

استخدام المنحنيات الانتقالية ذات التقوس اللا خطي للسرعات العالية في الخطوط الحديدية السورية

الدكتور المهندس محمد هاجم الوادي¹

الملخص

تستخدم المنحنيات الانتقالية في التخطيط الأفقي لمسارات الخطوط الحديدية، وتكون عادة ذات تقوس متغير خطياً. في الخطوط ذات السرعات العالية يفضل استخدام منحنيات انتقالية متغيرة التقوس لا خطياً، لأنه يعطي شروطاً حركية أفضل للقطارات عند عبورها من الاستقامات إلى المنحنيات الدائرية.

هذه الورقة تبحث في عدة نماذج مطورة من المنحنيات الانتقالية المتغيرة التقوس اللا خطي وإجراء تقييم لتغير عناصرها وإدخال الارتداد الجانبي (معدل تغير التسارع الجانبي) في التقييم. واقتراح لاستخدامها في شبكة الخطوط الحديدية السورية على الخطوط الجديدة أو الخطوط المطلوب إعادة تأهيلها.

¹ أستاذ مساعد - قسم النقل والمواصلات - كلية الهندسة المدنية - جامعة دمشق.

1- المقدمة

تستخدم المنحنيات الانتقالية في التخطيط الأفقي لمسارات الخطوط الحديدية، وتكون عادة ذات تقوس متغير خطياً. في الخطوط ذات السرعات العالية يفضل استخدام منحنيات انتقالية متغيرة التقوس لا خطياً، لأنها يعطي شروطاً حركية أفضل للقطارات عند عبورها من الاستقامات إلى المنحنيات الدائرية.

هذه الورقة تبحث في أنواع المنحنيات الانتقالية المتغيرة التقوس اللا خطي وبناء عليه اقترح استخدامها في شبكة الخطوط الحديدية السورية ولاسيما على الخطوط الجديدة أو الخطوط المطلوب إعادة تأهيلها خصوصاً على الخطوط المصممة لسرعات عالية تصل إلى 250 كم/سا، وذلك على محور جنوب شمال من الحدود الأردنية إلى الحدود التركية، ومحور غرب شرق من البحر المتوسط إلى الحدود العراقية.

اعتمدنا فيها تقديم الأسس الرياضية النظرية ثم التعرف على المنحنيات الانتقالية المستخدمة عادة في الخطوط الحديدية ثم المنحنيات الانتقالية المتغيرة التقوس اللا خطي ثم المقارنة بينها مع مثال عددي. وأخيراً التوصية باعتماد أنواع محددة في دفاتر الشروط الفنية للدراسات الهندسية للخطوط الحديدية.

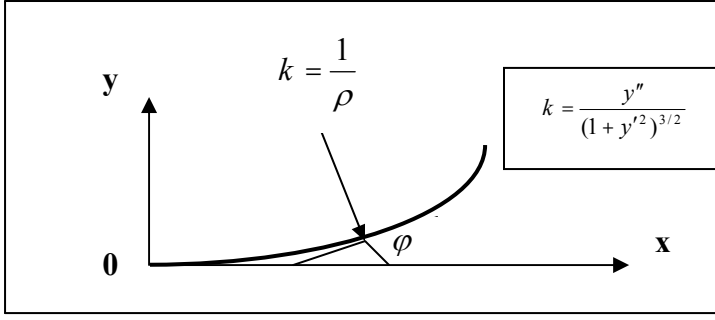
2- مفاهيم أساسية [1، 2]

1-2 التقوس curvature

يعرف التقوس لمنحنى في نقطة منه بأنه مقلوب نصف قطر المنحنى في تلك النقطة. والمعادلة الرياضية الأساسية له في جملة إحداثيات متعامدة هي الآتية (الشكل 1)

$$k = \frac{1}{\rho} \quad (1)$$

$$k = \frac{y''}{(1 + y'^2)^{3/2}} \quad (2)$$



الشكل 1: المعادلة الأساسية للمنحنى

k التقوس

ρ نصف قطر الانحناء في النقطة المدروسة

2-2 زاوية المنحنى (زاوية الاتجاه) Curve angle

وهي الزاوية بين المماس للمنحنى في بدايته (أي محور الفواصل) والمماس عند النقطة ذات الإحداثيات (x,y) ، للحصول على المعادلة الرياضية لزاوية المنحنى تكامل معادلة التقوس مرة واحدة.

$$\varphi_x = \int k_x \cdot dx \quad (3)$$

3-2 معادلة المنحنى Curve equation

للحصول على المعادلة الرياضية للمنحنى تكامل معادلة التقوس مرتين.

$$y = \int \varphi_x \cdot dx = \iint k_x \cdot d^2x \quad (4)$$

4-2 الارتداد الجانبي (variation of lateral acceleration) Lateral jerk

يعرف الارتداد الجانبي بأنه تغير التسارع الجانبي في وحدة الزمن.

$$\psi = \frac{db}{dt} \quad (5)$$

ψ الارتداد الجانبي ولا تزيد قيمته في الحالات الطبيعية على 1.0 m/sec^3

b التسارع الجانبي وتتراوح قيمته في الحالات الطبيعية بين 0.55m/sec^2 إلى 0.60m/sec^2

$$\psi = \frac{v^3}{R.l} \quad (6)$$

3- المنحنيات الانتقالية متغيرة التقوس خطياً [2,3]

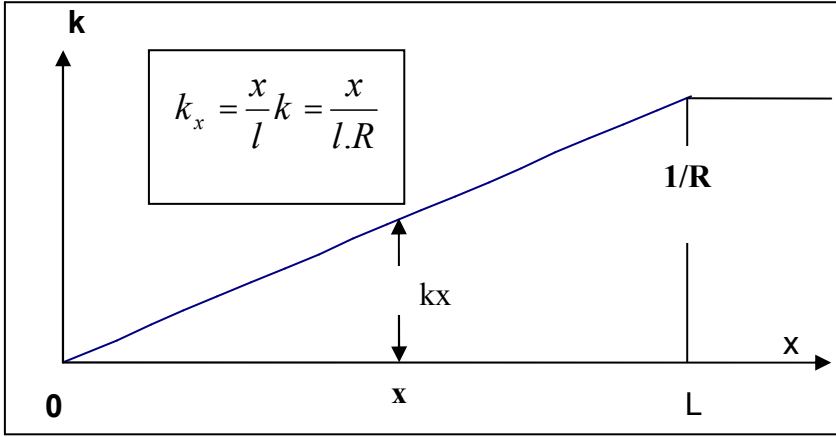
linear curvature transition curves

تستخدم المنحنيات الانتقالية في التخطيط الأفقي لمسارات الخطوط الحديدية للسرعات العادية (120 كم/سا)، وتكون عادة ذات تقوس متغير خطياً. يعطى التقوس الخطي في المعادلة

$$k_x = \frac{x}{l} k = \frac{x}{l.R} \quad (7)$$

l طول المنحنى الانتقالي

R نصف قطر المنحنى الدائري



الشكل 2 : مخطط التقوس الخطي

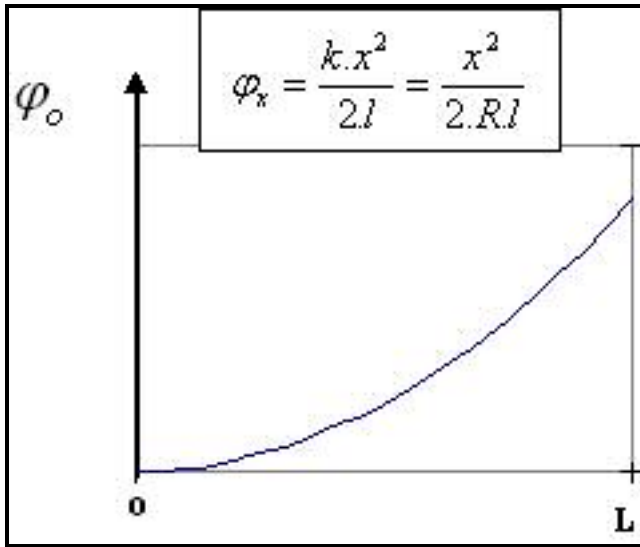
بإجراء التكامل نحصل على زاوية ومعادلة المنحنى:

$$\varphi_x = \frac{k \cdot x^2}{2 \cdot l} = \frac{x^2}{2 \cdot R \cdot l} \quad (8)$$

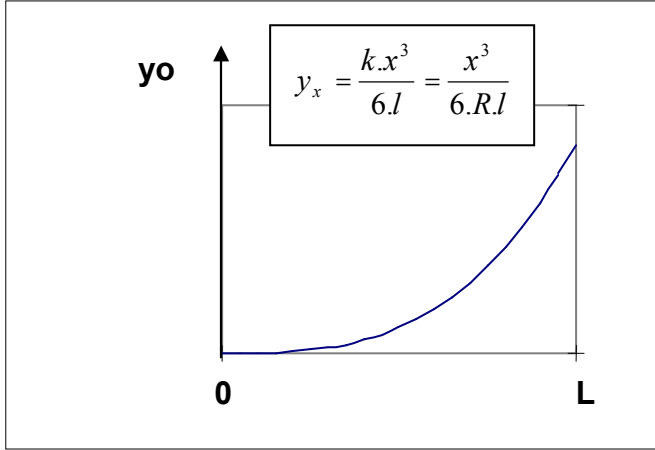
$$y_x = \frac{k \cdot x^3}{6 \cdot l} = \frac{x^3}{6 \cdot R \cdot l} \quad (9)$$

وهي معادلة القطع المنحني الانتقالي من الشكل القطع المكافئ التكعيبي المعروف والمستخدم عادة في الخطوط الحديدية.

نمثل المعادلتين الأخيرتين بيانيا في الشكلين 3 و 4.



الشكل 3 : مخطط زاوية المنحنى الموافق للقطع المكافئ التكعيبي



الشكل 4 : مخطط المنحنى الانتقالي ذي التقوس الخطي

كما تستخدم المنحنيات الانتقالية المعروفة بالكلوتويد، وهي منحنيات متغيرة التقوس خطياً. تحسب إحداثياتها بدلالة المسافة المقاسة على المنحنى.

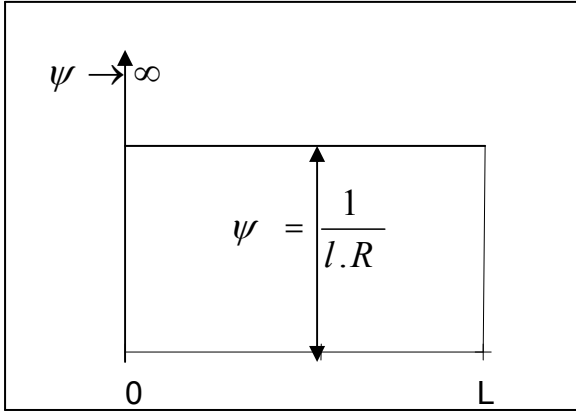
$$x = s \left(1 - \frac{s^4}{40(RI)^2} + \frac{s^8}{3456(RI)^4} - \frac{s^{12}}{599040(RI)^6} \right) \quad (10)$$

$$y = s \left(\frac{s^2}{6RI} - \frac{s^6}{336(RI)^3} - \frac{s^{10}}{42240(RI)^5} \right) \quad (11)$$

s المسافة المقاسة على المنحنى بدءاً من بدايته.

إن معادلة القطع المكافئ التكعيبي تنطبق على الكلوتويد عندما تكون أنصاف أقطار المنحنيات الأفقية كبيرة (أكبر من 3000 م).

يكون مخطط الارتداد الجانبي ثابتاً على كامل المنحنى الانتقالي متغير التقوس الخطي (الشكل 5) ويساوي الصفر في المنحنيات الدائرية. كما هو مبين في الشكل فإن الارتداد الجانبي يشكل قفزة في بداية المنحنى الانتقالي حيث ينتقل من قيمة لا نهائية إلى قيمة محددة، وفي نهايته ينتقل إلى الصفر بشكل قفزة أيضاً.



الشكل 5 : مخطط الارتداد الموافق للنفوس الخطي

4- المنحنيات الانتقالية متغيرة النفوس لا خطياً [2,4,5]

Non-linear curvature transition curves

تستخدم المنحنيات الانتقالية ذات النفوس اللا خطي في الخطوط الحديدية ذات السرعات العالية (السرعة أكبر من 160 كم/سا) وعند اختيار نوع المنحنى الانتقالي نعلم إلى تقييم تأثير عناصره في الشروط الحركية للقطارات عند دخولها المنحنيات الدائرية. وفي هذا البحث تم إدخال عامل إضافي للتقييم وهو الارتداد الجانبي. قمنا بتحليل لعدد من المنحنيات الانتقالية وهي المنحنى الأصلي ذي النفوس الخطي (أي المنحنى من الشكل القطع المكافئ التكعيبي الوارد في المعادلة 9) والمنحنيين الواردين أدناه في الفقرتين 1-4 و 2-4 كما قمنا بتجريب عدد من التتابع الرياضية لاستخدامها في المنحنيات الانتقالية بحيث يكون النفوس فيها لا خطياً واخترنا منها المنحنيات الواردة في الفقرات 3-4 و 4-4 و 5-4.

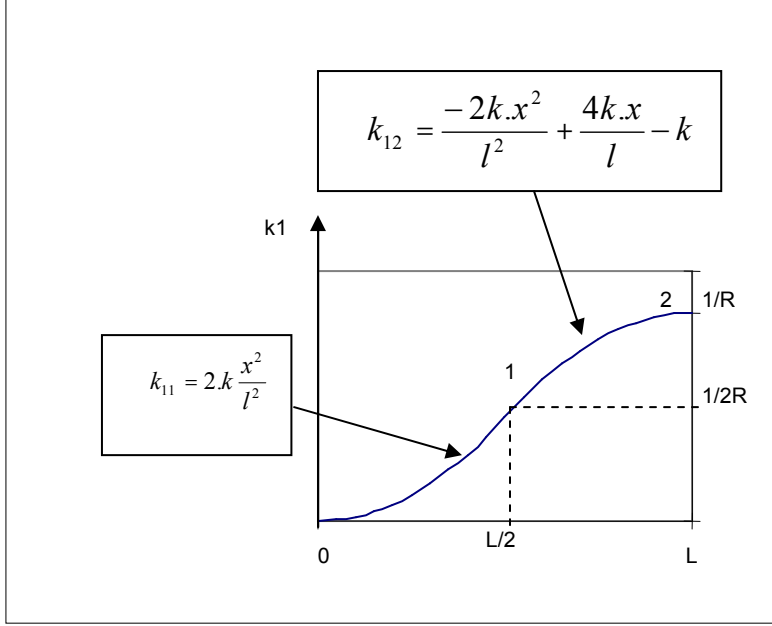
1-4 منحنى انتقالي متغير النفوس من الدرجة الثانية $F(x) = ax^2 + bx + c$

نختار منحنى النفوس قطعاً مكافئاً تربيعياً. يمثل النصف الأول من منحنى النفوس بين بدايته وحتى منتصفه على شكل قطع مكافئ موجب، تنطبق ذروته على مبدأ الإحداثيات (النقطة أ في الشكل 6) وتكون معادلة منحنى النفوس:

$$0 \leq x \leq l : k_{11} = 2.k \frac{x^2}{l^2} \quad (12)$$

أما النصف الثاني منه فيكون قطعاً مكافئاً سالباً، تنطبق ذروته على النقطة 2 (الشكل 6) التي فاصلتها تساوي طول المنحنى الانتقالي وترتيبها هو $1/R$ ومعادلته:

$$\frac{l}{2} \leq x \leq l : k_{12} = \frac{-2k.x^2}{l^2} + \frac{4k.x}{l} - k \quad (13)$$



الشكل 6 : منحنى التقوس من الدرجة الثانية

بالتكامل نحصل على معادلة زاوية المنحنى:

$$\varphi_{11} = \frac{2}{3Rl^2} x \quad (14)$$

$$\varphi_{12} = -\frac{2}{3Rl^2}x^3 + \frac{2}{Rl}x^2 - \frac{x}{R} + \frac{l}{6R} \quad (15)$$

وبالتكامل مرة ثانية نحصل على معادلة المنحنى الانتقالي

$$y_{11} = \frac{x^4}{6Rl^2} \quad (16)$$

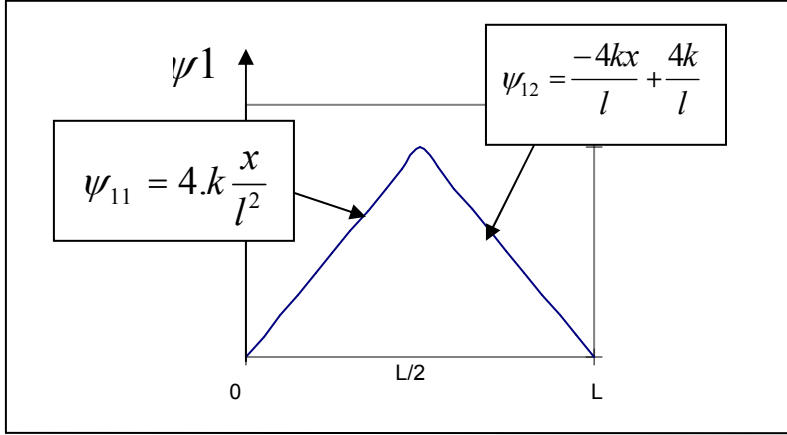
$$y_{12} = -\frac{x^4}{6Rl^2} + \frac{2x^3}{3Rl} - \frac{x^2}{2R} + \frac{l}{6R}x - \frac{l^2}{48R} \quad (17)$$

يكون شكل مخطط الارتداد متغيراً خطياً من القيمة صفر في بداية المنحنى الانتقالي وحتى قيمة أعظمية في منتصفه، ثم يتناقص خطياً حتى الصفر في نهايته. يمكن

الحصول عليه رياضياً باشتقاق معادلة التقوس

$$\psi_{11} = 4.k \frac{x}{l^2} \quad (18)$$

$$\psi_{12} = \frac{-4kx}{l} + \frac{4k}{l} \quad (19)$$



الشكل 7 : منحنى الارتداد الجانبي الموافق للتقوس اللا خطي - النموذج 1

2-4 منحني انتقالي متغير التقوس من الدرجة الثالثة

$$F(x) = ax^3 + bx^2 + cx + d$$

وهذا الشكل من المنحنى معتمد في الخطوط الحديدية الألمانية الاتحادية. يكون منحني

التقوس قطعاً مكافئاً تكعيبياً. تنطبق نقطة الانعطاف فيه على النقطة 1 في الشكل 8 التي

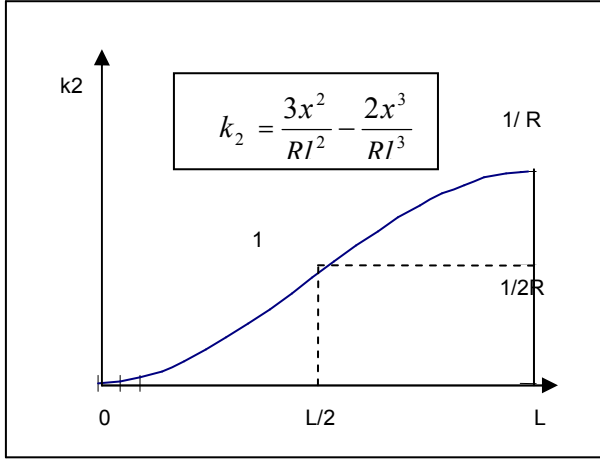
فاصلتها تساوي نصف طول المنحنى الانتقالي وترتيبها $1/2R$

بشكل مشابه للحالة السابقة نكتب معادلات التقوس والزاوية والمنحنى الانتقالي

$$k_2 = \frac{3x^2}{Rl^2} - \frac{2x^3}{Rl^3} \quad (20)$$

$$\varphi_2 = \frac{x^3}{Rl^2} - \frac{x^4}{2Rl^3} \quad (21)$$

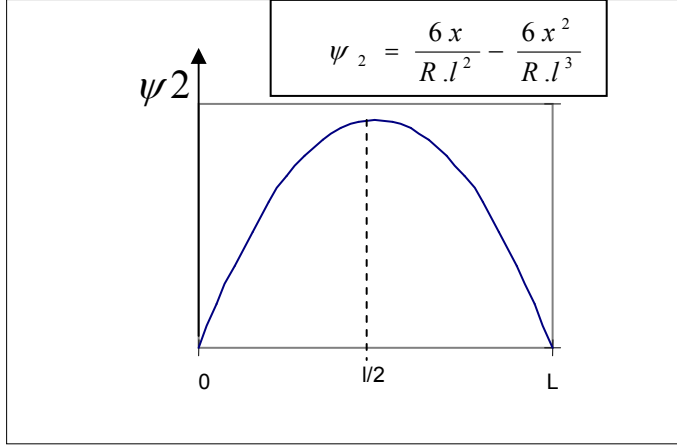
$$y_2 = \frac{x^4}{4Rl^2} - \frac{x^5}{10Rl^3} \quad (22)$$



الشكل 8 : منحني التقوس من الدرجة الثالثة

يكون شكل مخطط الارتداد متغيراً لا خطياً من القيمة صفر في بداية المنحنى الانتقالي وحتى قيمة أعظمية في منتصفه، ثم يتناقص لا خطياً حتى الصفر في نهايته. يمكن الحصول عليه رياضياً باشتقاق معادلة التقوس .

$$\psi_2 = \frac{6x}{R.l^2} - \frac{6x^2}{R.l^3} \quad (23)$$



الشكل 9 : منحنى الارتداد الجانبي الموافق للتقوس اللاخطي - النموذج 2

3-4 منحنى انتقالي متغير التقوس من الشكل الظل الزائدي $F(x) = \tanh(x)$

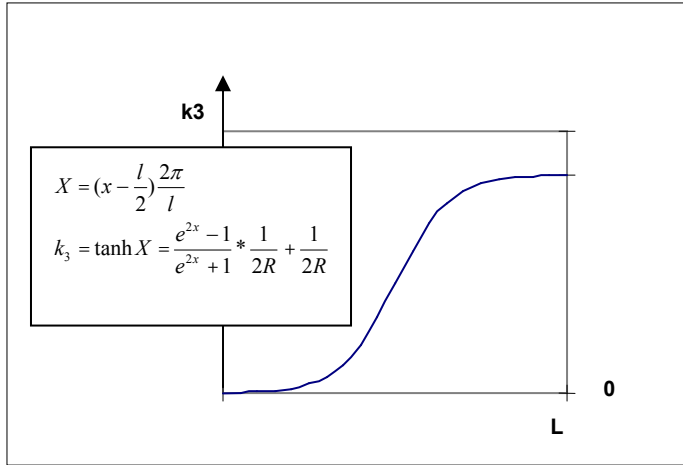
نختار جملة الإحداثيات لمنحنى التقوس متوافقة مع الهدف من الدراسة. أي محور السينات يكون مقاربا للمنحنى عند بدايته، والمستقيم $k=1/R$ مقاربا له في نهايته.

وإحداثيات نقطة الانعطاف هي $(L/2, 1/2R)$

وتكون معادلته

$$X = \left(x - \frac{l}{2}\right) \frac{2\pi}{l} \quad (24)$$

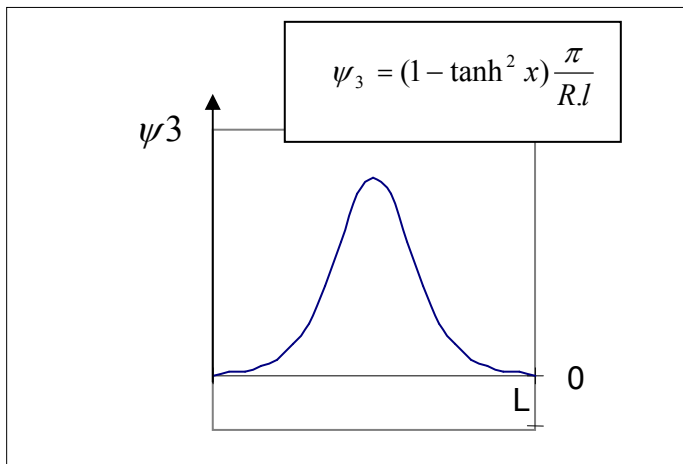
$$k_3 = \tanh X = \frac{e^{2X} - 1}{e^{2X} + 1} * \frac{1}{2R} + \frac{1}{2R}$$



الشكل 10 : منحنى التقوس - النموذج 3

ويأخذ منحنى الارتداد الشكل:

$$\psi_3 = (1 - \tanh^2 x) \frac{\pi}{R.l} \quad (25)$$



الشكل 11 : منحنى الارتداد - النموذج 3

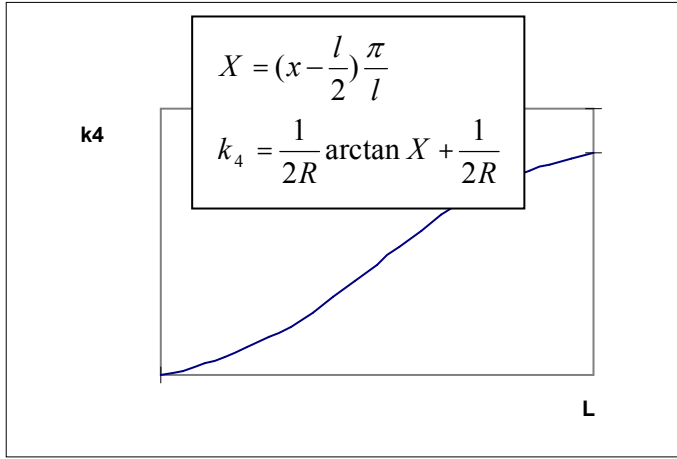
4-4 منحنى انتقالي متغير التقوس من الشكل الظل العكسي

$$F(x) = \arctan(x)$$

كما في الحالة السابقة نختار جملة الإحداثيات لمنحنى التقوس متوافقة مع الهدف من الدراسة. أي محور السينات يكون مقارباً للمنحنى عند بدايته، والمستقيم $Y=1/R$ مقارباً له في نهايته. وإحداثيات نقطة الانعطاف هي $(L/2, 1/2R)$ وتكون معادلته

$$X = \left(x - \frac{l}{2}\right) \frac{\pi}{l} \quad (26)$$

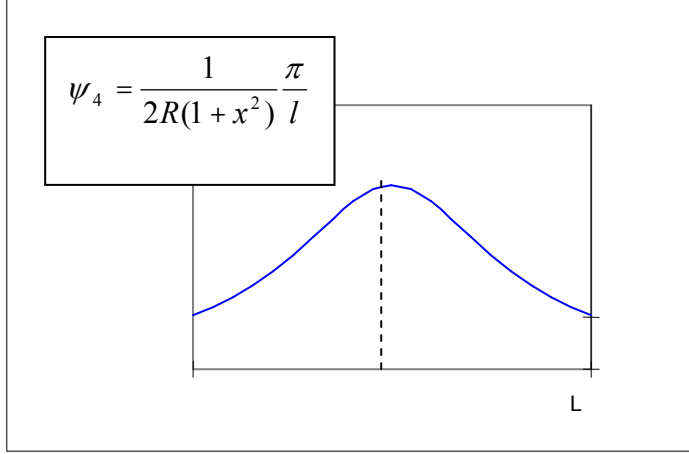
$$k_4 = \frac{1}{2R} \arctan X + \frac{1}{2R}$$



الشكل 12 : منحنى التقوس - النموذج 4

منحنى الارتداد لهذا المنحنى

$$\psi_4 = \frac{1}{2R(1+x^2)} \frac{\pi}{l} \quad (27)$$



الشكل 13 : منحنى الارتداد الجانبي - النموذج 4

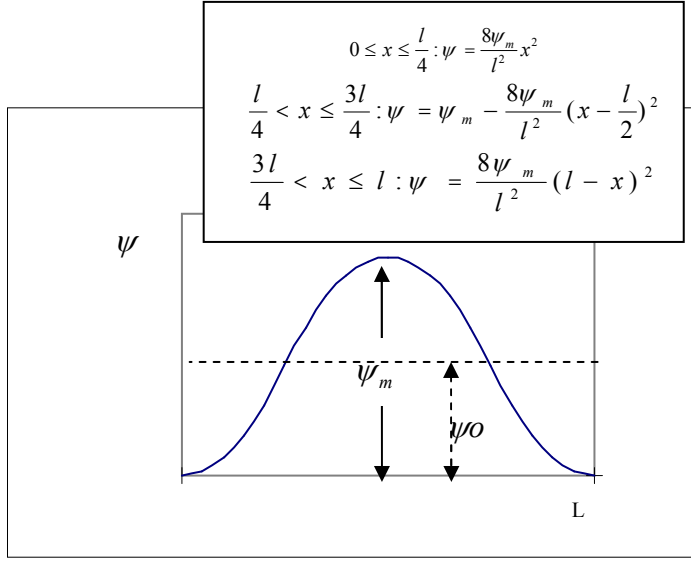
5-4 منحنى انتقالي متغير النغوس من الشكل كثير الحدود

طورنا هذا المنحنى من المنحنى النوع الثاني وقد اعتمدنا على تصور مسبق لشكل الارتداد الجانبي، بحيث يتزايد تدريجياً حتى القيمة العظمى في المنتصف ثم يعود بالتناقص التدريجي أيضاً، ويشكل في بدايته ونهايته مماساً لمحور السينات وبذلك يختلف عن المنحنى من النوع الثاني الذي يتغير شكل مخطط الارتداد الجانبي بشكل قطع مكافئ مشكلاً زاوية حادة مع محور السينات. للحصول على معادلة هذا المنحنى نبدأ من منحنى الارتداد الجانبي الذي اعتمدنا له شكلاً مسبقاً يؤمن له تغييراً انسيابياً (المعادلات 28,29,30).

$$0 \leq x \leq \frac{l}{4} : \psi = \frac{8\psi_m}{l^2} x^2 \quad (28)$$

$$\frac{l}{4} < x \leq \frac{3l}{4} : \psi = \psi_m - \frac{8\psi_m}{l^2} \left(x - \frac{l}{2}\right)^2 \quad (29)$$

$$\frac{3l}{4} < x \leq l : \psi = \frac{8\psi_m}{l^2} (l-x)^2 \quad (30)$$



الشكل 14 : منحنى الارتداد الجانبي - النموذج 5

للحصول على معادلة التقوس نقوم بتكامل معادلة الارتداد الجانبي مرة واحدة وتكون

$$0 \leq x \leq \frac{l}{4} : k = \frac{8\psi_m}{3l^2} x^3 \quad (31)$$

$$\frac{l}{4} < x \leq \frac{3l}{4} : k = -\frac{8\psi_m}{3l^2} x^3 + \frac{4\psi_m}{l} x^2 - \psi_m x + \frac{\psi_m \cdot l}{12} \quad (32)$$

$$\frac{3l}{4} < x \leq l : k = \frac{8\psi_m}{3l^2} x^3 - \frac{8\psi_m}{l} x^2 + 8\psi_m x - \frac{13\psi_m l}{6} \quad (33)$$

نظراً لأن منحنى الارتداد هو مشتق منحنى التقوس لذلك فإن المساحة المحصورة بين منحنى الارتداد الجانبي ومحور الفواصل تساوي التقوس في نهاية المنحنى الانتقالي

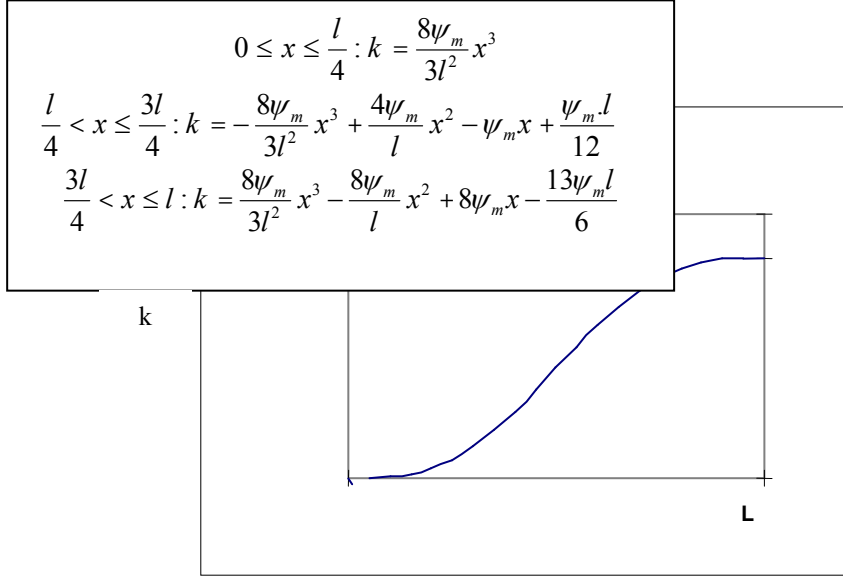
أي $\frac{1}{R}$ ، لذلك فإن قيمة الارتداد الجانبي العظمى في منتصف المنحنى نختارها من

شرط تساوي المساحة تحت منحنى الارتداد في الحالة الخطية والمساحة تحت منحنى

الارتداد في حالتنا المدروسة (الشكل 14)

$$\psi_m = 2.\psi_0 \quad (34)$$

والشكل 15 يبين منحنى التقوس



الشكل 15 : منحنى التقوس - النموذج 5

للحصول على معادلات زاوية الاتجاه والمنحنى الانتقالي يمكن الوصول إلى ذلك رياضياً بإجراء التكامل لمعادلة الارتداد الجانبي مرتين أو ثلاث مرات على التسلسل. معادلة زاوية الاتجاه:

$$(35) \quad 0 \leq x \leq \frac{l}{4} : \varphi = \frac{2\psi_m}{3l^2} x^4$$

$$(36) \quad \frac{l}{4} < x \leq \frac{3l}{4} : \varphi = -\frac{2\psi_m}{3l^2} x^4 + \frac{4\psi_m}{3l} x^3 - \frac{1}{2}\psi_m x^2 + \frac{\psi_m.l}{12} x - \frac{\psi.l^2}{192}$$

$$(37) \quad \frac{3l}{4} < x \leq l : \varphi = \frac{2\psi_m}{3l^2} x^4 - \frac{8\psi_m}{3l} x^3 + 4\psi_m x^2 - \frac{13\psi_m.l}{6} x + \frac{5\psi.l^2}{12}$$

معادلة المنحنى

$$(38) \quad 0 \leq x \leq \frac{l}{4} :$$

$$y_1 = \frac{2\psi_m}{15 l^2} x^5$$

$$(39) \quad \frac{l}{4} < x \leq \frac{3l}{4} :$$

$$y_2 = -\frac{2\psi_m}{15l^2} x^5 + \frac{\psi_m}{3l} x^4 - \frac{1}{6} \psi_m x^3 + \frac{\psi_m l}{24} x^2 - \frac{\psi l^2}{192} x + \frac{\psi_m l^3}{3840}$$

$$(40) \quad \frac{3l}{4} < x \leq l :$$

$$y_3 = \frac{2\psi_m}{15l^2} x^5 - \frac{2\psi_m}{3l} x^4 + \frac{4}{3} \psi_m x^3 - \frac{13\psi_m l}{12} x^2 + \frac{5\psi l^2}{12} x - \frac{\psi_m l^3}{16}$$

ويمكن كتابة معادلات المنحنى الانتقالي باعتبار $\psi_m = 2\psi_0 = \frac{2}{Rl}$ كما يأتي:

$$(41) \quad 0 \leq x \leq \frac{l}{4} :$$

$$y_1 = \frac{4}{15 R l^3} x^5$$

$$(42) \quad \frac{l}{4} < x \leq \frac{3l}{4} :$$

$$y_2 = -\frac{4}{15Rl^3} x^5 + \frac{2}{3Rl^2} x^4 - \frac{1}{3Rl} x^3 + \frac{1}{12R} x^2 - \frac{l}{96R} x + \frac{l^2}{1920R}$$

$$(43) \quad \frac{3l}{4} < x \leq l :$$

$$y_3 = \frac{4}{15Rl^3} x^5 - \frac{2}{3Rl^2} x^4 + \frac{8}{3Rl} x^3 - \frac{13}{6R} x^2 + \frac{5l}{6R} x - \frac{l^2}{8R}$$

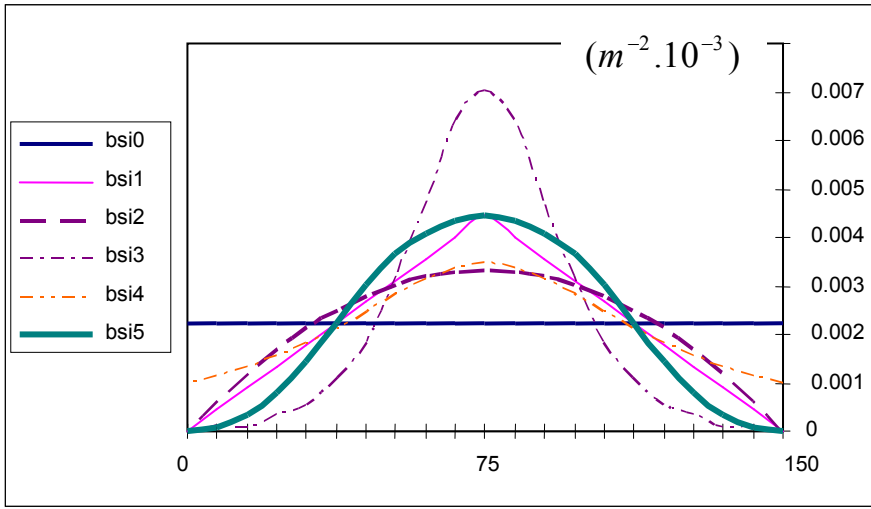
5- مقارنة بين المنحنيات الانتقالية

ولتوضيح المقارنة بين أنواع المنحنيات الانتقالية السابقة سنأخذ مثلاً عددياً. عناصر المنحنى الانتقالي متوافقة مع الدراسات المقدمة في الخطوط الحديدية السورية [6]:

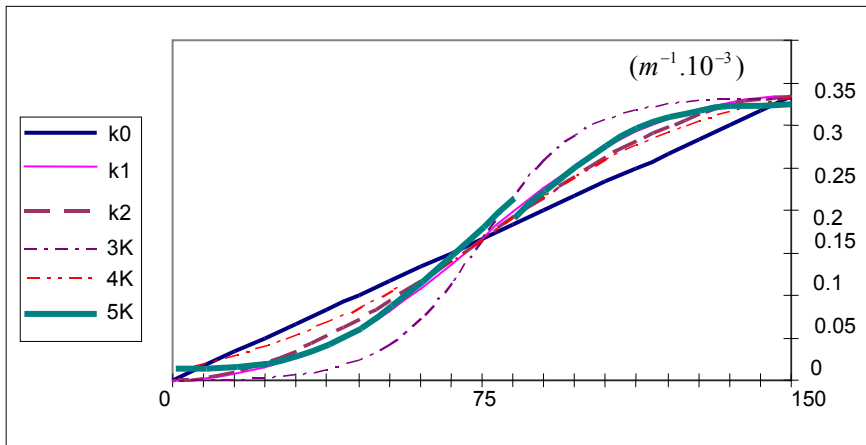
الطول $L=150m$

نصف القطر $R= 3000m$

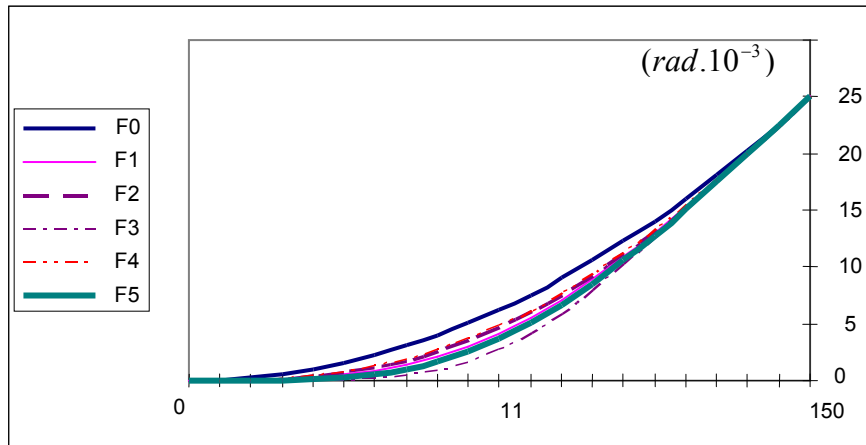
حسبت جميع القيم العددية ببرنامج اكسل 2003 حيث قسّم الطول إلى عشرين قسماً متساوياً. للتأكد من نتائج الحساب حسبت جميع القيم العددية بطريقتين الطريقة الأولى الحل العددي والطريقة الثانية الحل التحليلي. وكانت النتائج متقاربة جداً. والأشكال الآتية تبين نتائج الحساب.



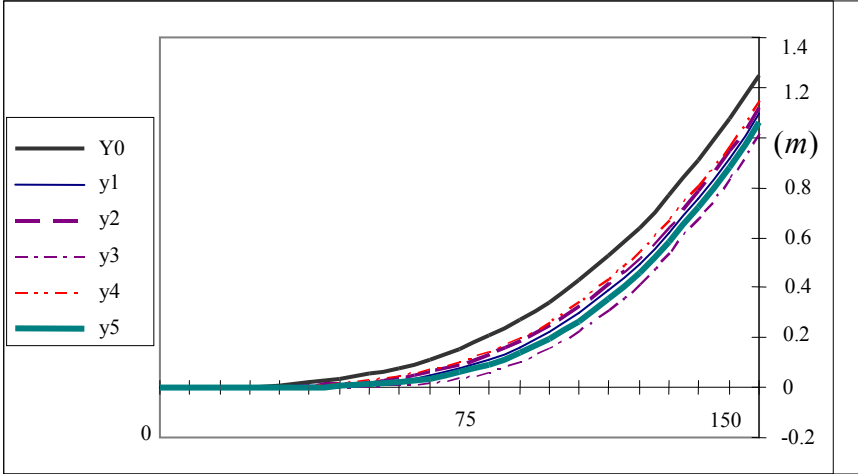
الشكل 16 : منحنيات الارتداد الجانبي للنماذج المدروسة



الشكل 17 : منحنيات التقوس للنماذج المدروسة



الشكل 18 : منحنيات زاوية الاتجاه للنماذج المدروسة



الشكل 19 : منحنيات النماذج المدروسة

وتجدر الإشارة إلى أنه للحصول على قيمة الارتداد الجانبي يجب ضرب قيمته في المخطط بمكعب السرعة مقدره بالمتر في الثانية.

إن سلوك الارتداد الجانبي يتغير حسب نوع المنحنى. فمن أجل المنحنى الأصلي (المنحنى القطعي التكميبي) يكون الارتداد الجانبي ثابتاً على كامل طول المنحنى. وتكون قيمته لانتهائية عند الاستقامة وتساوي الصفر عند بداية المنحنى الدائري، أي يتغير بشكل قفزات.

ومن أجل المنحنى من النموذج الأول يزداد الارتداد الجانبي خطياً حتى منتصف المنحنى الانتقالي ليصل إلى قيمته العظمى ثم يتناقص خطياً حتى الصفر عند نهاية المنحنى.

في النموذج الثاني يتغير الارتداد الجانبي بزواوية كبيرة مع محور الفواصل مشكلاً قطعاً مكافئاً، ويبلغ قيمته العظمى عند منتصف المنحنى الانتقالي.

وفي النموذج الثالث يتغير الارتداد الجانبي بشكل حاد، ويبلغ قيمته العظمى عند منتصف المنحنى الانتقالي أكثر من ثلاثة أضعاف الارتداد الجانبي للنموذج الخطي.

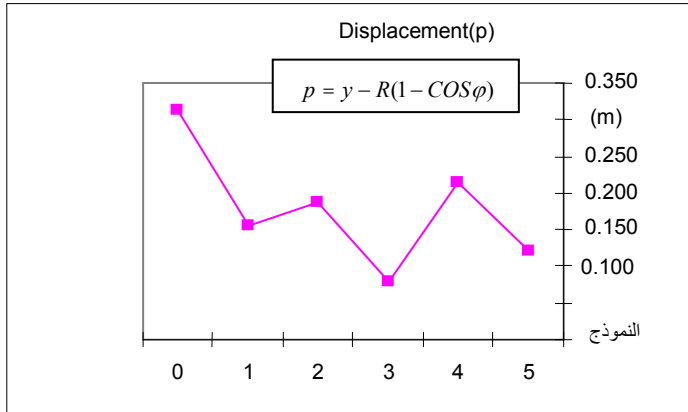
في النموذج الرابع يتغير الارتداد الجانبي ابتداءً من بداية المنحنى بقيمة تقارب 25% من قيمته العظمى في منتصفه ثم يعود فيتناقص حتى ذات القيمة في نهايته. في النموذج الخامس يكون منحنى الارتداد الجانبي متغيراً بشكل انسيابي ومشكلاً مماساً لمحور الفواصل في بدايته ثم يتزايد إلى القيمة العظمى له والتي تساوي ضعفي الارتداد الجانبي للنموذج الخطي في المنتصف ثم يتناقص بشكل مناظر.

6- النتائج والتوصيات

1- النماذج المدروسة متقاربة من بعضها في النصف الأول من المنحنى الانتقالي، وتختلف في تباعدها عند نهاية المنحنى. يبلغ مقدار الانزياح للمنحنى الدائري الأصلي ذي النقوس الخطي (أي القطع المكافئ التكعيبي أو الكلوئويدي)

$$p = y - R(1 - \cos\varphi) \quad (44)$$

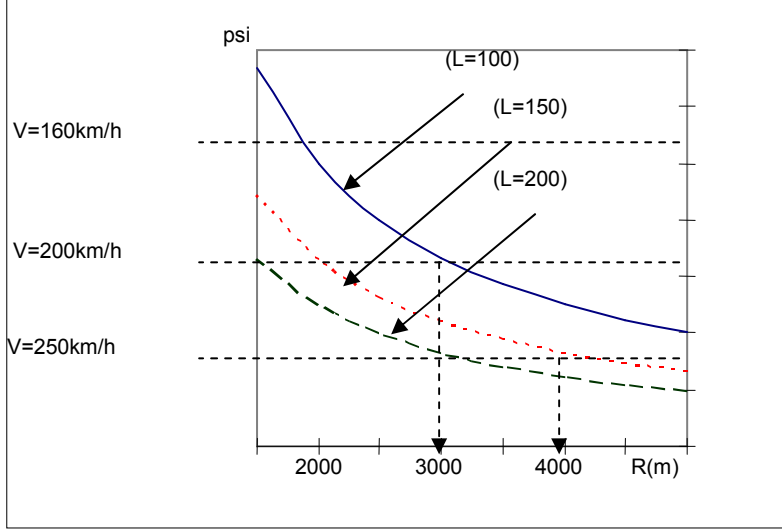
والشكل يبين مقدار الانزياح للنماذج المدروسة



الشكل 20 : الانزياح الجانبي للنماذج المدروسة

2- ندرس تأثير تغير نصف القطر والطول في القيمة العظمى للارتداد الجانبي من أجل النموذج الخامس. ويمكن بشكل مماثل استنتاج منحنيات مشابهة للنماذج السابقة. كما يبين الشكل فإنه من أجل سرعة 250 كم/سا يكون طول المنحنى الانتقالي 200م

ونصف القطر الأصغري 3000 م، أو طول المنحنى الانتقالي 150 م ونصف القطر الأصغري 4000 م، وذلك للمحافظة على قيمة الارتداد الجانبي أقل من 1.0m/sec^2 .



الشكل 21: تأثير تغير نصف القطر وطول المنحنى في الارتداد الجانبي

3- نلخص نتائج التقييم في الجدول الآتي حيث اعتمدنا الارتداد الجانبي والنغوس والانزياح الجانبي كمؤشرات تقييم. ورتبنا المنحنيات الخمسة المدروسة وفق تلك المؤشرات كميًا بعدد من النقاط تتراوح بين 5 نقاط ونقطة واحدة.

نوع المنحنى الانتقالي	مؤشرات التقييم			المجموع (من 15 نقطة)
	الارتداد الجانبي	النغوس	الانزياح الجانبي	
1	4 نقاط	5 نقاط	3 نقاط	12
2	3 نقاط	3 نقاط	2 نقطة	8
3	2 نقاط	1 نقطة	5 نقاط	8
4	1 نقطة	2 نقطة	1 نقطة	4
5	5 نقاط	4 نقاط	4 نقاط	13

4- بناء على التحليل السابق فإننا نوصي باعتماد النموذج الأول أو الخامس من المنحنيات الانتقالية في الخطوط الحديدية السورية وذلك للسرعات العالية. وتضمن ذلك في المواصفات الفنية ضمن وثائق التعاقد مع الشركات عند إعداد الدراسات.

المراجع

- 1- Bartsch, H-J.: Mathematische Formeln, Fachbuchverlag Leipzig ,20. Auflage 1984
- 2- Kohler, J.: Gleisgeometrie, transpress, Verlag fuer Verkehrswesen-Berlin 1981
- 3- CEN(2002): Railway application - Track alignment design parameters – Track gauge 1435 and wider – part 1:plain line – ENV 13803-1:2002
- 4- Lindahl, M.:Track geometry for high – speed railway,railway technology – deoartment of vehicle engineering, Royal Institute of Technology , Stokholm 2001
- 5- Fiscvher. S.: Comparison of three railway track transition curve types, Szechenyi Istvan University, Győr , Hungary
- 6- Syrian Railway Establishment CFS , website: www.cfssyria.org

تاريخ ورود البحث إلى مجلة جامعة دمشق: 2008/7/14.