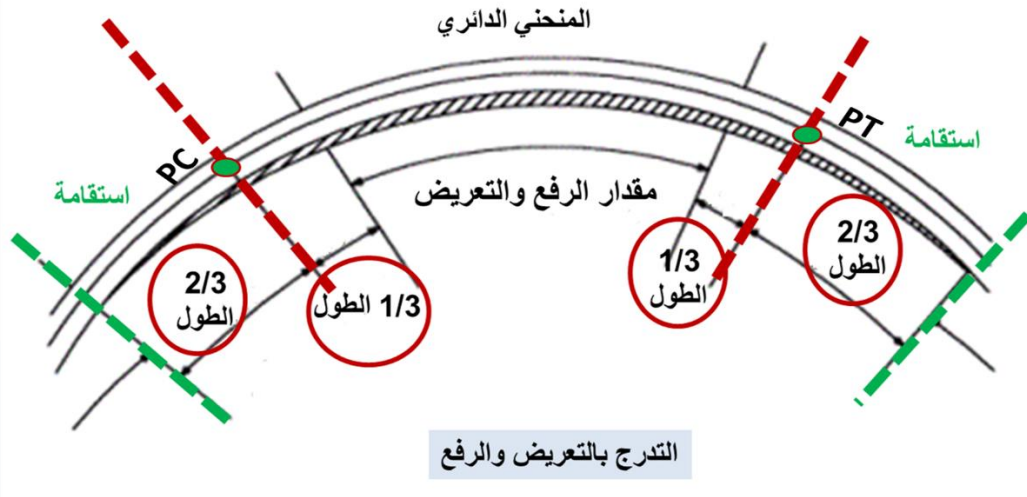


حالات الرفع العرضاني

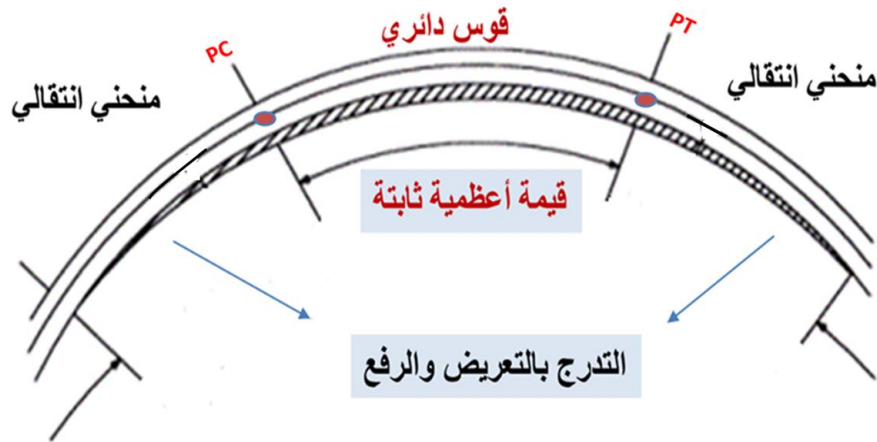
• استقامات + أقواس دائرية:

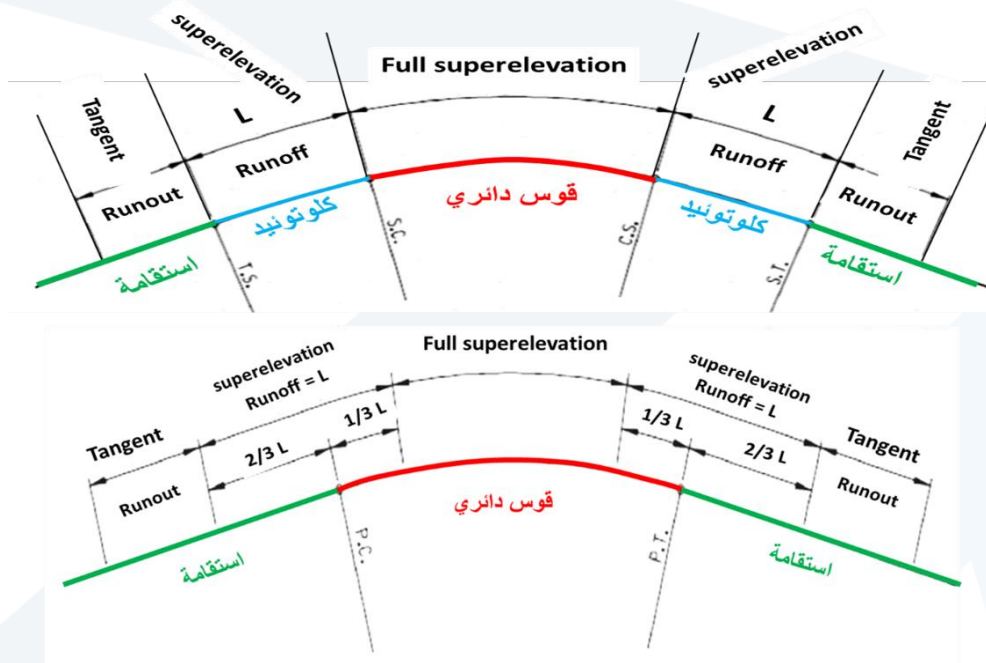
وفي حال لم يتم استخدام منحنى انتقالي للوصل بين القوس الدائري والاستقامة، يتم تطبيق ثلثي طول المنحدر فوق الاستقامة والثلث المتبقي فوق القوس الدائري، وبحيث لا يزيد الميل العرضي للطريق في الاستقامة عن 4%.



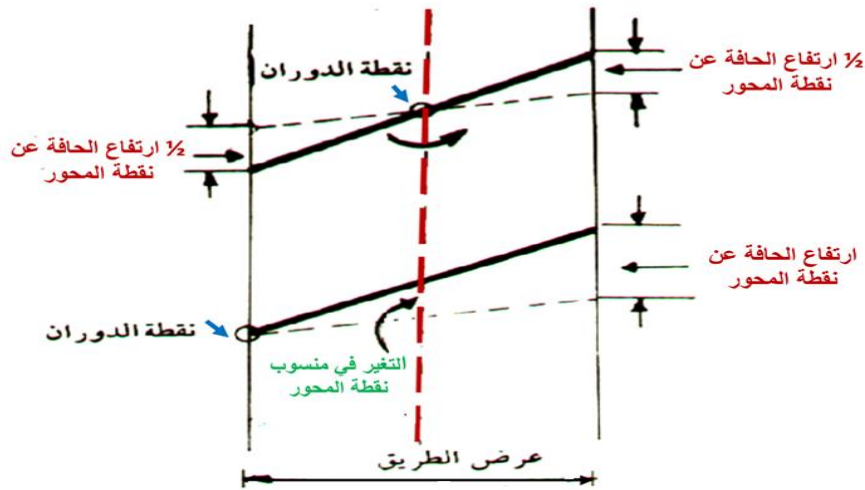
• استقامات + كلوتويدات:

يتم تطبيق التعلية أو الرفع العرضاني من بداية الكلوتويد وتنتهي بنهايته عند بداية القوس الدائري على كامل طول المنحنيات الانتقالية، في حال استخدامها، ويكون طول المنحدر الجانبي (طول الرفع على امتداد الطريق) هو طول المنحني الانتقالي (الكلوتويد)، وتكون التعلية على كامل طول القوس الدائري.

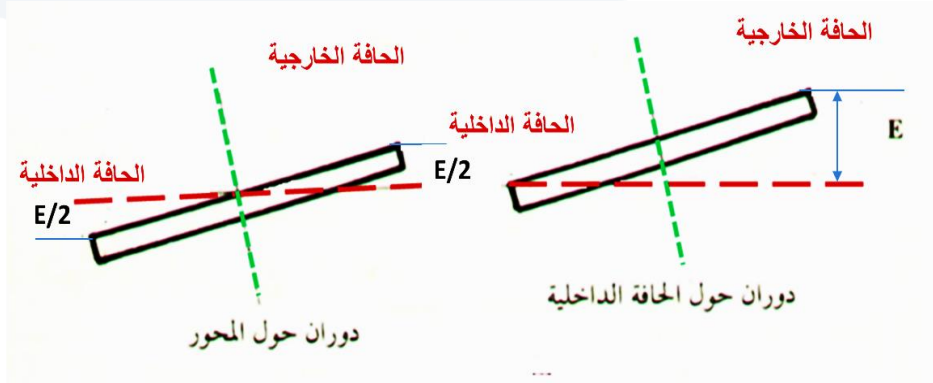




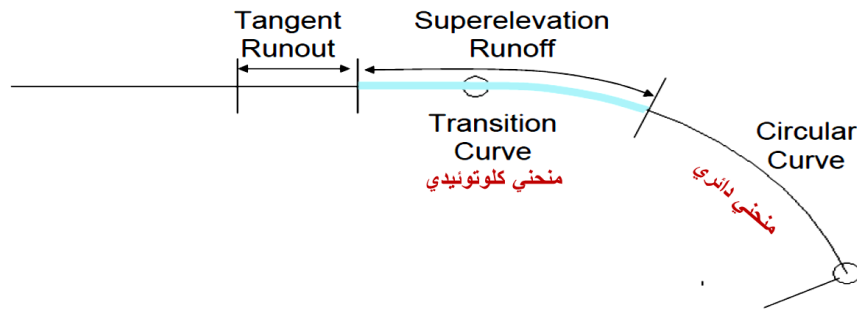
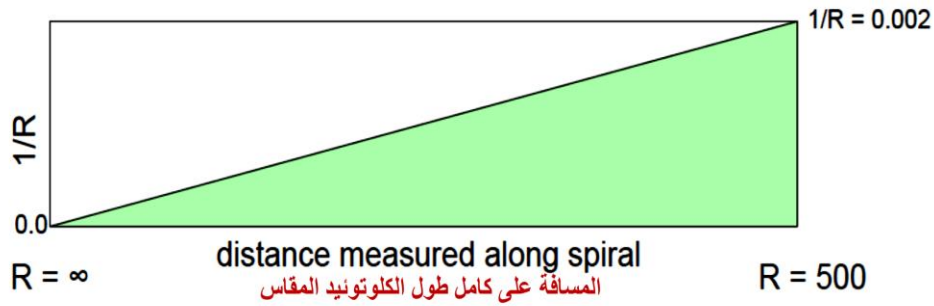
في معظم الأحيان (في حالة المنعطفات الأفقية ذات أنصاف الأقطار الصغيرة)، يكون معدل ميل الرفع العرضاني أكبر من الميل العرضي للطريق على المستقيم، لذا يتطلب الأمر دوران للرف للوصول إلى الميل المطلوب، وهناك طريقتان للوصول إلى هذا الميل، إما بالدوران حول المحور ليرتفع بمقدار نصف قيمة الرفع، أو بالدوران حول الحافة الداخلية للطريق ليرتفع بكامل قيمة الرفع.



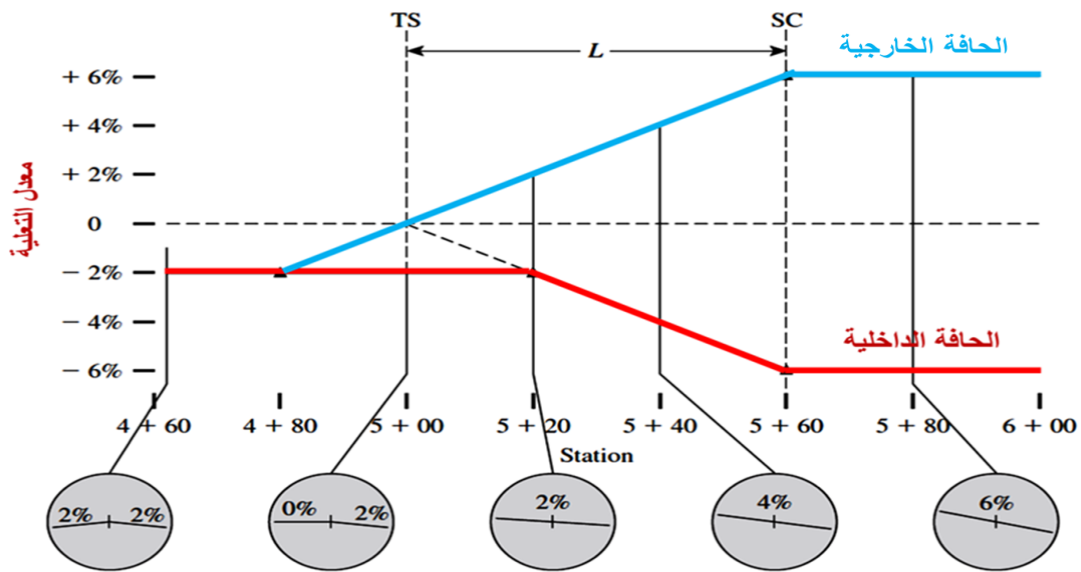
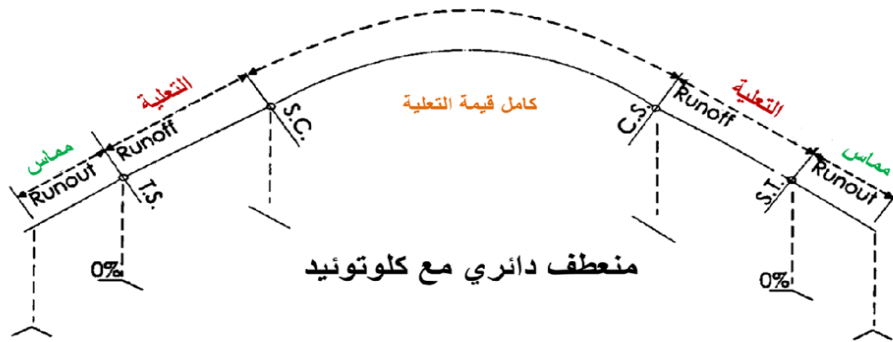
في الحالة الأولى يبقى محور الطريق ثابت وبدون رفع، وبذلك يصبح الحفر مساوياً للردم، ولكن يعيب هذه الطريقة تولد مشاكل بالنسبة لعمليات الصرف السطحي نتيجة لخفض الحافة الداخلية عن منسوب الأرض، وخاصةً في حالة الأرض المنبسطة وحالة القطوع، وتندم هذه المشكلة في حالة الجسور أو في حالة وجود ميول طويلة تساعد على صرف المياه.



والطريقة الثانية مفضلة ولكن يعيها متطلبات الردم لكامل قطاع الرصف بالإضافة إلى الكتف الخارجي، كما ان منسوب محور الطريق سيرتفع مما يتسبب في تغيير الميول الطولية.



وتوضح الأشكال التالية طريقة الانتقال من المقطع العادي بميل 2% لطريق بحارتي مرور إلى 6% مع منحني كلوتونيد.



التعريض الإضافي في المنعطفات : Curve Widening

يجب أن يعطى الطريق (الجزء المزفت أو القارعة) عرضاً إضافياً في المنعطفات لكي تكون شروط الحركة على هذا المنحني مشابهة لشروط الحركة على الاستقامة، حتى لا يكون جزء من العربة خارج حدود الطريق. ويطبق التعريض الإضافي من طرفي الجزء المزفت أو من أحد أطرافه، ويفضل دائماً تطبيقه في الطرف الداخلي (باتجاه مركز القوس الدائري)، وبحسب التعريض الإضافي من العلاقة التالية:

$$D = n \left(R - \sqrt{R^2 - L^2} \right) + \frac{v}{10\sqrt{R}}$$

قيمة التعريض الإضافي للطريق وهو ثابت على طول القوس الدائري (م)

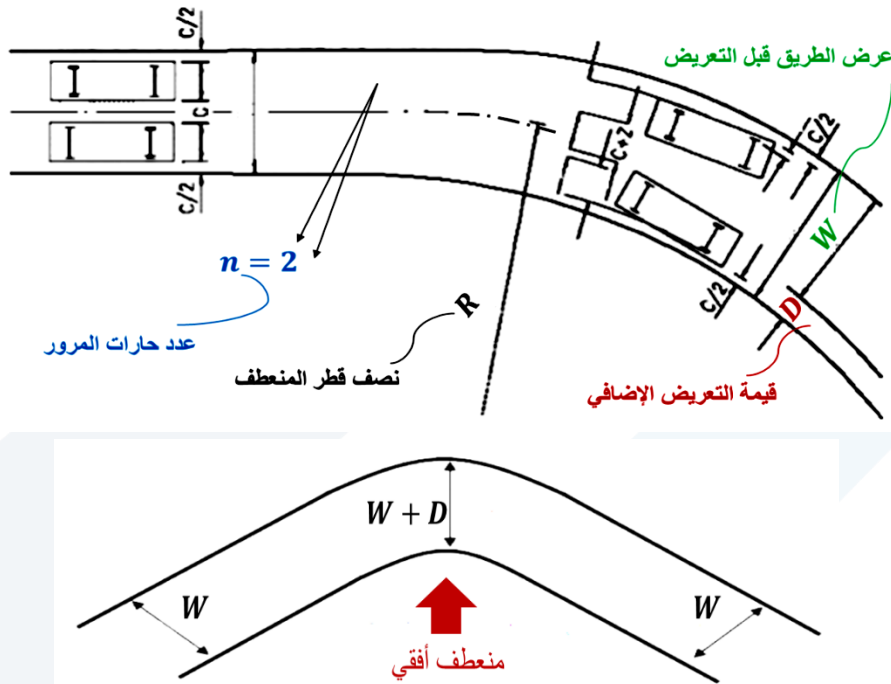
عدد الحارات المرورية

طول العربة التصميمية (م)

نصف قطر المنحني الدائري الداخلي (م)

السرعة التصميمية (كم/سا) وتؤخذ نفس قيمتها بالاستقامة إذا كانت قيمتها أقل أو تساوي 100 كم/سا وفي حال كانت أكبر فتؤخذ 75% من قيمتها وبحيث لا تقل عن 90 كم/سا

ملاحظة: يجب أن لا تزيد قيمة $\frac{v}{10\sqrt{R}}$ عن 0.5 مذتر مهما كانت قيمة السرعة، وإذا تجاوزت 0.5 متر نحذف القيمة ونضع 0.5 متر.



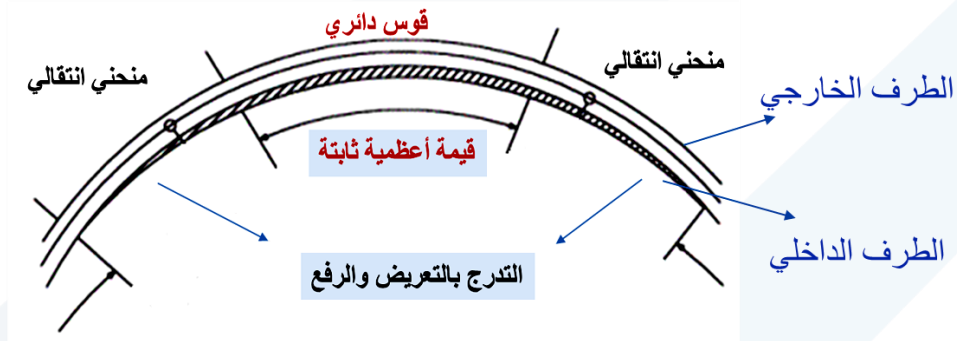
قيمة التعريض الإضافي لكل حارة مرور على أن تضرب القيم المستخرجة من الجدول بعدد الحارات المرورية في الطريق.

نصف قطر القوس الدائري (متر)	التعريض الواجب إعطاؤه للجزء المزفت من الطريق لكل حارة مرور (متر)											
	عرض الحارة المرورية 3.65 متراً					عرض الحارة المرورية 3.25 متراً						
	السرعة التصميمية كم/سا					السرعة التصميمية كم/سا						
	40	50	60	70	80	40	50	60	70	80	90	100
500	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.6
400	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.6	0.6
350	0	0	0	0	0	0	0	0	0.6	0.6	0.6	0.7
300	0	0	0	0	0	0	0	0.6	0.6	0.6	0.7	
250	0	0	0	0	0	0	0.6	0.6	0.6	0.8		
200	0	0	0	0	0.6	0.6	0.6	0.7	0.8	0.9		
175	0	0	0	0.6	0.6	0.6	0.7	0.8	0.8			
150	0	0	0.6	0.6		0.6	0.8	0.8	0.9			
125	0.5	0.6	0.6			0.7	0.8	0.9				
100	0.6	0.6				0.8	0.9					
80	0.7	0.8				0.9	1.1					
60	0.8					1.1						
50	0.9					1.3						
45	1.0					1.4						

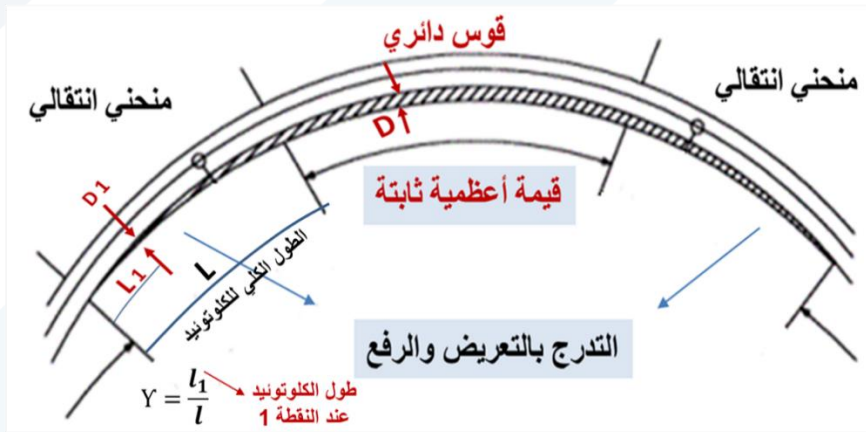
توزع قيمة التعريض على جانبي الطريق كما يلي:

$\Delta R < \frac{D}{2} \Leftrightarrow$ يعرض الطرف الخارجي للطريق بقيمة ΔR ويعرض الطرف الداخلي بالقيمة المتبقية.

$\Delta R > \frac{D}{2} \Leftrightarrow$ نعرض طرفي الطريق بشكل متساوي (الداخلي والخارجي).



طول التدرج بالتعريض هو نفسه طول المنحني الانتقالي (الكلوتويد)، يتم الانتقال بالتعريض الإضافي تدريجياً قبل الوصول إلى القوس الدائري، ثم تبقى قيمة التعريض ثابتة على كامل طول القوس الدائري، وبعد القوس الدائري يتدرج بالنقصان حتى القيمة صفر، ثم يعود الطريق إلى عرضه الأصلي في الاستقامة.



التعريض اللازم لحارة المرور الداخلية في المنعطفات الأفقية

وتحسب قيمة التعريض في أية نقطة من نقاط المنحني الوصل المتدرج من العلاقة التالية:

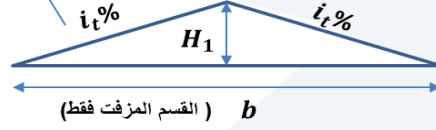
$$D_1 = D(4Y^3 - 3Y^4)$$

Y : نسبة الطول الجزئي للكلوتويد عند كل نقطة على الطول الكامل للكلوتويد،
l : الطول الكلي للكلوتويد بالمتر، l₁ : طول الكلوتويد الجزئي عند النقطة 1 المراد حساب مقدار العرض الإضافي الانتقالي عندها بالأمتار، D : قيمة التعريض الكامل للطريق في القوس الدائري بالمتر، D₁ : قيمة التعريض الإضافي الانتقالي عند النقطة 1 بالمتر.

العلو الإضافي في المقطع العرضي:

1- في الاستقامة

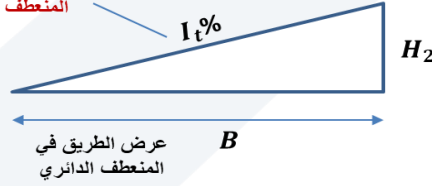
الميل العرضي للطريق في الاستقامة



$$H_1 = \frac{b}{2} * \frac{i_t}{100}$$

2- في المنعطف الدائري

الميل العرضي للطريق في
المنعطف الدائري بين 5-10%



$$H_2 = B * \frac{I_t}{100}$$

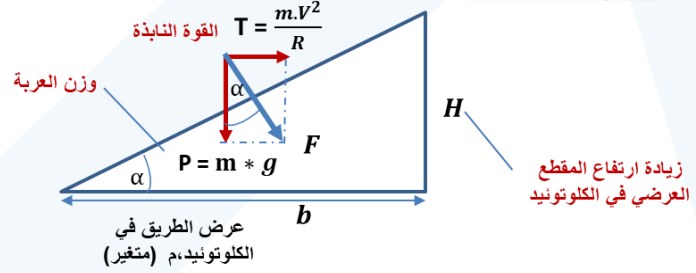
عندما يكون R نصف قطر الانحناء في الكلوتويد يساوي إلى \hat{R} (نصف قطر الانحناء في المنعطف الدائري، ويحصل ذلك في النقطة المشتركة بينهما)، يصبح عندئذ الميل العرضي في الكلوتويد يساوي الميل العرضي في المنحني الدائري أي:

$$i_t = I_t$$

$$C = \hat{C} = \frac{i_t * \hat{R}}{V^2}$$

السرعة \hat{R} عند نقطة التقاء الدائرة مع الكلوتويد

3- في الكلوتويد



$$i_t = \text{tg} \alpha = \frac{H}{b} = \frac{T}{P} = \frac{m \cdot V^2 / R}{m \cdot g} = \frac{V^2}{g \cdot R} = \frac{C * V^2}{R}$$

$$i_t = \frac{C * V^2}{R} \Rightarrow C = \frac{i_t * R}{V^2} \quad C = \frac{1}{g}$$

نصف القطر في الكلوتويد وهو متغير

واستناداً إلى العلاقة السابقة نستطيع أن نكتب:

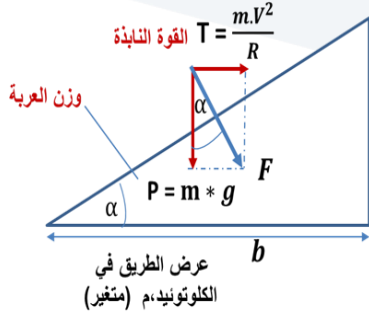
$$C = \hat{C} = \frac{i_t * \hat{R}}{V^2} = \frac{i_t * R}{V^2}$$

الميل العرضي
الأعظمي في
المنحني الدائري

$$i_t = \frac{I_t * \hat{R}}{R}$$

نصف قطر المنعطف
الدائري وهو ثابت

نصف قطر
الكلوتويد وهو
متغير



أما قيمة العلو الإضافي H على طول الكلوتويد فيساوي:

$$H = b * \frac{i_t}{100}$$

زيادة ارتفاع المقطع العرضي في الكلوتويد

الميل العرضي للطريق على طول الكلوتويد وهو غير ثابت أيضاً

عرض الطريق في الكلوتويد (بالمتر)، وهو غير ثابت على طول الكلوتويد.

مسألة (1):

يطلب تصميم منحنى متدرج (كلوتويد)، يصل بين استقامة وقوس دائري، له نصف قطر أصغري بسرعة تصميمية 90 كم/ سا مع تعلية إضافية 5%، لمشروع طريق بحارتي مرور، والمطلوب:
تحديد عناصر الكلوتويد، ومن ثم حساب إحداثيات مركز القوس الدائري وانزياح الدائرة، حيث الاحتكاك العرضي 0.07.

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

ثابت الكلوتويد:

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

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

$$A^2 = R * L$$

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

زاوية المماس المشترك عند نقطة نهاية الكلوتويد:

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

أو:

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

إحداثيات النقاط الطرفية بدلالة المماس أو زاوية المماس (الزاوية بالراديان):

$$X_0 = A\sqrt{2} * \left(\tau^{1/2} - \frac{\tau^{5/2}}{10} \right) = 200\sqrt{2} * \left(0.0699^{1/2} - \frac{0.0699^{5/2}}{10} \right) = 74.74m$$

$$Y_0 = A\sqrt{2} * \frac{\tau^{3/2}}{3} = 200\sqrt{2} * \frac{0.0699^{3/2}}{3} = 1.74 m$$

طول المماس من جهة الاستقامة:

$$T = x - \frac{y}{tg\tau} = 74.74 - \frac{1.74}{tg(0.0699)} = 49.89m$$

طول المماس من جهة المنحنى الدائري:

$$T_k = \frac{y}{\sin \tau} = \frac{1.74}{\sin(0.0699)} = 24,91m$$

إحداثيات مركز انحناء الكلوتويد:

$$x_m = x - R \cdot \sin\tau = 74.74 - 535 * \sin(0.0699) = 37.37m$$

$$Y_m = Y + R * \cos\tau = 1.74 + 535 * \cos(0.0699) = 535.43m$$

انزياح القوس الدائري ΔR في النقطة التي تبعد بمسافة X_s عن بداية الكلوتويد:

$$\Delta R = Y_m - R = 535.43 - 535 = 0.43m$$

أو:

$$\Delta R = \frac{L^2}{24 * R} = \frac{(74.77)^2}{24 * 535} = 0,435m$$

ملاحظة: إذا طلب إحداثيات منتصف الكلوتويد 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 .

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

لتحديد إحداثيات أية نقطة من الكلوتويد لدينا العلاقات التالية:

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

الزاوية مقدرة بالراديان

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

مسألة (2):

احسب معدل الارتفاع العرضاني الذي يجب تطبيقه على منعطف أفقي نصف قطره $R=700m$ تسير عليه عربة بسرعة تصميمية $v=80km/h$ ، وتحقق من قيمة عامل الاحتكاك العرضاني، إذا علمت أن الطريق مؤلف من حارتي مرور عرض كل منهما 3.5 متر، وأن نسبة ميل المنحدر تساوي 0.5، واحسب طول المنحدر وبين كيف يمكن تطبيق الرفع العرضاني، إذا علمت أن القوس الدائري متصل بالاستقامة مباشرة.

$$e = \frac{(0.75v)^2}{127 * R} = \frac{(0.75 * 80)^2}{127 * 700} = 0.040 m/m < 0.067 m/m$$

أي 4 سم لكل 1 متر من عرض الطريق، وهذه القيمة أصغر من القيمة الحدية $1/15=0.067$

$$f = \frac{v^2}{127 * R} - e = \frac{80^2}{127 * 700} - 0.04 = 0.031 < 0.15$$

وبالتالي التصميم مناسب وملانم.

حساب طول المنحدر:

$$L = \frac{50 * e * w}{\mu} = \frac{50 * 0.04 * (3.5 * 2)}{\mu} = 28m$$

وهو الطول الأصغري للتعلية الإضافية، ويمكن تطبيقها بأن يكون ثلثان من الطول على الاستقامة أي 18.7 متر والقيمة 9.33 متر على القوس الدائري.

مسألة (3):

تسير عربة على منعطف أفقي مؤلف من قوس دائري وكلوتويديين متناظرين بسرعة 110 كم/سا، فإذا علمت أن نصف قطر المنعطف 500 متر وطول كل من الكلوتويديين هو 100 متر، احسب مقدار التعريض الإضافي في هذا المنعطف، علماً أن عدد الحارات المرورية 4 حارات وطول العربة الأعظمي الذي يمكن أن تسير على المنعطف هو 15 متر، ثم احسب مقدار هذا التعريض كل 20 متر من طول هذا المنعطف.

$$D = n \left(R - \sqrt{R^2 - l^2} \right) + \frac{v}{10\sqrt{R}}$$

تؤخذ قيمة السرعة 75% من قيمتها في الاستقامة على أن لاتقل عن 90 كم/سا

$$D = 4 \left(500 - \sqrt{500^2 - 15^2} \right) + \frac{90}{10\sqrt{500}} = 1.3m$$

$$\Delta R = \frac{L^2}{24 * R} = \frac{100^2}{24 * 500} = 0.83$$

$$\Delta R > \frac{D}{2} \Rightarrow 0.83 > 0.65 \Rightarrow$$

نعرض الطريق من طرفيه الداخلي والخارجي بشكل متساوي، ويكون التعريض من بداية الكلوتويد بالتدريج حتى الوصول إلى القوس الدائري، ويبقى ثابتاً على كامل طول القوس الدائري، ثم يبدأ بالنقصان حتى القيمة صفر بعد الانتهاء من الكلوتويد والدخول في الاستقامة.

حساب مقدار التعريض كل 20 متر من طول المنعطف:

$$Y_1 = \frac{l_1}{L} = \frac{20}{100} = 0.2$$

$$Y_1 = 0.2 \Rightarrow D_1 = D(4Y^3 - 3Y^4) = 1.3((4 * 0.2^3 - 3 * 0.2^4) = 0.035m$$

$$Y_2 = 0.4 \Rightarrow D_2 = D(4Y^3 - 3Y^4) = 1.3((4 * 0.4^3 - 3 * 0.4^4) = 0.23m$$

$$Y_3 = 0.6 \Rightarrow D_3 = D(4Y^3 - 3Y^4) = 1.3((4 * 0.6^3 - 3 * 0.6^4) = 0.618m$$

$$Y_4 = 0.8 \Rightarrow D_4 = D(4Y^3 - 3Y^4) = 1.3((4 * 0.8^3 - 3 * 0.8^4) = 1.065m$$

$$Y_5 = 1.0 \Rightarrow D_5 = D(4Y^3 - 3Y^4) = 1.3((4 * 1^3 - 3 * 1^4) = 1.3m$$

مسألة (4):

في منطقة ذات هطول مطري شديد، تم تنفيذ مشروع طريق باتجاهين بعرض للرصف الاسفلتي 7.2 متر، وبميل عرضي باتجاهين في الاستقامة وفي المنعطف الدائري الذي يبلغ نصف قطره 380 متر، فإذا علمت أن السرعة التصميمية لهذا المشروع هي 70 كم/سا، وبأن الاحتكاك العرضي يعادل 0.14، المطلوب:

1. مناقشة توازن العربات عند اجتيازهم هذا المنعطف
2. حساب السرعة الأعظمية المسموحة على هذا المنعطف
3. مقترحات تعديل المقطع العرضي لتصبح السرعة المسموحة 100 كم/سا.

ملاحظة: عندما نقول هطول مطري شديد نأخذ $i=2.5\%$ ، وعندما نقول هطول مطري خفيف نأخذ $i=2\%$ ، هنا سيتم دراسة حالتين:

1. الميل العرضي يلعب دوراً مقاوماً للقوة النابذة
2. الميل العرضي يلعب دوراً مساعداً للقوة النابذة

دور مقاوم:

$$R_{min} = \frac{v^2}{127 * (e + f)} = \frac{(70)^2}{127 * (\frac{2.5}{100} + 0.14)} = 233.33m < 380m$$

ستمر المركبات بسلام على الطريق

دور مساعد:

$$R_{min} = \frac{v^2}{127 * (-e + f)} = \frac{(70)^2}{127 * (-\frac{2.5}{100} + 0.14)} = 335.5m < 380m$$

ستمر المركبات بسلام على الطريق

حساب السرعة الأعظمية المسموحة على هذا المنعطف:

$$380 = \frac{V^2}{127 * (e + f)} = \frac{V^2}{127 * (\frac{2.5}{100} + 0.14)} \rightarrow V = 89.34 \text{ K m/h}$$

$$380 = \frac{V^2}{127 * (-e + f)} = \frac{V^2}{127 * (-\frac{2.5}{100} + 0.14)} \rightarrow V = 74.5 \text{ K m/h}$$

نعمد للأمان القيمة الأصغر أي $V = 74.5 \text{ K m/h}$

مقترحات تعديل المقطع العرضي لتصبح السرعة المسموحة 100 كم/سا:

$$380 = \frac{V^2}{127 * (e + f)} = \frac{(100)^2}{127 * (0.14 + \frac{i}{100})} \rightarrow i = 6.72\%$$

نعمل الميل باتجاه واحد مقاوم للقوة النابذة وبقيمة $i = 6.72\%$

مسألة (5):

منطقة ذات هطول مطري خفيف تم تنفيذ مشروع طريق باتجاهين برصف اسفلتي عرض 7.2 متر، وبميل عرضي باتجاهين في الاستقامة، وباتجاه واحد في منعطف أفقي دائري نصف قطره 230 متر، مع تغطية 6%، واحتكاك عرضي 0.15، والمطلوب:

1. تحديد السرعة التصميمية على هذا المنعطف
 2. حساب الطول اللازم لتدرج المقطع العرضي (Runoff_Runout)
 3. رسم مسار الرفع الجانبي للمقطع العرضي
- اعتبر دوران المقطع العرضي حول محور الطريق وزيادة العرض من الجانبين.

تحديد السرعة التصميمية على هذا المنعطف:

$$R_{min} = \frac{V^2}{127 * (e + f)} \rightarrow 230 = \frac{(V)^2}{127 * (0.06 + 0.15)} \rightarrow V = 78 \text{ K m/h}$$

حساب الطول اللازم لتدرج المقطع العرضي (Runoff Runout):

$$h_1 = \frac{\text{عرض الطريق}}{2} * i = \frac{7.2}{2} * 0.02 = 0.072 \text{ m}$$

لأن الهطول المطري خفيف أخذنا $i = 2\%$ ، وإذا كان الهطول شديد يؤخذ $i = 2.5\%$
نحسب قيمة h_2 بعد التعريض حيث نحسبها دوماً بقيمة الميل الأعظمية:

$$h_2 = \frac{\text{عرض الطريق مع الزيادة}}{2} * i_{max}$$

$$D = \frac{n * l^2}{2 * R_{min}} + \frac{v}{10\sqrt{R}} = \frac{2 * (6)^2}{2 * 230} + \frac{78}{10\sqrt{230}} = 0.67m$$

(عرض الطريق مع الزيادة):

$$w_1 = w + D = 7.2 + 0.67 = 7.87 m$$

$$h_2 = \frac{w_1}{2} * 0.06 = \frac{7.87}{2} * 0.06 = 0.236 m$$

$$h = h_1 + h_2 = 0.072 + 0.236 = 0.308 m$$

حساب طول المنحنى الانتقالي:

اعتمدنا القيمة (K=0.3- 0.6) واعتمدنا K=0.3 للتكبير

$$L_1 = \frac{v^3}{47 * K * R_{min}} = \frac{(78)^3}{47 * 0.3 * 230} = 146.3 m$$

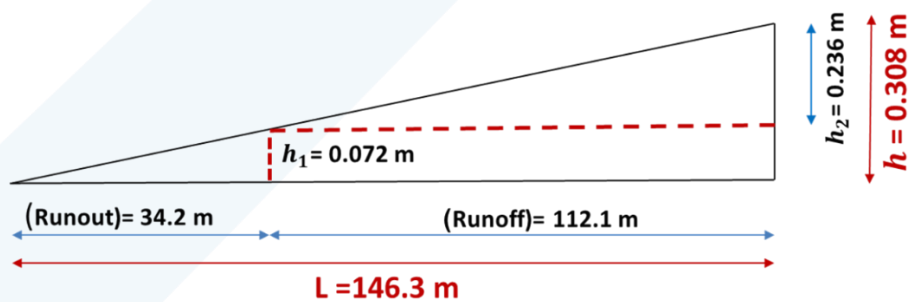
اعتمدنا القيمة 200 للتكبير

$$L_2 = [150 - 200] * h = 200 * 0.308 = 61.6 m$$

اعتمدنا القيمة 1.4 للتكبير

$$L_3 = [0.8 - 1.4] * v = 1.4 * 78 = 109.2 m$$

$$L = \max \text{ of } \begin{cases} L_1 = 146.3 m \\ L_2 = 61.6 m \\ L_3 = 109.2 m \end{cases} = 146.3 m$$



$$\frac{h_1}{Runout} = \frac{h}{L} \rightarrow Runout = \frac{h_1 * L}{h} = \frac{0.072 * 146.3}{0.308} = 34.2 m$$

$$\frac{h_2}{Runoff} = \frac{h}{L} \rightarrow Runoff = \frac{h_2 * L}{h} = \frac{0.236 * 146.3}{0.308} = 112.1 m$$