

دراسة استقرار الخطوط الحديدية تحت تأثير الزلازل - حالة الخط الحديدي السوري

مازن محمد خالد الحموي*¹

*1. دراسات عليا، قسم هندسة النقل ومواد البناء، كلية الهندسة المدنية، جامعة دمشق.

Mazen.alhamwi@damascusuniversity.edu.sy.

الملخص:

تحيط بالجمهورية العربية السورية عدد من الفوالق الزلزالية يتفرع عنها عدد من الصدوع، مما يسبب خطراً على المنشآت المدنية والجمال الإنشائية، حيث يلاحظ انتهاء فترة الهدوء النسبي وتسجيل فترة نشاط زلزالي في وقتنا الحاضر. إن الغاية من هذا البحث هي التحقق في حال تعرضها للزلازل. حيث طُوِّرَ في هذا البحث نموذج عناصر محدودة ثلاثي البعد يضم عناصر القسم العلوي والقسم السفلي لمسار خط حديدي، وذلك باستخدام النمذجة الرقمية (برنامج الأباكوس) من أجل التحليل الزلزالي له. تم استخدام عناصر جاززية لنمذجة القضبان والعوارض وهي تمثل عناصر القسم العلوي للمسار، في حين استُخدمت عناصر كتل مجمعة مرتبط بعضها ببعض بنواضع لها قساوة وتخامد لنمذجة طبقات البلاست وماتحت البلاست والطابق الترابي وهي تمثل عناصر القسم السفلي للمسار. من أجل التحقق من صحة النموذج البرمجي البحثي المُشكَّل، فُورِنَت نتائج النمذجة والتحليل مع نتائج النمذجة والتحليل لدراسة مرجعية سابقة. تبين نتائج هذا البحث أن شبكة الخطوط الحديدية السورية مستقرة ضد حدوث التحنيب في حال تعرضها للزلازل بشدات مختلفة. كلمات مفتاحية: الخط الحديدي، النمذجة الرقمية، طريقة العناصر المحدودة، برنامج الأباكوس، التحليل الزلزالي، التحنيب.

تاريخ الايداع: 2022/9/4

تاريخ القبول: 2022/9/28



حقوق النشر: جامعة دمشق -
سورية، يحتفظ المؤلفون بحقوق
النشر بموجب الترخيص CC
BY-NC-SA 04

Study the Stability of Railway Tracks Under Earthquake Loading- the case of Syrian railway track

Mazen Mhd. Khaled Alhamwi^{1*}

^{1*}student in the Department of Transportation and Building Materials Engineering - Faculty of Civil Engineering, University of Damascus

Mazen.alhamwi@damascusuniversity.edu.sy

Abstract:

In this research, a finite-element (FE) model including the track superstructure and substructure components was developed for seismic analysis of railway track in Syria by using abaqus feature, In the developed model, the beam elements were used to define rails and sleepers as components of track superstructures. Moreover, a series of lumped masses with connectors was considered for modeling the ballast, sub ballast, and subgrade as track substructure components. Every connector has stiffness and damping factor, in order to validate the FE model, the results of seismic numerical analysis were compared with the outputs of a lateral reference study, the purpose of this study is to investigating the stability of Syrian railways under seismic excitation.

Keywords: Railway, Buckling, Finite Element Method, Abaqus Software, Seismic Analysis.

Received: 4/9/2022

Accepted: 28/9/2022



Copyright: Damascus University- Syria, The authors retain the copyright under a CC BY- NC-SA

المقدمة:

تُعد الخطوط الحديدية أحد أهم مكونات البنية التحتية للنقل، وتحتل مكانة مهمة على الصعيد الاقتصادي، حيث أثبتت الدراسات أن النقل السككي أكثر اقتصادية من أنواع النقل الأخرى كالنقل الطرقي والبحري والجوي، كما أن النقل بالسكك الحديدية في عالمنا المعاصر يُعد دعامة أساسية من دعائم الاقتصاد القومي، فهو الوسيلة الأكثر بين وسائل النقل المختلفة قدرةً على حمل العبء الأكبر من بين وسائل النقل المختلفة لالتزامات النقل سواء للبضائع أو للركاب بين المناطق المختلفة [2].

إن سورية مُحاطة بغوائل زلزالية إقليمية، يتفرع عنها العديد من الصدوع، كما يلاحظ انتهاء فترة الهدوء النسبية وتسجيل فترة نشاط زلزالي في وقتنا هذا، مع توقعات متشائمة لزيادة هذا النشاط، ويشير تاريخ المنطقة الزلزالي إلى ماضٍ مأساوي حافل ومميز من حيث تكرارية حدوث الزلازل في المدن السورية تاريخياً، وقد أكدت الدراسات استمرارية حدوث زلازل متباعدة في الشدة والزمان والمكان، وتواتراً زمنياً تكرارياً لحدوث الزلازل في سورية من حيث الشدة والزمن المتوقع.

إن ازدياد المخاطر الناتجة عن حدوث الزلازل على السكك الحديدية والقطارات، دفع معهد السكك الحديدية التقني لإيجاد مركز للهندسة الزلزالية للسكك الحديدية في نيسان عام 2015، وذلك للحد من مخاطر الزلازل على مسارات السكك الحديدية وذلك من خلال إدخال معاملات زلزالية في تصميم الخطوط الحديدية من جهة، ومن ناحية أخرى التنبؤ المبكر لحدوث الزلازل.

سيُركّز هذا البحث على التحقق من استقرار الخط الحديدية عند تعرضه للزلازل، مما قد يسبب حدوث تحنيط في المسار.

1 - هدف البحث:

تقييم استقرار الخطوط الحديدية السورية في حال تعرضها إلى الزلازل.

2 - أهمية البحث:

تأتي أهمية هذا البحث بسبب عدم وجود دراسات سابقة تحدد مدى استقرار الخطوط الحديدية السورية في حال تعرضها للزلازل، كما أن الاختبارات الحقلية والتجارب المخبرية على الخط الحديدي ذات كلفة باهظة، فضلاً عن أنها صعبة التنفيذ وتحتاج إلى وقت طويل، وهذا يؤدي إلى تعطيل حركة السير على الخطوط الحديدية، لذلك يُلجأ إلى وسيلةٍ أخرى لدراسة وتحليل هذه الجملة، وذلك من خلال الاستعانة بعمليات النمذجة الرقمية بالاعتماد على البرامج الحاسوبية التي تعتمد على طريقة العناصر المحدودة في عمليات النمذجة والمحاكاة والتحليل.

3 - منهجية البحث:

تتألف منهجية البحث من المراحل الآتية:

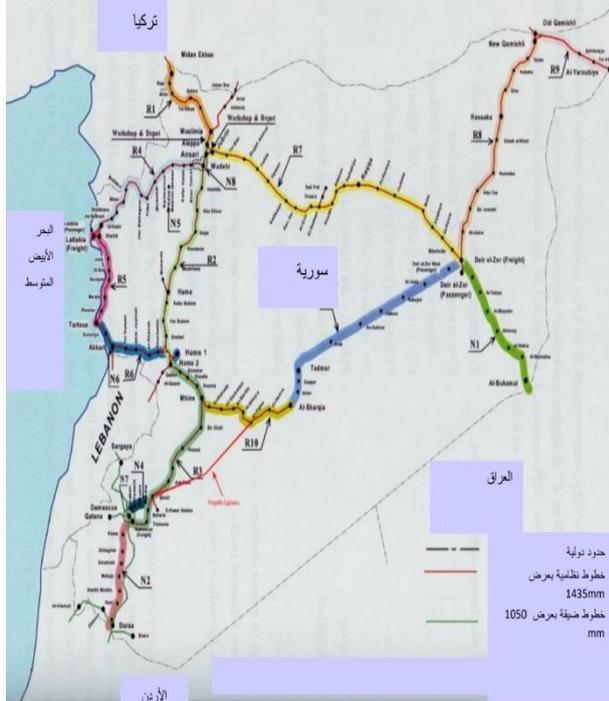
- تطوير نموذج للخط الحديدي باستخدام طريقة العناصر المحدودة (برنامج الأباكوس).
- معايرة هذا النموذج مع دراسة مرجعية للتحقق من صحته.
- تطبيق النموذج على خط حديدي له المواصفات المعتمدة في شبكة الخطوط الحديدية السورية.

5- لمحة عن شبكة الخطوط الحديدية السورية:

تتألف شبكة الخطوط الحديدية التابعة للمؤسسة العامة للخطوط الحديدية السورية من شبكة قديمة تم إنشاؤها ووضع بالاستثمار ما بين عامي 1903 و1916 وهي بطول (292 كم) خطوط

الحموي

إن شبكة الخطوط المنفذة أو التي ستنفذ موضحة في الشكل (1):



الشكل (1) شبكة الخطوط الحديدية السورية الحالية والمستقبلية [3].

6- الدراسات المرجعية السابقة:

تحري السلوك الزلزالي لمسار السكك الحديدية تحت التأثير الزلزالي باستخدام نموذج عناصر محدودة ثلاثي البعد: تم تطوير نموذج عناصر محدودة يضم عناصر القسم العلوي وعناصر القسم السفلي للمسار، وذلك من أجل التحليل الزلزالي، حيث تم نمذجة القضبان والعوارض كجوائز وهي تمثل عناصر القسم العلوي للمسار، في حين تم نمذجة طبقات البلاست وما تحت البلاست والطابق الترابي بسلسلة من الكتل المجمعمة المرتبطة مع بعضها بنوابض وهي تمثل عناصر القسم السفلي للمسار، ومن أجل التحقق من صحة النموذج الحاسوبي المشكل تم مقارنة نتائج الاختبار مع نتائج تجريبية باستخدام تجربة طاولة الاختبار بمقياس حقيقي [6].

إن الغاية من هذه الدراسة هي:

- تطوير نموذج برمجي حاسوبي لمسار خط حديدي.

دراسة استقرار الخطوط الحديدية تحت تأثير الزلازل.....

رئيسية و(330 كم) طول إجمالي مع التفريعات والمحطات، هذه المحاور هامة واستراتيجية، وتضم المحاور الآتية:

- خط حلب - ميدان إكس الحدود التركية.
- خط القامشلي - اليعربية.
- خط عكاري - الحدود اللبنانية [1].

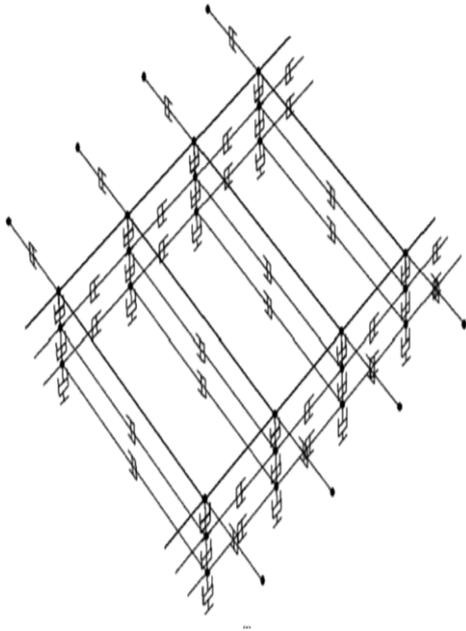
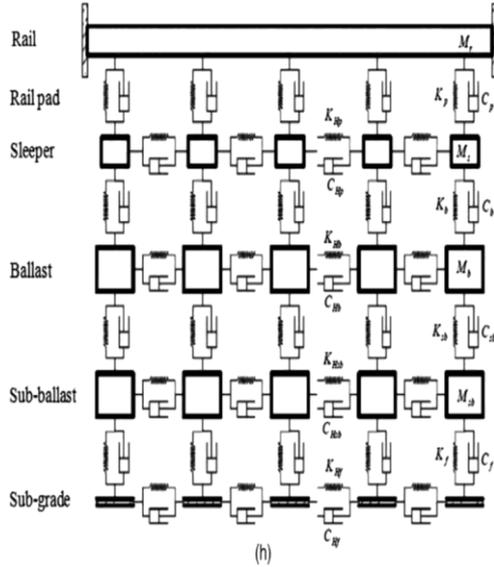
أحدث في عام 1963 المؤسسة العامة للخطوط الحديدية السورية ومقرها مدينة حلب، وتتولى إدارة شبكة طولها حوالي (2454 كم) بوسعة نظامية (1435 مم)، تتصل هذه الشبكة شمالاً بالسكك الأوروبية عبر تركيا، وغرباً بالموانئ السورية واللبنانية، وشرقاً بالعراق في نقطة واحدة تقع في الشمال الشرقي، والربط جارٍ لتحقيق ربط آخر مع العراق في منطقة القائم - البوكمال، وتتميز خطوط هذه الشبكة بأن مواصفاتها تتفق مع المواصفات الدولية وهي تشكل الشبكة الرئيسية في سورية لأنها تغطي جميع محافظات القطر تقريباً عبر المحاور الآتية:

- محور حلب - ميدان إكس.
 - محور عكاري - الحدود اللبنانية.
 - محور القامشلي - اليعربية.
 - محور حمص - القصير - الحدود اللبنانية.
 - محور حلب اللاذقية.
 - محور حمص - عكاري.
 - محور حمص مهين الشرقية.
 - محور عكاري - طرطوس.
 - محور حلب - دمشق.
 - محور حلب - القامشلي.
 - محور طرطوس - اللاذقية.
- كما توجد خطوط حديدية جديدة قيد الدراسة والتنفيذ وهي:
- محور دير الزور - البوكمال.
 - محور دمشق - درعا.
 - محور الشرقية - تدمر - دير الزور.
 - محور خط دمشق - مطار دمشق الدولي [2].

الحموي

6-1- تشكيل النموذج البرمجي للمسار:

إن النموذج الرقمي للمسار موضح في الشكل (2):



الشكل (2) النموذج البرمجي لمسار الخط الحديدي [6].

6-2- الدراسة الزلزالية للنموذج الرقمي:

تم تعريض النموذج بطول 40 متر لاهتزاز صناعي بقيمة PGA مختلفة، وبعد ذلك تم استنتاج التشوهات الناتجة والقوى الداخلية الناتجة في القضبان بما في ذلك القوى المحورية وقوى

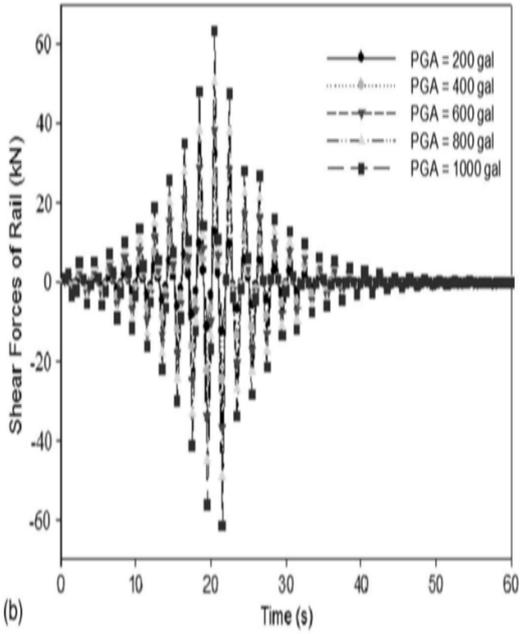
دراسة استقرار الخطوط الحديدية تحت تأثير الزلازل.....

- تعريضه لاهتزازات زلزالية.
- حساب التشوهات الناتجة في القضبان.
- حساب القوى الداخلية الناتجة في القضبان كالقوى المحورية وقوى القص وقوى العزم الناتجة جراء الاهتزاز.
- مقارنة هذه التشوهات والقوى الداخلية الناتجة في القضبان مع القيم الحدية المسببة لحدوث التحنيط في القضبان وذلك حسب نوع القضبان.
- إن مواصفات عناصر المسار موضحة بالجدول (1):

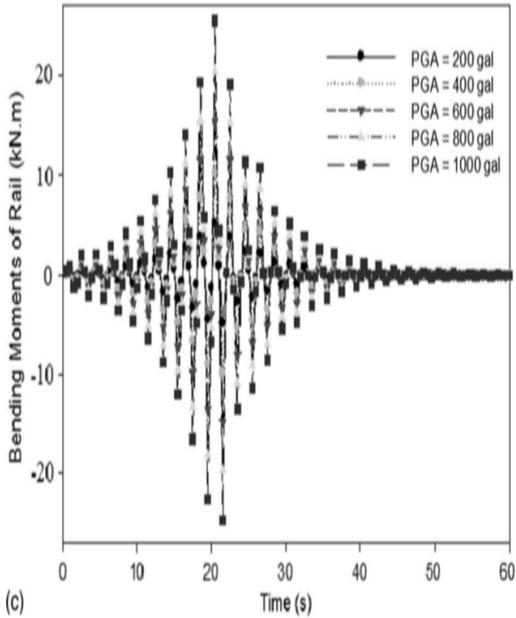
الجدول (1) المواصفات المحددة لعناصر المسار لنموذج الدراسة المرجعية [6].

Parameter	Unit/type	Value (per rail seat)
Type of rail	UIC60 ^a	—
Type of sleeper	B70 ^b	—
Sleeper spacing (l_s)	m	0.60
Rail mass per unit length	kg/m	60.34
Sleeper mass (half)	kg	150
Effective support length of half sleeper (l_e)	m	0.95
Width of sleeper underside (l_b)	m	0.25
Depth of ballast (h_b)	m	0.30
Height of the ballast overlapping regions (h_0)	m	0.05
Ballast stress distribution angle (α)	Degree	35
Ballast and subballast mass (half)	kg	300
Ballast density (ρ_b)	kg/m ³	1840
Rail pad stiffness	MN/m	65
Rail pad damping	kN · s/m	75
Elastic modulus of ballast	MPa	110
Vertical stiffness of ballast and subballast	MN/m	173
Vertical damping of ballast and subballast	kN · s/m	58.8
Longitudinal and lateral stiffness of ballast and subballast	MN/m	78.4
Longitudinal and lateral damping of ballast and subballast	kN · s/m	80
Subgrade K_{30} modulus	MPa/m	90
Subgrade stiffness	MN/m	74
Subgrade damping	kN · s/m	31.15

الحموي



الشكل (5) قوة القرض الناتجة في القضبان [6].

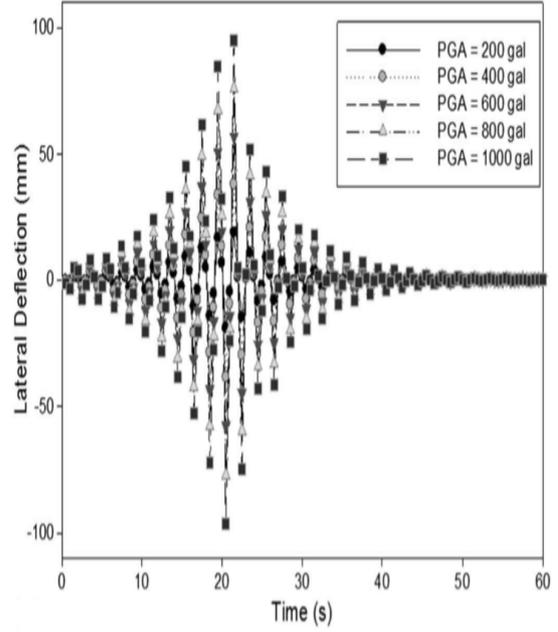


الشكل (6) عزم الانعطاف الناتج في القضبان [6].

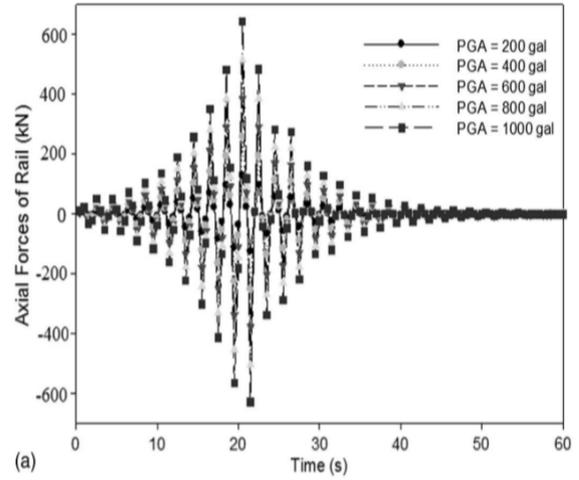
دراسة استقرار الخطوط الحديدية تحت تأثير الزلازل.....

القص وعزم الانعطاف، ومقارنة هذه النتائج مع القيم الحديدية المسببة لحدوث التحنيب.

إن القوى الداخلية الناتجة في المسار موضحة في الاشكال (3) (4) (5) (6):



الشكل (3) الانزياح في الاتجاه العرضي الناتج في القضبان [6].



الشكل (4) القوة المحورية الناتجة في القضبان [6].

مقارنة نتائج النموذج البرمجي مع القيم الحديدية المسببة لحدوث التحنيب في القضبان موضحة في الجدول (2):

دراسة استقرار الخطوط الحديدية تحت تأثير الزلازل.....

الحموي

الجدول (2) مقارنة نتائج النموذج مع القيم الحديدية المسببة لحدوث التحنيب في القضبان:

عزم الانعطاف (Kn.m)	قوة القص (Kn)	القوة المحورية (Kn)	
26	65	669	النموذج البرمجي
120	200	1000	القيم الحديدية

الجدول من إعداد الباحث بالاعتماد على الدراسة المرجعية

7- الدراسة البحثية:

من أجل إنشاء نموذج برمجي يمثل مسار خط حديدي، قامت العديد من الدراسات السابقة بتطوير نماذج متعددة في هذا المجال، تختلف عن بعضها من ناحية استناد العوارض على طبقات البلاست، من حيث اعتبارها مستندة على قواعد منفصلة أو قواعد مستمرة ذات سلوك مرن [5] [7] [8] [11] [12].

تم تشكيل نموذج لمسار خط حديدي وتم التأكد من صحة هذا النموذج من خلال مقارنة نتائج التحليل مع نتائج التحليل لنموذج الدراسة المرجعية السابقة.

تمت عملية النمذجة في هذا البحث باستخدام برنامج الأباكوس الإصدار 6.14 وهو أحد برامج المحاكاة الرقمية التي تعتمد على طريقة العناصر المحدودة، ويوفر البرنامج واجهة رسومية تتيح للمستخدم إمكانية نمذجة العناصر الهندسية بأشكالها المختلفة. يوجد ضمن البرنامج مكتبة ضخمة من العناصر الإنشائية المتنوعة، بالإضافة إلى إمكانية تعريف مواد مختلفة تمثل السلوك الحقيقي للعنصر، ومن خلال أنواع التحليل المختلفة الموجودة يمكن الحصول على النتائج المطلوبة وإخراجها بأشكال عدة، بالإضافة إلى إمكانية تصديرها إلى برامج أخرى والاستفادة منها في عمليات المناقشة والتحليل.

في هذه الدراسة أُعتمدت المواصفات الهندسية للخطوط الحديدية السورية في بناء النموذج، وتم استنتاج التشوهات والقوى الداخلية الناتجة في القضبان.

تتألف عملية النمذجة البحثية من ثلاث مراحل:

المرحلة الأولى: تشكيل نموذج للمسار باستخدام برنامج الأباكوس.

المرحلة الثانية: التأكد من صحة النموذج البرمجي البحثي المشكل من خلال مقارنة نتائج التحليل مع نتائج الدراسة المرجعية المعتمدة.

المرحلة الثالثة: بعد التأكد من صحة النموذج البرمجي المشكل تم معايرة النموذج بإدخال مواصفات الخطوط الحديدية السورية، وتعريضه لموجات اهتزاز مختلفة، واستنتاج التشوهات والقوى الداخلية الناتجة ومقارنتها مع القيم الحديدية المسببة لحدوث التحنيب.

ومن أجل تشكيل النموذج تم فرض الافتراضات الآتية:

- تعمل القضبان كجائز أويلر - برنولي موثوق من الطرفين.
- إن القضيبين الحديدين متناظران بشكل كامل حول المحور الطولي للخط الحديدي.
- تتوزع الحملات على القضيبين بشكل متساوٍ ومتناظر.
- جميع عناصر المسار لها سلوك خطي.
- إن البارامترات المحددة لعناصر المسار ثابتة على طول المسار.

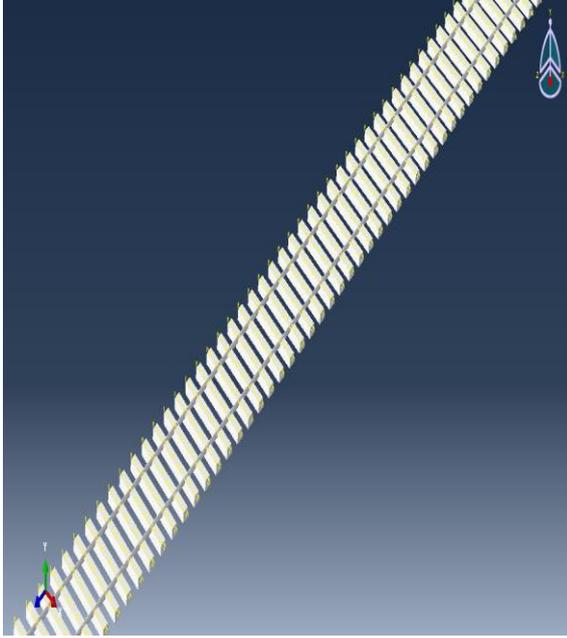
تم استخدام العناصر البرمجية التالية لبناء النموذج:

➤ **خطية:** وهي العناصر التي تكون ذات طول كبير نسبياً إلى مقطعها، وهي تتحمل كافة القوى الداخلية التي يتعرض لها العنصر الإنشائي، من قوى قص وعزم انعطاف وقوى محورية.

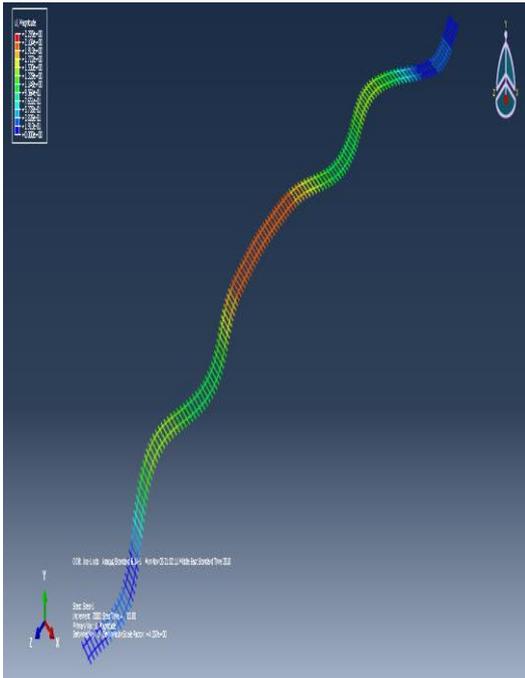
➤ **عناصر كتل مجمعة:** الكتل المجمعمة والتي لا حجم لها فقط يمكنها أن تحتل مكان عقدة ضمن النموذج، هذه الكتل لها مواصفات العطالة كاملة من غير أن يكون لها مواصفات تشوهية أو إجهادية لأنه لا حجم لها.

➤ **نوابض رابطة:** وهو عنصر شبيه بالنابض يربط بين عقدتين، يمكن لهذا العنصر أن يحمل سلوكاً مرناً خطياً ولا خطياً وتخميداً واحتكاكاً وتلدناً.

الحموي



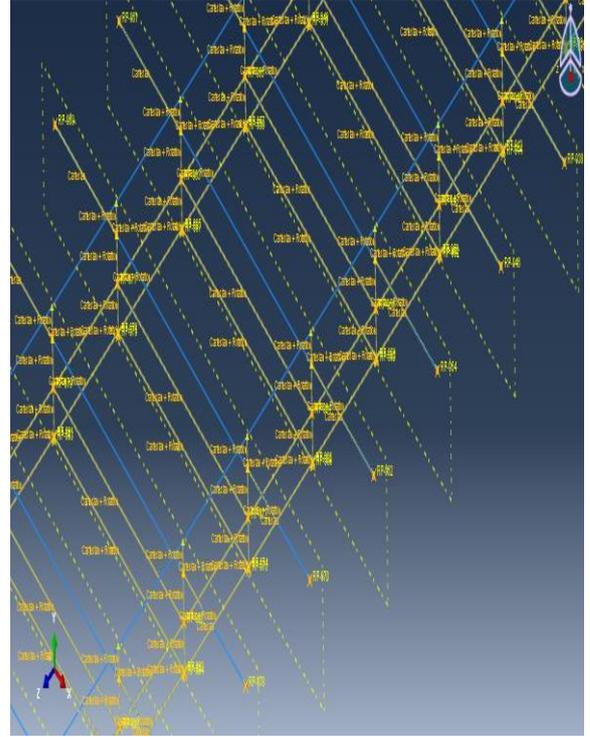
الشكل (8) نموذج ثلاثي البعد للمسار البحثي المشكل.



الشكل (9) الانزياح الحاصل في القضبان بعد تعرضها للاهتزاز.

دراسة استقرار الخطوط الحديدية تحت تأثير الزلازل.....
تم نمذجة القضبان والعوارض كجوائز خطية باعتبارها عناصر
فيزيائية تخضع لجميع أنواع القوى والحمولات، وتظهر فيها
تشوهات وقوى داخلية.

إن النموذج البرمجي للمسار موضح بالأشكال (7) (8) (9)
حيث يوضح الشكل (7) طريقة اتصال عناصر القسم العلوي
للمسار مع بعضها، حيث تمثل كل عقدة كتلة مجمعة لطبقة
البلاست وترتبط هذه العقد مع بعضها بواسطة نوابض، تمثل
هذه النوابض السلوك الفيزيائي لطبقة البلاست من خلال
معاملتي القساوة والتخامد، أما باقي عناصر المسار كالقضبان
والعوارض فتم نمذجتها كجوائز مستندة على العقد الممثلة
لطبقات البلاست وما تحت البلاست.



الشكل (7) النموذج البرمجي للمسار البحثي

يوضح الشكل (9) الانزياح بالاتجاه العرضي الناتج في قضبيي
المسار عند تعرضه للاهتزاز.

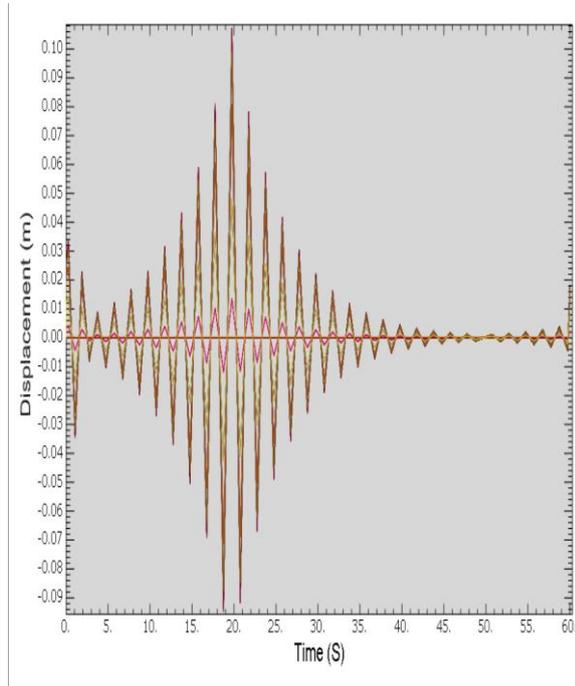
1-7 - الدراسة الزلزالية للنموذج البحثي:

تعد الزلازل من أخطر الكوارث الطبيعية التي تصيب المنشآت
المدينة والبنية التحتية، لما تسببه من أضرار مادية وبشرية
كبيرة، لذلك تحظى الدراسات الزلزالية للمنشآت الهندسية باهتمام

الحموي

تم استعراض النتائج الناتجة عن تطبيق هذا الاهتزاز ومقارنتها مع نتائج الدراسة المرجعية وذلك للتأكد من صحة النموذج البحثي، حيث أن نتائج الدراسة المرجعية تم التحقق من صحتها من خلال مقارنة نتائج التحليل مع نتائج التجارب المخبرية، حيث تم تشكيل نموذج مخبري بمقياس حقيقي لمسار خط حديدي يمتلك نفس مواصفات المسار البرمجي واستنتاج التشوهات والقوى الناتجة في القضبان عند تعرضها للاهتزاز كما يلي:

أولاً: الانزياح الناتج في القضبان نتيجة تطبيق الاهتزاز الصناعي بقيمة أعظمية 1000 GAL على طول 40 متراً من المسار بلغت قيمتها في الدراسة المرجعية 101 مم، في حين بلغت قيمتها في النموذج البحثي المشكل باستخدام برنامج الأباكوس 107 مم كما هو موضح في الشكل (11):



الشكل (11) الانزياح في القضبان في النموذج البحثي.

يمثل المحور الأفقي للمخطط البياني زمن تطبيق الاهتزاز على المسار، أما المحور الشاقولي فيمثل قيمة الانزياح الناتجة عند كل ثانية من تطبيق الاهتزاز.

دراسة استقرار الخطوط الحديدية تحت تأثير الزلازل.....

كبير، ولأن السكك الحديدية تعد جملة هندسية إنشائية فقد حظيت باهتمام الباحثين والدارسين لدراسة سلوكها عند تعرضها للاهتزاز عند حدوث الزلازل، ومحاولة التأكد من مدى استقرارها عند حدوث الزلازل [4] [9] [10].

في هذه الدراسة تم تعريض النموذج بطول 40 متراً لموجات اهتزاز صناعي مشكل من تابع رياضي تكراري، لقد تم اختيار طول المسار هذا بناء على الدراسة المرجعية، حيث أنه تم تطبيق اهتزاز على طول 200 متر من المسار وبينت النتائج أن أعظم انزياح وأكبر قوى داخلية ناتجة تظهر على طول يقدر ب 40 متر من الطول الكلي للمسار.

تم استعراض النتائج من خلال المنحنيات المبينة في الأشكال. إن المعادلة الرياضية المشكلة للموجات الاهتزازية التكرارية هي:

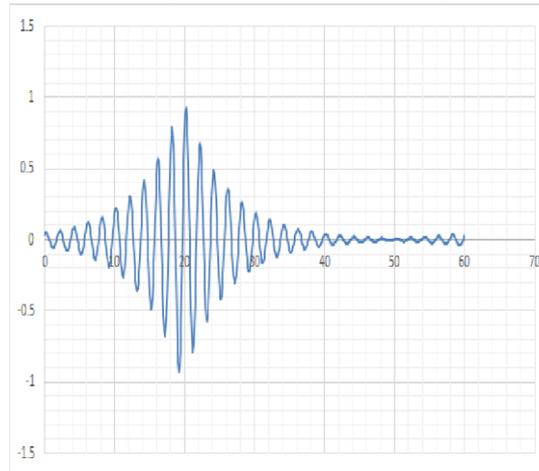
$$\Psi(t) = e^{-\xi\Omega|t|} \sin\Omega$$

حيث: ξ ، Ω ثوابت تتعلق بالزمن وتم اعتماد قيمها بحيث يتم تشكيل موجة تكرارية عند كل 60 ثانية حيث إن هذه القيم تولد موجة اهتزاز تتكرر كل 60 ثانية بنفس المطال كما يلي:

$$\xi = 0.05$$

$$\Omega = \pi$$

يمثل المحور الأفقي للمخطط البياني الزمن الذي تم تطبيقه، أما المحور الشاقولي فيمثل سعة الاهتزاز الناتج.



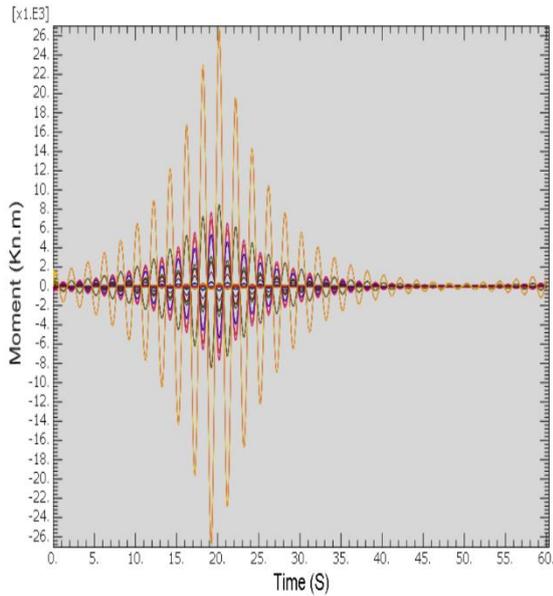
الشكل (10) الشكل البياني لموجات الاهتزاز الناتجة عن التابع الرياضي.

الحموي

الشكل (13) قوة القص الناتجة في القضبان في النموذج البحثي.

يمثل المحور الأفقي للمخطط البياني زمن تطبيق الاهتزاز على المسار، أما المحور الشاقولي فيمثل قيمة قوة القص الناتجة في القضبان عند كل ثانية من تطبيق الاهتزاز.

رابعاً: إن العزم الناتج في القضبان نتيجة تطبيق الاهتزاز الصناعي كان بقيمة 26 kn.m في نموذج الدراسة المرجعية في حين كانت قيمته 26 kn.m في النموذج البحثي أيضاً كما في الشكل (14):



الشكل (14) العزم الناتج في القضبان في النموذج البحثي.

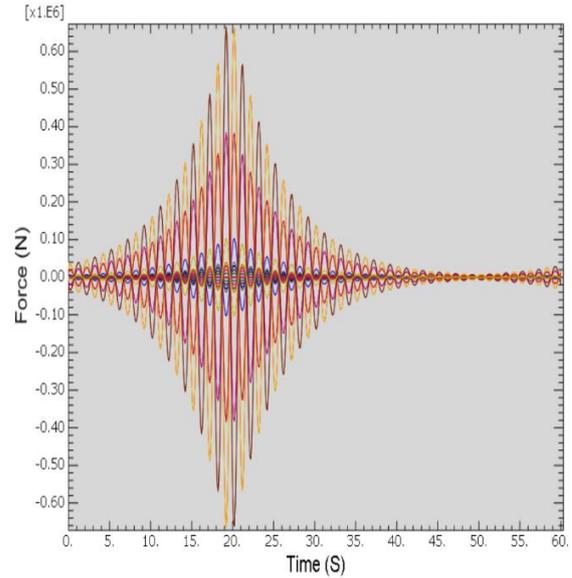
يمثل المحور الأفقي للمخطط البياني زمن تطبيق الاهتزاز على المسار، أما المحور الشاقولي فيمثل قيمة العزم الناتج في القضبان عند كل ثانية من تطبيق الاهتزاز.

نستنتج من خلال المقارنة بين نتائج الدراسة المرجعية ونتائج النموذج البحثي المشكل باستخدام برنامج الأباكوس صحة النموذج البحثي المشكل، وبالتالي أصبح بالإمكان دراسة استقرار الخطوط الحديدية السورية من خلال إدخال مواصفات الخطوط السورية وتعريضها لاهتزاز بشدة أعظمية من خلال المرحلة التالية.

8- معايرة النموذج بإدخال مواصفات الخطوط الحديدية السورية:

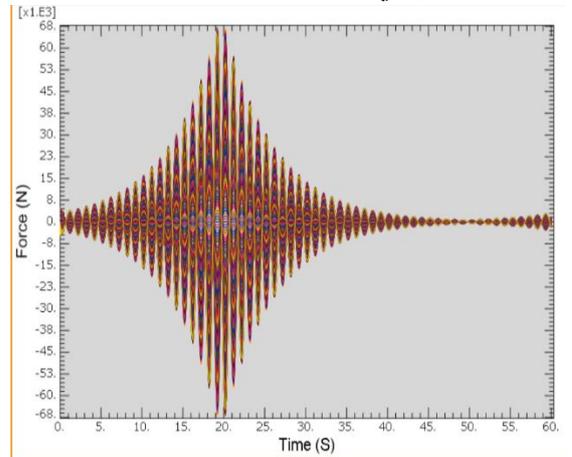
دراسة استقرار الخطوط الحديدية تحت تأثير الزلازل.....

ثانياً: القوى المحورية الناتجة في القضبان في نموذج الدراسة المرجعية عند تطبيق اهتزاز بشدة أعظمية 1000 GAL كانت قيمتها 669 Kn في حين بلغت قيمتها في النموذج البحثي 665 Kn كما هو موضح في الشكل (12):



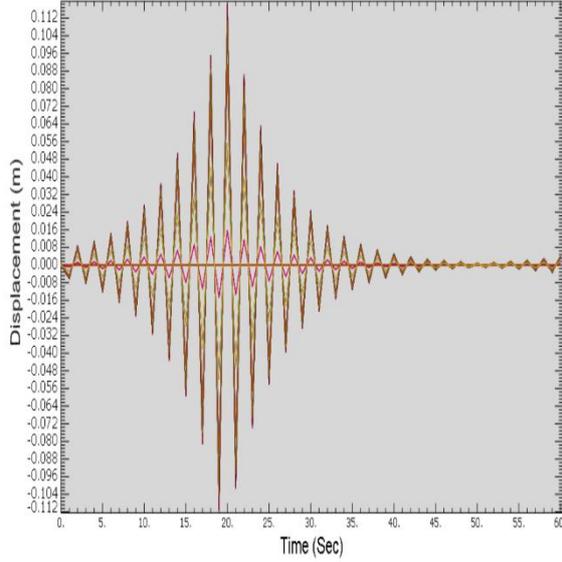
الشكل (12) القوة المحورية الناتجة في القضبان في النموذج البحثي
يمثل المحور الأفقي للمخطط البياني زمن تطبيق الاهتزاز على المسار، أما المحور الشاقولي فيمثل قيمة القوة المحورية الناتجة في القضبان عند كل ثانية من تطبيق الاهتزاز

ثالثاً: قوة القص الناتجة في القضبان في نموذج الدراسة المرجعية 65 Kn أما في النموذج البحثي فكانت قيمتها 69 kn كما هو موضح في الشكل (13):



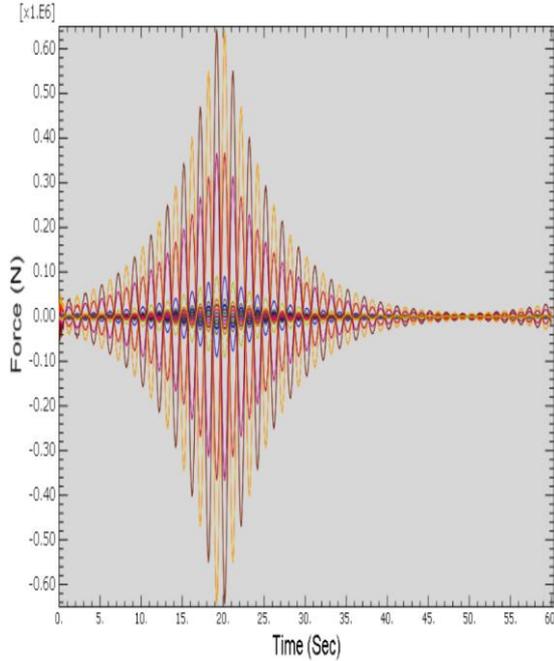
الحموي

أولاً: الانزياح الناتج في القضبان نوع R50 نتيجة تطبيق اهتزاز بشدة 1000 gal حيث بلغت قيمته 117 مم كما هو موضح في الشكل (15) :



الشكل (15) الانزياح الناتج في القضبان R50.

ثانياً: القوة المحورية الناتجة في القضبان بلغت قيمتها 643 kn كما هو موضح في الشكل (16):



الشكل (16) القوة المحورية الناتجة في القضبان R50.

دراسة استقرار الخطوط الحديدية تحت تأثير الزلازل.....

إن الخطوط السورية تتضمن نوعين من المسارات:

✓ مسارات قديمة منفذة سابقاً ذات قضبان R50.

✓ شبكة حديثة منفذة حالياً ذات قضبان UIC 60.

إن مواصفات الخطوط السورية موضحة في الجدول (3):

الجدول (3) مواصفات الخطوط الحديدية السورية الموجودة:

R50	نوع القضبان المستخدمة
بيتونية هغارية	نوع العوارض المستخدمة
Kb - RN	نوع التثبيت المستخدم

الجدول بالاعتماد على معلومات من مديرية الشؤون الفنية في

المؤسسة العامة للخطوط الحديدية السورية

أما مواصفات الخطوط الجديدة التي تنفذ فهي موضحة في

الجدول (4):

الجدول (4) مواصفات الخطوط الحديدية السورية الجديدة التي

تنفذ:

UIC60	نوع القضبان المستخدمة
B70 بيتونية	نوع العوارض المستخدمة
e-clip	نوع التثبيت المستخدم

الجدول بالاعتماد على معلومات من مديرية الشؤون الفنية في المؤسسة

العامة للخطوط الحديدية السورية.

إن نتائج تطبيق الاهتزاز على الخطوط ذات القضبان UIC60

تم استعراضها سابقاً، حيث إن هذه الخطوط تمتلك نفس

مواصفات المسار في الدراسة المرجعية، وبالتالي سيتم دراسة

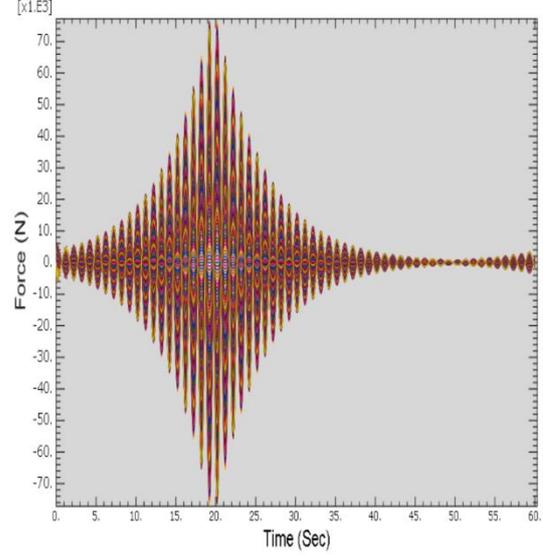
حالة الخطوط ذات القضبان R50 وذلك بتطبيق الاهتزاز

الصنعي بشدة أعظمية 1000 gal على طول 40 متراً من

المسار.

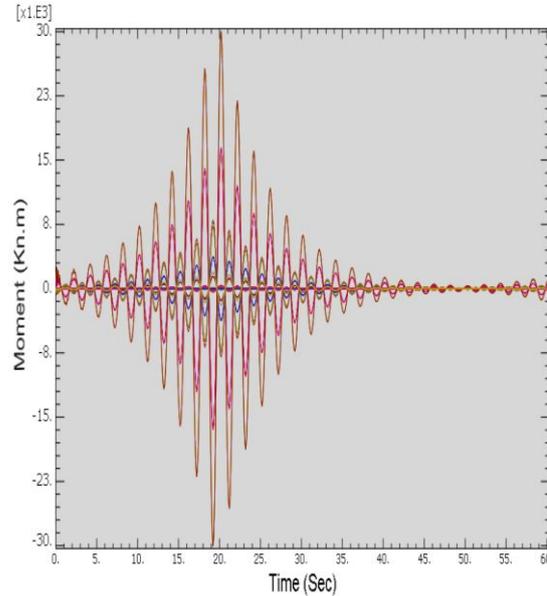
دراسة استقرار الخطوط الحديدية تحت تأثير الزلازل.....

ثالثاً: قوة القص الناتجة في القضبان بلغت قيمتها 76 kn كما هو موضح في الشكل (17):



الشكل (17) قوة القص الناتجة في القضبان R50

رابعاً: العزم الناتج في القضبان بلغت قيمته 30 kn.m كما هو موضح في الشكل (18):



الشكل (18) العزم الناتج في القضبان R50.

بعد أن تم استنتاج التشوهات الناتجة في القضبان والقوى الداخلية المتشكلة نتيجة تطبيق الاهتزاز الخارجي، يجب التأكد من قدرة القضبان على مقاومة حدوث التحنيب، وذلك من خلال

الحموي

مقارنة قيم النتائج مع القيم الحدية المسببة لحدوث التحنيب، حيث إن هذه القيم الحدية المسببة لحدوث التحنيب تتعلق بنوع القضبان المستخدمة.

لقد تم اعتبار هذا القيم الحرجة مأخوذة من الكود الإيراني للطرق حيث إنه يتضمن الاشتراطات الزلزالية التي يجب أن تطبق على المسار لضمان استقراره في حال حدوث زلازل بشدات مختلفة.

إن مقارنة القيم للنتائج الناتجة عن الدراسة البحثية مع القيم الحدية المسببة لحدوث التحنيب موضحة بالجدول (5):

الجدول (5) مقارنة النتائج مع القيم الحدية المسببة لحدوث التحنيب:

القيم الحدية	القضبان UIC60	القضبان R50	
له علاقة بخفض سرعة القطار	107	117	الانزياح العرضي mm
1000	665	643	القوة المحورية Kn
1000	67	76	قوة القص Kn
120	26	30	عزم الانعطاف Kn.m

الجدول من إعداد الباحث بالاعتماد على نتائج التحليل

في حال حدوث زلزال أثناء مسير القطار فإن إمكانية استمرار سير القطار تتعلق بقيمة الانزياح الناتج بالقضبان وسرعة القطار أثناء مسيره، فمثلاً لو أن الانزياح الناتج كان بحدود 24 مم فيجب خفض سرعة القطار لسرعة 120 كم/سا، أما في حال كان الانزياح الحاصل بحدود 41 مم فيجب توقف القطار عن السير وذلك وفقاً للكود الإيراني للسكك الحديدية.

البلاست وكيفية تنفيذ العوارض واستناد القضبان عليها، لذلك فإنه من الضروري التقيد بشروط التنفيذ الجيد في أعمال السكك الحديدية سواء في حال تنفيذ خطوط جديدة، أو في حال أعمال الصيانة للخطوط التي تحتاج إلى صيانة.

2 - ضرورة إدخال الدراسة الزلزالية في دراسة وتصميم شبكات الخطوط الحديدية، وذلك من خلال الأخذ بعين الاعتبار الزلازل التي من الممكن أن تتعرض لها المنطقة من حيث الشدات المختلفة التي يمكن أن تحدث أو أماكن وقوعها وذلك من خلال:

_ اختيار القضبان التي تحقق المواصفات المطلوبة لمنع حدوث تحنيب.

_ اختيار أدوات وصل وتثبيت للقضبان بما يحقق كفاءة عالية ضد حدوث تحنيب في القضبان عند حدوث زلزال.

من خلال المقارنة يتضح أن جميع القيم أصغر من القيم الحديدية المسببة لحدوث التحنيب وهذا يدل على أن المسار سيبقى مستقراً ضد حدوث التحنيب حتى في حال تعرضه للزلزال.

9 - النتائج والتوصيات:

9-1- النتائج:

تعد شبكة الخطوط الحديدية الموجودة حالياً سواء الموجودة سابقاً أو التي تنفذ مستقرة ضد التحنيب، وذلك في حال تعرضها لزلزال قوي، حيث خلصت الدراسة إلى أن جميع القوى الداخلية الناتجة في القضبان والتشوهات الحاصلة أقل من القيم الحديدية التي تسبب حدوث تحنيب في القضبان عند تعرضها لزلزال وذلك عند شدات مختلفة للاهتزاز.

9-2- التوصيات:

1 - لقد تمت الدراسة السابقة باعتبار الظروف النموذجية لوضع الخطوط الحديدية السورية، من حيث توضع طبقات

التمويل: هذا البحث ممول من جامعة دمشق
وفق رقم التمويل (501100020595).

and Railway Engineering. Department of Transport Science. School of Architecture and the Built Environment. Royal Institute of Technology. Stockholm: Sweden. P: 92.

8- Iwnicki, S. (2006). Handbook of Railway Vehicle Dynamics. Boca Raton: United States of America. 2nded. Taylor Francis Group. CRC Press. P: 548.

9- Nakamura, T., Sekine, E., Shire, Y. (2011). Assessment of Aseismic Performance of Ballasted Track with Large-scale Table Test. QR of RTRI.

Vol. 52. No 3. P- P: 156- 162.

10- Soghabe, M., Asanuma, K., Nakamura, T., Kataoka, H., Goto, K., & Tokunaga, M. (2013). Deformation Behavior of Ballasted Track during Earthquakes. QR of RTRI. Vol. 54. No 2. P- P: 104- 111.

11- Vostroukhov, A. V., Metrikine, A. V. (2003). Periodically supported beam on a visco-elastic layer as a model for dynamic analysis of a high-speed railway track. International Journal of Solids and Structures. Vol. 40. No 21. P- P: 5723– 5752.

12- Zhai, W. M., Wang, K. Y., Lin, J. H. (2004). Modeling and Experiment of Railway Ballast Vibrations. Journal of Sound and Vibration. V. 270. P- P: 673– 683.

References:

1 - زعرور، جندب، الوادي، محمد هاجم، عميرة، إبراهيم، وداؤد، شفيق. (2013). هندسة السكك الحديدية. دمشق: سورية. منشورات جامعة دمشق. ص: 557.

2 - كافي، خولة. (2011). النقل بالسكك الحديدية وأثره على الاقتصاد المحلي دراسة حالة خط تفرت-قسنطينة. ماجستير. اقتصاد النقل والإمداد. كلية العلوم الاقتصادية والتجارية وعلوم التسيير. جامعة الحاج لخضر. باتنة: الجزائر. ص: 155.

3 - زعرور، جندب، الشيخ، علي. (2012). تقييم الوضع الحالي للقسم العلوي من الخط الحديدي دراسية خط حلب - دمشق حالة. مجلة جامعة دمشق للعلوم الهندسية. مج: 28. عدد: 1. ص_ ص: 115_ 127. دمشق. سورية. جامعة دمشق.

4- Arabi, F., Khalighi, M. (2010). Stability of Railroad Tracks under the Effects of Temperature Change and Earthquake. JSEE. Vol. 12. No. 3. P- P: 119- 129.

5- Daoud, S., Guowei, X., & Xiaoming, L. (2012). Equivalent Dynamics Model of Ballasted Track Bed. Master. Department of Mechanical Engineering. Blekinge Institute. Karlskrona: Sweden. P: 94.

6- Esmaeili, M., Noghabi, H. H. (2013). Investigating Seismic Behavior of Ballasted Railway Track in Earthquake Excitation Using Finite-Element Model in Three-Dimensional Space. JOURNAL OF TRANSPORTATION ENGINEERING. Vol. 139. No 7. P-P: 697-708.

7- Feng, H. (2011). 3D-models of Railway Track for Dynamic Analysis. Master. Division of Highway