

التقييم الجيوتكنيكي لفاعلية مكان طبقات تسليح التربة بالجيوغريد وعددها في الحد من ظاهرة تصدع الطرق التخديمية المجاورة لقنوات الري في منطقة الغاب

د.م. طلال عواد*

المُلخَص

إن تصدع الطرق التخديمية المجاورة لقنوات الري قد تحول إلى ظاهرة شبه عامة في منطقة الغاب. إذ تشير المعطيات كلها إلى أن الانتشار الجانبي للإجهادات في منطقة ميل المنحدر قد أدت إلى تشققات في الأطراف الجانبية للطريق ناتجة عن انتقالات أفقية يمكن أن تكون هي المسيطرة على الانتقالات الكلية. في هذه المقالة يُقدّم تقييم جيوتكنيكي لإمكانية تسليح التربة بالجيوغريد للحد من هذه الظاهرة، إذ دُرِسَت الانتقالات الكلية والأفقية والشاقولية عند طرف الطريق المجاور للمنحدر من خلال سلسلة من النماذج العددية للعناصر المحدودة. وقد دُرِسَت نماذج غير مسلحة ونماذج مسلحة بالجيوغريد في مواضع مختلفة، وقد اختير التوضع ذو الفاعلية الفضلى، كما حدّد معامل النفع ومعامل كفاءة عمل الطريق المسلح بالجيوغريد.

الكلمات المفتاحية: هندسة جيوتكنيكية، استقرار المنحدرات، تسليح التربة، جيوغريد، طريقة العناصر المحدودة.

*قسم الهندسة الجيوتكنيكية - كلية الهندسة المدنية - جامعة دمشق.

المقدمة:

يُحَسَّن أداء الطرق المعبدة بمواد الجيوغريد ($\gamma\epsilon\omicron\gamma\rho\iota\delta$) من خلال توضعها إمّا بين تربة التأسيس وطبقة الأساس أو ضمن طبقة الأساس، إذ تؤدي إلى زيادة قدرة التحمل لتربة التأسيس عن طريق منع القص المحلي، وإعادة توجيه ($\rho\epsilon\omicron\rho\iota\epsilon\nu\tau\alpha\tau\iota\omicron\nu$) إجهادات القص على تربة التأسيس في المنطقة المحملة، وتأمين دعم شد غشائي عند حدوث أحمود عميق . (Γιρουδ, 1985) [6]

تتمثل أحد التأثيرات المفيدة لتسليح الجيوغريد عند السطح الرابط بين طبقة الأساس وتربة التأسيس، Milligan and Love, 1984; Perkins, (1999) [8] في تحمل إجهادات القص المتولدة عند السطح الرابط نتيجة حمولة المرور. ينتج عن عملية التداخل بين الجيوغريد ومواد طبقة الأساس تخفيض الحركة الجانبية لمواد طبقة الأساس، إذ إنّ إجهادات القص المتجهة خارجاً لاتصل إلى تربة التأسيس في الوقت نفسه فإن مواد طبقة الأساس المحصورة تضرب فتحات الجيوغريد مما يؤمن السطح الذي يُقاوم الحركة الجانبية لتربة التأسيس ويزيد قدرة تحملها. كما أن الجيوغريد يسمح بزيادة خصائص التخماد الديناميكي للتربة المسلحة مقارنة بالتربة غير المسلحة؛ وذلك أن الطاقة تُمتص بشكل مباشر من قبل الجيوغريد ذاته نتيجة للاحتكاك المتولد في مرحلة الديناميك (Χαροττι ανδ Ριμολδι, 1998) [3].

إلا أن امتصاص الجيوغريد لإجهادات الشد قد يتغيّر بشكل ملحوظ بتغيّر توضع التسليح. ويعتقد بعض الباحثين بأن الجيوغريد يجب أن يتوضع قرب الحمل (Chan, 1989). في

حين وجد آخرون أنه يجب أن يتوضع قرب القاعدة أو عند منتصف الارتفاع لطبقة الأساس [2] (Broms, 1977). وأظهر Giroud (1985) [6] أنه من أجل الطرق المعبدة المنشأة على تربة التأسيس الطرية (soft subgrades) يجب أن يتوضع التسليح عند قاعدة الأساس أو قريباً.

وقد استخدم Barksdale (1989) [1] طريقة العناصر المحدودة المستوية 2D لتخمين التخفيض في سماكة طبقة الأساس من أجل الجيوسنتيثك القاسي Stiff geosynthetics

1- هدف البحث وأهميته التطبيقية:

هَدَفَ هذا البحث إلى:

§ تفسير ظاهرة تصدع الطرق التخديمية المجاورة لقنوات الري.

§ تقييم مدى فاعلية تسليح التربة بالجيوجريد في الحد من ظاهرة تصدع الطرق التخديمية المجاورة لقنوات الري، استناداً إلى تأثيرها في الانتقالات الكلية U والأفقية U_{xxx} والشاقولية U_{yy} عند طرف الطريق المجاور للمنحدر.

§ تقييم معامل النفع ومعامل كفاءة عمل الطريق.

وتبدو الأهمية التطبيقية للبحث في إمكانية استخدام نتائجه للحد من ظاهرة تصدع الطرق التخديمية المجاورة لقنوات الري أو المجاورة لمنحدر بشكل عام. هذه الظاهرة التي تحولت إلى ظاهرة شبه عامة في منطقة الغاب بمحافظة حماة في سورية. حيث رُصدت هذه الظاهرة في طريق كفر عقيل - الرصيف، وطريق الرصيف - شطحة، وطريق القاهرة - مرداش، والطريق إلى قطرة الريحان، والطريق الموازي للمصرف A15، وغيرهم.

تبدو التصدعات في هذه الطرق على شكل شقوق طولية توازي المصرف المجاور وتقع في أغلبها أقرب إلى المنحدر.

3- طريقة البحث:

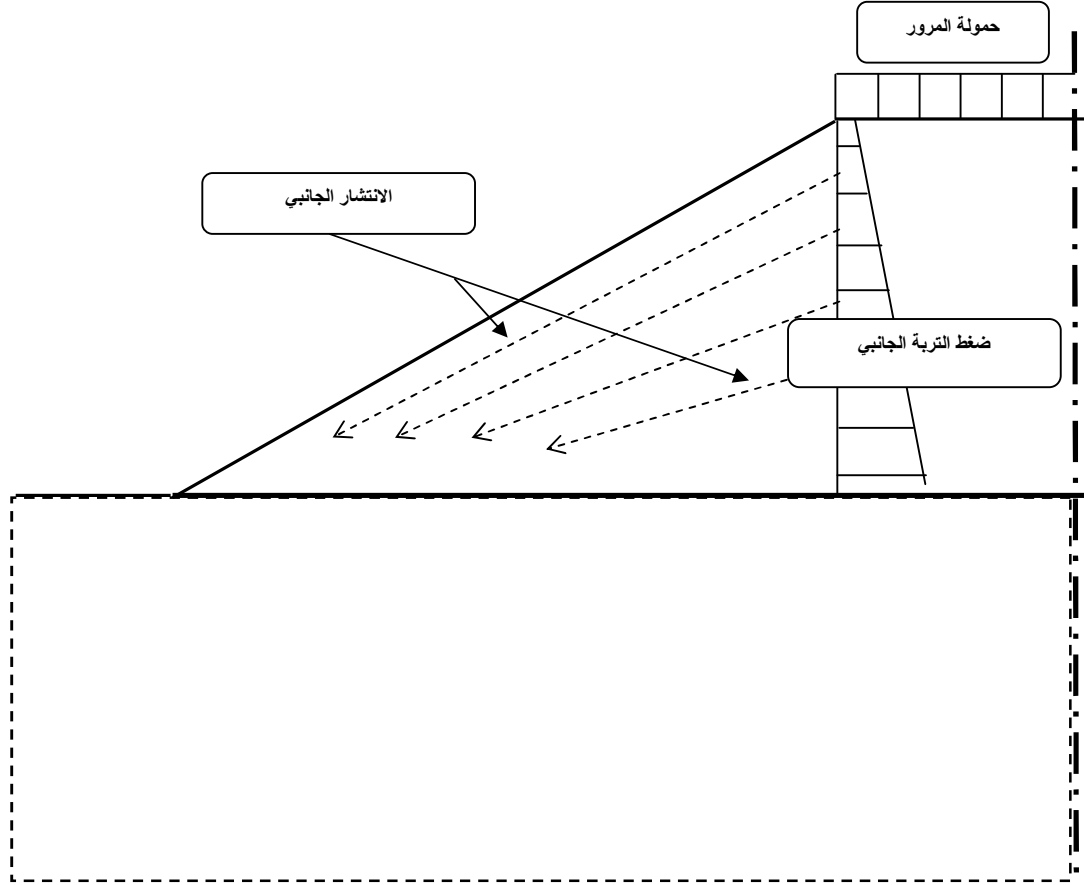
تتجلى منهجية البحث في تحديد الانتقالات الكلية والأفقية والشاقولية في المنطقة الواقعة بجوار طرف الإسفلت المجاور للمنحدر وعلى عمق يساوي إلى **20%** من ارتفاع أساس الطريق. عن طريق سلسلة من الاختبارات النموذجية الواسعة النطاق بالطرائق العددية (العناصر المحدودة) باستخدام برنامج **PLAXIS 2D**.

تنتج الانتقالات الأفقية عن الانتشار الجانبي للإجهادات في منطقة ميل المنحدر، إذ إن تربة الأساس لا تخضع فقط إلى حمولات شاقولية نتيجة حمولات المرور والوزن الذاتي للردمية لكن تخضع أيضاً إلى قوى أفقية نتيجة انتشار حمولات المرور والضغط الجانبي للتربة اللذين يؤديان إلى تشوهات أفقية وتشققات في الأطراف الجانبية للطريق المجاورة لميل المنحدر كما هو موضح في الشكل (2).

هذه الشقوق كبيرة، يصل عرضها إلى 30Cm وتمتد في العمق لتخترق كامل سماكة الرصف وتتجاوزها. يبيّن الشكل (1) نماذج من هذه التصدعات.



الشكل (1) نموذج التشققات في الطرق التخديمية في منطقة سهل الغاب في سورية



الشكل (2) يبيّن الانتشار الجانبي للإجهادات في منطقة ميل المنحدر

3-1. النماذج المدروسة:

دُرِسَتْ أربعة نماذج إذ وُضِعَ التسليح في أماكن مختلفة، وقد كان النموذج الصفري MT0 من دون تسليح، أمّا في النموذج الأول MT1 فَوُضِعَتْ طبقة واحدة من الجيوريد ضمن الثلث السفلي من ارتفاع طبقة أساس الطريق بحيث ترتفع عن أسفل هذه الطبقة بـ **10 cm**، وكان النموذج الثاني MT2 مع طبقتين من الجيوريد ضمن النصف السفلي من ارتفاع أساس الطريق حيث وضعت طبقة أعلى

قاعدة أساس الطريق بـ **10 cm** وطبقة تعلوها بـ **15 cm**). ووضعت في النموذج الثالث MT3 طبقة واحدة من الجيوريد ضمن الثلث العلوي من ارتفاع أساس الطريق كما هو موضّح في الجدول رقم (1). وقد اعتمد النموذج MT0 للمقارنة بالنماذج الأخرى MT1، MT2، MT3 بهدف تحري التغيرات الناتجة عن استخدام التسليح بالجيوريد.

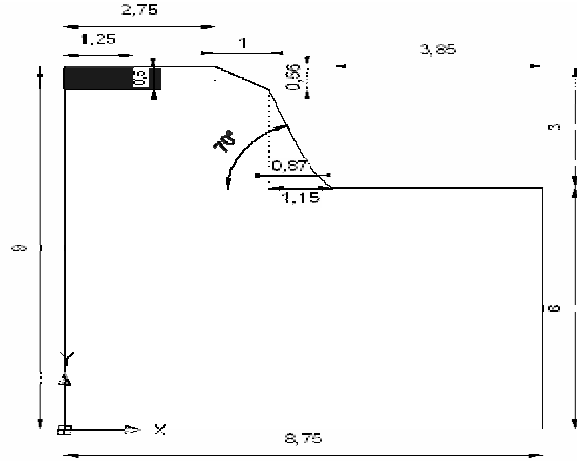
الجدول (1) بيّن نماذج الاختبار

نموذج الاختبار	التسليح بالجيوجريد	القياس		
		الانتقالات الكلية	الانتقالات الشاقولية	الانتقالات الأفقية
MTO	من دون تسليح بالجيوجريد	ü	ü	ü
MT1	مع طبقة واحدة من الجيوجريد أعلى قاعدة أساس الطريق بـ 10 cm	ü	ü	ü
MT2	مع طبقتين من الجيوجريد طبقة أعلى قاعدة أساس الطريق بـ 10 cm وطبقة تعلوها 15 cm +	ü	ü	ü
MT3	مع طبقة واحدة من الجيوجريد في الثلث العلوي من ارتفاع أساس الطريق	ü	ü	ü

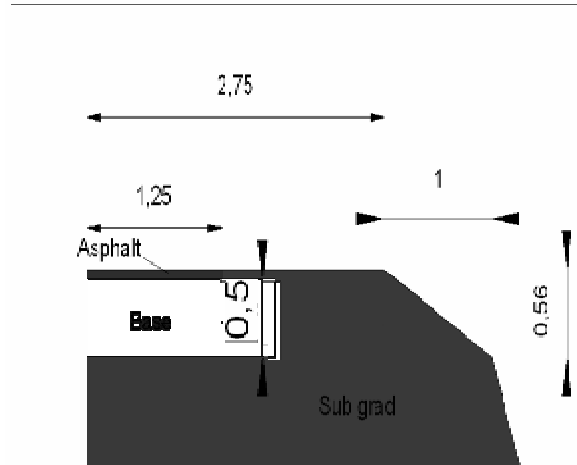
- عرض طبقة أساس الطريق **6 m** بسماكة **50 cm**. وتسد هذه الطبقة إلى تربة غضارية سلتية ضعيفة.
 - أقصى حمولة محور تتعرض لها **120 KN**.
 - الغزارة المرورية 10 سيارات باليوم تقريباً.
 - حصلت التشققات بعد سنة واحدة من الإنشاء تقريباً.
- تتوضح العلاقة بين الطريق والمنحدر المجاور في الشكل رقم (3)، وقد أخذت الأبعاد بشكل وسطي واعتمدت لإنجاز هذه الدراسة. كما بيّن الشكل رقم (4) توضع التسليح بالجيوجريد في نماذج الاختبار.

- دُرست إحدى الطرق الموجودة في منطقة سهل الغاب في سورية حيث ظهرت تشققات كبيرة بجوار طرف الإسفلت المجاور للمنحدر من سطح الإسفلت. ويمكن عدّ مقطع هذه الطريق ومواصفاته نموذجياً بالنسبة إلى الطرق التخديمية المجاورة لقنوات الري في الغاب.
- هذه الطريق لها الخصائص الآتية:
- متوضعة بجوار قناة ري.
 - عرض الإسفلت في الطريق **5m** بسماكة **6 cm**.

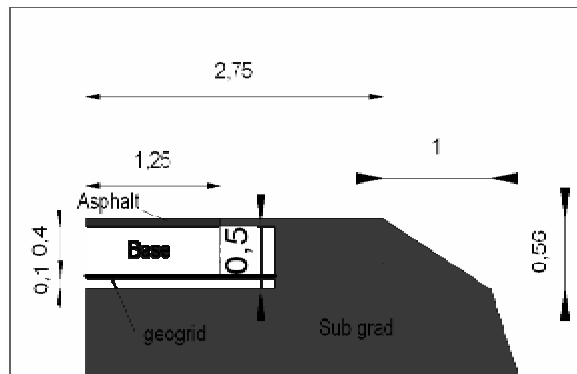
التقييم الجيوتكنيكي لفاعلية مكان طبقات تسليح التربة بالجيورفيد وعددها في الحد من ظاهرة تصدع الطرق التخديمية المجاورة لقنوات الري في منطقة الغاب



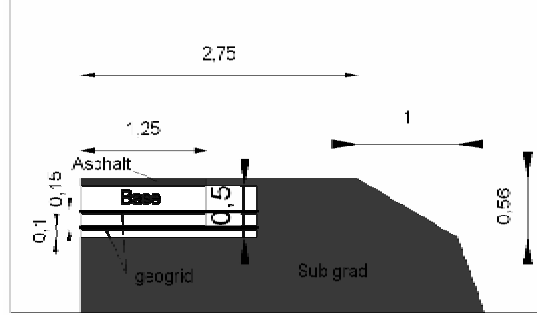
الشكل (3) يبين الأبعاد الهندسة للمسألة المدروسة



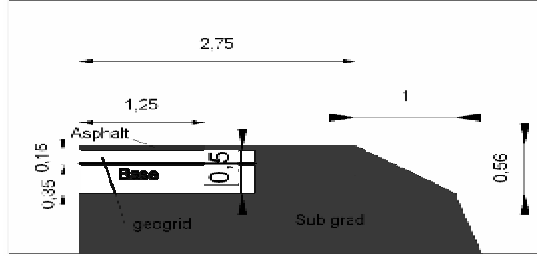
الشكل (4 - أ) نموذج الاختبار MT0



الشكل (4 - ب) نموذج الاختبار MT1



الشكل (4-ج) نموذج الاختبار MT2



الشكل (4-د) نموذج الاختبار MT3

ومن ثمَّ فإنَّ الدور اللازم لتطبيق طور من الحمل الديناميكي الجيبي $T = 1/20 = 0.05 \text{ Sec}$ ولتمثيل الحمل النبضي أُخذَ نصف طور الحمل الديناميكي الجيبي $T' = 0.025 \text{ Sec}$ ، أيَّ إنَّه إذا بدأ الحمل الديناميكي في الزمن $t_1 = 0 \text{ Sec}$ فإنه ينتهي في الزمن $t_2 = 0.025 \text{ Sec}$ ، ونظراً إلى أن حمل المرور لا يطبق بشكل مستمر على الطريق فهناك مدة راحة. وقد عُدَّ النصف الثاني من طور الحمل الديناميكي يمثل مدة الراحة (مدة احتمال عدم مرور حمولة المرور) وذلك بتطبيق حمل مساوٍ للصفر خلال مدة $\Delta t = 0.025 \text{ Sec}$ كما يظهر في الشكل (5).

وقد كُرِّرَت هذه الحمولة النبضية بشكل منتظم في النموذج المدروس لزمن تحميل $t = 1.05 \text{ Sec}$ ، أيَّ كُرِّرَت الحمولة النبضية بمقدار 20.5 نبضة.

2-3. خصائص الحمل المطبق:

دُرِسَت استجابة الطرق تحت الأحمال الديناميكية حيث تمَّ مكافئة حمولة المرور بحمولة نبضية جيبيية وفق التابع:

$$F = \bar{F} \cdot \sin(\omega t + \phi_0)$$

إذ:

F : الحمولة النبضية

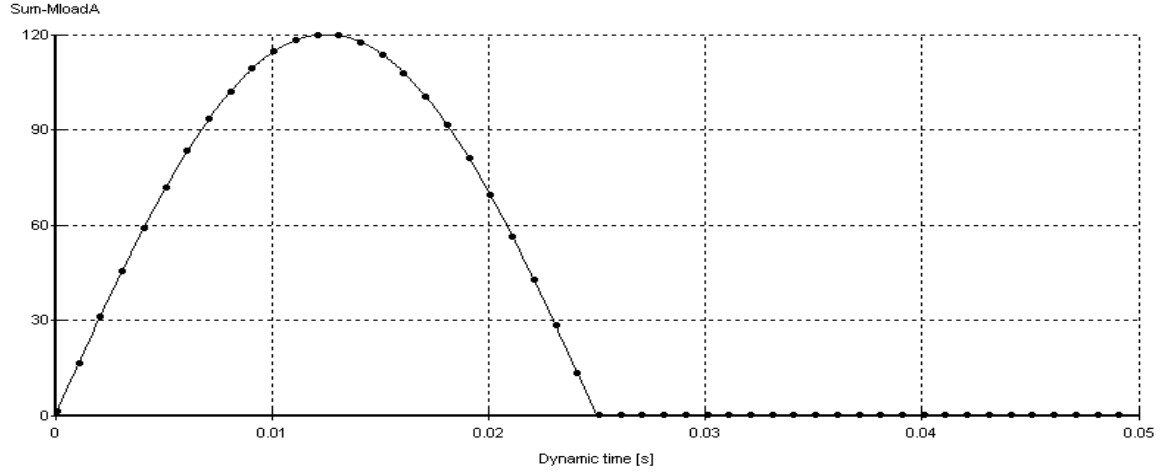
\bar{F} : السعة العظمى للحمولة النبضية وتقدر بـ $\bar{F} = 120 \text{ KN}$ وهي أقصى حمولة محور أحادي يمكن أن يمر على الطريق المدروس.

$$\omega = 2\pi f$$

f : تواتر الحمولة الديناميكية وهي عدد مرات تكرار الحمولة في وحدة الزمن (الثانية) وتقدر بـ

$$f = 20 \text{ Hz}$$

التقييم الجيوتكنيكي لفاعلية مكان طبقات تسليح التربة بالجيوريد وعددها في الحد من ظاهرة تصدع الطرق التخديمية المجاورة لقنوات الري في منطقة الغاب



الشكل (5) يبين الحمولة النبضية الديناميكية

3- خصائص المواد: كما إعتمدت المواصفات المرجعية لطبقة الإسفلت والجيوريد. تزد خصائص المواد التي اعتمدت في وأختبرت لتحديد المواصفات التي اعتمدت في الدراسة، الدراسة في الجدول رقم (2) الجدول (2) يبين خصائص المواد

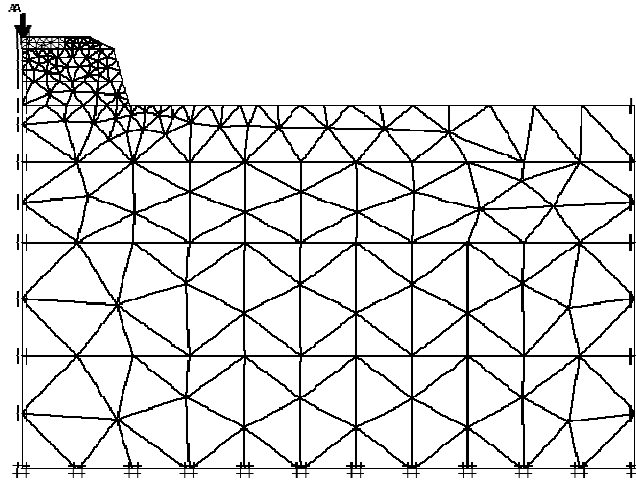
Material	Asphalt	Base	Subgrade	Geogrid
Material model	AC	aggregate Granular	CLAY	Polymer
Model of behavior	Mohr coulomb	Mohr coulomb	Mohr coulomb	Elastic
Type of behavior	drained	drained	drained	Drained
Phreatic level	-	-	-	-
Thickness (mm)	60	500	-	-
Elastic modulus (MPa)	1000	200	6.5	-
Poisson's ratio	0.3	0.35	0.35	0.25
Unit weight (kN/m ³)	23	19	14.8	-
Cohesion (Kpa)	14	6	22.5	-
Friction angle (°)	39	39	9	-
Dilatation angle (°)	0	8	0	-
K0	0.37	0.371	0.844	-
EA (KN/m)	-	-	-	1500

3-4. التحليل بطريقة العناصر المحدودة:

حُلَّ انتشار الإجهادات المتمثلة في الاتجاهات الثلاثة (axisymmetric analysis) وفق معيار موهر كولومب إذ إنَّ الخصائص الديناميكية لا يمكن تمثيلها إلا في النموذج ثلاثي الأبعاد 3D، أُجريت شبكة العناصر المحدودة النموذجية باستخدام عناصر مثلثية بـ (15-nodes).

استخدم الجيوغريد كجملعة داخلية ضمن الطبقة لامتصاص التشوه. ووضع سطح رابط كامل الصلادة (interface) أسفل الجيوغريد وأعلى يسمح بالتشوه النسبي بين الجيوغريد وطبقة الاتصال من التربة. وقد اعتمد الإجراء التكراري (Iterative procedure) من أجل الحل لتخفيض الخروج الطبيعي لقوى التوازن. وقد حُلَّت بالشروط المصرفة دون ضغط مسامي.

عُدَّت حدود النموذج الخارجية حتى نقاط تتلاشى فيها التشوهات والإجهادات قبل إنشاء الطريق وبعده كما هو مبين بالشكل (3). كما حُدِّد الشكل الهندسي والأبعاد للنموذج بما يتوافق مع الخطوط الأساسية لمكونات المسألة. حددت الشروط المحيطة بوصفها ممنوعة من الانتقال الأفقي للحدود الجانبية الشاقولية للنموذج وممنوعة من الانتقال الأفقي والشاقولي للحدود السفلى الأفقية للنموذج. وجُعِلت الحدود الجانبية اليمنى والسفلى حدود ماصة (Absorbent boundaries) لارتداد الحمل الديناميكي، لم تُوضَع حدود ماصة عند الحدود الجانبية اليسرى لأن التحليل يعتمد (analysis axisymmetric). ولدَّت شبكة العناصر المحدودة حيث كُتِفَتْ في منطقة ميل المنحدر والمنطقة المحيطة بالحمولة وطبقة الإسفلت وطبقة الأساس المبيّنة في الشكل (6).



الشكل (6) شبكة العناصر المحدودة النتائج والمناقشة

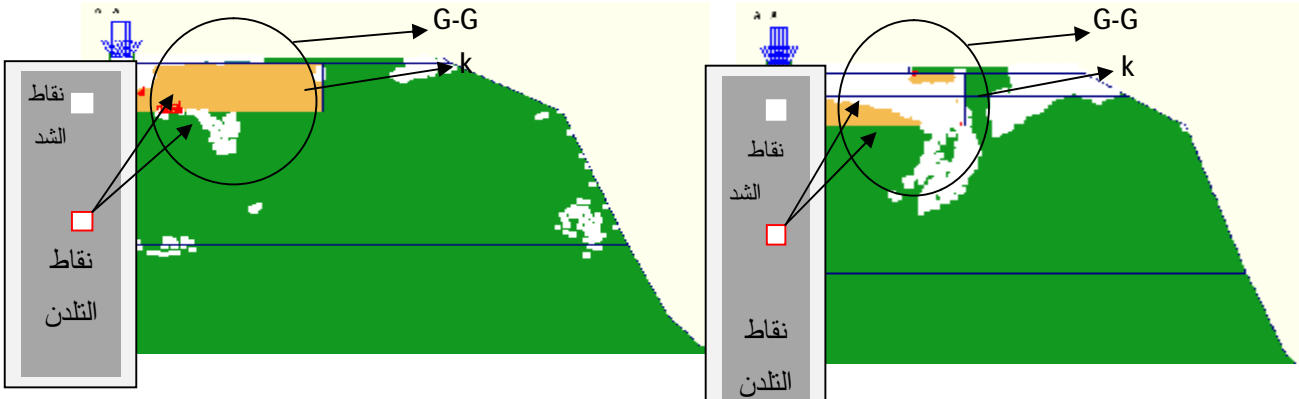
1-4. تفسير ظاهرة ظهور التشققات:

يمكن أن نستقرأ من النتائج ما يأتي:

نلاحظ ظهور الشد في المنطقة G-G عند بداية التحميل (t=0.05 Sec) ثم تبدأ بتلاشي بالتدرج مع تقدم التحميل (t=1.05) ولكن تبقى منطقة طرفية من الإسفلت، وكذلك منطقة التربة التأسيس أسفل الأساس يظهر فيها بعض الشد أي أن الانتقالات الأفقية في هذه المنطقة الطرفية مازالت مستمرة وتزايد بشكل شبه خطي وبشكل سريع نسبياً كما يظهر في المنحنى $MT0, U_{xx}$ في الشكل (9) وهذا ما يؤيد أن هذه المنطقة قد تكون عرضة إلى ظهور تشققات فيها كما تصل بعض النقاط عند سطح تربة التأسيس أسفل الأساس إلى التلدن والانهييار

إن القراءة الاستقرائية للنتائج التي تم التوصل إليها في نموذج الاختبار MT0 يمكن أن تفسر ظاهرة ظهور التشققات في الأطراف الجانبية للطريق المجاورة لميل المنحدر، كما تؤكد صحة الفرضيات التي انطلقنا منها.

وقد درُست المنطقة المجاورة للحمولة G-G كما في الشكل (7)، (8) لأن التشققات الحاصلة في الطريق حصلت في هذه المنطقة. كما درُست منحنيات الانتقالات التي رُصدت عند النقطة K الواقعة بجوار طرف الإسفلت المجاور للمنحدر وعلى عمق يساوي $18\text{ cm} = 20\%$ من ارتفاع أساس الطريق.

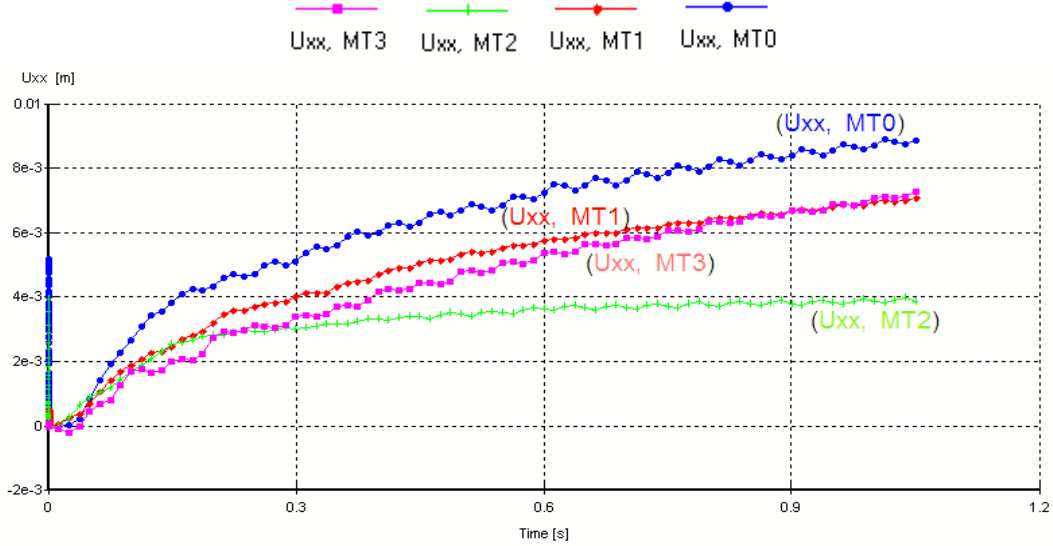


الشكل (8) نقاط الشد ونقاط التلدن عند التحميل (t=1.05 sec) لنموذج

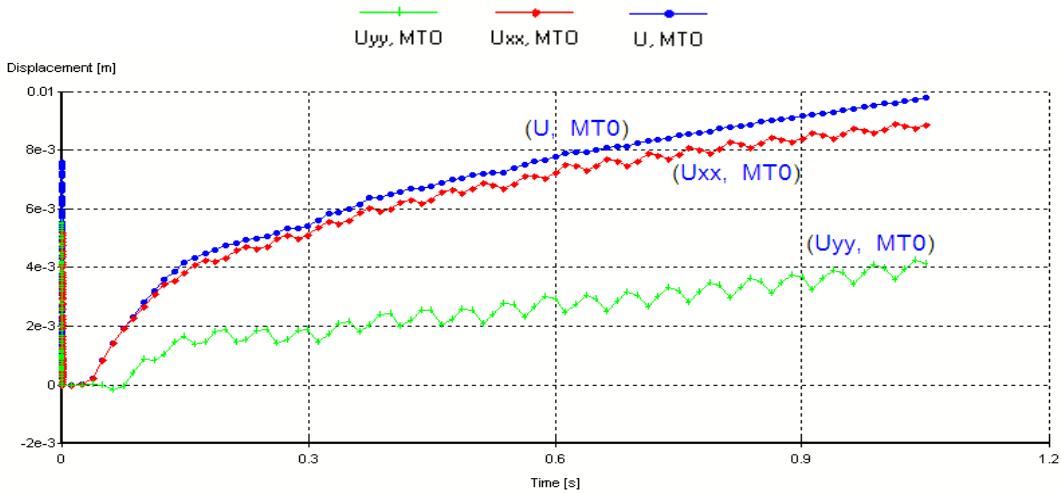
الاختبار MT0

الشكل (7) نقاط الشد ونقاط التلدن عند التحميل (t=0.05 sec) لنموذج

الاختبار MT0



الشكل (9) منحنى الزمن الديناميكي-الانتقال الأفقي لنماذج الاختبار عند النقطة (K)



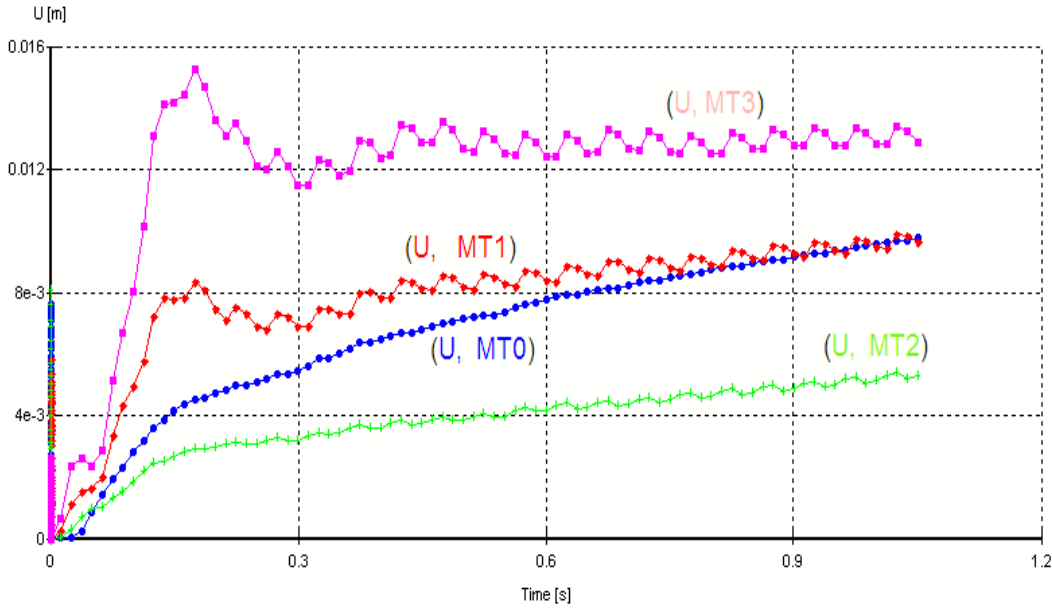
الشكل (10) منحنى الزمن الديناميكي-الانتقال لنموذج الاختبار MT0 عند النقطة (K)

- (1) بيّن التحليل أن المنطقة G-G وجوار النقطة K تتركز بها انتقالات أفقية أعظمية تبلغ قيمتها $11 \cdot 10^{-3} \text{ m}$ وهذا ما يؤيد أن هذه المنطقة قد تكون عرضة إلى ظهور تشققات فيها.
- (2) نلاحظ أن الانتقالات الكلية أقرب إلى الانتقالات الأفقية من الانتقالات الشاقولية إذ نجد لهما خطأً بيانياً
- (3) بيّن التحليل أن عامل أمان المنحدر يبلغ 2.5 وهذا دليل على أن سبب التشقق هو انتشار الإجهادات في منطقة الميل وليس بسبب عدم استقرار الميل.

معها مع تقدم التحميل كما في الشكل (11). إن الانتقالات الأفقية أقل منها في MT0 في مراحل التحميل كلها ولكنها تزايد بشكل مواز لـ MT0 كما في الشكل (9) وبالمقابل فإن الانتقالات الشاقولية تتناقص مع التحميل بحيث تسعى لأن تكون حاصلتها مع الانتقالات الأفقية المتزايدة مساوية للانتقالات الكلية في MT0 كما في الشكل (12).

كما أن المنطقة G-G تبقى معرضة إلى إجهادات شادة وإجهادات أفقية دلالة على استمرارية الانتقالات بشكل كبير نسبي .

U, MT3 U, MT2 U, MT1 U, MT0



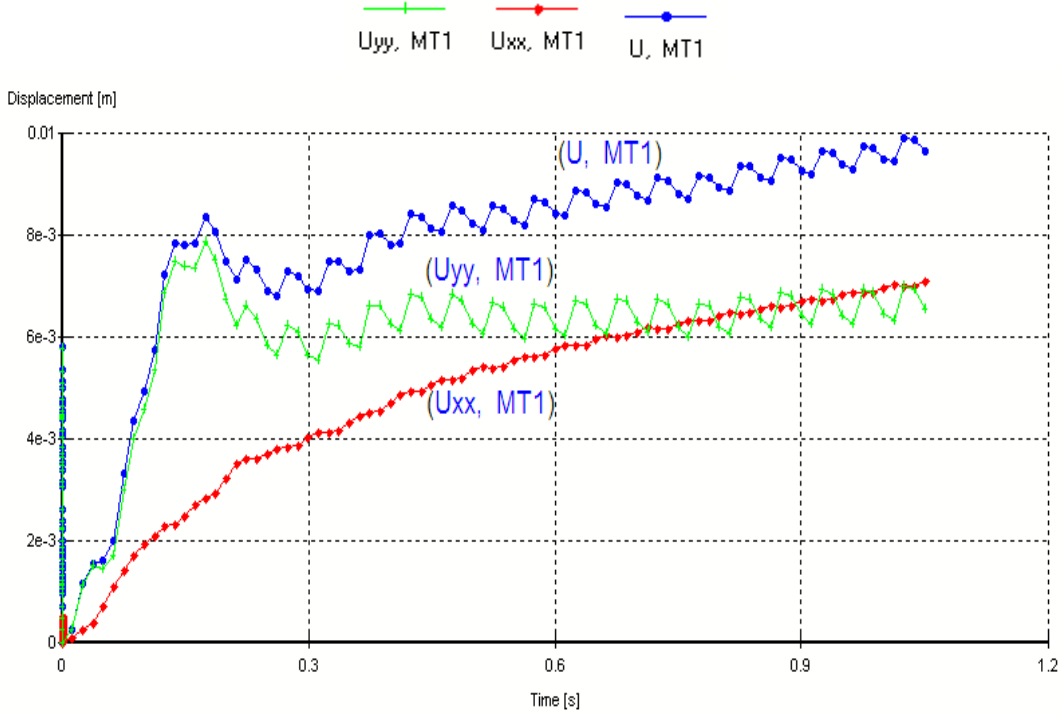
الشكل (11) منحني الزمن الديناميكي-الانتقال الكلي لنماذج الاختبار عند النقطة (K)

بناء على ما توصلنا إليه من النتائج اقترح وضع مادة الجيوريد كمادة يمكن أن يكون لها جدوى في الحد من ظهور هذه الظاهرة، أو في زيادة مدة خدمة الطريق حيث وُضعت هذه المادة في عدة مواضع، كما هو مبين في الجدول (1).

4-2. تقييم مدى فاعلية تسليح التربة بالجيوريد:

بعد تحليل نماذج الاختبار المبينة في الجدول (1) ورصد النتائج في المنطقة G-G وعند النقطة K:

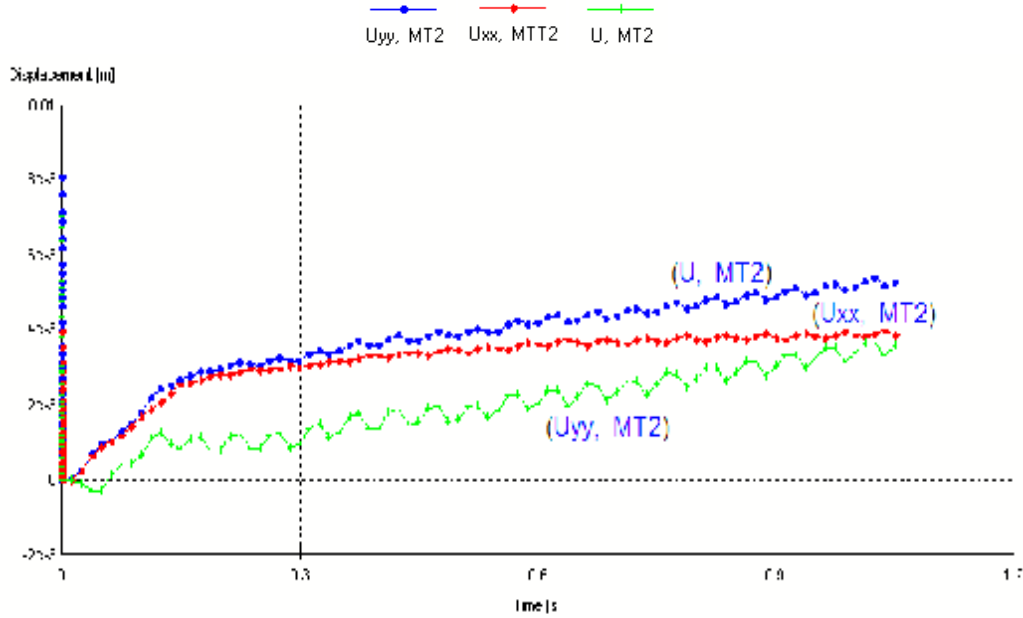
في نموذج الاختبار MT1 نلاحظ أن الانتقالات الكلية أكبر منها في MT0 في مراحل التحميل الأولية ثم تتساوى



الشكل (12) منحني الزمن الديناميكي-الانتقال لنموذج الاختبار MT1 عند النقطة (K)

في نموذج الاختبار MT2 نلاحظ أن الانتقالات الكلية أقل بكثير منها في MT0 في مراحل التحميل كلها كما في الشكل (11). كذلك فإن الانتقالات الأفقية أقل بكثير منها في MT0 في مراحل التحميل كلها وتزايد بشكل بطيء جداً وتسعى إلى الثبات دلالة على أن الانتقالات الشاقولية هي التي تزداد، كما أن الفرق مع MT0 يزداد مع تقدم التحميل كما في الشكل (9) وتزداد قيمة الانتقالات الأفقية من $3e^{-3}m$ عند طرف الطريق إلى $11e^{-3}m$ بعيداً عن الطريق في الجزء العلوي من الميل وتكون الانتقالات الشاقولية صغيرة وتزداد بشكل بطيء مع تقدم التحميل لتتعاود مع الانتقالات الأفقية بحيث تفقد الانتقالات الأفقية سيطرتها على الانتقالات الكلية كما في الشكل (13)، وتكون المحصلة أقل بكثير مما في MT0 وتسعى إلى الثبات كما في الشكل (11).

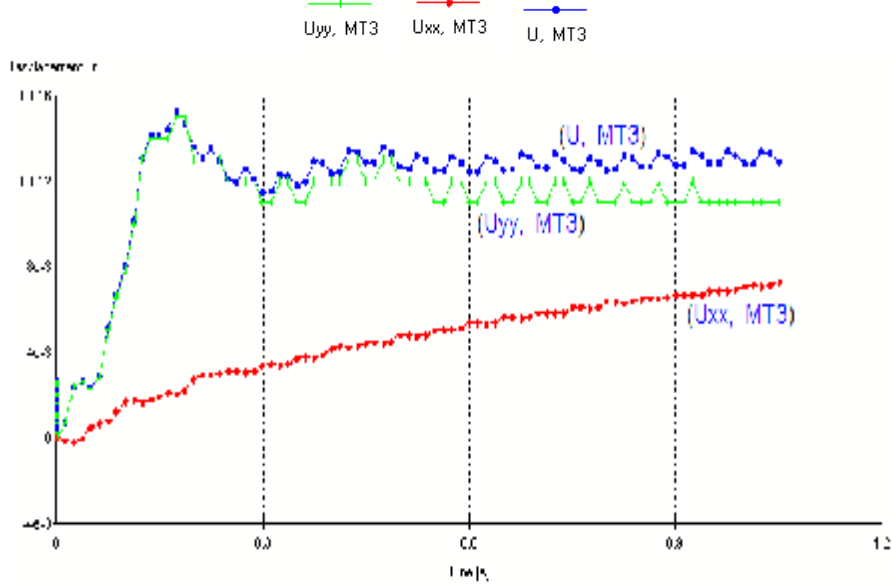
في نموذج الاختبار MT2 نلاحظ أن الانتقالات الكلية أقل بكثير منها في MT0 في مراحل التحميل كلها كما في الشكل (11). كذلك فإن الانتقالات الأفقية أقل بكثير منها في MT0 في مراحل التحميل كلها وتزايد بشكل بطيء جداً وتسعى إلى الثبات دلالة على أن الانتقالات الشاقولية هي التي تزداد، كما أن الفرق مع MT0 يزداد مع تقدم التحميل كما في الشكل (9) وتزداد قيمة الانتقالات الأفقية من $3e^{-3}m$ عند طرف الطريق إلى $11e^{-3}m$ بعيداً عن الطريق في الجزء العلوي من الميل وتكون الانتقالات الشاقولية صغيرة وتزايد بشكل بطيء مع تقدم التحميل لتتعاود مع الانتقالات الأفقية بحيث تفقد الانتقالات الأفقية سيطرتها على الانتقالات الكلية كما في الشكل (13)، وتكون المحصلة أقل بكثير مما في MT0 وتسعى إلى الثبات كما في الشكل (11).



الشكل (13) منحنى الزمن الديناميكي-الانتقال لنموذج الاختبار MT2 عند النقطة (K)

الثبات كما في الشكل (11). كما أن المنطقة G-G تبقى معرضة إلى إجهادات شادة وإجهادات أفقية دلالة على استمرارية الانتقالات بشكل كبير نسبي .
بناءً على ما تقدم أعلاه نجد أن نموذج الاختبار MT2 يعطي نتائج فعالة وجيدة في الحد من ظهور ظاهرة التشقق أو زيادة في مدة خدمة الطريق. في حين نموذج الاختبار MT1، MT3 لم تعطيا نتائج فعالة وإنما نتائج سلبية خصوصاً النموذج MT3. يعزى ذلك أن الجيوغريد كان في موضع لا يسمح له باتخاذ وضعية بحيث يتشوه بشكل متناسب مع التربة، وإنما كان يعمل كمادة فاصلة بين جزيئات التربة منعت من عملها مع بعض مما أدى إلى حصول انتقال كبير، ولكن بالمقابل نلاحظ أن بعد أن تشوهت التربة بشكل كبير تمكن الجيوغريد من أن يأخذ وضعية تسمح له بالعمل مع التربة إذ نلاحظ سعي الانتقالات الكلية إلى الثبات في المنحنى (الشكل 11).

كما يتلشى الشد في المنطقة G-G مع تقدم التحميل ولا يظهر الشد إلا بجوار الجيوغريد الذي عمله الأساسي تحمل الشد دلالة على الانتقالات تسعى إلى الاستقرار، وتتحصر الانتقالات الأفقية بعيداً عن الطريق في الجزء العلوي من الميل ، وكذلك تنشبت الإجهادات الأفقية على منطقة أوسع بعد ما كانت متمركزة في (MT0).
في نموذج الاختبار MT3 تكون الانتقالات الكلية أكبر بكثير منها في MT0 في مراحل التحميل كلها كما في الشكل (11). في حين تكون الانتقالات الأفقية أقل منها في MT0 في مراحل التحميل كلها وتزايد بشكل شبه خطي وتسعى للوصول إلى قيم MT0 كما في الشكل (9)، وتكون الانتقالات الشاقولية كبيرة ومسيطره وتتناقص بشكل بطيء مع تقدم التحميل وتسعى إلى الثبات دلالة على أن الانتقالات الأفقية هي التي تزداد كما في الشكل (14) بحيث تكون المحصلة أكبر بكثير مما في MT0 وتسعى إلى



الشكل (14) منحنى الزمن الديناميكي-الانتقال لنموذج الاختبار MT3 عند النقطة (K)

بينما نعرف معامل كفاءة عمل الطريق بأنه النسبة بين الانتقال الأفقي عند تزايد بشكل بطيء في الطريق المسلح بالجيوغريد والانتقال الأفقي للطريق غير المسلح بالجيوغريد عند زمن التحميل الديناميكي ذاته.

معامل النفع: يظهر الشكل (9) أن الانتقال الأفقي الذي يبدأ عنده بالتزايد بشكل بطيء لـ MT2 هو 0.003627 m ونجد أن الزمن الموافق له في منحنى $U_{xx} / MT2$ هو 0.6 Sec والزمن الموافق له في منحنى $U_{xx} / MT0$ هو 0.122 Sec.

$$\text{معامل النفع} = \frac{0.6}{0.122} = 4.918$$

أي إن الطريق المسلح بالجيوغريد يحتاج حتى الوصول إلى الانتقال الأفقي 0.003627 m زمنًا يعادل 4.918 مرة من الزمن الذي يحتاج إليه الطريق غير المسلح بالجيوغريد. إن مدة خدمة الطريق المسلح بالجيوغريد تزداد بما يعادل 0.7966%.

3-4. تحديد معامل النفع ومعامل كفاءة عمل

الطريق لنموذج الاختبار MT2:

اقترح معامل الكفاءة على عمل الطريق ومعامل النفع الذي يدل على زيادة حياة استثمار الطريق المسلح بالجيوغريد أو نقصانها لتحديد مدى فاعلية نموذج الاختبار MT2 في الحد من ظاهرة التشقق.

يدل معامل النفع على زيادة عمر استثمار الطريق المسلح بالجيوغريد أو نقصانه، ويمكن أن نعرفه بأنه النسبة بين زمن التحميل الديناميكي عند بدء تزايد الانتقال الأفقي بشكل بطيء للطريق المسلح بالجيوغريد، وزمن التحميل الديناميكي للطريق غير المسلح بالجيوغريد الموافق للانتقال الأفقي ذاته.

3. إن التسليح بالجيوجريد بوضع طبقة أعلى قاعدة أساس الطريق بـ **10 cm**، أو ضمن التلث العلوي من ارتفاع طبقة أساس الطريق هو حل غير فعال وقد بيّن التحليل أن سلوك الطريق مع هذه الطبقة يماثل سلوك الطريق من دون هذه الطبقة مع تقدم التحميل وقد يعطي نتائج سلبية، إذ يعمل الجيوجريد في هذه الوضعية كمادة فاصلة بين جزيئات التربة مما يؤدي إلى زيادة في الهبوط، ولكن مع تطور الهبوط يأخذ الجيوجريد وضعية تسمح له بالعمل مع التربة مما يؤدي إلى سعي الانتقالات الكلية نحو الثبات.

4. حدّد معامل النفع ومعامل الكفاءة لتقييم مدى فاعلية نموذج الاختبار MT2 في الحد من ظاهرة التشقق. وقد تبين أن نموذج الاختبار MT2 يزيد من كفاءة الطريق بمقدار 47.5% ويزيد من عمر الطريق نحو 4.9 مرة.

معامل الكفاءة: من الشكل (9) نلاحظ أن الانتقال الأفقي الذي يبدأ عنده بالتزايد بشكل بطيء لـ MT2 هو 0.003627 m ونجد الزمن الموافق له في منحنى $MT2/U_{xx}$ هو 0.6 Sec والانتقال الأفقي لـ MT0 الموافق للزمن 0.6 Sec هو 0.007631m.

$$\text{معامل الكفاءة} = \frac{0.003627}{0.007631} = 47.53\%$$

وهكذا فإن الطريق المسلح بالجيوجريد يعطي سلوكاً أفضل من ناحية الانتقالات الأفقية بمقدار 47.53% من الطريق غير المسلح بالجيوجريد، وتزداد مدة خدمة الطريق بما يعادل 0.7966%. وهذه النسب في حالة تزايد مع تقدم التحميل لأنّ تزايد الانتقال الأفقي لـ MT2 يكون بطيئاً مقارنة بتزايد الانتقال الأفقي لـ MT0.

5. الخلاصة:

أظهرت نتائج التحليل لمسألة ظاهرة التشقق في الطرقات المنشأة بجوار المنحدرات ما يأتي:

1. إنّ سبب ظهور التشققات في الأطراف الجانبية للطريق المجاورة لميل المنحدر هو الانتشار الجانبي للإجهادات في منطقة ميل المنحدر التي تؤدي إلى انتقالات أفقية وتشققات في الأطراف الجانبية للطريق المجاورة لميل المنحدر.

2. إنّ الطريقة الفضلى للتسليح بالجيوجريد هي وضع طبقتين من الجيوجريد الأولى أعلى قاعدة أساس الطريق بـ **10 cm**، والثانية تعلوها بـ 15cm أي نموذج الاختبار MT2 الذي أعطى نتائج فعالة وجيدة في الحد من ظهور ظاهرة التشقق و زيادة مدة خدمة الطريق.

References *

1. Barksdale, R. D., S.F. Brown, and F. Chan (1989) "Aggregate base reinforcement of surfaced pavement," *Geotextiles and Geomembranes*, Vol. 8, pp 165-189.
2. Broms, B.B. (1977) "Triaxial tests with fabric-reinforced soil," *Proc. Int. Conf. on the Use of Fabric in Geotechnics, Ecole National des Ponts et Chaussees, Paris*, Vol. 3, pp 129-134.
3. Carotti, A. and Rimoldi, P (1998) "A nonlinear model for the seismic response analysis of geosynthetic-reinforced soil structures," *Geosynthetics International J.*, Vol. 5, Nos. 1-2, pp 167-201.
4. Chan, F., R.D. Barksdale, and S.F. Brown (1989) "Aggregate base reinforcement of surfaced pavements," *Int. J. Geotextiles Geomembrane*, Vol. 8, pp 165-189.
5. Farag, G. "Lateral spreading in basal reinforced embankments supported by pile-like elements", Research In partial fulfillment of the requirements for the Degree of Master of Science, march 2008.
6. Giroud, J. P., C. Ah-Line, and R. Bonaparte (1985) "Design of unpaved roads and trafficked areas with geogrids," *Proc. Symp. Polymer Grid Reinforcement, Science and Engineering Research Council and Netlon Ltd., London*, pp 116-127.
7. Moayedi, H., "Effect of Geogrid Reinforcement Location in Paved Road Improvement", *University Putra Malaysia*, 2009.
8. Milligan, G. W. E. and J.P. Love (1984) "Model testing of geogrids under aggregate layer on soft ground," *Proc., Polymer Grid Reinforcement Conference, Thomas Telford, London*, pp 128-138
9. Perkins, S.S., 1999. Geosynthetic reinforcement of flexible pavements: laboratory based pavement test sections. Report No. FHWA/MT 99-001/8138 US Department of Transportation, Federal Highway Administration, Washington, DC.
10. Tutumluer, E., Huang, H., Bian, X. (2012). "Geogrid-Aggregate Interlock Mechanism Investigated through Aggregate Imaging-Based Discrete Element Modeling Approach." *Int. J. Geomech.*, 12(4), 391-398.

التقييم الجيوتكنيكي لفاعلية مكان طبقات تسليح التربة بالجيوغريد وعددها في الحد من ظاهرة تصدع الطرق التخديمية المجاورة لقنوات الري في منطقة الغاب

د.م. طلال عواد*

المُلخَص

إن تصدع الطرق التخديمية المجاورة لقنوات الري قد تحول إلى ظاهرة شبه عامة في منطقة الغاب. إذ تشير المعطيات كلها إلى أن الانتشار الجانبي للإجهادات في منطقة ميل المنحدر قد أدت إلى تشققات في الأطراف الجانبية للطريق ناتجة عن انتقالات أفقية يمكن أن تكون هي المسيطرة على الانتقالات الكلية. في هذه المقالة يُقدّم تقييم جيوتكنيكي لإمكانية تسليح التربة بالجيوغريد للحد من هذه الظاهرة، إذ دُرِسَت الانتقالات الكلية والأفقية والشاقولية عند طرف الطريق المجاور للمنحدر من خلال سلسلة من النماذج العددية للعناصر المحدودة. وقد دُرِسَت نماذج غير مسلحة ونماذج مسلحة بالجيوغريد في مواضع مختلفة، وقد اختير التوضع ذو الفاعلية الفضلى، كما حدّد معامل النفع ومعامل كفاءة عمل الطريق المسلح بالجيوغريد.

الكلمات المفتاحية: هندسة جيوتكنيكية، استقرار المنحدرات، تسليح التربة، جيوغريد، طريقة العناصر المحدودة.

*قسم الهندسة الجيوتكنيكية - كلية الهندسة المدنية - جامعة دمشق.

المقدمة:

يُحَسَّن أداء الطرق المعبدة بمواد الجيوغريد ($\gamma\epsilon\omicron\gamma\rho\iota\delta$) من خلال توضعها إمّا بين تربة التأسيس وطبقة الأساس أو ضمن طبقة الأساس، إذ تؤدي إلى زيادة قدرة التحمل لتربة التأسيس عن طريق منع القص المحلي، وإعادة توجيه ($\rho\epsilon\omicron\rho\iota\epsilon\nu\tau\alpha\tau\iota\omicron\nu$) إجهادات القص على تربة التأسيس في المنطقة المحملة، وتأمين دعم شد غشائي عند حدوث أحمود عميق . (Γιρουδ, 1985) [6]

تتمثل أحد التأثيرات المفيدة لتسليح الجيوغريد عند السطح الرابط بين طبقة الأساس وتربة التأسيس — Milligan and Love, 1984; Perkins, 1999) [8] في تحمل إجهادات القص المتولدة عند السطح الرابط نتيجة حمولة المرور. ينتج عن عملية التداخل بين الجيوغريد ومواد طبقة الأساس تخفيض الحركة الجانبية لمواد طبقة الأساس، إذ إنّ إجهادات القص المتجهة خارجاً لاتصل إلى تربة التأسيس في الوقت نفسه فإن مواد طبقة الأساس المحصورة تضرب فتحات الجيوغريد مما يؤمن السطح الذي يُقاوم الحركة الجانبية لتربة التأسيس ويزيد قدرة تحملها. كما أن الجيوغريد يسمح بزيادة خصائص التخماد الديناميكي للتربة المسلحة مقارنة بالتربة غير المسلحة؛ وذلك أن الطاقة تُمتص بشكل مباشر من قبل الجيوغريد ذاته نتيجة للاحتكاك المتولد في مرحلة الديناميك (Χαροττι ανδ Ριμολδι, 1998) [3].

إلا أن امتصاص الجيوغريد لإجهادات الشد قد يتغيّر بشكل ملحوظ بتغيّر توضع التسليح. ويعتقد بعض الباحثين بأن الجيوغريد يجب أن يتوضع قرب الحمل (Chan, 1989). في

حين وجد آخرون أنه يجب أن يتوضع قرب القاعدة أو عند منتصف الارتفاع لطبقة الأساس [2] (Broms, 1977). وأظهر Giroud (1985) [6] أنه من أجل الطرق المعبدة المنشأة على تربة التأسيس الطرية (soft subgrades) يجب أن يتوضع التسليح عند قاعدة الأساس أو قريباً.

وقد استخدم Barksdale (1989) [1] طريقة العناصر المحدودة المستوية 2D لتخمين التخفيض في سماكة طبقة الأساس من أجل الجيوسنتيثك القاسي Stiff geosynthetics

1- هدف البحث وأهميته التطبيقية:

هَدَفَ هذا البحث إلى:

§ تفسير ظاهرة تصدع الطرق التخديمية المجاورة لقنوات الري.

§ تقييم مدى فاعلية تسليح التربة بالجيوجريد في الحد من ظاهرة تصدع الطرق التخديمية المجاورة لقنوات الري، استناداً إلى تأثيرها في الانتقالات الكلية U والأفقية U_{xxx} والشاقولية U_{yy} عند طرف الطريق المجاور للمنحدر.

§ تقييم معامل النفع ومعامل كفاءة عمل الطريق.

وتبدو الأهمية التطبيقية للبحث في إمكانية استخدام نتائجه للحد من ظاهرة تصدع الطرق التخديمية المجاورة لقنوات الري أو المجاورة لمنحدر بشكل عام. هذه الظاهرة التي تحولت إلى ظاهرة شبه عامة في منطقة الغاب بمحافظة حماة في سورية. حيث رُصدت هذه الظاهرة في طريق كفر عقيل - الرصيف، وطريق الرصيف - شطحة، وطريق القاهرة - مراداش، والطريق إلى قطرة الريحان، والطريق الموازي للمصرف A15، وغيرهم.

تبدو التصدعات في هذه الطرق على شكل شقوق طولية توازي المصرف المجاور وتقع في أغلبها أقرب إلى المنحدر.

3- طريقة البحث:

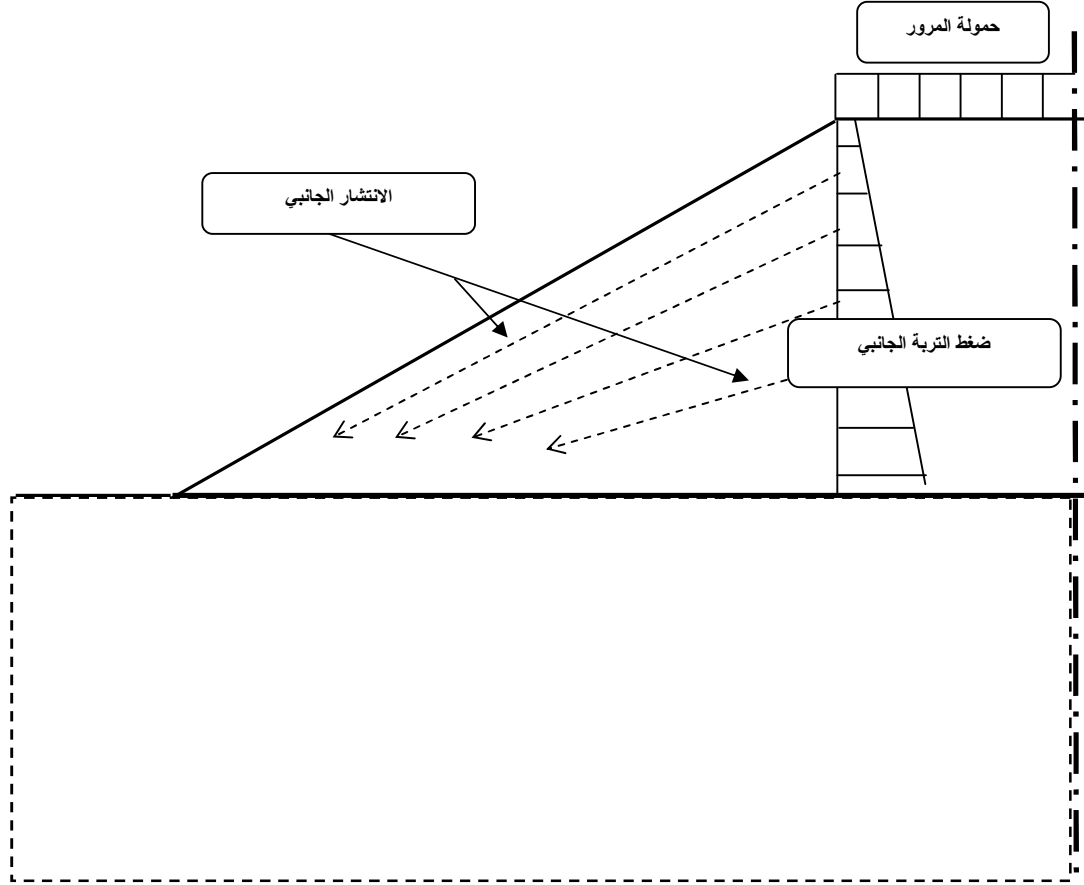
تتجلى منهجية البحث في تحديد الانتقالات الكلية والأفقية والشاقولية في المنطقة الواقعة بجوار طرف الإسفلت المجاور للمنحدر وعلى عمق يساوي إلى **20%** من ارتفاع أساس الطريق. عن طريق سلسلة من الاختبارات النموذجية الواسعة النطاق بالطرائق العددية (العناصر المحدودة) باستخدام برنامج **PLAXIS 2D**.

تنتج الانتقالات الأفقية عن الانتشار الجانبي للإجهادات في منطقة ميل المنحدر، إذ إن تربة الأساس لا تخضع فقط إلى حمولات شاقولية نتيجة حمولات المرور والوزن الذاتي للردمية لكن تخضع أيضاً إلى قوى أفقية نتيجة انتشار حمولات المرور والضغط الجانبي للتربة اللذين يؤديان إلى تشوهات أفقية وتشققات في الأطراف الجانبية للطريق المجاورة لميل المنحدر كما هو موضَّح في الشكل (2).

هذه الشقوق كبيرة، يصل عرضها إلى 30Cm وتمتد في العمق لتخترق كامل سماكة الرصف وتتجاوزها. يبيّن الشكل (1) نماذج من هذه التصدعات.



الشكل (1) نموذج التشققات في الطرق التخديمية في منطقة سهل الغاب في سورية



الشكل (2) يبيّن الانتشار الجانبي للإجهادات في منطقة ميل المنحدر

3-1. النماذج المدروسة:

دُرِسَتْ أربعة نماذج إذ وُضِعَ التسليح في أماكن مختلفة، وقد كان النموذج الصفري MT0 من دون تسليح، أمّا في النموذج الأول MT1 فَوُضِعَتْ طبقة واحدة من الجيوريد ضمن الثلث السفلي من ارتفاع طبقة أساس الطريق بحيث ترتفع عن أسفل هذه الطبقة بـ **10 cm**، وكان النموذج الثاني MT2 مع طبقتين من الجيوريد ضمن النصف السفلي من ارتفاع أساس الطريق حيث وضعت طبقة أعلى

قاعدة أساس الطريق بـ **10 cm** وطبقة تعلوها بـ **15 cm**). ووضعت في النموذج الثالث MT3 طبقة واحدة من الجيوريد ضمن الثلث العلوي من ارتفاع أساس الطريق كما هو موضّح في الجدول رقم (1). وقد اعتمد النموذج MT0 للمقارنة بالنماذج الأخرى MT1، MT2، MT3 بهدف تحري التغيرات الناتجة عن استخدام التسليح بالجيوريد.

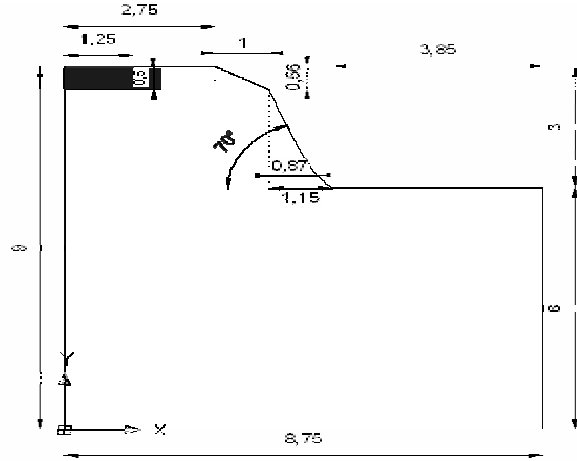
الجدول (1) بيّن نماذج الاختبار

نموذج الاختبار	التسليح بالجيوجريد	القياس		
		الانتقالات الكلية	الانتقالات الشاقولية	الانتقالات الأفقية
MTO	من دون تسليح بالجيوجريد	ü	ü	ü
MT1	مع طبقة واحدة من الجيوجريد أعلى قاعدة أساس الطريق بـ 10 cm	ü	ü	ü
MT2	مع طبقتين من الجيوجريد طبقة أعلى قاعدة أساس الطريق بـ 10 cm وطبقة تعلوها 15 cm +	ü	ü	ü
MT3	مع طبقة واحدة من الجيوجريد في الثلث العلوي من ارتفاع أساس الطريق	ü	ü	ü

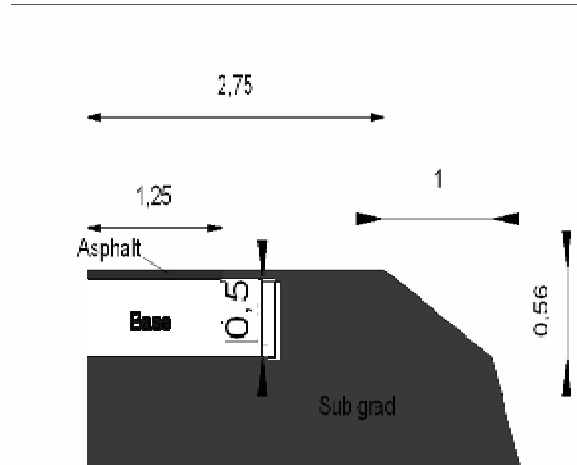
- عرض طبقة أساس الطريق **6 m** بسماكة **50 cm**. وتسد هذه الطبقة إلى تربة غضارية سلتية ضعيفة.
 - أقصى حمولة محور تتعرض لها **120 KN**.
 - الغزارة المرورية 10 سيارات باليوم تقريباً.
 - حصلت التشققات بعد سنة واحدة من الإنشاء تقريباً.
- تتوضح العلاقة بين الطريق والمنحدر المجاور في الشكل رقم (3)، وقد أخذت الأبعاد بشكل وسطي واعتمدت لإنجاز هذه الدراسة. كما بيّن الشكل رقم (4) توضع التسليح بالجيوجريد في نماذج الاختبار.

- دُرست إحدى الطرق الموجودة في منطقة سهل الغاب في سورية حيث ظهرت تشققات كبيرة بجوار طرف الإسفلت المجاور للمنحدر من سطح الإسفلت. ويمكن عدّ مقطع هذه الطريق ومواصفاته نموذجياً بالنسبة إلى الطرق التخديمية المجاورة لقنوات الري في الغاب.
- هذه الطريق لها الخصائص الآتية:
- متوضعة بجوار قناة ري.
 - عرض الإسفلت في الطريق **5m** بسماكة **6 cm**.

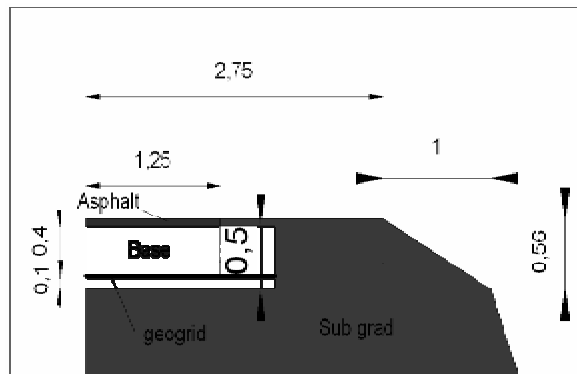
التقييم الجيوتكنيكي لفاعلية مكان طبقات تسليح التربة بالجيورفيد وعددها في الحد من ظاهرة تصدع الطرق التخديمية المجاورة لقنوات الري في منطقة الغاب



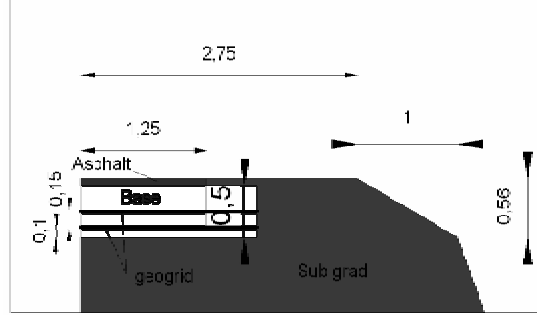
الشكل (3) يبين الأبعاد الهندسة للمسألة المدروسة



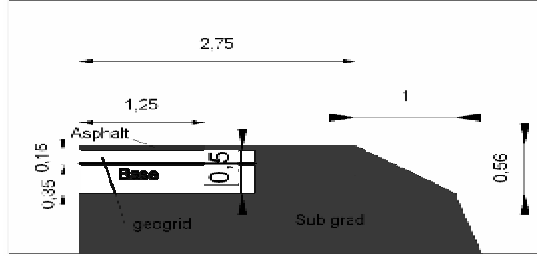
الشكل (4 - أ) نموذج الاختبار MT0



الشكل (4 - ب) نموذج الاختبار MT1



الشكل (4-ج) نموذج الاختبار MT2



الشكل (4-د) نموذج الاختبار MT3

ومن ثمَّ فإنَّ الدور اللازم لتطبيق طور من الحمل الديناميكي الجيبي $T = 1/20 = 0.05 \text{ Sec}$ ولتمثيل الحمل النبضي أُخِذَ نصف طور الحمل الديناميكي الجيبي $T' = 0.025 \text{ Sec}$ ، أي إنَّه إذا بدأ الحمل الديناميكي في الزمن $t_1 = 0 \text{ Sec}$ فإنه ينتهي في الزمن $t_2 = 0.025 \text{ Sec}$ ، ونظراً إلى أن حمل المرور لا يطبق بشكل مستمر على الطريق فهناك مدة راحة. وقد عُدَّ النصف الثاني من طور الحمل الديناميكي يمثل مدة الراحة (مدة احتمال عدم مرور حمولة المرور) وذلك بتطبيق حمل مساوٍ للصفر خلال مدة $\Delta t = 0.025 \text{ Sec}$ كما يظهر في الشكل (5).

وقد كُرِّرَت هذه الحمولة النبضية بشكل منتظم في النموذج المدروس لزمن تحميل $t = 1.05 \text{ Sec}$ ، أي كُرِّرَت الحمولة النبضية بمقدار 20.5 نبضة.

2-3. خصائص الحمل المطبق:

دُرِسَت استجابة الطرق تحت الأحمال الديناميكية حيث تمَّ مكافئة حمولة المرور بحمولة نبضية جيبيية وفق التابع:

$$F = \bar{F} \cdot \sin(\omega t + \phi_0)$$

إذ:

F : الحمولة النبضية

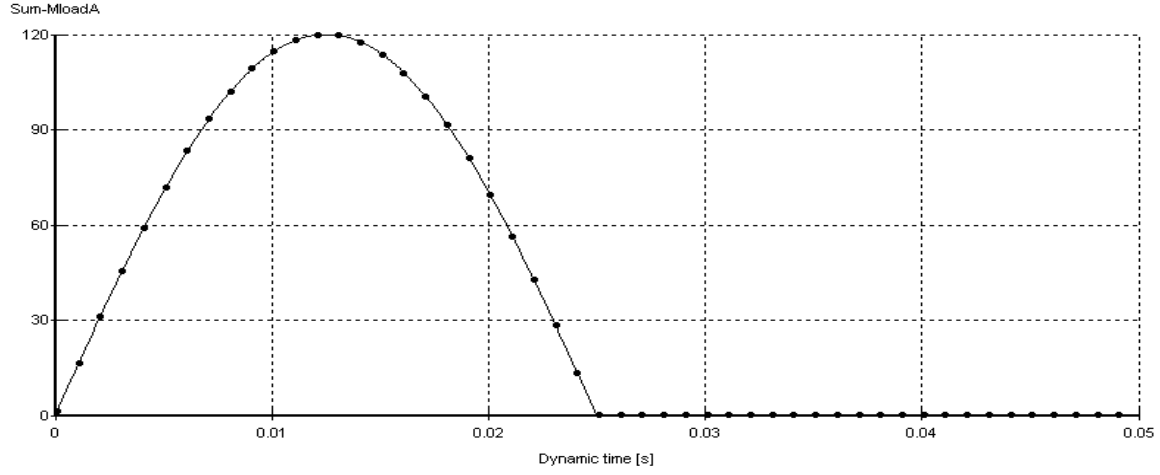
\bar{F} : السعة العظمى للحمولة النبضية وتقدر بـ $\bar{F} = 120 \text{ KN}$ وهي أقصى حمولة محور أحادي يمكن أن يمر على الطريق المدروس.

$$\omega = 2\pi f$$

f : تواتر الحمولة الديناميكية وهي عدد مرات تكرار الحمولة في وحدة الزمن (الثانية) وتقدر بـ

$$f = 20 \text{ Hz}$$

التقييم الجيوتكنيكي لفاعلية مكان طبقات تسليح التربة بالجيوريد وعددها في الحد من ظاهرة تصدع الطرق التخديمية المجاورة لقنوات الري في منطقة الغاب



الشكل (5) يبين الحمولة النبضية الديناميكية

3- خصائص المواد: كما إعتُمدتِ المواصفات المرجعية لطبقة الإسفلت وأخذت عينات من تربة الطابق الترابي وطبقة الأساس والجيوريد. تزد خصائص المواد التي اعتمدت في وإختُبرت لتحديد المواصفات التي اعتمدت في الدراسة، الدراسة في الجدول رقم (2) الجدول (2) يبين خصائص المواد

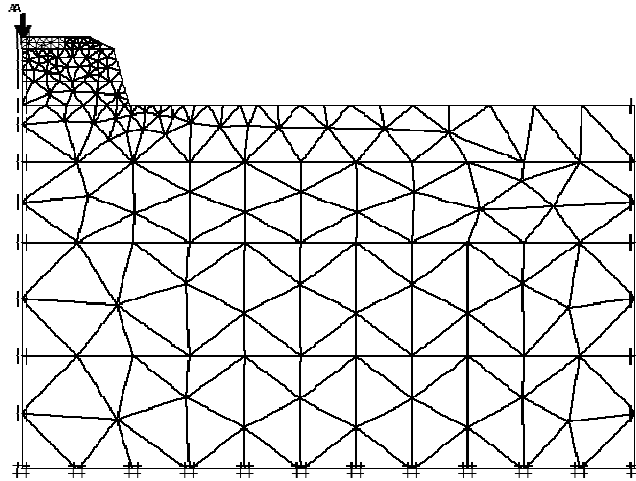
Material	Asphalt	Base	Subgrade	Geogrid
Material model	AC	aggregate Granular	CLAY	Polymer
Model of behavior	Mohr coulomb	Mohr coulomb	Mohr coulomb	Elastic
Type of behavior	drained	drained	drained	Drained
Phreatic level	-	-	-	-
Thickness (mm)	60	500	-	-
Elastic modulus (MPa)	1000	200	6.5	-
Poisson's ratio	0.3	0.35	0.35	0.25
Unit weight (kN/m ³)	23	19	14.8	-
Cohesion (Kpa)	14	6	22.5	-
Friction angle (°)	39	39	9	-
Dilatation angle (°)	0	8	0	-
K0	0.37	0.371	0.844	-
EA (KN/m)	-	-	-	1500

3-4. التحليل بطريقة العناصر المحدودة:

حُلَّ انتشار الإجهادات المتمثلة في الاتجاهات الثلاثة (axisymmetric analysis) وفق معيار موهر كولومب إذ إنَّ الخصائص الديناميكية لا يمكن تمثيلها إلا في النموذج ثلاثي الأبعاد 3D، أُجريت شبكة العناصر المحدودة النموذجية باستخدام عناصر مثلثية بـ (15-nodes).

استخدم الجيوغريد كجملعة داخلية ضمن الطبقة لامتصاص التشوه. ووضع سطح رابط كامل الصلادة (interface) أسفل الجيوغريد وأعلى يسمح بالتشوه النسبي بين الجيوغريد وطبقة الاتصال من التربة. وقد اعتمد الإجراء التكراري (Iterative procedure) من أجل الحل لتخفيض الخروج الطبيعي لقوى التوازن. وقد حُلَّت بالشروط المصرفة دون ضغط مسامي.

عُدَّت حدود النموذج الخارجية حتى نقاط تتلاشى فيها التشوهات والإجهادات قبل إنشاء الطريق وبعده كما هو مبين بالشكل (3). كما حُدِّد الشكل الهندسي والأبعاد للنموذج بما يتوافق مع الخطوط الأساسية لمكونات المسألة. حددت الشروط المحيطة بوصفها ممنوعة من الانتقال الأفقي للحدود الجانبية الشاقولية للنموذج وممنوعة من الانتقال الأفقي والشاقولي للحدود السفلى الأفقية للنموذج. وجُعِلت الحدود الجانبية اليمنى والسفلى حدود ماصة (Absorbent boundaries) لارتداد الحمل الديناميكي، لم تُوضَع حدود ماصة عند الحدود الجانبية اليسرى لأن التحليل يعتمد (analysis axisymmetric). ولدَّت شبكة العناصر المحدودة حيث كُتِفَت في منطقة ميل المنحدر والمنطقة المحيطة بالحمولة وطبقة الإسفلت وطبقة الأساس المبيّنة في الشكل (6).



الشكل (6) شبكة العناصر المحدودة النتائج والمناقشة

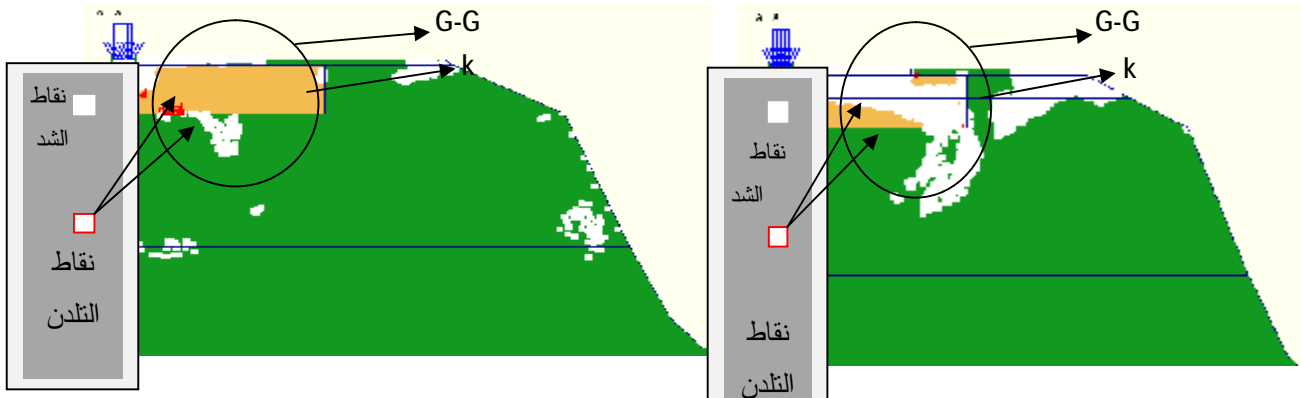
1-4. تفسير ظاهرة ظهور التشققات:

يمكن أن نستقرأ من النتائج ما يأتي:

نلاحظ ظهور الشد في المنطقة G-G عند بداية التحميل (t=0.05 Sec) ثم تبدأ بتلاشي بالتدرج مع تقدم التحميل (t=1.05) ولكن تبقى منطقة طرفية من الإسفلت، وكذلك منطقة التربة التأسيس أسفل الأساس يظهر فيها بعض الشد أي أن الانتقالات الأفقية في هذه المنطقة الطرفية مازالت مستمرة وتزايد بشكل شبه خطي وبشكل سريع نسبياً كما يظهر في المنحنى $MT0, U_{xx}$ في الشكل (9) وهذا ما يؤيد أن هذه المنطقة قد تكون عرضة إلى ظهور تشققات فيها كما تصل بعض النقاط عند سطح تربة التأسيس أسفل الأساس إلى التلدن والانهييار

إن القراءة الاستقرائية للنتائج التي تم التوصل إليها في نموذج الاختبار MT0 يمكن أن تفسر ظاهرة ظهور التشققات في الأطراف الجانبية للطريق المجاورة لميل المنحدر، كما تؤكد صحة الفرضيات التي انطلقنا منها.

وقد درُست المنطقة المجاورة للحمولة G-G كما في الشكل (7)، (8) لأن التشققات الحاصلة في الطريق حصلت في هذه المنطقة. كما درُست منحنيات الانتقالات التي رُصدت عند النقطة K الواقعة بجوار طرف الإسفلت المجاور للمنحدر وعلى عمق يساوي $18\text{ cm} = 20\%$ من ارتفاع أساس الطريق.

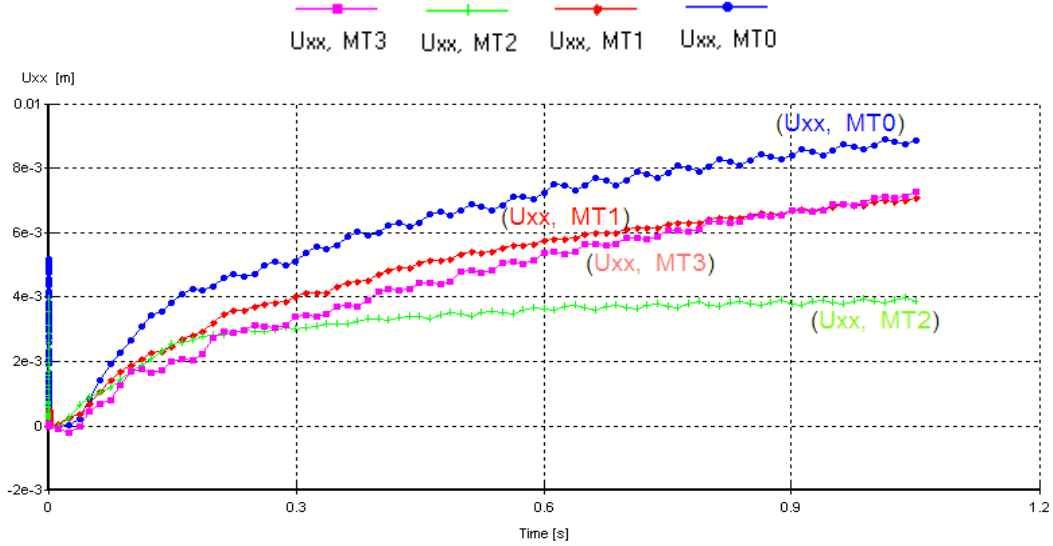


الشكل (8) نقاط الشد ونقاط التلدن عند التحميل (t=1.05 sec) لنموذج

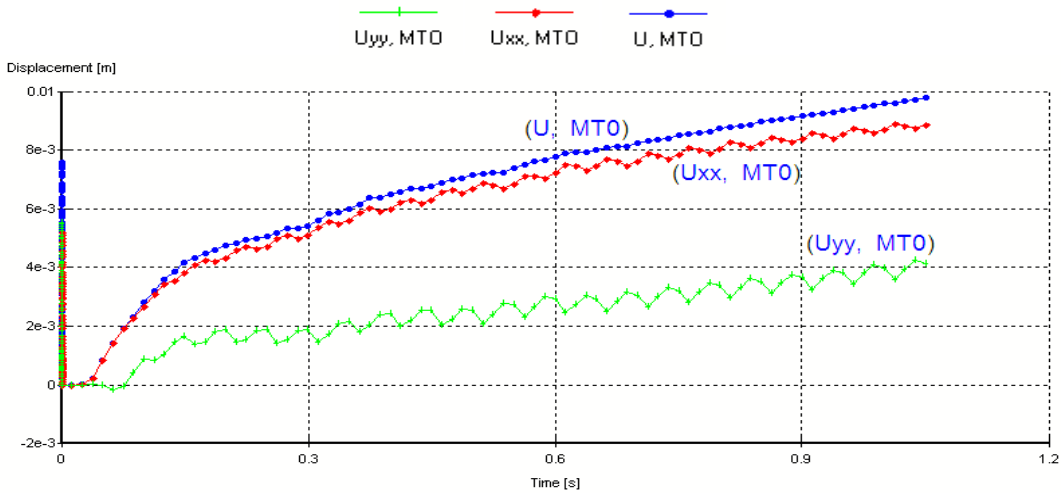
الاختبار MT0

الشكل (7) نقاط الشد ونقاط التلدن عند التحميل (t=0.05 sec) لنموذج

الاختبار MT0



الشكل (9) منحنى الزمن الديناميكي-الانتقال الأفقي لنماذج الاختبار عند النقطة (K)



الشكل (10) منحنى الزمن الديناميكي-الانتقال لنموذج الاختبار MT0 عند النقطة (K)

(1) متقارباً جداً كما في الشكل (10)، وهذا ما يؤكد فرضية أن التشققات قد حصلت بسبب الانتقالات الأفقية.

(3) بيّن التحليل أن عامل أمان المنحدر يبلغ 2.5 وهذا دليل على أن سبب التشقق هو انتشار الإجهادات في منطقة الميل وليس بسبب عدم استقرار الميل.

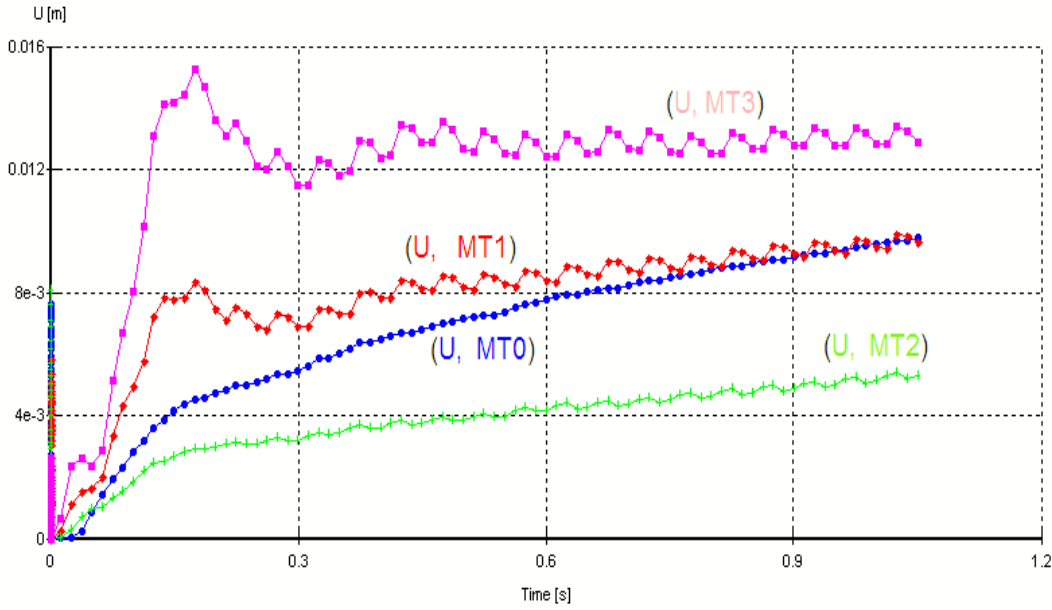
(1) بيّن التحليل أن المنطقة G-G وجوار النقطة K تتركز بها انتقالات أفقية أعظمية تبلغ قيمتها $11 \cdot 10^{-3} \text{m}$ وهذا ما يؤيد أن هذه المنطقة قد تكون عرضة إلى ظهور تشققات فيها.

(2) نلاحظ أن الانتقالات الكلية أقرب إلى الانتقالات الأفقية من الانتقالات الشاقولية إذ نجد لهما خطأً بيانياً

معها مع تقدم التحميل كما في الشكل (11). إن الانتقالات الأفقية أقل منها في MT0 في مراحل التحميل كلها ولكنها تزايد بشكل مواز لـ MT0 كما في الشكل (9) وبالمقابل فإن الانتقالات الشاقولية تتناقص مع التحميل بحيث تسعى لأن تكون حاصلتها مع الانتقالات الأفقية المتزايدة مساوية للانتقالات الكلية في MT0 كما في الشكل (12).

كما أن المنطقة G-G تبقى معرضة إلى إجهادات شادة وإجهادات أفقية دلالة على استمرارية الانتقالات بشكل كبير نسبي .

U, MT3 U, MT2 U, MT1 U, MT0



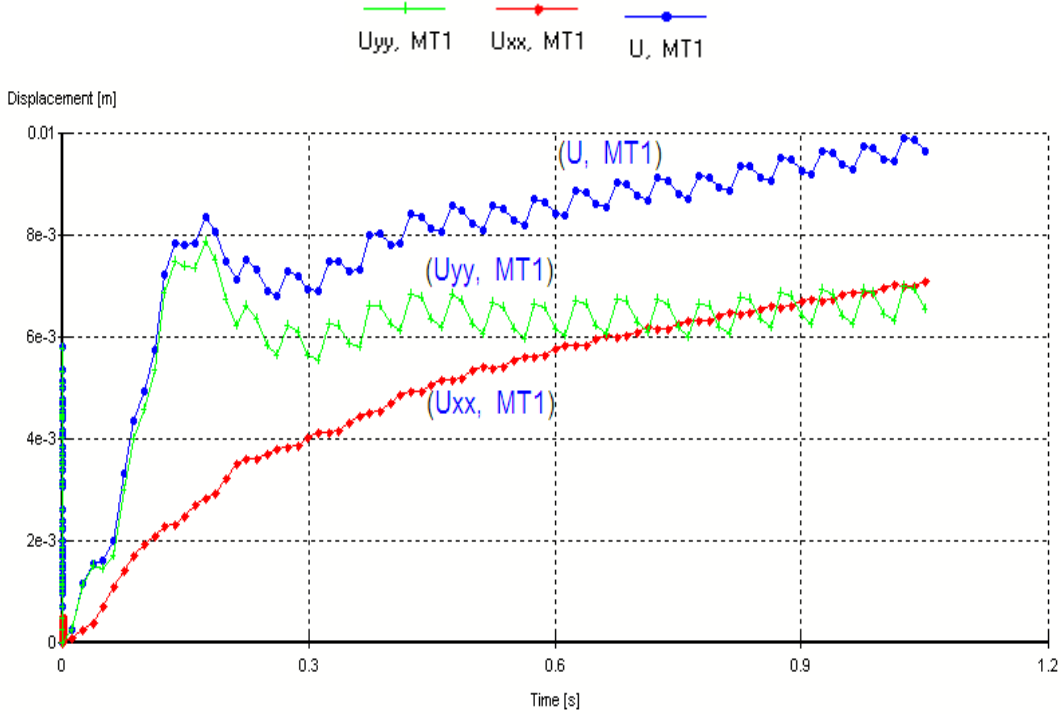
الشكل (11) منحنى الزمن الديناميكي-الانتقال الكلي لنماذج الاختبار عند النقطة (K)

بناء على ما توصلنا إليه من النتائج اقترح وضع مادة الجيوريد كمادة يمكن أن يكون لها جدوى في الحد من ظهور هذه الظاهرة، أو في زيادة مدة خدمة الطريق حيث وُضعت هذه المادة في عدة مواضع، كما هو مبين في الجدول (1).

4-2. تقييم مدى فاعلية تسليح التربة بالجيوريد:

بعد تحليل نماذج الاختبار المبينة في الجدول (1) ورصد النتائج في المنطقة G-G وعند النقطة K:

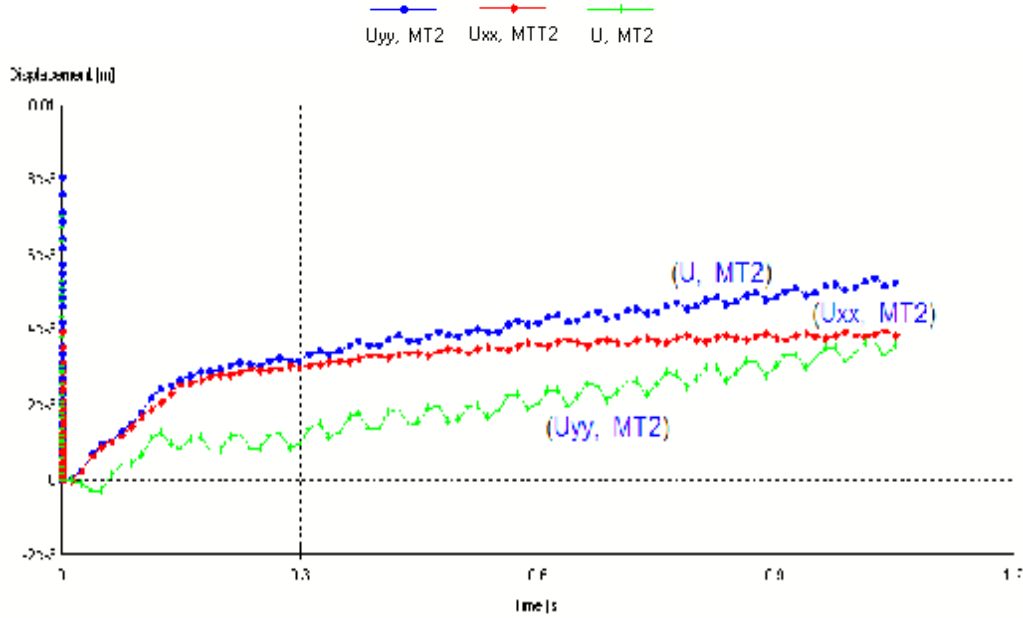
في نموذج الاختبار MT1 نلاحظ أن الانتقالات الكلية أكبر منها في MT0 في مراحل التحميل الأولية ثم تتساوى



الشكل (12) منحني الزمن الديناميكي-الانتقال لنموذج الاختبار MT1 عند النقطة (K)

في نموذج الاختبار MT2 نلاحظ أن الانتقالات الكلية أقل بكثير منها في MT0 في مراحل التحميل كلها كما في الشكل (11). كذلك فإن الانتقالات الأفقية أقل بكثير منها في MT0 في مراحل التحميل كلها وتزايد بشكل بطيء جداً وتسعى إلى الثبات دلالة على أن الانتقالات الشاقولية هي التي تزداد، كما أن الفرق مع MT0 يزداد مع تقدم التحميل كما في الشكل (9) وتزداد قيمة الانتقالات الأفقية من $3e^{-3}m$ عند طرف الطريق إلى $11e^{-3}m$ بعيداً عن الطريق في الجزء العلوي من الميل وتكون الانتقالات الشاقولية صغيرة وتزداد بشكل بطيء مع تقدم التحميل لتتعاود مع الانتقالات الأفقية بحيث تفقد الانتقالات الأفقية سيطرتها على الانتقالات الكلية كما في الشكل (13)، وتكون المحصلة أقل بكثير مما في MT0 وتسعى إلى الثبات كما في الشكل (11).

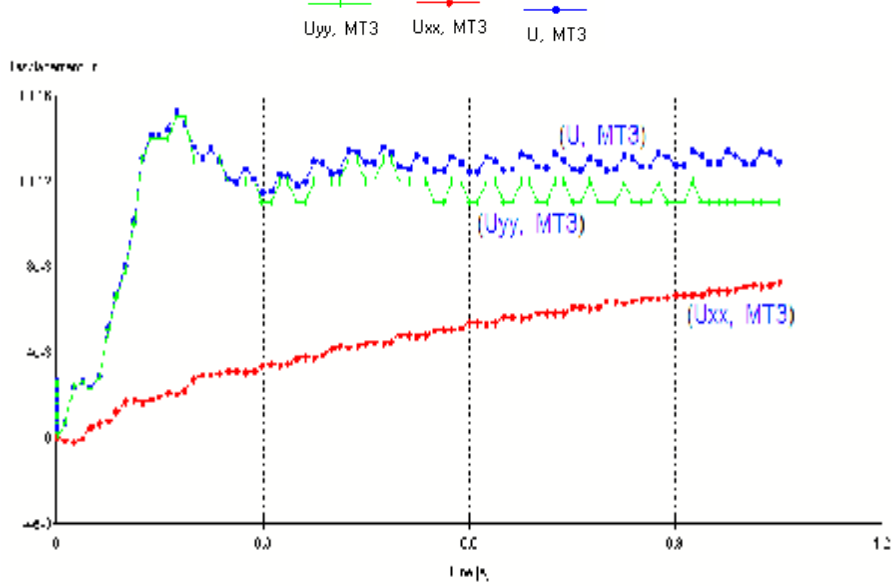
في نموذج الاختبار MT2 نلاحظ أن الانتقالات الكلية أقل بكثير منها في MT0 في مراحل التحميل كلها كما في الشكل (11). كذلك فإن الانتقالات الأفقية أقل بكثير منها في MT0 في مراحل التحميل كلها وتزايد بشكل بطيء جداً وتسعى إلى الثبات دلالة على أن الانتقالات الشاقولية هي التي تزداد، كما أن الفرق مع MT0 يزداد مع تقدم التحميل كما في الشكل (9) وتزداد قيمة الانتقالات الأفقية من $3e^{-3}m$ عند طرف الطريق إلى $11e^{-3}m$ بعيداً عن الطريق في الجزء العلوي من الميل وتكون الانتقالات الشاقولية صغيرة وتزايد بشكل بطيء مع تقدم التحميل لتتعاود مع الانتقالات الأفقية بحيث تفقد الانتقالات الأفقية سيطرتها على الانتقالات الكلية كما في الشكل (13)، وتكون المحصلة أقل بكثير مما في MT0 وتسعى إلى الثبات كما في الشكل (11).



الشكل (13) منحنى الزمن الديناميكي-الانتقال لنموذج الاختبار MT2 عند النقطة (K)

الثبات كما في الشكل (11). كما أن المنطقة G-G تبقى معرضة إلى إجهادات شادة وإجهادات أفقية دلالة على استمرارية الانتقالات بشكل كبير نسبي .
بناءً على ما تقدم أعلاه نجد أن نموذج الاختبار MT2 يعطي نتائج فعالة وجيدة في الحد من ظهور ظاهرة التشقق أو زيادة في مدة خدمة الطريق. في حين نموذج الاختبار MT1، MT3 لم تعطيا نتائج فعالة وإنما نتائج سلبية خصوصاً النموذج MT3. يعزى ذلك أن الجيوغريد كان في موضع لا يسمح له باتخاذ وضعية بحيث يتشوه بشكل متناسب مع التربة، وإنما كان يعمل كمادة فاصلة بين جزيئات التربة منعت من عملها مع بعض مما أدى إلى حصول انتقال كبير، ولكن بالمقابل نلاحظ أن بعد أن تشوهت التربة بشكل كبير تمكن الجيوغريد من أن يأخذ وضعية تسمح له بالعمل مع التربة إذ نلاحظ سعي الانتقالات الكلية إلى الثبات في المنحنى (الشكل 11).

كما يتلشى الشد في المنطقة G-G مع تقدم التحميل ولا يظهر الشد إلا بجوار الجيوغريد الذي عمله الأساسي تحمل الشد دلالة على الانتقالات تسعى إلى الاستقرار، وتتحصر الانتقالات الأفقية بعيداً عن الطريق في الجزء العلوي من الميل ، وكذلك تنشئت الإجهادات الأفقية على منطقة أوسع بعد ما كانت متمركزة في (MT0).
في نموذج الاختبار MT3 تكون الانتقالات الكلية أكبر بكثير منها في MT0 في مراحل التحميل كلها كما في الشكل (11). في حين تكون الانتقالات الأفقية أقل منها في MT0 في مراحل التحميل كلها وتزايد بشكل شبه خطي وتسعى للوصول إلى قيم MT0 كما في الشكل (9)، وتكون الانتقالات الشاقولية كبيرة ومسيطره وتتناقص بشكل بطيء مع تقدم التحميل وتسعى إلى الثبات دلالة على أن الانتقالات الأفقية هي التي تزداد كما في الشكل (14) بحيث تكون المحصلة أكبر بكثير مما في MT0 وتسعى إلى



الشكل (14) منحنى الزمن الديناميكي-الانتقال لنموذج الاختبار MT3 عند النقطة (K)

بينما نعرف معامل كفاءة عمل الطريق بأنه النسبة بين الانتقال الأفقي عند تزايد بشكل بطيء في الطريق المسلح بالجيوغريد والانتقال الأفقي للطريق غير المسلح بالجيوغريد عند زمن التحميل الديناميكي ذاته.

معامل النفع: يظهر الشكل (9) أن الانتقال الأفقي الذي يبدأ عنده بالتزايد بشكل بطيء لـ MT2 هو 0.003627 m ونجد أن الزمن الموافق له في منحنى $U_{xx} / MT2$ هو 0.6 Sec والزمن الموافق له في منحنى $U_{xx} / MT0$ هو 0.122 Sec.

$$\text{معامل النفع} = \frac{0.6}{0.122} = 4.918$$

أي إن الطريق المسلح بالجيوغريد يحتاج حتى الوصول إلى الانتقال الأفقي 0.003627 m زمناً يعادل 4.918 مرة من الزمن الذي يحتاج إليه الطريق غير المسلح بالجيوغريد. إن مدة خدمة الطريق المسلح بالجيوغريد تزداد بما يعادل 0.7966%.

3-4. تحديد معامل النفع ومعامل كفاءة عمل

الطريق لنموذج الاختبار MT2:

اقترح معامل الكفاءة على عمل الطريق ومعامل النفع الذي يدل على زيادة حياة استثمار الطريق المسلح بالجيوغريد أو نقصانها لتحديد مدى فاعلية نموذج الاختبار MT2 في الحد من ظاهرة التشقق .

يدل معامل النفع على زيادة عمر استثمار الطريق المسلح بالجيوغريد أو نقصانه، ويمكن أن نعرفه بأنه النسبة بين زمن التحميل الديناميكي عند بدء تزايد الانتقال الأفقي بشكل بطيء للطريق المسلح بالجيوغريد، وزمن التحميل الديناميكي للطريق غير المسلح بالجيوغريد الموافق للانتقال الأفقي ذاته.

3. إن التسليح بالجيوجريد بوضع طبقة أعلى قاعدة أساس الطريق بـ **10 cm**، أو ضمن التلث العلوي من ارتفاع طبقة أساس الطريق هو حل غير فعال وقد بيّن التحليل أن سلوك الطريق مع هذه الطبقة يماثل سلوك الطريق من دون هذه الطبقة مع تقدم التحميل وقد يعطي نتائج سلبية، إذ يعمل الجيوجريد في هذه الوضعية كمادة فاصلة بين جزيئات التربة مما يؤدي إلى زيادة في الهبوط، ولكن مع تطور الهبوط يأخذ الجيوجريد وضعية تسمح له بالعمل مع التربة مما يؤدي إلى سعي الانتقالات الكلية نحو الثبات.

4. حدّد معامل النفع ومعامل الكفاءة لتقييم مدى فاعلية نموذج الاختبار MT2 في الحد من ظاهرة التشقق. وقد تبين أن نموذج الاختبار MT2 يزيد من كفاءة الطريق بمقدار 47.5% ويزيد من عمر الطريق نحو 4.9 مرة.

معامل الكفاءة: من الشكل (9) نلاحظ أن الانتقال الأفقي الذي يبدأ عنده بالتزايد بشكل بطيء لـ MT2 هو 0.003627 m ونجد الزمن الموافق له في منحنى $MT2/U_{xx}$ هو 0.6 Sec والانتقال الأفقي لـ MT0 الموافق للزمن 0.6 Sec هو 0.007631m.

$$\text{معامل الكفاءة} = \frac{0.003627}{0.007631} = 47.53\%$$

وهكذا فإن الطريق المسلح بالجيوجريد يعطي سلوكاً أفضل من ناحية الانتقالات الأفقية بمقدار 47.53% من الطريق غير المسلح بالجيوجريد، وتزداد مدة خدمة الطريق بما يعادل 0.7966%. وهذه النسب في حالة تزايد مع تقدم التحميل لأنّ تزايد الانتقال الأفقي لـ MT2 يكون بطيئاً مقارنة بتزايد الانتقال الأفقي لـ MT0.

5. الخلاصة:

أظهرت نتائج التحليل لمسألة ظاهرة التشقق في الطرقات المنشأة بجوار المنحدرات ما يأتي:

1. إنّ سبب ظهور التشققات في الأطراف الجانبية للطريق المجاورة لميل المنحدر هو الانتشار الجانبي للإجهادات في منطقة ميل المنحدر التي تؤدي إلى انتقالات أفقية وتشققات في الأطراف الجانبية للطريق المجاورة لميل المنحدر.

2. إنّ الطريقة الفضلى للتسليح بالجيوجريد هي وضع طبقتين من الجيوجريد الأولى أعلى قاعدة أساس الطريق بـ **10 cm**، والثانية تعلوها بـ 15cm أي نموذج الاختبار MT2 الذي أعطى نتائج فعالة وجيدة في الحد من ظهور ظاهرة التشقق و زيادة مدة خدمة الطريق.

References *

1. Barksdale, R. D., S.F. Brown, and F. Chan (1989) "Aggregate base reinforcement of surfaced pavements," *Geotextiles and Geomembranes*, Vol. 8, pp 165-189.
2. Broms, B.B. (1977) "Triaxial tests with fabric-reinforced soil," *Proc. Int. Conf. on the Use of Fabric in Geotechnics*, Ecole National des Ponts et Chaussees, Paris, Vol. 3, pp 129-134.
3. Carotti, A. and Rimoldi, P (1998) "A nonlinear model for the seismic response analysis of geosynthetic-reinforced soil structures," *Geosynthetics International J.*, Vol. 5, Nos. 1-2, pp 167-201.
4. Chan, F., R.D. Barksdale, and S.F. Brown (1989) "Aggregate base reinforcement of surfaced pavements," *Int. J. Geotextiles Geomembrane*, Vol. 8, pp 165-189.
5. Farag, G. "Lateral spreading in basal reinforced embankments supported by pile-like elements", Research In partial fulfillment of the requirements for the Degree of Master of Science, march 2008.
6. Giroud, J. P., C. Ah-Line, and R. Bonaparte (1985) "Design of unpaved roads and trafficked areas with geogrids," *Proc. Symp. Polymer Grid Reinforcement*, Science and Engineering Research Council and Netlon Ltd., London, pp 116-127.
7. Moayedi, H., "Effect of Geogrid Reinforcement Location in Paved Road Improvement", University Putra Malaysia, 2009.
8. Milligan, G. W. E. and J.P. Love (1984) "Model testing of geogrids under aggregate layer on soft ground," *Proc., Polymer Grid Reinforcement Conference*, Thomas Telford, London, pp 128-138
9. Perkins, S.S., 1999. Geosynthetic reinforcement of flexible pavements: laboratory based pavement test sections. Report No. FHWA/MT 99-001/8138 US Department of Transportation, Federal Highway Administration, Washington, DC.
10. Tutumluer, E., Huang, H., Bian, X. (2012). "Geogrid-Aggregate Interlock Mechanism Investigated through Aggregate Imaging-Based Discrete Element Modeling Approach." *Int. J. Geomech.*, 12(4), 391-398.