيبية ذات نفاذية عالية وقدرة تحمل جيدة (مثل الرمل والحصى المرصوص جيداً [1] . هذا يحل مشكلة الضعف من جذورها ولكن قد يكون مكلفاً للغاية للمساحات الكبيرة.
- b - مبدأ التثبيت الكيميائي: تعتمد على نظرية التفاعلات الكيميائية.
- إضافة مواد مثل الجير أو الأسمنت أو الرماد المتطاير [2] إلى التربة الطينية يؤدي إلى:
- تفاعلات بوزولانية: تكون سيليكات الكالسيوم وألومينات هيدرات، والتي تعمل كمواد لاحمة تربط حبيبات التربة.
- تقليل حد اللدونة ونسبة الانتفاخ عن طريق تعديل التوازن الأيوني على سطح حبيبات الطين.
- زيادة ملحوظة في مقاومة القص ومعامل الصلابة.
- 3-2-2 تسريع عملية الانضغاط
- مبدأ هذه الطريقة هو التحميل المسبق مع ألواح الصرف الرأسية وتعتمد

- على نظرية الانضغاط التي تنص على أن وقت الانضغاط يتناسب طردياً مع مربع أطول مسار تصريف للماء وآلية العمل تتم كما يلي:
- تقوم ألواح الصرف البلاستيكية بتقصير مسار تصريف الماء المسامي من منتصف طبقة التربة إلى السطح، مما يسرع بشكل كبير من عملية الانضغاط والهبوط.
  - يتم تطبيق حمل مؤقت (كدعامة ترابية) لدفع الماء للخروج وليحدث الهبوط قبل بناء الخط، مما يمنع الهبوط المستقبلي بعد تشغيل القطارات.

### 3-2-3 عزل وتوزيع الأحمال:

مبدأ هذه الطريقة هو استخدام المواد الجيوسينثتية.

#### 3-2-3-1 التحسين بواسطة الجيوتكستائل أو الجيوغريد يعتمد على نظرية تقوية

سطح الفصل بين طبقة البلاست وطبقة أساس للخط. المواد

الجيوسينثتية تقاوم قوى الشد مما يؤدي إلى:

a- توزيع الأحمال على مساحة أوسع من التربة الأساس، مما يقلل ضغط التماس.

b - احتجاز حبيبات البلاست ومنعها من الغوص في التربة الطينية اللينة.

c - زيادة مقاومة القص الكلية للطبقة المركبة.

#### 3-2-3-2 التحسين بواسطة الخلايا الصناعية وهي عن إنشاء "فراش مرن" من الخلايا

المملوءة بالتربة أو الرمل، والتي تعمل على عزل طبقة الأساس عن

الأحمال الديناميكية المباشرة وتوزيعها بشكل ممتاز.

### 3-2-4 تجاوز منطقة الضعف

تعتمد على أوتاد تدق في طبقات التربة العميقة المستقرة. تقوم هذه الأوتاد بحمل

معظم الحمل الهيكلي، بينما تقوم حصيرة من المواد الجيوسينثتية الموضوعة

فوق رؤوس الأوتاد بنقل وتوزيع حمل الخط والبلاست إلى الأوتاد، متجاوزة

التربة الطينية الضعيفة.

#### 4- طرق تقوية أساس الخت:

##### 1-4 استبدال تربة الأساس:

ويعتبر هذا الأسلوب فعالاً إذ يُعد استبدال التربة الضعيفة بتربة أفضل أحد الحلول التقليدية والناجعة لتحسين خصائص أساس الخت الحديدي. ويتم بإزالة التربة الطينية ذات المواصفات السيئة واستبدالها بتربة ذات مواصفات أفضل عادة ما تكون رملية أو حصوية [3].

##### 2-4 التثبيت الكيميائي بالأسمنت:

- ومبدأ عمل هذه الطريقة هو التمييه بين الاسمنت والماء والتربة ويؤدي ذلك إلى:
- تخفيض محتوى الرطوبة.
  - زيادة التماسك وتقليل الانضغاطية.
  - تكوين كتلة شبه صخرية.
- وطريقة التطبيق في هذه الطريقة تتم بالخلط السطحي أو العميق لنسب من الاسمنت تتراوح بين 3% إلى 10% من الوزن الجاف للتربة. وقد تم استخدام هذه الطريقة في:
- تحسين الطابق الترابي: لضمان القاعدة القوية والمستقرة التي تقوم بحمل القضبان والعوارض إضافة إلى البلاست وتمنع الهبوط التفاضلي [4].
  - التحكم في الانتفاخ: في التربة الغضارية إذ يمنع الإسمنت التغيرات الحجمية التي تشوه أساس الخت.
  - حماية جوانب الخنادق والمنحدرات: لزيادة استقرارها ومنع انهيارها.
  - دعم الهياكل المجاورة: مثل الجسور والجدران الاستنادية.

##### 3-4 التقوية بالجيوتكستايل:

- ويعتمد على مبدأ تحسين طبقة الأساس من خلال العمل مع هذه الطبقة على:
- الفصل: يمنع فصل الطبقات اختلاط مواد طبقة البلاست أو طبقة ما تحت البلاست مع التربة الطينية الناعمة تحتها بسبب تكرار مرور الحمولات الديناميكية للقطارات أو تسرب المياه [5] وهذا يمنع تغلغل مواد طبقة البلاست أو ما تحت البلاست في طبقة الأساس

- الترابي الضعيف وبذلك تتم المحافظة على سماكة الطبقات الأعلى، وهو أمر هام لاستقرار الخط على المدى البعيد.
- التقوية: تقوم التكرسية الأرضية باستخدام مواد ذات خاصية شد عالية مثل الجيوغريد أو الجيوتكستايل المنسوج، بتوزيع الأحمال الناتجة عن مرور القطارات على مساحة أوسع. هذا يقلل من ضغط التلامس على التربة الطينية ويحد من تشوهها (الهبوط التفاضلي)
  - الترشيح: تسمح التكرسيات غير المنسوجة بمرور المياه الناتجة عن تسرب الأمطار أو ارتفاع المياه الجوفية من التربة الطينية إلى طبقة ما تحت البلاست، مع منع غسل وحمل جزيئات الطين الدقيقة. هذا يحافظ على استقرار التربة.
  - التصريف: تعمل التكرسيات غير المنسوجة السميكة كقناة تصريف أفقية، حيث تسهل التدفق الجانبي للمياه المحبوسة في التربة الطينية نحو أنظمة الصرف الجانبية، مما يسرع في عملية انضغاط التربة ويقلل من وقت المعالجة المطلوب.
- وفيما يلي المواصفات المقترحة لطبقة الجيوتكستايل: وزن المتر المربع من طبقة الجيوتكستايل بحدود  $400 \text{ gr}/\text{m}^2$  وتحمل قوة شد قدرها  $60 \text{ kg}/\text{m}$  ويحقق استتالة بنسبة  $\geq 50\%$  قبل أن يتمزق. ويمتلك خاصية عالية على الثقب.
- وتنفذ هذه الطبقة بحيث يتم تسوية وتمهيد طبقة أساس الخط ثم يتم مد طبقة الجيوتكستايل بحيث يتحقق تداخل بين الألواح أو الصفائح بمقدار يتراوح بين  $30-50 \text{ cm}$  [6]. يتم فرش طبقة ما تحت البلاست ثم طبقة البلاست أعلى طبقة الجيوتكستايل ومجموع سماكة هاتين الطبقتين هو  $50 \text{ cm}$  في حالتنا كان سماكة البلاست  $30 \text{ cm}$  وسماكة ما تحت البلاست هي  $20 \text{ cm}$ ، الشكل (1).

5- حساب الضغوط على سطح أساس الخيط:

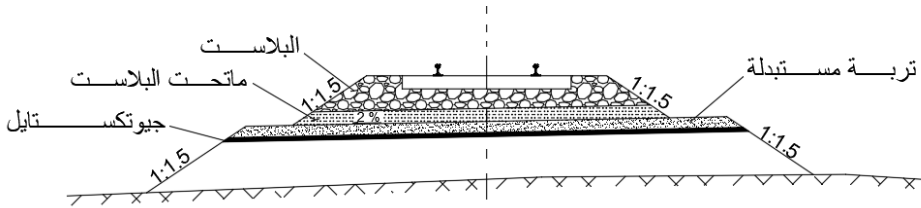
إذا كان عرض العارضة  $b$  وطول الجزء المحمل جزيئاً من العارضة مقاساً من محور

القضيب  $\frac{C_s}{2}$  فإن الضغط على مادة البلاست تحت العارضة مباشرة يعطى بالعلاقة:

$$S_b = \frac{Q}{b \cdot C_s} \quad (1)$$

حيث  $S_b$  : الضغط أسفل العارضة  $kg/cm^2$

$Q$  : قوة ضغط القضيب على العارضة  $kg$ .



الأرض الطبيعية

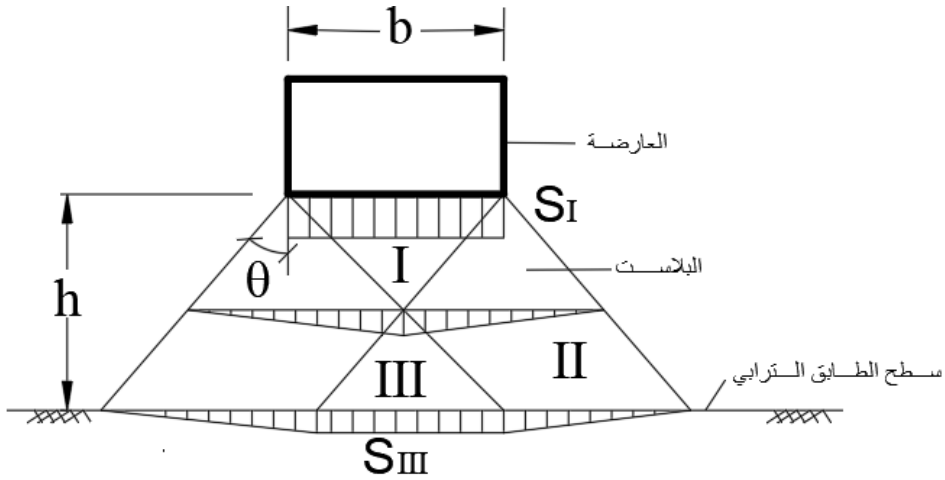
الشكل (1) مقطع عرضي في خط حديدي يبين توزيع طبقة الجيو تكتس تايل

معرفة قيمة الضغط بمادة البلاست وعلى سطح أساس السكة، أجريت قياسات عديدة أمكن على ضوءها تحديد طريقة توزيع هذه الضغوط. استناداً إلى الشكل (2) يمكننا أن نلاحظ ما يلي:

- في المنطقة I: الضغط الرأسي على مادة البلاست يساوي الضغط تحت العارضة مباشرة .SI

- في المنطقة II: الضغط الرأسي يتدرج من صفر عند خط التوزيع الخارجي إلى قيمة SI عند خط التوزيع الداخلي.

في المنطقة III: إذا زادت سماكة مادة البلاست ما بين أسفل العارضة وسطح أساس الخط فإنه يحدث تداخل للمنطقتين II، ووتعطينا ضغوط متساوية مع المستويات الأفقية (منطقة III) وهي أقل من ضغوط المنطقة I، الشكل (2).



الشكل (2) توزيع الضغوط تحت العارضة وضمن البلاست وعلى سطح أساس الخط

وتعطي قيمة الضغط بالعلاقة التالية:

$$S_{III} = \frac{1.5Q}{(3C_S + b)h.tg\theta} \quad (2)$$

حيث:  $h$  سماكة البلاست مقدرة بـ  $cm$ .

$\theta$  زاوية توزع الضغط ضمن البلاست وتساوي:

$\theta = 45^\circ$  لمواد البلاست الجافة ذات التدرج الحبيبي وذات الأسطح المدببة الأطراف.

$\theta = 32^\circ$  لمواد البلاست الرطبة ذات الحبيبات الصغيرة والأسطح الملساء المستديرة.

يجب معرفة قيمة الحمولة التي تتعرض لها العارضة والمنقولة من القضيب. هذه الحمولة تتأثر بالعامل الديناميكي للسرعة التي تسير بها القطارات ومرونة الخط وعزم عطالة القضيب والتباعد بين العوارض. وتعطى قيمة الحمولة عند قاعدة القضيب بالعلاقة التالية باعتبار وقوع المحور على العارضة مباشرة وعدم اعتبار تأثير المحاور [8]، [9] المجاورة:

$$Q = k \cdot y \cdot a \quad (3)$$

$$= k \cdot \frac{P \cdot \beta}{2k} \cdot a = \frac{p \cdot \beta \cdot a}{2}$$

حيث  $Q$ : الحمولة عند قاعدة القضيب بـ  $kg$ .

$k$ : معامل مرونة الخط  $kg/cm^2$ .

$y$ : قيمة الهبوط تحت العارضة  $cm$ .

$a$ : التباعد بين محاور العوارض ( $cm$ ).

$P$ : الحمولة الديناميكية للعجلة الواحدة  $kg$ .

أما قيمة المعامل  $\beta$  فتعطى بالعلاقة التالية:

$$\beta = \sqrt[4]{\frac{k}{4 \cdot E \cdot I}} \quad (4)$$

حيث:

$E$ : معامل مرونة القضيب مقدره وتساوي تقريبا  $2.1 \times 10^6 kg/cm^2$ .

$I$ : عزم عطالة القضيب الحديدي  $cm^4$ .

6- الدراسة العملية:

1-6 الدراسة المخبرية

سوف تتم هذه الدراسة على مشروع الدراسة التحليلية والتنفيذية التي تم إجراؤها لتفريجة الخط الحديدي بين محطتي كفر حلب والمنطقة الجمركية بحلب [7]، وفيما يلي نتائج التجارب المخبرية والخواص الهندسية لبعض العينات المأخوذة، الجدول (1).

الجدول (1) نتائج التجارب المخبرية والخواص الهندسية لعينات التربة.

رقم العينة	1	2	3	4	5
موقع العينة km	39+100	39+700	40+800	41+800	43+500
التماسك	0.12	0.26	0.28	0.2	0.41
زاوية الاحتكاك بالدرجة.	29	13	23	17	13
عامل المرونة $kg/cm^2$	148	29	60	34	51
نسبة المواد الناعمة %	40.1	88.5	69.7	94.4	89.6
نسبة الرمل %	17.3	10.5	28.2	4.7	8.4
نسبة البحص %	42.7	1.0	2.1	1.0	2.0
نسبة الرطوبة %	18.81	23	19.9	24.6	27.2
الوزن الحجمي الرطب $gr/cm^3$	2.07	2.01	1.97	1.92	2.08

2.74	2.75	2.74	2.76	2.74	الوزن النوعي
86.5	68	59	58	64.5	حد السيولة %
40.7	37.3	32.5	25.1	35.7	حد اللدونة %
45.8	30.7	26.5	32.9	28.8	دليل اللدونة %

بالنظر إلى خواص العينة (1) نلاحظ أن قيمة دليل اللدونة  $PI = 28.8\%$  فإن التربة تصنف على أنها طينية ذات لدونة عالية. وهذا النوع من الترب يكون قابل للانضغاط بشدة تحت الأحمال، كما أنها حساسة للماء إذ تتغير خواصها جذرياً مع تغير محتوى الرطوبة. وطالما أن رطوبة العينة لم تصل حد الاشباع فهذا مفضل بشكل عام ولكنها لاتزال معرضة لامتصاص الماء والانتفاخ. كما يلاحظ أن قيمة تماسك هذه التربة منخفضة جداً أما قيمة الاحتكاك فهي جيدة نظراً لوجود نسب جيدة من الرمل والبصص. لذا فإن قوة القص تعتمد بشكل أكبر على زاوية الاحتكاك وهذا الأمر مهم عند اختيار نوع الجيوستاتيل. نلاحظ أن قيمة معامل المرونة منخفضة إلى متوسطة وبالتالي يمكن أن تخضع لهبوط دائم نظراً لقابليتها للانضغاط. أما العينة (2) فتظهر قيمة لدليل اللدونة  $PI = 32.9\%$  وتصنف على أنها غضارية ذات لدونة عالية جداً وبالتالي فهي تظهر حساسية أكبر للماء وسلوك انضغاطي أكبر تحت الحمولات. كما أن التربة أقرب إلى حد اللزوجة بسبب الفرق البسيط بين الرطوبة وحد اللدونة. إن زاوية الاحتكاك الصغيرة لهذه التربة تجعل منها تربة غير مستقرة على الرغم من القيمة العالية للتماسك. من مجمل الخواص لهذه العينة نخلص إلى أن هذه التربة ضعيفة جداً وقابلة للانضغاط وبالتالي لهبوط كبير تحت تأثير الحمولات.

#### 2-6 المواصفات الخاصة بعناصر الخط:

وفقاً للمواصفات الخاصة بالدراسة فإن حمولة المحور هي  $25\text{ ton}$ . وسرعة القطارات التي تسير على هذه التفريعة لا تزيد عن  $60\text{ km/h}$ . من أجل هذه السرعة والسرعات الأقل من  $100\text{ km/h}$  تعطى قيمة معامل الحمولة الديناميكية بالعلاقة التالية:

$$\alpha = 1 + \frac{V^2}{30000} \quad (5)$$

حيث  $V$  : السرعة مقدرة بـ  $km/h$  ، وبالتالي من أجل السرعة المعتبرة  $60km/h$  فإن المعامل الديناميكي هو: 1.12 ومن أجل الحمولة المحورية السابقة الذكر تصبح قيمة الحمل الديناميكي للعجلة هو:

$$P = 1.12 \times \frac{25 \times 10^3}{2} = 14000 \text{ kg}$$

والقضبان المستخدمة هي من نوع  $UIC 60kg/m$  والعوارض هي بيتونية وفيما يلي جدول بخواص القضبان، الجدول (2).

الجدول (2) الأبعاد الهندسية وخصائص القضبان  $60 kg/m$

الوزن $Kg/m$	مساحة المقطع $cm^2$	الارتفاع $y \text{ mm}$	عرض القاعدة $b \text{ mm}$	عرض التاج $a \text{ mm}$	سمك الجسد $mm$	عزم العطالة $cm^4$
60.4	76.86	150	172	72	17	3055

أما بالنسبة للعوارض المستخدمة فهي بيتونية لمسار الخط وخشبية للمحطة، ويوضح الجدول التالي (3) خواص هذه العوارض.

الجدول (3) الأبعاد الهندسية للعوارض.

نوع العارضة	الطول $Cm$	العرض العلوي $cm$	العرض السفلي $cm$	سماكة العارضة تحت القضيب $cm$	وسطي المساحة المحملة $Cm^2$
خشبية	260	25	25	15	1660
بيتونية	240	19.6	28	19	1550

وهكذا يمكننا حساب الضغوط على سطح أساس الخط بعد تحديد قيمة معامل الخط الموافق للتربة والتباعد. وفيما يلي جدولاً بقيم معامل الخط تبعاً لنوع العارضة والتباعد بين محاور العوارض لأنواع مختلفة من التربة.

وعلى اعتبار أن المواصفات الخاصة بالخط تعتمد على تباعد بين محاور العوارض قدره 60  $cm$ ، سوف نقوم بحساباتنا التالية على اعتماد قيم معامل الخط الموافقة لهذا التباعد. ولحساب الضغوط على سطح أساس الخط لابد من تحديد القيمة الدنيا لسماكة طبقة البلاست، الشكل (3) والتي تؤمن الانضغاط التام لسطح طبقة الأساس وتعطى بالعلاقة التالية:

$$h_{\min} = \frac{a-b}{2tg\theta} \quad (6)$$

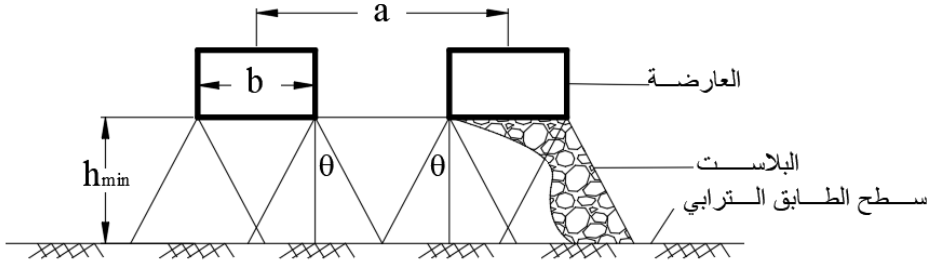
حيث:

$a$ : التباعد بين محاور العوارض.

$b$ : عرض العارضة.

$\theta$  زاوية توزع الضغط ضمن طبقة البلاست. وبالتالي وعلى اعتبار بلاست ذو زاوية توزع ضغط 40 درجة فإن الارتفاع الأدنى لطبقة البلاست  $h_{\min} = 19\text{ cm}$  من أجل العوارض البيتونية و  $h_m = 21\text{ cm}$  من أجل العوارض الخشبية.

سوف نستخدم قيمة لارتفاع البلاست  $30\text{ cm}$  في الحسابات التالية لقيم الضغوط من أجل أنواع طبقة أساس الخيط.



الشكل (3) السماكة الدنيا لطبقة البلاست.

3-6 حساب قدرة التحمل للتربة:

نحسب قدرة التحمل للتربة وفقا لمعادلة مايرهوف [10] التالية:

$$q_{ult} = c.N_c + q.N_q + 0.5 \times \gamma . B . N_\gamma \quad (7)$$

حيث:

$N_c, N_q, N_\gamma$  عوامل تعتمد على زاوية الاحتكاك الداخلي.

حساب قيمة الضغط على سطح التربة اعتمادا على خط توزيع الحمولة ضمن طبقة الحصويات (البلاست وما تحت البلاست).

$$\sigma_z = \frac{P}{(B+Z).(L+Z)} \quad (8)$$

حيث:

$P$ : الحمولة الديناميكية تحت العجلة الواحدة ( $kg$ ).

$B$ : عرض العارضة ( $cm$ ).

$L$ : طول التحميل تحت القضيب الواحد ( $cm$ ).

$Z$ : عمق التحميل ( $cm$ ).

من أجل العينة الأولى وفقا لما هو مبين في الجدول (3) ومن أجل العوارض البيتونية نجد أن الضغط المطبق أسفل العارضة هو:

$$\sigma_s = \frac{P}{B \times L} = \frac{14000}{28 \times 90} = 5.55 \text{ kg/cm}^2$$

بفرض زاوية انتشار الضغط ضمن الحصى هي 38 درجة نجد أن عرض التحميل هو:

$$\begin{aligned} B' &= B + 2h.tg\alpha \\ &= 28 + 50.tg38 = 106cm \end{aligned}$$

وبالتالي فإن الاجهاد الفعال على سطح التربة هو:

$$\sigma_0 = \frac{14000}{106 \times 100} = 1.32 \text{ kg/cm}^2$$

أما الاجهاد المسموح على سطح هذه الطبقة من معادلة مايرهوف:

$$\begin{aligned} \gamma &= 2 \text{ gr/cm}^3 \text{ باعتبار أن الوزن الحجمي للحصى هو:} \\ \text{وارتفاع الحصى } 50 \text{ cm فإن } q &= \gamma.h = 20 \times 0.5 = 10 \text{ kpa} \\ \text{أما العوامل الخاصة بالمعادلة والمرتبطة بزاوية الاحتكاك فهي:} \end{aligned}$$

$$N_c = 28, N_q = 16, N_\gamma = 17.5$$

وبالتالي فإن:

$$q_{ult} = 12 \times 28 + 10 \times 16 + 0.5 \times 27.4 \times 106 \times 17.5 = 750 \text{ kpa} = 7.5 \text{ kg/cm}^2$$

من أجل عامل أمان قدره 3 نجد:

$$q_{all} = \frac{q_{ult}}{3} = 2.5 > \sigma_0 = 1.32 \text{ kg/cm}^2$$

## تقوية طبقة أساس الخط الحديدي في حالة الترب الضعيفة

وبالتالي فالحالة آمنة ولا تحتاج طبقة التربة للتقوية. وفي هذه الحالة يتم استخدام طبقة الجيوتكستائل فقط للفوائد الآتية الذكر أعلاه.

### 4-6 دراسة استبدال أعلى طبقة الأساس

من أجل العينة عند الموقع رقم 4 نجد أنه بعد تطبيق المعادلات السابقة فإن قدرة التحمل المسموحة تساوي  $1\text{kg}/\text{cm}^2$  وبالتالي نجد أن سماكة الطبقة المستبدلة هي  $25\text{ cm}$  تقريباً ونوع التربة المقترحة للاستبدال هي تربة رملية حصوية (A-I-b) درجة رصها لا تقل عن 95% وزاوية احتكاكها لا تقل عن 35 ونسبة المواد الناعمة لا تزيد عن 15%. إذا قمنا بتغيير سماكة الطبقة المستبدلة نلاحظ انخفاضاً في قيم الضغوط التي يتعرض لها سطح الطبقة الأصلية. كما أنه وفي حال تم وضع طبقة الجيوتكستائل فإنه من المفضل وضعها بين الطبقة المستبدلة وتربة الأساس. يلاحظ أن زاوية انتشار الضغط تزداد بقيمة تتراوح بين (5-8 درجات) مما يؤدي إلى زيادة في عرض الانتشار للضغوط بنسبة (15-25%). وهذا ينعكس على تقليل سماكة الطبقة المستبدلة بنسبة 20% تقريباً، الجدول (4).

الجدول (4) يبين قيم السماكات المستبدلة وقيم الضغوط الموافقة.

العينة	1	2	3	4	5
قدرة التحمل المسموح $\text{kg}/\text{cm}^2$	1.34	1.12	1.89	1.00	1.69
سماكة الاستبدال الحسابية، $\text{cm}$	0	18.5	0	20	0
السماكة الدنيا، $\text{cm}$	20	20	20	25	20
السماكة بعد إضافة الجيوتكستائل، $\text{cm}$	15	15	15	19	15

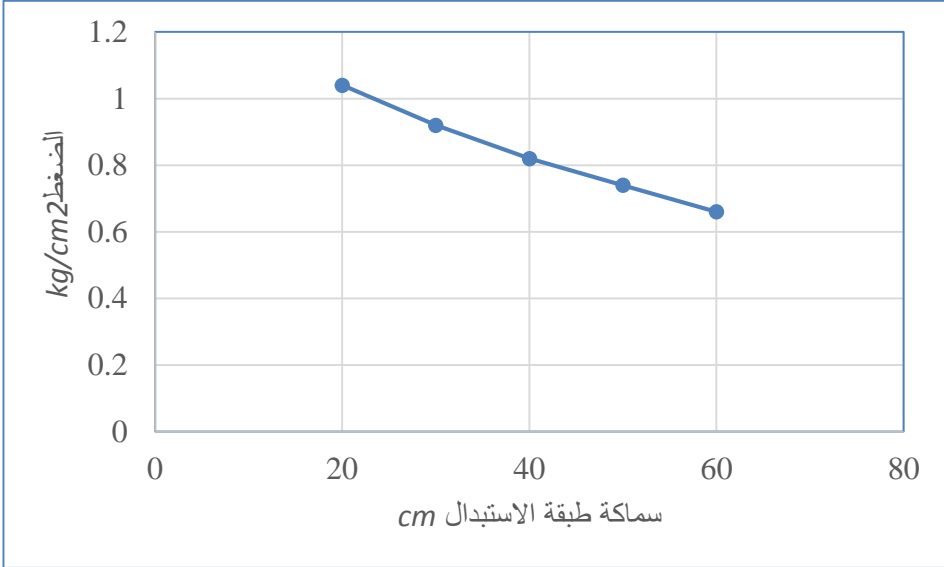
ويظهر المخطط الشريطي التالي مقارنة بين سماكات الاستبدال الدنيا في حالتي استخدام طبقة الجيوتكستائل وعدمها. نلاحظ أن العينات 1 و3 و5 لا يوجد فيها تغير لأن التربة جيدة جداً إلى

متوسطة وبالتالي فإن سماكة الاستبدال الأصلية معدومة حسابيا وقد يوصى باستخدام طبقة بسماك 20 cm وهذه السماكة تنخفض إلى 15 cm عند استخدام طبقة الجيوتكستائل، الشكل (4).

وإذا ما تم تغيير سماكات الاستبدال من أجل العينة رقم 4 ابتداء من 20 cm ثم 30 فـ 40 و50 وأخيرا 60 cm. فمن الملاحظ انخفاض في قيم الضغوط على سطح طبقة الأساس كما يبين الشكل (5). حيث انخفضت قيمة الضغط بنسبة 33% نتيجة زيادة طبقة الاستبدال من 20 إلى 60 cm.



الشكل (4) سماكات الطبقة المستبدلة بدون ومع استخدام الجيوتكستائل.



الشكل (5) العلاقة بين قيم سماكة طبقة الاستبدال والضغط.

#### 5-6 التثبيت الكيميائي بالإسمنت:

إن خلط التربة الضعيفة بالإسمنت سوف ينعكس ايجاباً على زيادة التماسك وزاوية الاحتكاك وبالتالي تحسن قدرة التحمل للتربة. إن نسب الاسمنت المناسبة للخلط تتراوح بين 3 و 10% من وزن التربة الجافة. سوف تتم عملية الحساب من أجل العينة رقم 4. إن المعادلة التي تحسب قيم التماسك الموافقة لنسب خلط مختلفة للإسمنت [11] هي التالية:

$$c_{im} = C_{or} (1 + k. \text{ cement cotent}) \quad (9)$$

حيث:

$C_{im}$ : التماسك المحسن.

$C_{or}$ : التماسك الأولي.

K: معامل يعتمد على نوع التربة تتراوح قيمته بين (3-5). من أجل التربة الطينية

يساوي 4 وهو يوافق حالتنا.

أما بالنسبة لتحسن زاوية الاحتكاك فيمكن حساب قيمها الموافقة لنسب خلط اسمنت مختلفة بالمعادلة التجريبية [12] التالية:

$$\Phi_{im} = \Phi_{or} + (\alpha \cdot \text{cement content}) \quad (10)$$

حيث:  $\Phi_{im}$  : زاوية الاحتكاك المحسنة.

$\Phi_{or}$  : زاوية الاحتكاك الأولية.

$\alpha$  : معامل يعتمد على التدرج الحبي وقيمته بين (10-20)، من أجل الترب

الناعمة كحالتنا يعتبر 15.

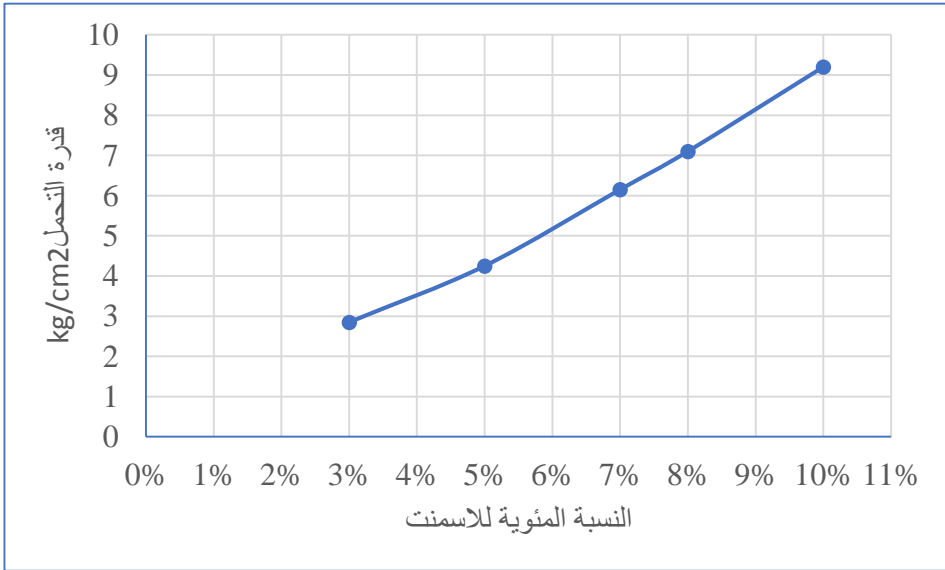
من أجل قيم متزايدة لعيارات الاسمنت تلاحظ تزايد في قدرة تحمل التربة قد تصل إلى أكثر من 600% عند نسبة اسمنت مختارة هي 7% من وزن التربة الجافة. ويبين الجدول (5) التماسك وزوايا الاحتكاك المحسنة وقيم قدرة التحمل الموافقة.

الجدول (5) نسب خلط الاسمنت الخلط وقدرة التحمل الموافقة.

نسبة الخلط بالإسمنت	التماسك المحسن $kg/cm^2$	زاوية الاحتكاك المحسنة بالدرجات	قدرة التحمل $kg/cm^2$
0 (بدون خلط)	0.2	17	1.00
3%	0.44	21.5	2.85
5%	0.60	24.5	4.25
7%	0.76	27.5	6.15
8%	0.84	29	7.1
10%	1.00	32.0	9.20

## تقوية طبقة أساس الخيط الحديدي في حالة الترب الضعيفة

إن سماكة التربة المثبتة هي  $20\text{cm}$  تقريباً، كما أن نسبة ماء الخلط (نسبة الماء إلى الاسمنت) هي بحدود  $w/c = 0.9 - 1.1$ . إن استخدام الجيوتكستائل تحت الطبقة المثبتة يقلل من تشققات الانكماش بنسبة  $40$  إلى  $60\%$ . كما أنه يحسن من توزيع الأحمال على تربة الأساس حيث يزيد من زاوية انتشار الحمولة بمقدار يتراوح بين  $5-10$  درجات الأمر الذي يؤدي إلى انخفاض الضغوط بمقدار يتراوح بين  $15$  إلى  $30\%$ . وإذا ما تم تمثيل العلاقة بين نسبة الخلط بالإسمنت وقدرة التحمل بيانياً نلاحظ أن هذه العلاقة شبه خطية، كما يبين الشكل (6). أضف إلى ذلك أن الجيوتكستائل يمنع اختراق المياه إلى الطبقة المثبتة ويقلل من تأثير الصقيع عليها.



الشكل (6) العلاقة بين نسبة الخلط بالإسمنت وقدرة التحمل.

### 7- النتائج:

من خلال ما تقدم يمكن أن نورد النتائج التالية:

1- إن السماكة التصميمية لطبقتي البلاست وما تحت البلاست (50 cm) كافية لتحمل طبقة الأساس الضغوط التي تتعرض لها في بعض المواقع، مواقع العينات (5-3-1).

2- المواقع التي توافق العينات (4-2) ذات تربة ضعيفة وبالتالي تحتاج إلى معالجة إما باستبدال بتربة ذات مواصفات أفضل لسماكة معينة أو التثبيت بالإسمنت.

3- إن سماكة الاستبدال أو سماكة الطبقة المثبتة بالخلط تنخفض بحدود 5 cm في حال استخدمنا فاصل من الجيوتكستايل لما لها من أثر على زيادة المساحة المعرضة للضغط أعلى سطح أساس الخط.

4- إن النسب المثلى للخلط بالإسمنت للمواقع الضعيفة الأنسب هي بحدود 5-7 % .  
أضف إلى ذلك أن التحسن سيكون للتماسك وزاوية الاحتكاك وبالتالي قدرة التحمل لتربة الأساس.

5- توضع طبقة الجيوتكستايل بين التربة المستبدلة و سطح الأساس أو بين الطبقة المثبتة و سطح الأساس حيث يعمل كعازل ومقوي للطبقة السفلى.

6- إن طرق المعالجة الآتفة الذكر تساعد في ضمان سلامة الخط على المدى الطويل وبالتالي تقليل تكاليف الصيانة.

**7- المراجع:**

- 1- AREMA. Manual for Railway Engineering, Maryland USA: American Railway Engineering and Maintenance, 2024.
- 2- Sariosseiri, F. & Muhunthan, B. Mechanical behavior of Cement-Stabilized Soils, Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, 135(6), 2009.
- 3- Slig, E.T., & Walters, J. M. Track Geotechnology and Substructure Management. London: Taylor & Francics, 1994.
- 4- Federal Highway Administration, Soils stabilization and Modification, Washington, DC: U.S. Department of transportation, 2019.
- 5- Koerner, R. M., Designing with Geosynthetics (6 thed.), Geotextiles, in Separation and Stabilization. Xlibris corporation, 2012.
- 6- Transportation Research Board. Geosynthetic design and Construction Guidelines. Washington, DC: National Academic press, 2018.

- 
- 7- الدراسة الأولية والتنفيذية لمشروع تفريجة الخط الحديدي كفر حلب – المنطقة الجمركية، المؤسسة العامة للخطوط الحديدية السورية، 2004
- 8- Uzarski, D., Introduction to Railroad Track Structure Design Urbana, IL: Railroad Engineering Program, University of Illinois at Urbana- Champaign, 2003.
- 9- Dr. Bernhard Lichtberger., Track Compendium, Hamporg, Germany, Euralpress, 2005.
- 10- Li, D. & Seleg, E. T., Bearing Capacity for Railway Track Foundation using Modified Meyer Approach, Transportation Geotechnics, 2021.
- 11- TRB, Cement Stabilization of Soils: State-of-the-Art Report TRB Circular E-C168, 2012.
- 12- Sariosseiri, F., & Muhunthan, B. (2009). Mechanical Behavior of Cement-Stabilized Soils, Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, 135(6)

## Railway Track Subgrade in Weak Soil Conditions Reinforcement

**Dr. Mohammad AL-shlash**

### Abstract:

Railway transportation is considered a fundamental pillar for economic and social development due to its efficiency and high capacity. However, the presence of weak soils along the track of new railway lines requires treatment, as it negatively affects the bearing capacity of the track foundation and causes significant settlement under the dynamic loads of train axles.

To address the resulting problems, soil replacement has been implemented as a solution. This involves removing soils with poor specifications and replacing them with soils of better quality and adequate bearing capacity. Another solution is chemical stabilization (using cement) by mixing the existing soil with a specific percentage of cement, leading to a noticeable improvement in its mechanical properties (cohesion, angle of internal friction) and a significant increase in bearing capacity.

Geotextile is also used; it acts as a separating layer that prevents material mixing and helps distribute loads over a larger area, which positively reduces the stress levels on the track foundation.

This research studied two cases: replacing the top foundation layer or stabilizing it using cement, in the presence of geotextile, on soil samples from a railway line and in accordance with the technical specifications of the railway line under study.

Keywords: Reinforcement the Railway Track Subgrade, Stabilization of the Subgrade Layer, Geotextile.