

دراسة سلوك الخطوط الحديدية بسبب حركة القطارات عند تغير مواصفات عناصر القسم العلوي

الدكتور المهندس محمد هاجم الوادي*

الملخص

عند مرور قطار له وزن محوري يصل إلى 25 طنًا فإن الخط الحديدي سوف يهبط تحته على شكل موجة، وستنتقل هذه الموجة مع انتقال القطار. تستمر الموجة بالشكل نفسه حتى تتغير مواصفات الخط فيتغير شكلها. يحدث التغير في مواصفات الخط عند اجتياز المعابر والجسور والأنفاق. كما يحدث عند تغير في نوع القضبان أو نوع العوارض أو في سماكة البلاست.

تشهد شبكة الخطوط الحديدية السورية تحديثاً يشمل إعادة تأهيل الخطوط القديمة وإنشاء خطوط جديدة لتتوافق مع المواصفات الدولية الحديثة، وهذا يتطلب زيادة الحمولات المحورية وتحسين العناصر الجيومترية للخطوط مما يتطلب تغييراً في عناصر القسم العلوي للخط.

سنتناول في هذا البحث دراسة تأثير تغير مواصفات الخط في شكل الموجة في الخط الحديدي الناتجة عند مرور القطارات فوقه، وحساب القوى في المنطقة الانتقالية عند تغير تلك المواصفات.

أظهرت النتائج نشوء تغير مفاجئ في الضغط المنقول إلى طبقة البلاست ناتج عن تغير مواصفات الخط؛ لذلك يجب تفادي التغير النسبي في قيمة المعامل الخاص بالخط يزيد على 20%، وكذلك من المفيد تأمين منطقة انتقالية يتغير فيها معامل الخط تدريجياً.

الكلمات المفتاحية: الخط الحديدي - القضبان - العوارض - البلاست

* قسم النقل والمواصلات - كلية الهندسة المدنية - جامعة دمشق

تم إجراء البحث في مهمة بحث علمي في جامعة درسدن التقنية في ألمانيا

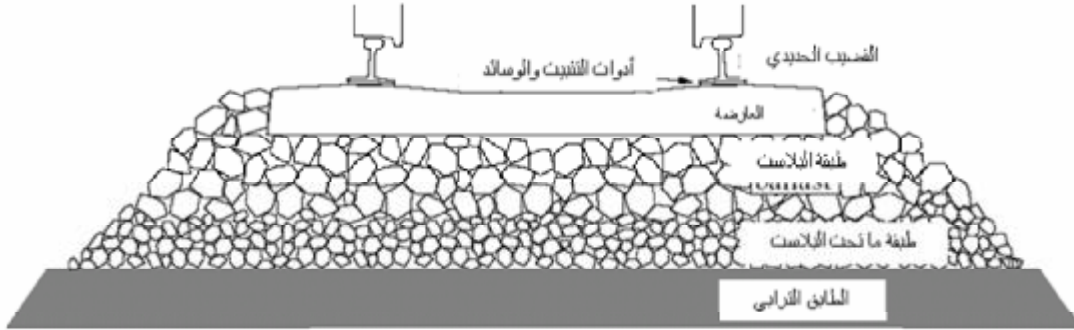
المقدمة

المحورية وتحسين العناصر الجيومترية للخطوط مما يتطلب تغييراً في عناصر القسم العلوي للخط. سنتناول في هذا البحث متابعة دراسة تأثير تغير مواصفات الخط في شكل الموجة في الخط الحديدي الناتجة عند مرور القطارات فوقه، وحساب القوى في المنطقة الانتقالية بين المنطقتين، حيث يكون للخط مواصفات مختلفة في كل منهما. وقد راعينا في التطبيق العددي اعتماد المواصفات المعتمدة لشبكة الخطوط الحديدية السورية في الخطوط الجديدة أو المحدثة.

1- النموذج المستخدم في دراسة سلوك الخط الحديدي
يتكون الخط الحديدي من القسم العلوي ويشمل القضبان والعوارض والوسائد وأدوات التثبيت وطبقة البلاست وطبقة ماتحت البلاست، ومن القسم السفلي أو الطابق الترابي ويشمل طبقات الردم والطبقة السطحية من الطابق الترابي وطبقة الأساس الترابية (الشكل 1).

إن وظيفة الخط الحديدي هي توجيه القطارات بطريقة آمنة واقتصادية فضلاً عن نقل الحمولات وتوزيعها إلى الطابق الترابي. عند مرور قطار له وزن محوري يصل إلى 25 طناً فإن الخط الحديدي سوف يهبط تحته على شكل موجة، وستنتقل هذه الموجة مع انتقال القطار. تستمر الموجة بالشكل نفسه حتى تتغير مواصفات الخط فيتغير شكلها. يحدث التغير في مواصفات الخط عند اجتياز المعابر والجسور والأنفاق. كما يحدث عند تغير نوع القضبان أو نوع العوارض أو تغير في سماكة البلاست.

تشهد شبكة الخطوط الحديدية السورية تحديثاً يشمل إعادة تأهيل الخطوط القديمة وإنشاء خطوط جديدة لتتوافق مع المواصفات الدولية الحديثة، وهذا يتطلب زيادة الحمولات



الشكل 1 : مكونات القسم العلوي في الخط الحديدي [1]

$$EI \frac{\partial^4 y(x,t)}{\partial x^4} + \rho A \frac{\partial^2 y(x,t)}{\partial t^2} = q(x,t) \quad (1)$$

EI صلابة الجائز

ρ كثافة مادة الجائز

A مساحة المقطع العرضي للجائز

$q(x,t)$ الحمولة المطبقة تؤخذ كتابع للمكان في زمن

محدد

في الحالة الثانية يُحسب عزم العطالة وتشوهات

القص للجائز

من أجل دراسة سلوك الخط تجري نمذجة عناصر الخط الحديدي بأشكال مختلفة منها البسيطة ومنها المركبة. يمكن نمذجة الخط الحديدي بوصفه جائزاً يستند إلى وسط مرن وفق نظرية اويلر - برنولي (جائز برنولي) أو وفق نظرية ريليه - تيموشنكو (جائز تيموشنكو). [2] في الحالة الأولى يُحسب الانعطاف في الخط الحديدي وتؤخذ عزوم العطالة فقط عند وجود الاهتزازات، وتكون المعادلة التفاضلية التي تصف هذا النموذج هي:

المعادلة التفاضلية للسهم
 المعادلة (2) $EI \frac{\partial^4 y(x,t)}{\partial x^4} + \rho A \frac{\partial^2 y(x,t)}{\partial t^2} - \rho I \left[1 + \frac{E}{\kappa G} \right] \frac{\partial^2 y(x,t)}{\partial x^2 \partial t^2} + \frac{\rho^2 I \partial^2 y(x,t)}{\kappa G \partial t^2} = q(x,t)$

G معامل القص

k ثابت القص

$$A_s = L_s \cdot b_1 \quad (4-b)$$

$$A_s = 2 \cdot L_a \cdot b_1 \quad (4-c)$$

عندما يكون ثابت القص كبيراً جداً فإن المعادلة السابقة

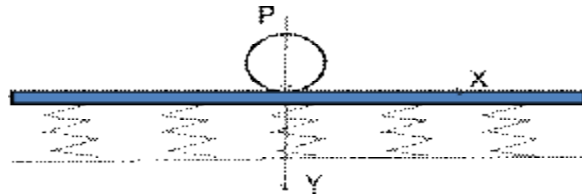
يمكن اختصارها إلى الشكل الآتي:

$$EI \frac{\partial^4 y(x,t)}{\partial x^4} + \rho A \frac{\partial^2 y(x,t)}{\partial t^2} - \rho I \frac{\partial^2 y(x,t)}{\partial x^2 \partial t^2} = q(x,t) \quad (3)$$

وبملاحظة أن $\rho I = \rho r^2 A = m r^2$

فإن عزم العطالة الدوراني من أجل نصف قطر العطالة الدوراني r صغير جداً يمكن إهماله (الحد الثالث في المعادلة السابقة) وتؤول إلى الحالة الأولى (نموذج اويلر برنولي).

يمثل الوسط المرن بنوابض موزعة لها صلابة خطية، ويكون رد الفعل عبارة عن قوى موزعة متناسبة مع السهوم. يتميز هذا النموذج بالبساطة والسهولة في الحساب. نحتاج في الحساب صلابة الجائز EI ومعامل الصلابة إلى الوسط المرن k (الشكل 2).



الشكل 2 : النموذج الحسابي

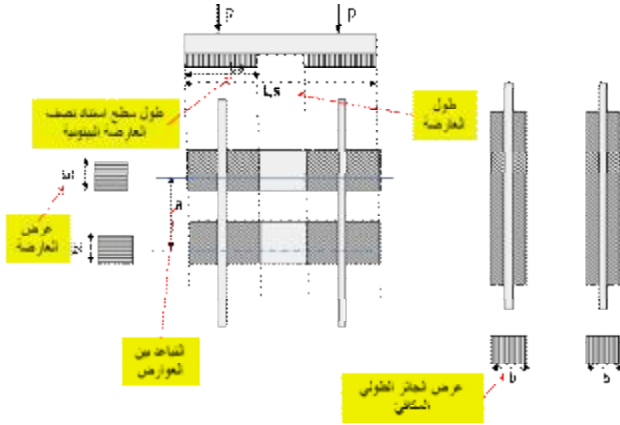
تعتمد طريقة الحساب على اعتبار الخط الحديدي جائزاً مستمراً لا متناهياً في الطول يستند إلى وسط مرن حيث يؤخذ نصف الخط بالاتجاه الطولي (الشكل 3). يحسب

عرض الجائز الطولي في [1,3,4,5] بالعلاقة:

$$(4-a) \quad b = \frac{A_s}{2 \cdot a}$$

a التباعد بين العوارض
 Ls طول العارضة

La طول سطح استناد نصف العارضة (في العوارض الخشبية يعد مساوياً طول نصف العارضة)



الشكل 3 : حساب عرض الجائز المكافئ

تؤول المعادلة التفاضلية (1) في حالة الجوائز المستمرة المستندة إلى وسط مرن والخاضعة لقوة شاقولية مركزة إلى

$$\frac{d^4 y}{dx^4} = - \frac{b \cdot k \cdot y}{EI} \quad (5)$$

EI صلابة الجائز

y السهم

b عرض الجائز الطولي المكافئ (المعادلة 3)

k معامل البلاست وهو مقدار الضغط اللازم مقدراً

بالكيلو نيوتن/سم² لهبوط مقداره 1 سم

P القوة الشاقولية

يكون الهبوط أعظماً تحت نقطة تطبيق القوة من أجل $x=0$ ويتناقص الهبوط على اليمين واليسار بشكل متناظر بسبب تماثل مواصفات عناصر القسم العلوي للخط، ويمكن إهماله على مسافة $x=\pi/\beta$ حيث يمثل الهبوط عندها 4% من القيمة المطلقة الهبوط الأعظمي. وبشكل مشابه نحصل على معادلات الميل والعزوم والقوى وهي المشتق الأول والثاني والثالث للخط المرن بالنسبة إلى الطول على الترتيب (الشكل 4).

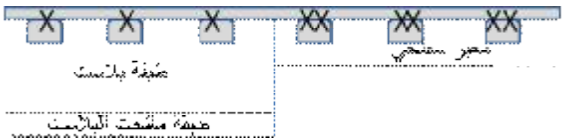
$$y' = -\frac{P b^2}{kb} e^{-bx} \sin bx \quad (8-b)$$

$$M = \frac{P}{4b} e^{-bx} [\cos bx - \sin bx] \quad (8-c)$$

$$Q = \frac{P}{2} e^{-bx} \cos bx \quad (8-d)$$

2-3 مواصفات الخط متغيرة

إن الحالة المدروسة سابقاً قد افترضت أن مواصفات القسم العلوي للخط ثابتة على كامل الطول. ولكن في الواقع العملي نصادف حالات لا تتحقق فيها هذه الفرضية عند اجتياز المعابر والجسور والأنفاق (الشكل 5).



الشكل 5 : حالة خط له مواصفات متغيرة للحصول على معادلة

الخط المرن نعود إلى المعادلة الأساسية (5) ونحلها

ونوجد الثوابت من الشروط المحيطة الآتية:

في الأطراف

$$y_1(x \rightarrow -\infty) = 0$$

$$y_2(x \rightarrow +\infty) = 0$$

$$y_1'(x \rightarrow -\infty) = 0$$

$$y_2'(x \rightarrow +\infty) = 0$$

وفي نقطة الاتصال بين المنطقتين

$$y_1(x=0) = y_2(x=0)$$

$$y_1'(x=0) = y_2'(x=0)$$

المعادلة (5) هي معادلة تفاضلية خطية من الدرجة

الرابعة. يكون الحل العام لها

$$y = \frac{1}{2} e^{bx} (A_1 \cos bx + A_3 \sin bx) + e^{-bx} (A_2 \cos bx + A_4 \sin bx) \quad (6)$$

تمثل المعادلة (6) معادلة اهتزاز جيبي متخامد .

إن المقدار b يمثل الخواص الهندسية للخط الحديدي إذ EI تمثل الخواص الهندسية للقضبان ، b تمثل الخواص الهندسية للعوارض ، k تمثل الخواص الهندسية للبلاست ونسميه المعامل المميز للخط.

$$b \text{ [cm}^{-1}] = \sqrt[4]{\frac{kb}{4EI}} \quad (7)$$

2- حساب القوى في الخط الحديدي

3-1 مواصفات الخط ثابتة

عندما تكون مواصفات الخط ثابتة فإن الثوابت في

المعادلة (6) يتم إيجادها من الشروط المحيطة

$$y(x \rightarrow 0) = 0$$

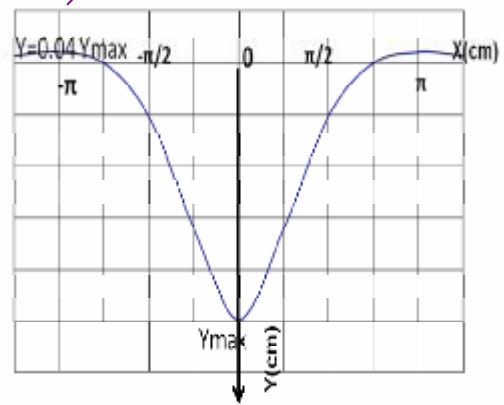
$$y'(x \rightarrow 0) = 0$$

$$y'''(x \rightarrow 0) = \frac{P}{2EI}$$

فنحصل على معادلة الخط المرن

$$y = \frac{P b}{2kb} e^{-bx} [\cos bx + \sin bx]$$

(8-a)



الشكل 4 : شكل موجة الهبوط في الخط الحديدي تحت حمولة

شاقولية ومواصفات الخط ثابتة

P القوة الشاقولية
 E معامل المرونة للقضبان
 I عزم العطالة للقضيب الحديدي
 $f(\beta_1, \beta_2)$ تابع يعطى بالمعادلة (10) ويتعلق بتغير
 مواصفات الخط

$$(10) \quad f(b_1, b_2) = \frac{b_1}{b_1^3 b_2 + b_1 b_2^3 + b_1^2 b_2^2 + b_2^4}$$

يكون الهبوط أعظماً تحت نقطة تطبيق القوة الشاقولية
 (الشكل 6).

$$y1''(x=0) = y2''(x=0)$$

$$y1'''(x=0) - y2'''(x=0) = \frac{P}{EI}$$

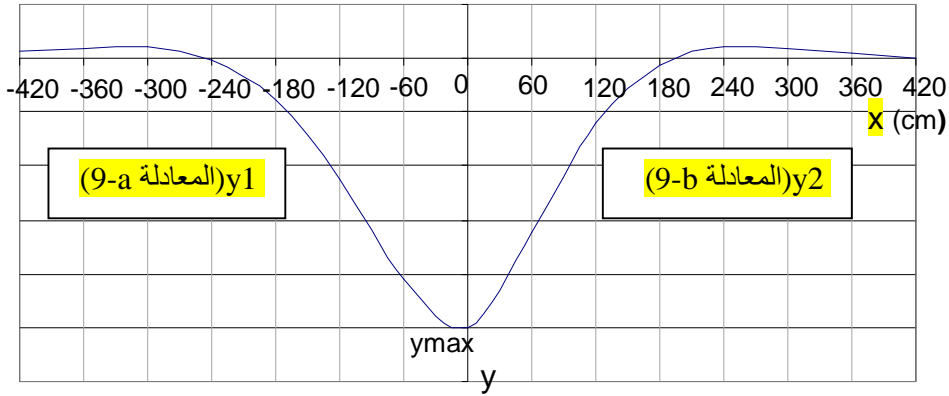
يكون هبوط الخط غير متناظر وتعطى معادلات هبوط
 الخط في المنطقتين كما يأتي [6]:

$$y_1 = e^{-b_1 x} \frac{P}{2EI} f(b_1, b_2) \left(\frac{b_2}{b_1} \cos b_1 x + \frac{b_2^2}{b_1^2} \sin b_1 x \right) \quad (9-a)$$

$$y_2 = e^{-b_2 x} \frac{P}{2EI} f(b_1, b_2) \left(\frac{b_2}{b_1} \cos b_2 x + \sin b_2 x \right) \quad (9-b)$$

y1 الهبوط على يسار نقطة تطبيق القوة ($x < 0$)

y2 الهبوط على يمين نقطة تطبيق القوة ($x > 0$)



الشكل 6 : شكل موجة الهبوط في الخط الحديدي تحت حمولة شاقولية ومواصفات الخط متغيرة (لاحظ عدم التناظر) وبشكل مشابه نحصل على معادلات العزوم والقص (11، 12).

يبين الشكل (7) قيم التابع $f(\beta_1, \beta_2)$ من أجل قيم متغيرة لـ β_1 و β_2 . تعبر هذه القيم عن مواصفات الخط. نبين في الجدول (1) المواصفات المكافئة لبعض من هذه القيم. مثلاً $\beta=0.01$ تكافئ خط له المواصفات الآتية (معامل بلاست = 100 نيوتن /سم³، قضبان نوع UIC60، عوارض B70).

الجدول 1 : قيم المعامل الخاص للخط $\beta[\text{cm}^{-1}]$ من أجل أنواع

لعناصر القسم العلوي

عوارض B70	k=100 (N/cm ³)	k=200(N/cm ³)	k=300(N/ cm ³)
UIC60	0.010	0.012	0.013
UIC54	0.0114	0.013	0.014
UIC50	0.0111	0.0132	0.0146

$$M_1 = -P * f(b_1, b_2) * e^{-b_1 x} * b_1^2 \left(\frac{b_2}{b_1} \sin b_1 x - \frac{b_2^2}{b_1^2} \cos b_1 x \right) \quad (11-a)$$

$$M_2 = -P * f(b_1, b_2) * e^{-b_2 x} * b_2^2 \left(\frac{b_2}{b_1} \sin b_2 x - \cos b_2 x \right) \quad (11-b)$$

$$Q_1 = -P * f(b_1, b_2) * e^{-b_1 x} * b_1^3 \left[\frac{b_2}{b_1} (\cos b_1 x - \sin b_1 x) + \frac{b_2^2}{b_1^2} (\cos b_1 x + \sin b_1 x) \right] \quad (12-a)$$

$$Q_2 = -P * f(b_1, b_2) * e^{-b_2 x} * b_2^3 \left[\frac{b_2}{b_1} (\cos b_2 x - \sin b_2 x) + (\cos b_2 x + \sin b_2 x) \right] \quad (12-b)$$

3-3 مناقشة التابع $f(\beta_1, \beta_2)$

تتضمن المعادلات السابقة (9,11,12) التابع $f(\beta_1, \beta_2)$ الذي يمثل التأثير المتبادل بين الوسطين المتجاورين حيث يكون لكل وسط معاملاً مختلفاً.

إن دراسة هذا التابع تفيدنا في معرفة سلوك الخط ولاسيما المنطقة المجاورة لنقطة التغيرات في المواصفات، أي بالقرب من $x=0$.

عند تغير مواصفات الخط (مثلاً تغير في نوع القضبان أو في نوع العوارض أو عددها أو في سماكة البلاست) فإن الخط المرن فضلاً عن العزوم والقوى القاصة سوف تتغير ضمن هذه المنطقة. كما تتداخل تأثيرات هذا التغير ويمكن اعتبارها منطقة انتقالية. يتعلق طول المنطقة الانتقالية بطول موجة التحنيب، وكما بينا أعلاه فإن تأثير الحمولة الشاقولية يتناقص تدريجياً، ويمكن إهماله بعد مسافة تساوي π/β .

إن طول المنطقة الانتقالية سوف تمتد على اليمين واليسار ويساوي المجموع $\pi/\beta_1 + \pi/\beta_2$.

الشكل 7 : التابع $f(\beta_1, \beta_2)$ سلوك الخط في المنطقة الانتقالية

4-1 مفاهيم أساسية

يحسب الخط المرن للخط الحديدي الناتج عن حمولة شاقولية خارج حدود المنطقة الانتقالية وفق المعادلة (8). لكن ماهو سلوك الخط ضمن المنطقة الانتقالية؟ للإجابة عن هذا السؤال نطلق من المفاهيم الآتية:

- إن تغير الخط المرن للخط الحديدي سيكون انسيابياً ولا توجد نقاط انكسار فيه.
- إن قيمة الهبوط للخط المرن على حدود المنطقة الانتقالية معروفة، وتحسب بالعلاقة (8).

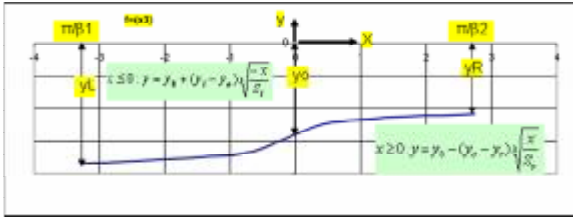
$$S_l = p / b_1 = p \cdot \sqrt[4]{\frac{4 \cdot E \cdot I}{C_1 \cdot b}}$$

$$(14) S_r = p / b_2 = p \cdot \sqrt[4]{\frac{4 \cdot E \cdot I}{C_2 \cdot b}}$$

تكون معادلة الخط المرن في المنطقة الانتقالية (الشكل 9)

$$(15-a) \quad x \leq 0 : y = y_0 + (y_l - y_0) \cdot \sqrt[3]{\frac{-x}{S_l}}$$

$$(15-b) \quad x \geq 0 : y = y_0 - (y_0 - y_r) \cdot \sqrt[3]{\frac{x}{S_r}}$$



الشكل 9 : شكل مسار الهبوط الأعظمي في الخط في المنطقة الانتقالية (حالة كثير حدود من الدرجة الثالثة) 3-4 مسار الهبوط الأعظمي يمثل بمنحنى كثير حدود من الدرجة الرابعة:

معادلة المنحنى من الشكل

$$(16) \quad y = ax^4 + bx^3 + cx^2 + dx + e$$

في هذه المعادلة توجد 5 مجاهيل ومن ثم نحتاج إلى 5 معادلات لإيجادها. هذه المعادلات يجب أن تلبى الاشتراطات السابقة. من الشروط البدائية التالية نشكل هذه المعادلات

$$x = -S_l : y = y_l$$

$$x = S_r : y = y_r$$

$$x = 0 : y = y_0$$

$$x = -S_l : y' = 0$$

$$x = S_r : y' = 0$$

وتكون لدينا المعادلات الآتية:

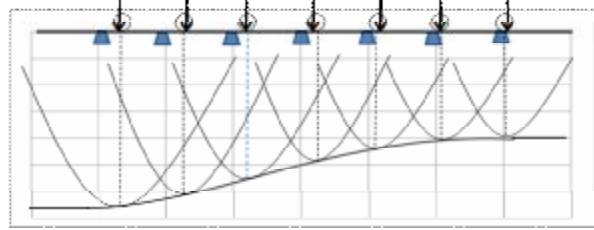
- إن قيمة الهبوط في نقطة تغير مواصفات الخط تحسب، وفق العلاقة (9).

بناء على الاعتبارات السابقة فإن اختيار المعادلة التي ستعطي مسار الهبوط الأعظمي في الخط في المنطقة الانتقالية يجب أن يحقق فضلاً عما سبق ما يأتي: (الشكل 8)

- يكون المنحنى في بدايته وفي نهايته موازياً لمحور السينات.

- نقطة تقاطعه مع محور العيانات (الحد الفاصل بين المنطقتين) هي نقطة انعطاف.

إن المنحنى الذي يحقق الاشتراطات السابقة هو كثير الحدود وسنوضح فيما يأتي مثالين لهذا المنحنى.



الشكل 8 : مسار الهبوط الأعظمي في الخط عند تغير مواصفات الخط

2-4 مسار الهبوط الأعظمي يمثل بمنحنى كثير حدود من الدرجة الثالثة:

نحسب الهبوط في بداية المنطقة الانتقالية ونهايتها:

$$(13-a) \quad x = S_l \rightarrow Y = y_l = e^{-xb_1} \left(\cos \left| \frac{x}{L_1} \right| + \sin \left| \frac{x}{L_1} \right| \right)$$

$$(13-b) \quad x = S_r \rightarrow Y = y_r = e^{-xb_2} \left(\cos \left| \frac{x}{L_2} \right| + \sin \left| \frac{x}{L_2} \right| \right)$$

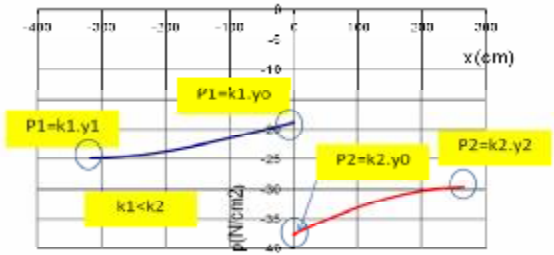
يحسب الهبوط في نقطة الاتصال

$$x = 0 \rightarrow Y = y_0$$

إن قيمة الهبوط y تتعلق بمواصفات الخط وتعطى بالمعادلة (8) عندما تكون الحمولة خارج المنطقة الانتقالية. وفي المنطقة الانتقالية تعطى بإحدى المعادلتين (9) مع الانتباه إلى استخدام معامل البلاست الموافق.

يبين الشكل (11) مسار الضغط في المنطقة الانتقالية من أجل $(k_1 < k_2)$ حيث يبدأ بالتناقص من القيمة $p_1 = k_1 \cdot y_1$ حتى منطقة التماس $(x=0)$ حيث يساوي $p_1 = k_1 \cdot y_0$ ، ثم يزداد بشكل قفزة مقدارها $(k_2 - k_1) \cdot y_0$ ويعود يتناقص حتى القيمة $p_2 = k_2 \cdot y_2$.

وفي حالة $(k_1 > k_2)$ يكون مسار الضغط معكوساً، أي يبدأ بالتزايد حتى منطقة التماس، ثم يقفز ويعود بعدها متزايداً.



الشكل 11 : شكل مسار الضغط في الخط في المنطقة الانتقالية (حالة كثير حدود من الدرجة الرابعة)

يبين الشكل 11 وجود تغير مفاجئ في قيمة الضغط على طبقة البلاست من 18 N/cm^2 إلى 37 N/cm^2 وهذا يزيد من التأثير الديناميكي على البلاست بنسب من 28% إلى 20% من أجل قيم β_1 ، β_2 المعطاة على الترتيب.

4-5 شكل موجة الضغط تحت الحمولة المتحركة

من أجل معرفة شكل الهبوط في نقطة ما من الخط يتعرض لحمولة متحركة بسرعة v ننطلق من الاعتبارات الآتية:

- الحمولة تتحرك بسرعة ثابتة.

(17)

$$y_l = ax_l^4 + bx_l^3 + cx_l^2 + dx_l + e$$

$$y_r = ax_r^4 + bx_r^3 + cx_r^2 + dx_r + e$$

$$y_0 = e$$

$$0 = 4ax_l^3 + 3bx_l^2 + 2cx_l + d$$

$$0 = 4ax_r^3 + 3bx_r^2 + 2cx_r + d$$

لحل هذه المعادلات نشكل المصفوفة (18)

$$(a \ b \ c \ d \ e) \begin{pmatrix} x_l^4 & x_l^3 & 0 & 4x_l^3 & 4x_l^2 \\ x_l^3 & x_l^2 & 0 & 3x_l^2 & 3x_l \\ x_l^2 & x_l & 0 & 2x_l & 2x_l \\ x_l & 1 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 0 & 0 \end{pmatrix} = (y_l \ y_r \ y_0 \ 0 \ 0) \quad (18)$$

إن إيجاد الثوابت المطلوبة يتم من أجل مواصفات محددة للخط. من أجل المعطيات الواردة في التطبيق العددي

لاحقاً تكون قيم هذه المجاهيل

$$a = 5,07 \cdot 10^{-7}$$

$$b = -9,64 \cdot 10^{-6}$$

$$c = -1,60 \cdot 10^{-5}$$

$$d = 2,51 \cdot 10^{-4}$$

$$e = -1,88 \cdot 10^{-3}$$

مع الانتباه إلى أن الأبعاد بالمتر. ويكون مسار الهبوط الأعظمي كما في الشكل 10.

الشكل 10 : شكل مسار الهبوط الأعظمي في الخط في

المنطقة الانتقالية (حالة كثير حدود من الدرجة الرابعة) 4-4

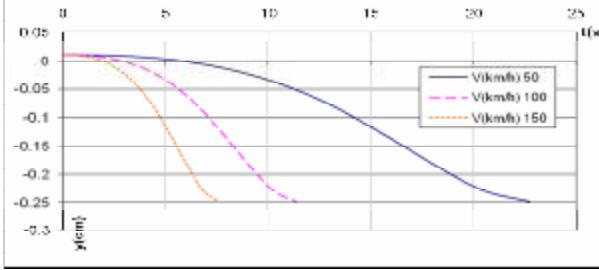
حساب الضغط المنقول إلى طبقة البلاست في

المنطقة الانتقالية

بحسب الضغط المنقول إلى طبقة البلاست بالعلاقة

$$p = k \cdot y \quad (19)$$

تسارع هبوط النقطة أمّا القيمة الأعظمية للهبوط فتبقى ثابتة.



الشكل 12: هبوط نقطة من الخط مع اقتراب الحمولة بسرعة V

3- تطبيق عددي

سنطبق المعادلات التي توصلنا إليها في هذا البحث من أجل مواصفات متغيرة لعناصر القسم العلوي للخط وفق المواصفات المعتمدة في الخطوط الحديدية السورية في دفاتر الشروط الفنية [7]، فضلاً عن العارضة البيتونية المطورة B75 .

أنواع القضبان المستخدمة

UIC60, I=3055 cm⁴

UIC54, I=2127 cm⁴

UIC50, I=1940 cm⁴

أنواع العوارض المستخدمة

B70, A=3000 cm²

B90, A=3300 cm²

B75, A=3700 cm²

قيم معامل البلاست متغيرة k

100 N/cm³

150 N/cm³

200 N/cm³

300 N/cm³

- لا يوجد تأثير للحمولة في النقطة المدروسة إذا كانت الحمولة (القوة الشاقولية) تبعد عنها مسافة أكبر من نصف طول الموجة أي π/β .

عند اقتراب الحمولة من النقطة المدروسة إلى مسافة تساوي نصف طول الموجة تبدأ الحمولة بالتأثير في النقطة ويبدأ الخط في تلك النقطة بالهبوط تدريجياً حتى يصل إلى ذروته عند مرور الحمولة فوق تلك النقطة، ثم يبدأ بالتناقص تدريجياً.

لحساب الهبوط المتعلق بالزمن نعوض في العلاقة (9) المسافة x بدلالة الزمن إذ

$$x = v.t$$

$$y_1 = e^{-b_1 vt} \frac{P}{2 EI} f(b_1, b_2) \left(\frac{b_2}{b_1} \cos b_1 vt + \frac{b_2^2}{b_1^2} \sin b_1 vt \right) \quad (20-a)$$

$$y_2 = e^{-b_2 vt} \frac{P}{2 EI} f(b_1, b_2) \left(\frac{b_2}{b_1} \cos b_2 vt + \sin b_2 vt \right) \quad (20-b)$$

يبين الشكل (12) هبوط نقطة من الخط الحديدي مع اقتراب القوة الشاقولية منها بسرعات مختلفة حتى مرور الحمولة فوق تلك النقطة، حيث يصبح أعظماً؛ وذلك من أجل سرعات مختلفة. فمثلاً من أجل سرعة تساوي 50 كم/سا فإن النقطة المدروسة لن تعاني أي هبوطات بسبب تلك الحمولة قبل وصولها بـ 22,5 ثانية، وستبقى تحت تأثيرها مدة زمنية تساوي 45 ثانية (2×22,5). وعند مرور الحمولة بسرعة 100 كم/سا فإن هذا الزمن سوف يصبح نصف قيمته من أجل السرعة السابقة، أي يزداد

- تقادي تغير نسبي في قيمة العامل المميز للخط يزيد على

20%

- ضرورة تأمين منطقة انتقالية يتغير فيها معامل الخط بشكل متدرج.

- لا يقل طول المنطقة الانتقالية عن المجموع $\pi/\beta_1 + \pi/\beta_2$ ويؤخذ عملياً 10 أمتار عن طريق تدرج في سماكة طبقة البلاست.

4- النتائج والتوصيات

تبيّن الأشكال التالية (13، أ، ب، ج) نتائج الحساب من أجل المواصفات الواردة أعلاه، وقد أظهرت برنامج excel2007 (17) فقد استخدمنا برنامج Qbasic. اعتمدنا قيمة ثابتة β_1 في المنطقة اليسارية إذ $x < 0$ وقيم متغيرة لـ β_2 على اليمين.

نستنتج من هذه الأشكال أنّ وجود تغير في قيمة المعامل المميز للخط β من 0.010 إلى 0.012 أي مانسبته 20% قد أدى إلى تغير الهبوط الأعظمي بمعدل 28% (الشكل 13-أ).

برينا الشكل (13-ب) أن زيادة سطح استناد العارضة في المنطقة اليمينية إذ β_2 بنسب 10% و 23% قد خفض الهبوط الأعظمي بنسب 4% و 8% على الترتيب.

من الشكل (13-ج) نجد أن استخدام قضبان لها عزم عتالة أقل بنسب 30% و 36% قد زاد من الهبوط الأعظمي بنسب 24% و 31% على الترتيب.

للتقليل من هذا التأثير الديناميكي نوصي بوجود منطقة انتقالية يتم فيها التدرج في قيمة المعامل المميز. في هذه الحالة يُحسب الهبوط والضغط باعتبار لدينا ثلاث مناطق فيها العوامل المميزة للخط متدرجة القيم $(\beta_1 < \beta_2 < \beta_3)$ وفق العلاقات السابقة. يبيّن الشكل (14) مسار الهبوط الأعظمي، ويبيّن الشكل (15) الضغط على طبقة البلاست في حال وجود المنطقة الانتقالية حيث يظهر بوضوح أهمية المنطقة الانتقالية في التقليل من الفروقات في الضغط بين المناطق المتجاورة.

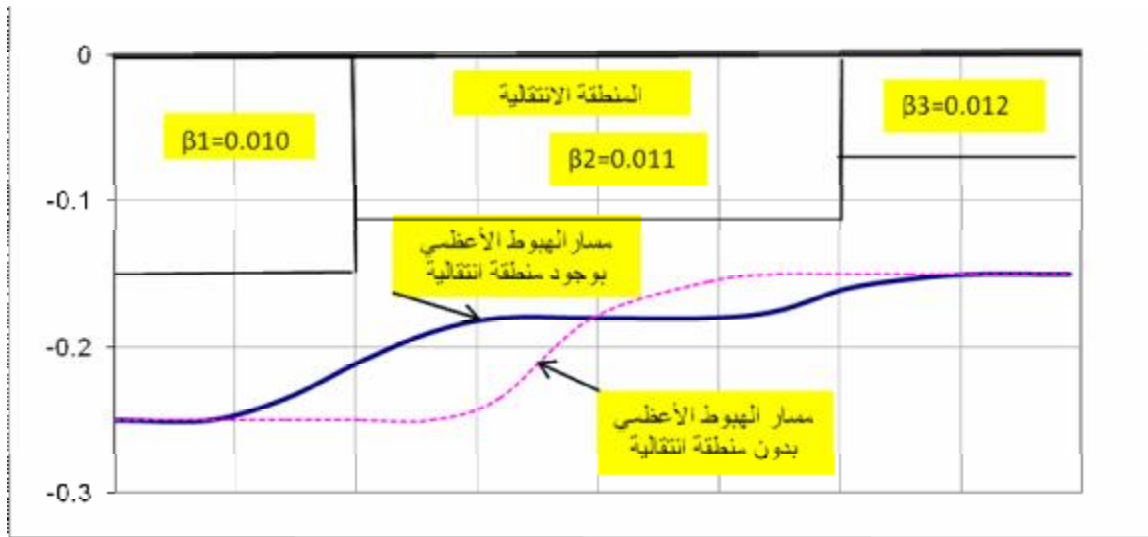
إنّ هذه النتائج هي من أجل حمولة محورية منفردة، وبطبيعة الحال يمكن تعميمها عند وجود عدة قوى مؤثرة متقاربة باستخدام مفهوم جمع التأثيرات.

ختاماً نوصي بما يأتي:

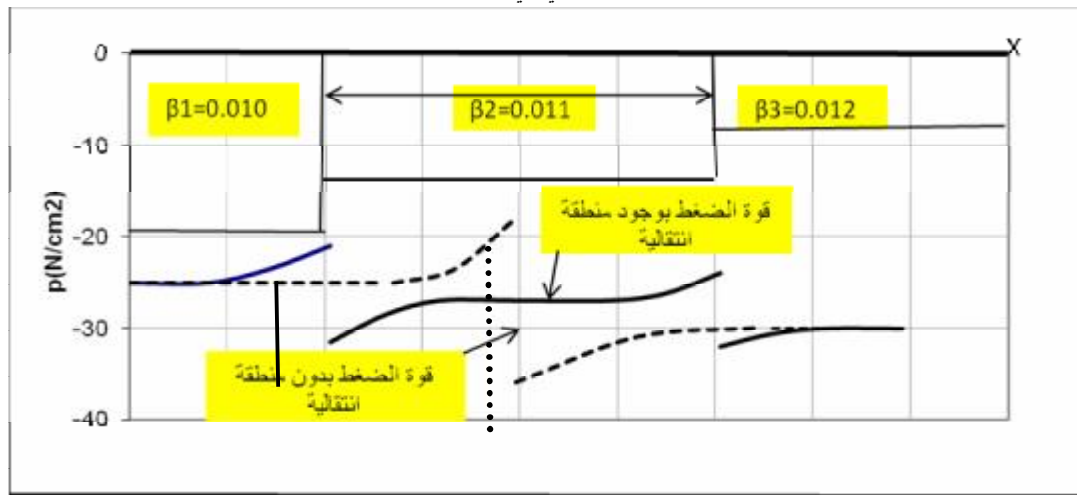
الشكل 13-أ هبوط الخط من أجل مواصفات متغيرة لعناصر القسم العلوي (معامل البلاست متغير)

الشكل 13-ب: هبوط الخط من أجل مواصفات متغيرة لعناصر القسم العلوي (نوع العارضة متغير)

الشكل 13-ج : هبوط الخط من أجل مواصفات متغيرة لعناصر القسم العلوي (نوع القضبان متغير)



الشكل 14: مسار الهبوط الأعظمي في حالة وجود المنطقة الانتقالية



الشكل 15: مخطط الضغط في حالة وجود المنطقة الانتقالية

المراجع

- 1-Dahlberg, T.;"Railway track dynamic – a survey"; Linkoping University, Sweden 2003
- 2-Timoshenko; " Theory of elasticity"3.ed. 1951
Mc Graw Hill
- 3-Lichtenberger, B. "Handbuch Gleis"; Tetzlaff
Verlag 2003 ;562P, Germany
- 4-Fendrich, L.; "Eisenbahninfrastruktur";
Springer Verlag 2007,990 P, Germany
- 5-Esveld,C.;" Modern Railway Track", MRT
Productions, 2001.
- 6-Alwadi, M.H.; "Calculate the stresses in
railway by axial load for unsteady ballast
coefficient" Damascus University Journal Vol.
(25) - No. (1) 2009
- 7-Syrian Railway Establishment "Technical
specifications book ",website
www.cfssyria.org