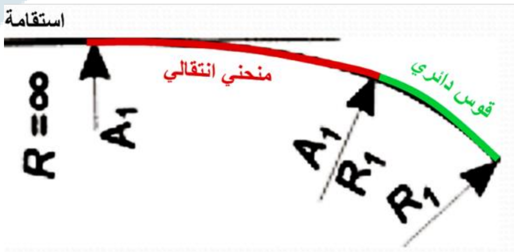
المنحنيات الانتقالية (الكلوتوئيدات)

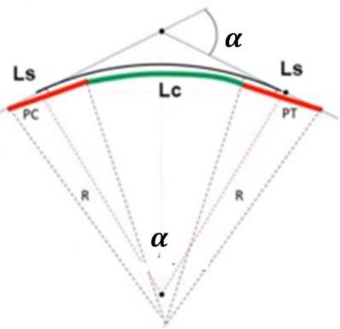
<u>المنحنيات الانتقالية</u> هي مسارات فعلية جيدة للحركة على المنعطفات ذات أنصاف الأقطار الصغيرة، أو حين الخروج من المنحنيات إلى الاستقامات مع تسارع تدريجي، حيث تؤمن انتقال تدريجـــــي للمتغيرات التصميمية (نصف قطر الانحناء، الميل العرضي، زيادة العرض في المنحنيات).

وهي عناصر هندسية منحنية تصل بين الاستقامة والمنحنيات الدائرية ذات أنصاف الأقطار الصغيرة، بهدف التقليل من تأثير القوة النابذة، وتبدأ منحنيات الانتقال عند المماس المستقيم بنصف قطر لانهائي، ثم يقل تدريجياً إلى أن يتساوى مع نصف القطر الدائري من المنحني، حيث تبدأ **القوة الطاردة المركزية صغيرة في بداية المنحني الانتقالي، ثم تزداد تدريجياً إلى أن تصل إلى نهايتها العظمى عند بداية المنحني الدائري**، وبالتالي المقصود من إدخال المنحني الانتقالي هو **إدخال القوة الطاردة المركزية في سير العربات بشكل تدريجي حتى لا تقع تحت تأثير مفاجئ.**

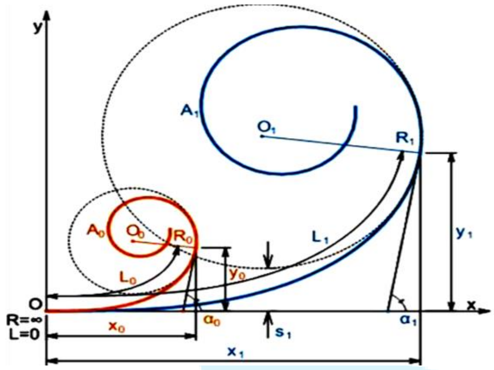


<u>أنواع المنحنيات الانتقالية:</u>

- ليمنسكات برنولي أو المنحنيات البيضوية وهي سهلة الإنشاء وخاصةً في المناطق الجبلية.
- القطع المكافئ المكعبي وهو لايستخدم في الطرق وإنما يستخدم في السكك الحديدية، لأنه يناسب المنحنيات ذات أنصاف الأقطار الكبيرة.
- الكلوتوئيدات (حلزون كورنو) وهي الأكثر استخداماً لأنها تحقق مميزات مثالية هندسية ومميزات حركية مثالية.



<u>الكلوتوئيدات (المنحنيات الحلزونية أو حلزونات كورنو):</u> هي المنحنيات المستخدمة في الطرق حديثاً لربط المستقيمات مع المنحنيات الأفقية في المسقط الأفقي، وهي المنحنيات الأفضل التي تحقق المميزات المثالية الديناميكية (الحركية) والهندسية في تصميم الطريق، عبارة عن حلزونات مضاعفة متناظرة بالنسبة للمبدأ، ذات انحناء يتزايد بشكل مستمر وبنفس الاتجاه من الصفر وحتى اللانهاية، وهي تؤمن انتقال تدريجـــــي للمتغيرات التصميمية (نصف قطر الانحناء، الميل العرضي، زيادة العرض في المنحنيات)، وتتوافق مع منحني حركة مقود العربة.



مميزات الكلوتوئيدات

- ❑ تؤمن الكلوتوئيدات حركة طبيعية وسهلة للعربات في المنعطفات.
- ❑ تؤمن تعريض للطريق في المنعطفات، وتعطي مظهراً جميلاً للطريق في المنعطفات.
- ❑ تخفف من مظهر الإنكسارات التي يشعر بها السائق بين الاستقامات والأقواس الدائرية.
- ❑ تؤمن الطول الكافي لتحقيق الدوران الكامل للمقطع العرضي من التحدب الطبيعي للطريق في المقطع العرضي حتى الوصول إلى التعلية الإضافية في القوس الدائري.

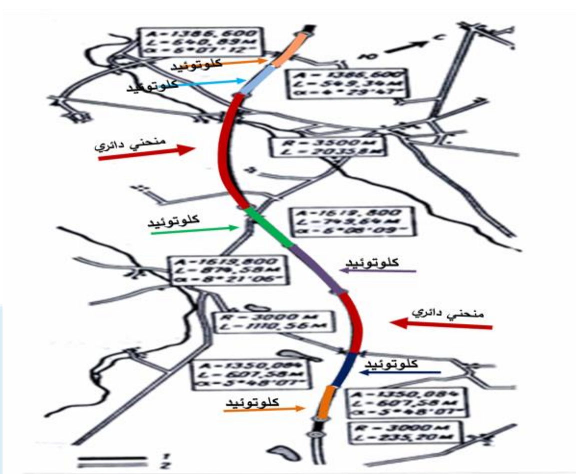
وتوضع الكلوتوئيدات كما يلي:

استقامة + كلوتوئيد+ منحني دائري

قوس دائري+ كلوتوئيد + قوس دائري

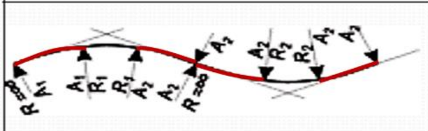
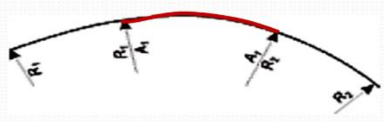
مستقيم + كلوتوئيد + مستقيم

يمكن عدم استخدام المنحني الانتقالي إذا كان نصف قطر المنحني الأفقي 1500 متر، عند سرعات لا تزيد عن 80 كم/ سا، وإذا زادت السرعة عن هذه القيمة لا بد من زيادة نصف القطر عن ذلك.

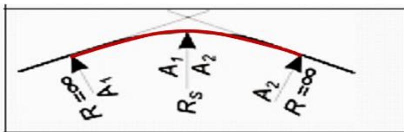
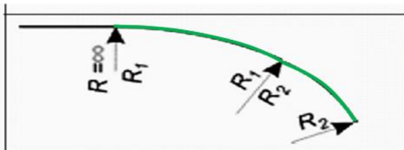
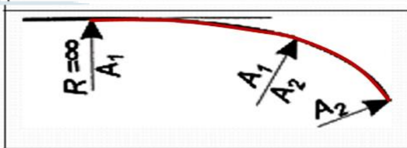


انسيابية المسارات الطرقية باستخدام الكلوتوئيدات

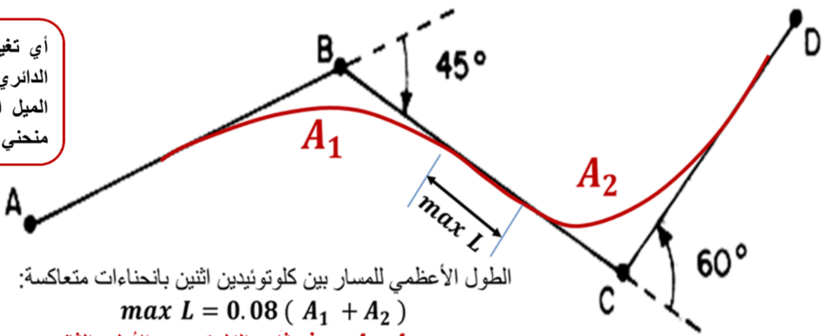
استخدام المنحنيات في التصميم الهندسي للطريق

الاستخدام	التسمية	تتابع العناصر	الشكل
مستخدم	منحني ربط	مستقيم-كلوتوئيد-منحني دائري-كلوتوئيد-مستقيم	
مستخدم	كلوتوئيد عودة / خط عودة	منحني دائري-كلوتوئيد- كلوتوئيد-منحني دائري	
مستخدم	كلوتوئيد بيضوي / خط بيضوي	منحني دائري-كلوتوئيد-منحني دائري	

استخدام المنحنيات في التصميم الهندسي للطريق

الاستخدام	التسمية	تتابع العناصر	الشكل
مستخدم بتحفظ	كلوتوئيدان ملتقيان	مستقيم-كلوتوئيد-كلوتوئيد- مستقيم	
يفضل تجنبه	منحنيان دائريان	منحني دائري-منحني دائري (نفس الإتجاه)	
يفضل تجنبه	كلوتوئيدان	كلوتوئيد- كلوتوئيد (نفس الإتجاه)	

أي تغيير بين الاستقامة والمنحني الدائري من حيث عرض الطرق أو الميل العرضي يجب أن يكون في منحني الوصل.



الطول الأعظمي للمسار بين كلوتوئيدين اثنين بانحناءات متعاكسة:

$$max\ L = 0.08\ (A_1 + A_2)$$

A_1, A_2 : جذر ثابت الكلوتيئيدين الأول والثاني

مثال:

إذا كان لدينا منحنيان متعاكسان بالاتجاه وكان ثابت الكلوتوئيد A^2 = 20000 للمنحني الانتقالي الأول، وثابت الكلوتوئيد للمنحني الانتقالي الثاني 4900 = A^2 ماهو الطول الأعظمي للمسافة بين المنحنيين؟

$$L = 0.08\ (141.42 + 70) = 16.91\ m$$

الكلوتوئيد (المنحني الحلزوني)

$$A^2 = L * R$$

ثابت الكلوتوئيد (ليس له واحدة)

طول الكلوتوئيد عند أية نقطة (m)

نصف قطر الانحناء التابع للكلوتوئيد في نهاية طوله، (m)

كلما صغرت قيمة ثابت الكلوتوئيد كلما زادت سرعة انحنائه

ثابت الكلوتوئيد يتوقف على نصف القطر للمنحني الدائري وعلى السرعة التصميمية، ويمكن أن نفرض قيمته ما بين R إلى R/3 أو يفرض حسب مقدار السرعة التصميمية من جدول خاص.

V, km/h	40	60	80	100	120	140
A_{min}	50	100	150	200	350	500

حساب طول الكلوتوئيد المطلوب:

يتزايد انحناء الكلوتوئيدات بشكل مستمر من الصفر عند الاستقامة وحتى قيمة 1/R عند بداية المنحني الدائري، ويكون نصف القطر عند الاتصال بالاستقامة مساوياً لانهاية (∞)، ثم يتناقص في كل نقطة منه حتى يصل إلى قيمة نصف قطر القوس الدائري التصميمي.

تبدأ القوة الطاردة المركزية صغيرة ثم تزداد تدريجياً إلى أن تصل إلى نهايتها العظمى عند بداية المنحني الدائري، وبالتالي المقصود من إدخال المنحني الانتقالي **هو إدخال القوة الطاردة المركزية في سير العربات بشكل تدريجي حتى لا تقع تحت تأثير مفاجئ**، لذلك فإن العجلة الطاردة المركزية موزعة على طول المنحني الانتقالي L بالأمتار، وبفرض أن الزمن اللازم لعبور منحني الانتقال هو **t بالثانية وv بالم/ ثا:**

$$t = \frac{L}{v}$$

والعجلة الطاردة المركزية خلال الفترة الزمنية t هي: $\frac{v^2}{R}$

$$t = \frac{L}{v}$$

وبالتالي معدل التغير في العجلة الطاردة المركزية C :

$$C = \frac{v^2}{R * t} = \frac{v^2}{R * \frac{L}{V}} = \frac{v^3}{R * L} \quad , \quad m/sec^3$$

❑ حساب طول منحني الانتقال بدلالة السرعة ونصف القطر ومعدل التغير أو التسارع العرضاني:

$$\rightarrow L = \frac{v^3}{C * R} = \frac{v^3}{(3.6)^3 * C * R} = \frac{v^3}{46.5 * C * R}$$

طول منحني الانتقال، م

معدل التغير المسموح به للعجلة الطاردة المركزية

نصف القطر، م

0.76 م/ ثا^3 إذا كانت السرعة أقل من 32 كم / سا

0.46 م/ ثا^3 إذا كانت السرعة أكبر من 96 كم / سا

$\frac{73}{v+64}$ م/ ثا^3 إذا كانت السرعة ما بين 32- 96 كم/ سا

ومن شروط حركة التباطؤ المنتظم نحصل على قيم العاملين:

$$a = \frac{v_s - v_c}{t}$$

$$J = \frac{v_c^2(v_s + v_c)}{2 * R * L}$$

a : تسارع التباطؤ السلبي، J : تسارع القوة النابذة، v_s: السرعة على الاستقامة، v_c: السرعة على المنحني الدائري، R : نصف قطر المنعطف الدائري، L : طول المنحني الانتقالي، t : الزمن اللازم لقطع المسافة على المنحني الانتقالي طوله L .

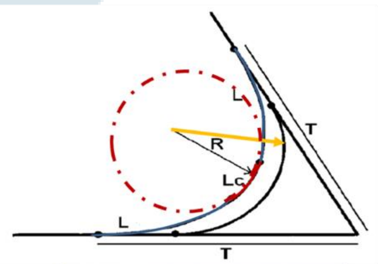
$$r = \frac{c}{l} \Rightarrow c = r * l$$

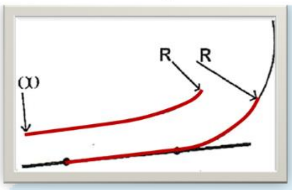
c : ثابت الكلوتوئيد، r : نصف قطر انحناء نقطة ما من المنحني الانتقالي تبعد مسافة l عن بدايته.

حساب طول الكلوتوئيد بعد معرفة السرعةV ونصف قطر انحناء الدائرة R:

$$L = \frac{V^3}{47 * C * R} \qquad L = \frac{V^3}{23.5 * R}$$

C=0.5





يتحدد الطول الأصغري للكلوتوئيد بأكبر القيمتين التاليتين:

$$Ls_{min} = 0.0173(\frac{v^3}{R})$$

السرعة التصميمية، كم/سا

$$Ls_{min} = \sqrt{4.8 * R}$$

نصف قطر منحني القوس الدائري،م

ويتحدد الطول الأعظمي لمنحني الوصل بالعلاقة:

$$Ls_{max} = \sqrt{24 * R}$$

❑ حساب ثابت الكلوتوئيد بدلالة السرعة ومعدل التغير في العجلة الطاردة المركزية (التسارع العرضاني):

$$L = \frac{v^3}{47 * C * R} \Longrightarrow L *R= \frac{v^3}{47*C}$$

$$A^2 = \frac{v^3}{47 * C} \Longrightarrow A = \sqrt{\frac{V^3}{47 * C}}$$

❑ حساب ثابت الكلوتوئيد بدلالة السرعة إذا لم تعط قيمة (التسارع العرضاني):

$$A = 1.543\sqrt{0.018 * V^3 - 23.33 * V}$$

السرعة بالكم/ سا

V, km/h	40	60	80	100	120	140
A_{min}	50	100	150	200	350	500

العناصر الهندسية للكلوتوئيد:

TS – بداية المنحني الانتقالي الأول ونهاية الخط المستقيم.

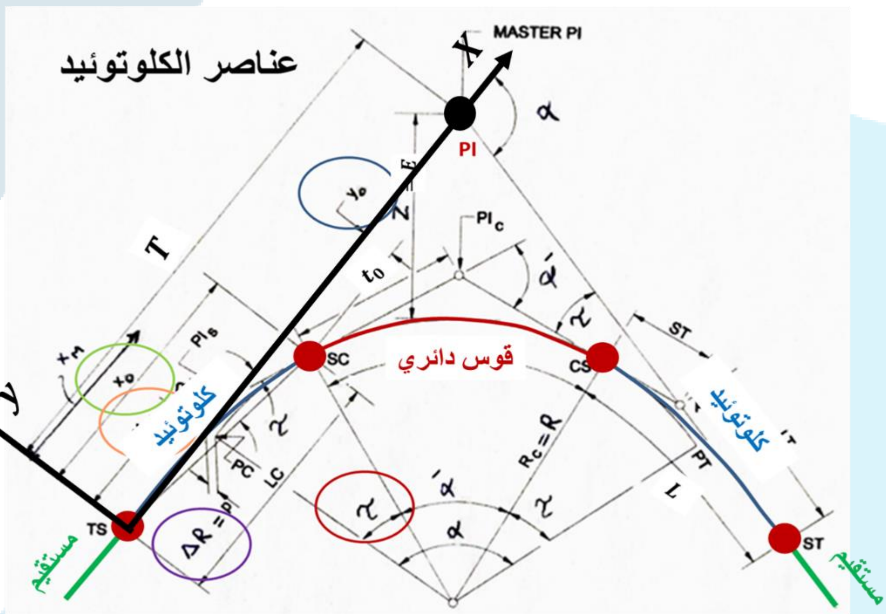
SC- نهاية المنحني الانتقالي الأول وبداية المنحني الأفقي.

CS- نهاية المنحني الأفقي وبداية المنحني الانتقالي الثاني.

ST- نهاية المنحني الانتقالي الثاني وبداية الخط المستقيم.

PI- نقطة تقاطع المماسين.

L – طول المنحني الانتقالي.



α- زاوية الانحراف، الزاوية المركزية.

τ - زاوية مماس الكلوتوئيد في نهايته مع محور الفوصل،

(زاوية تقاطع مماس الكلوتوئيد عند نقطة اتصاله بالدائرة مع المماس الكلي).

$\acute{\propto}$–زاوية القوس الدائري.

x_0 , y_0 -إحداثيات النقاط الطرفية للكلوتوئيد.

E او Z البعد بين ذروة المنعطف وذروة المضلع الأفقي.

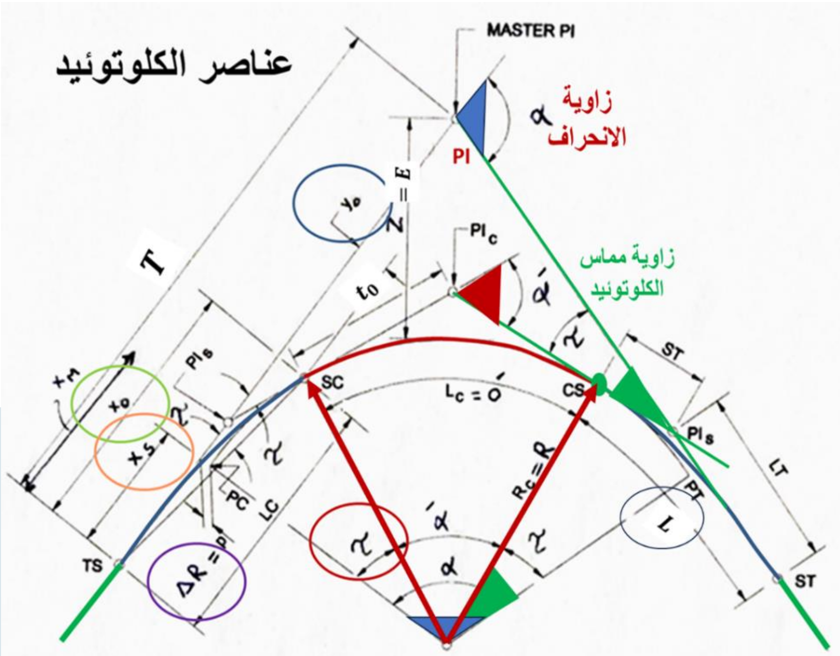
L_c - طول القوس الدائري.

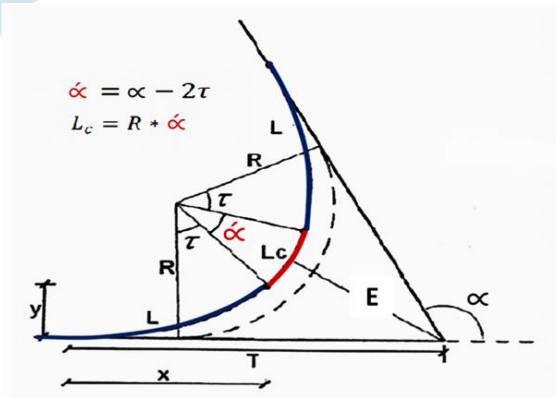
x_s , y_s إحداثيات مركز انحناء الكلوتوئيد.

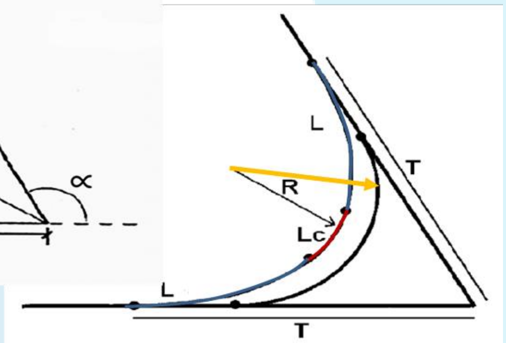
t_0 - طول مماس الانحناء الدائري الأساسي.

T - طول مماس الانحناء الكلي.

D – مقدار التوفير في طول المسار.







مراحل الحساب:

1- نحسب **زاوية مماس الكلوتوئيد في نهايته τ** بدلالة طول الكلوتوئيد ونصف قطر القوس الدائري، ثم نتأكد من إمكانية توضع الكلوتوئيد من شرط الزاوية:

$$\propto \geq 2\tau$$

$$\tau = \frac{L}{2R} * \frac{180^{\circ}}{\pi}$$

2- نحسب **ثابت الكلوتوئيد:**

$$A^2 = L * R$$

3- نحسب **زاوية القوس الدائري:**

$$\alpha^{`} = \alpha - 2\,\tau$$

4 - نحسب **الإحداثيات الطرفية للكلوتوئيد:**

$$x = L - \frac{L^3}{40 * R^2}$$

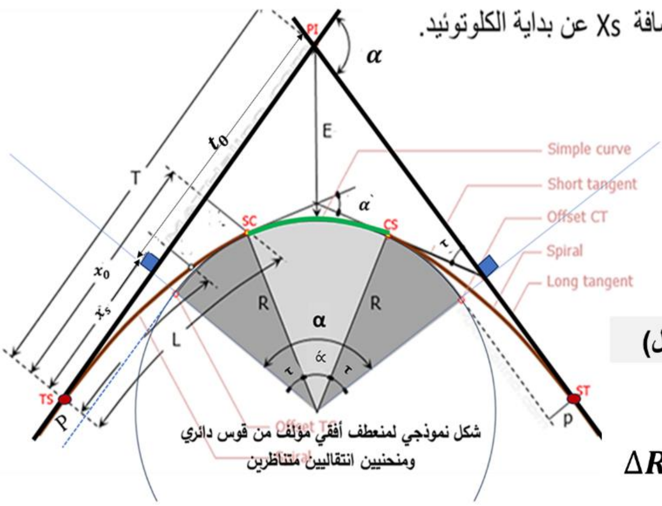
$$y = \frac{L^2}{6 * R}$$

5- نحسب انزياح القوس الدائري p في النقطة التي تبعد بمسافة Xs عن بداية الكلوتوئيد:

$$P = \frac{L^2}{24 * R}$$

$$P = y - R(1 - cos\tau)$$

P- مقدار الإزاحة في النقطة التي تبعد بمسافة Xs عن بداية الكلوتوئيد.



شكل نموذجي لمنعطف أفقي مؤلف من قوس دائري ومنحنيين انتقاليين متناظرين

(البعد الذي تنزلق فيه الدائرة عن محور الفواصل)

$$\Delta R = \mathrm{P} = \frac{L^2}{24 * R}$$

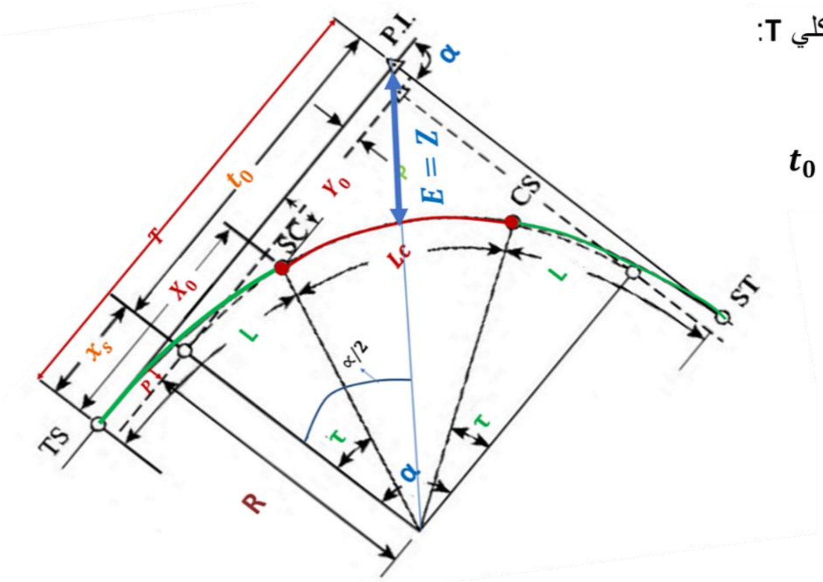
طول الكلوتوئيد بالمتر

نصف قطر انحناء الدائرة بالمتر

6- نحسب إحداثيات مركز انحناء الكلوتوئيد:

$$x_s = x - R * \sin\tau$$

$$y_s = R + P$$



7- نحسب طول مماس الانحناء الكلي T:

$$T = t_0 + x_s$$

$$t_0 = (R + P) * tg\frac{\alpha}{2}$$

8- نحسب البعد بين ذروة المنعطف وذروة المضلع الأفقي:

$$E = Z = (R + P) * \left(\frac{1}{\cos\frac{\alpha}{2}} - 1\right) + P$$

9 – نحسب طول القوس الدائري L_c:

$$L_c = \frac{\pi . R . \alpha^{`}}{180^o}$$

10- نحسب القيمة x_M (نقطة تقاطع مماس القوس الدائري مع محور الفواصل):

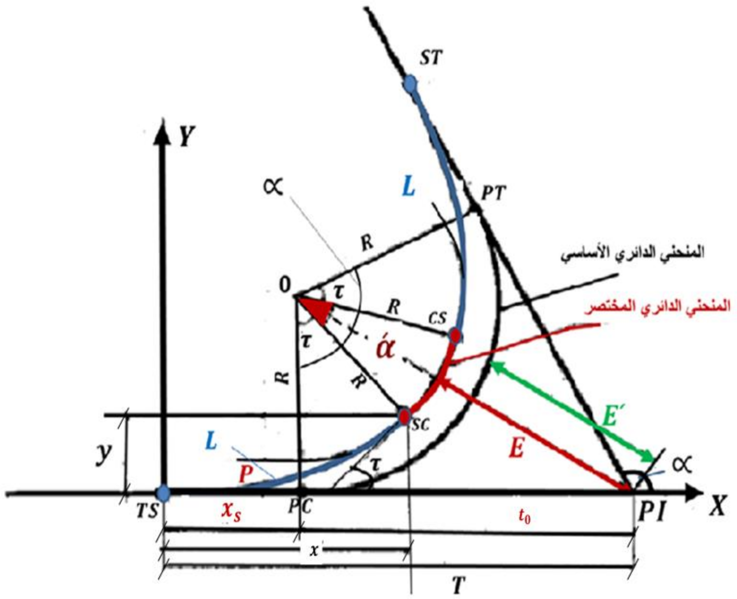
$$X_M = X_0 - Y_0 * cotg\tau$$

11- نحسب طول المنعطف الكلي:

$$S = \frac{\pi . R . \alpha^{`}}{180^o} + 2L$$

12- نحسب مقدار التوفير في طول المسار:

$$D = 2T - (2\,\mathrm{L} + L_c)$$



ولحساب إحداثيات عدة نقاط من الكلوتوئيد نقسم طول الكلوتوئيد إلى عدة أقسام مثلاً سبعة أقسام، ونحسب في كل نقطة من هذه النقاط قيمة الزاوية τ من المعادلة:

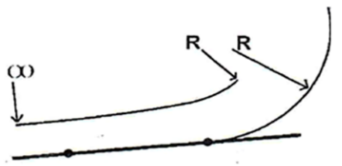
$$\boldsymbol{L = \sqrt{2 * \tau * A^2}} \rightarrow \boldsymbol{L = A * \sqrt{2 * \tau}}$$

$$\boldsymbol{\sqrt{\tau} = \frac{L}{\sqrt{2} * A}} \rightarrow \boldsymbol{\tau = \frac{L^2}{2 * A^2}}$$

لتحديد إحداثيات أية نقطة من الكلوتوئيد لدينا العلاقات التالية:

$$X = A\sqrt{2} * \left[\tau^{\frac{1}{2}} - \frac{\tau^{\frac{5}{2}}}{10}\right]$$

الزاوية مقدرة بالراديان



$$y = A\sqrt{2} * \left[\frac{\tau^{\frac{3}{2}}}{3}\right]$$

$$A^2 = R * L$$

الثابت الوحيد للكلوتوئيد **طول الكلوتوئيد**

<u>مثال:</u>

احسب طول منحني الانتقال المناسب الموافق لمنحني دائري بنصف قطر 200 m، إذا علمت أن السرعة التصميمية 70 km/h وأن قيمة معدل التغير المسموح للعجلة الطاردة المركزية هي 0.46 m/sec 3، ومن ثم احسب ثابت الكلوتوئيد، واحسب البعد الذي تنزلق فيه الدائرة عن محور الفواصل.

$$L = \frac{V^3}{47*C*R} = \frac{70^3}{47*0.46*200} = 79.32 \text{ m}$$

$$A^2 = R * L = 200 * 79.32 = 15864.94$$

$$\Delta R = \frac{L^2}{24*R} = \frac{(79.32)^2}{24*200} = 1.31 \text{ m}$$

<u>مثال:</u>

احسب طول منحني الانتقال الموافق لمنعطف أفقي بنصف قطر 220 m وبسرعة تصميمية 60 km/h، علماً أن معدل التغير المسموح به للعجلة الطاردة المركزية هو 0.6 m/ sec3، ثم احسب البعد الذي تنزلق فيه الدائرة عن محور الفواصل، وزاوية مماس الكلوتوئيد في نهايته مع محور الفواصل، وزاوية الكلوتوئيد في منتصفه.

$$\rightarrow L = \frac{v^3}{C*R} = \frac{v^3}{(3.6)^3 * C * R} = \frac{v^3}{46.5 * C * R}$$

طول منحني الانتقال، م

معدل التغير المسموح به للعجلة الطاردة المركزية

نصف القطر، م

0.67 م/ ثا³ إذا كانت السرعة أقل من 32 كم / سا

0.46 م/ ثا³ إذا كانت السرعة أكبر من 96 كم / سا

$\frac{0.73}{v+64}$ إذا كانت السرعة أكبر من 96 كم / سا

$$L = \frac{60^3}{46.5 * 0.6 * 220} = 35.2\ m \quad \Rightarrow \quad L = 40\ m$$

البعد الذي تنزلق فيه الدائرة عن محور الفواصل:

$$\Delta R = \mathrm{P} = \frac{L^2}{24*R} = \frac{40^2}{24*220} = 0.30 \text{ m}$$

$$L = \frac{A^2}{R} \longrightarrow A^2 = 8800$$

زاوية مماس الكلوتوئيد في نهايته مع محور الفواصل، وزاوية الكلوتوئيد في منتصفه:

زاوية مماس الكلوتوئيد في نهايته $\rightarrow$ $\tau = \frac{L^2}{2*A^2} = \frac{40^2}{2*8800} = 0.091 \text{ Rad}$

زاوية الكلوتوئيد في منتصفه $\rightarrow$ $\tau = \frac{L^2}{2*A^2} = \frac{20^2}{2*8800} = 0.023 \text{ Rad}$

مثال:

يطلب تصميم منحني متدرج (كلوتوئيد) يصل بين استقامة وقوس دائري في مشروع طريق بحارتي مرور، له نصف قطر أصغري بسرعة تصميمية 90 كم/ سا مع تعلية إضافية 5% واحتكاك عرضي 0.07، والمطلوب:

تحديد إحداثيات النقاط الطرفية وإحداثيات مركز انحناء الكلوتوئيد، وقيمة الانزياح عن القوس الدائري

$$R_{min} = \frac{v^2}{127 * (e+f)} = \frac{(90)^2}{127 * (0.05 + 0.07)} = 531.5 \sim 535\, m$$

جذر ثابت الكلوتوئيد

$$\frac{R}{3} \leq A \leq R$$

$$\frac{535}{3} \leq 200 \leq 535$$

$$A^2 = R * L$$

$$(200)^2 = 535 * L \rightarrow L = 74.77\, m$$

$$\tau = \frac{L}{2R} * \frac{180^\circ}{\pi} = 28.65 * \frac{L}{R} = 28.65 * \frac{74.77}{535} = 4^\circ$$

أو

زاوية المماس المشترك عند نقطة نهاية الكلوتوئيد

$$\tau = \frac{L^2}{2A^2} = \frac{(74.77)^2}{2(200)^2} = 0.0699\, Rad$$

ملاحظة: إذا طلب إحداثيات منتصف الكلوتوئيد نعوض في علاقة τ بدلاً من L بـ L/2 ومن ثم نحسب X,Y.

$$L = 74.77\, m \Rightarrow \frac{L}{2} = 37.385\, m$$

نعوض في علاقة τ بدلاً من L بـ L/2 ومن ثم نحسب X,Y.

$$\tau = \frac{(\frac{L}{2})^2}{2A^2} = \frac{(37.385)^2}{2(200)^2} = 0.017\, Rad$$

لتحديد إحداثيات أية نقطة من الكلوتوئيد لدينا العلاقات التالية:

$$X = A\sqrt{2} * \left[\tau^{\frac{1}{2}} - \frac{\tau^{\frac{5}{2}}}{10}\right]$$

الزاوية مقدرة بالراديان

$$y = A\sqrt{2} * \left[\frac{\tau^{\frac{3}{2}}}{3}\right]$$

إحداثيات مركز انحناء الكلوثوئيد:

$$x_s = X_0 - R.sin\tau = 74.74 - 535 * sin(0.0699) = 37.37m$$

$$Y_s = Y_0 + R * COS\tau = 1.74 + 535 * COS(0.0699) = 535.43m$$

انزياح القوس الدائري P أو ΔR في النقطة التي تبعد بمسافة Xs عن بداية الكلوتوئيد:

$$P = Y_s - R = 535.43 - 535 = 0.43m$$

أو

$$P = \frac{L^2}{24 * R} = \frac{(74.77)^2}{24 * 535} = 0.435m$$

أو

$$\Delta R = P = y_0 - R.(1 - cos\,\tau)$$

<u>**مثال**</u>

طريق تسير عليه العربة بسرعة تصميمية **80 Km/h** ويراد تصميم كلوتوئيد بسيط يقع بين استقامة وقوس دائري يبلغ نصف قطره **300m**:

1. ما هو الطول الأصغري لهذا الكلوتوئيد، إذا علمت أن السرعة على المنعطف **40Km/h**، وماهي قيمة الطول الأعظمي له؟
2. ما هو الزمن اللازم لقطع هذا الكلوتوئيد إذا علمت أن قيمة التسارع السلبي للتباطؤ تساوي **$0.3\ m/sec^2$**، وماهي قيمة تسارع القوة النابذة عند الانتقال عليه؟
3. ماهي قيمة ثابت الكلوتوئيد، وماهي قيمة نصف قطر انحناء نقطة تقع على بعد 15 متر من بداية الكلوتوئيد؟

<u>1 – الطول الأصغري للكلوتوئيد يتحدد بالقيمة الأكبر بين القيمتين التاليتين:</u>

$$L_{min} = \sqrt{4.8\,R}$$

$$L_{min} = 0.01783.\frac{v^3}{R}$$

v- كم/سا

R- متر

$$L_{min} = \sqrt{4.8\,.300} = 37.95m$$

$$L_{min} = 0.01783.\frac{80^3}{300} = 30.43m$$

أي تؤخذ قيمة الطول الأصغري للكلوتوئيد 37.95 متر، ويفضل زيادة الطول بمقدار الضعف لإكساب محور الطريق الشكل أو المظهر الانسيابي أي:

$$L = 37.95 * 2 = 75.9\ m$$

وهو الطول المطلوب للكلوتوئيد.

أما الطول الأعظمي:

$$L_{max} = \sqrt{24 * R} = \sqrt{24 * 300} = 84.85\ m$$

2 – الزمن اللازم لقطع الكلوتوئيد:

$$a = \frac{V_s - V_c}{t}$$

حيث:

- a تسارع التباطؤ، م/ ثا2
- V_s السرعة على الاستقامة
- V_c السرعة على المنعطف
- t الزمن اللازم

$$t = \frac{V_s - V_c}{a} = \frac{22.22 - 11.11}{0.3} = 37.03\ sec$$

$$J = \frac{{V_c}^2 * (V_s + V_c)}{2 * R * L} = \frac{11.11^2 * (11.11 + 22.22)}{2 * 300 * 75.9} = 0.09 m/sec^2 < 0.18\ m/sec^2$$

حيث:

$0.18\ m/sec^2$ هي قيمة التسارع الذي يسبب الانزعاج عند السفر.

3 – قيمة ثابت الكلوتوئيد تعطى بالمعادلة التالية:

$$\boldsymbol{A^2 = R * L = 300 * 75.9 = 22770}$$

$$\boldsymbol{r = \frac{A^2}{l} = \frac{22770}{15} = 1517.6m}$$

وهي قيمة نصف قطر الانحناء عند النقطة التي تبعد 15 متر عن البداية.

مثال:

احسب عناصر منعطف أفقي مؤلف من قوس دائري ومنحنيات وصل متدرجة ومتناظرة علماً أن:

$\alpha = 110^{\circ}$ و R=800m و L=100m (طول كل من الكلوتوئيدين المتساويين).

$$\tau = \frac{L}{2R} * \frac{180^{\circ}}{\pi} = 28.65 * \frac{L}{800} = 28.65 * \frac{100}{800} = 3.6^{\circ}$$

$$\alpha` = \alpha - 2\,\tau = 110^{\circ} - 7.2^{\circ} = 102.8^{\circ}$$

$$T = t_0 + X_s$$

$$t_0 = (R + P) * tg\frac{\alpha}{2}$$

$$P = \frac{L^2}{24 * R} = \frac{100^2}{24 * 800} = 0.52m$$

$$t_0 = (800 + 0.52) * tg55^{\circ} = 1143.26m$$

$$x = L - \frac{L^3}{40 * R^2} = 100 - \frac{100^3}{40 * 800^2} = 100 - 0.039 = 99.96m$$

$$y = \frac{L^2}{6 * R} = \frac{100^2}{6 * 800} = 2.083m$$

$$X_s = x - R * sin\tau = 99.96 - 800 * \sin 3.6^{\circ} = 49.73m$$

$$T = t_0 + X_s = 1143.26 + 49.73 = 1192.99 = 1193m$$

$$Y_s = R + P = y + R * cos\tau = 800.52\text{m}$$

$$X_M = x - y * cotg\tau = 99.96 - 2.083.\text{cotg}3.6^{\circ} = 66.85m$$

$$\boldsymbol{E = (R + P) * \left(\frac{1}{cos\frac{\alpha}{2}} - 1\right) + P}$$

$$= (800 + 0.52) * \left(\frac{1}{cos55^{\circ}} - 1\right) + 0.52 = 595.31m$$

$$S = \frac{\pi.R.\alpha`}{180^o} + 2L = \frac{3.14.800.102.8^o}{180^o} + 200 = 1634.63m$$

جامعة المنارة
MANARA UNIVERSITY

مثال

طريق ريفي مؤلف من حارتي مرور تسير عليه عربة بسرعة تصميمية 100Km/h ونصف قطر الدوران R=900m، احسب المعطيات المتعلقة بالمنحني الكلوتوئيدي المؤلف من قوس دائري وكلوتوئيدين متناظرين بطول 60 متر، علماً أن زاوية الانحراف تبلغ $\alpha = 15^o$ وأن المحطة الرئيسية هي النقطة الرئيسية:

P_1 station =43+16.63

المسافة بين المحطات 100 متر

$$\tau = \frac{L}{2R} * \frac{180^\circ}{\pi} = 28.65 * \frac{L}{R} = 28.65 * \frac{60}{900} = 1.91^\circ$$

زاوية القوس الدائري:

$$\boldsymbol{\alpha` = \alpha - 2\,\tau = 15^\circ - 2 * 1.91^\circ = 11.18^\circ}$$

تحديد إحداثيات النقاط الطرفية لكلوتوئيد:

$$x = L - \frac{L^3}{40 * R^2} = 60 - \frac{60^3}{40 * 900^2} = 59.993m$$

$$y = \frac{L^2}{6 * R} = \frac{60^2}{6 * 900} = 0.667m$$

حساب إحداثيات مركز انحناء الكلوتوئيد:

$$X_s = x - R * sin\tau = 59.993 - 900 * \sin 1.91^\circ = 29.996m$$

$$\boldsymbol{Y_s = R + P = y + R * cos\tau = 900.167m}$$

$$\boldsymbol{L_c} = \frac{2.\pi.R.\alpha`}{360^o} = 175.52m$$

تحديد الطول X_M:

$$X_M = x - y * cotg\tau = 59.993 - 0.667.\mathrm{cotg} 1.91^\circ = 18.4m$$

حساب البعد بين ذروة المنعطف وذروة المضلع الأفقي *E* :

$$E = (R + P) * \left(\frac{1}{cos\frac{\alpha}{2}} - 1\right) + P = (900 + 0{,}167) * \left(\frac{1}{cos 7.5^\circ} - 1\right) + 0.167$$
$$= 7.91m$$

حساب طول المماس الكلي:

$$T = t_0 + X_s$$

$$t_0 = (R+P) * tg\frac{\alpha}{2}$$

$$P = \frac{L^2}{24 * R} = \frac{60^2}{24 * 900} = 0.167m$$

$$t_0 = (900 + 0.167) * tg7.5^{\circ} = 118.51m$$

حساب T:

$$T = t_0 + X_s = 118.51 + 29.996 = 148.51m$$

حساب طول المنعطف الكلي:

$$S = \frac{\pi . R . \grave{\alpha}}{180^o} + 2L = \frac{3.14.900.11.18^o}{180^o} + 2 * 60 = 295.53m$$

Ts station = P1 station – T = 43+16.63 – 148.51= 41+68.12

SC station = TS station + L = 41 + 68.12+60 = 42+ 28.12

CS station = SC staion + L_c = 42 +28.12 +175.52= 44+03.64

ST station = CS station + L = 44 + 03.64+60 = 44+63.64

مثال:

طريق سريع مكون من حارتي مرور ذهاب وإياب، يحوي في مسقطه الأفقي على استقامتين متقاطعتين بزاوية 60 غراد، تم الوصل بين الاستقامتين بمنحني دائري ومنحنيي وصل (كلوتوئيدين)، السرعة التصميمية V= 110 km/h، وبفرض الميل العرضي الأعظمي في الجزء الدائري i=5%، ومعامل الاحتكاك العرضاني f=0.13، يقرب نصف القطر الدائري إلى أقرب خمسة نحو الأعلى، والمطلوب حساب ما يلي:

1. نصف قطر المنحني الدائري وطول القوس الدائري المناسب
2. طول الكلوتوئيد المناسب
3. الإحداثيات الطرفية، وانزلاق الدائرة عن محور الفواصل.

$$R = \frac{V^2}{127(e+f)}$$

لأن السرعة أكبر من 110 كم/سا

$$R = \frac{(110 * 0.75)^2}{127\,(0.05 + 0.13)} = 297.7m \sim 300m$$

بما أن التسارع العرضاني C لم يعط، لذلك لا نستطيع استخدام القانون:

$$A = \sqrt{\frac{V^3}{47 * C}}$$

لذلك نستخدم القانون التالي:

$$A = 1.543\sqrt{0.018 * V^3 - 23.33 * V}$$

$$A = 1.543\sqrt{0.018 * 110^3 - 23.33 * 110}$$

$A = 225.7$ ➡ $A^2 = 50940.5$ ثابت الكلوتوئيد

طول الكلوتوئيد:

$$L = \frac{A^2}{R} = \frac{(225.7)^2}{300} = 169.80m$$

زاوية ميل مماس منحني الكلوتوئيد:

$$\tau = \frac{L}{2R} = \frac{169.80}{2 * 300} = 0.283\ Rad = 18.03\ grad$$

ويمكن حساب الزاوية من قانون آخر، وذلك بتعويض $R = \frac{A^2}{L}$ في القانون السابق، ونجد:

$$\tau = \frac{L}{2 * \frac{A^2}{L}} = \frac{L^2}{2 * A^2} = \frac{(169.80)^2}{2 * (225.7)^2} = 0.283\ Rad = 18.03\ grad$$

نحسب إحداثيات الكلوتوئيد x,y عند نقطة التقاء الدائرة بالكلوتوئيد (الإحداثيات الطرفية):

$$X_0 = A\sqrt{2} * \left[\tau^{\frac{1}{2}} - \frac{\tau^{\frac{5}{2}}}{10}\right]$$

$$X_0 = 225.7 * \sqrt{2} * \left[0.283^{\frac{1}{2}} - \frac{0.283^{\frac{5}{2}}}{10}\right] = 168.44\ m$$

$$Y_0 = A\sqrt{2} * \left[\frac{\tau^{\frac{3}{2}}}{3}\right] = 15.96\ m$$

$$\alpha^{`} = \alpha - 2\,\tau$$

زاوية القوس الدائري

$$\alpha^{`} = \alpha - 2\,\tau = \frac{60 * \pi}{200} - (2 * 0.283) = 0.376\ rad$$

انزلاق الدائرة عن محور الفواصل:

$$\Delta R = \frac{\boldsymbol{L^2}}{\mathbf{24} * \boldsymbol{R}} = \frac{(\mathbf{169.80})^2}{\mathbf{24} * \mathbf{300}} = \mathbf{4}\ \boldsymbol{m}$$

طول قوس الدائرة:

$$\boldsymbol{L_c} = \boldsymbol{R} * \boldsymbol{\alpha}^{`} = \mathbf{300} * \mathbf{0.376} = \mathbf{112.8}\ \boldsymbol{m}$$

طول المنحني الكلي المركب:

$$S = \mathbf{112.8} + \mathbf{2}(\mathbf{169.80}) = \mathbf{452.4}\ \boldsymbol{m}$$
