

## الرفع العرضاني في المنعطفات الأفقية (Super Elevation)

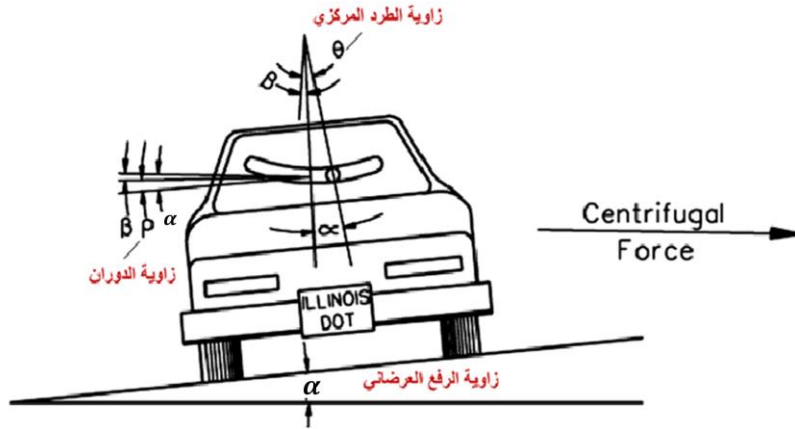
نصف القطر الأصغري هو قيمة الانحناء في الطريق المقابلة لسرعة تصميمية مفروضة، حيث يساعد على توازن المركبة وعلى مقاومة قوى الطرد بالاشتراك مع التعلية الإضافية في المنعطفات. ترتبط قيمة نصف القطر الأصغري للمنحنيات الأفقية بالقيمة الموافقة لسرعة تصميمية مفروضة، وتكون هذه القيمة مرتبطة بالميل العرضي لسطح الطريق، وبعامل الاحتكاك العرضي وفق العلاقة التالية:

$$R_{min} = \frac{V^2}{127(e_{max} + f_{max})}$$

نصف قطر انحناء الطريق الأصغري (متر)  $\rightarrow$  السرعة التصميمية (كم/سا)

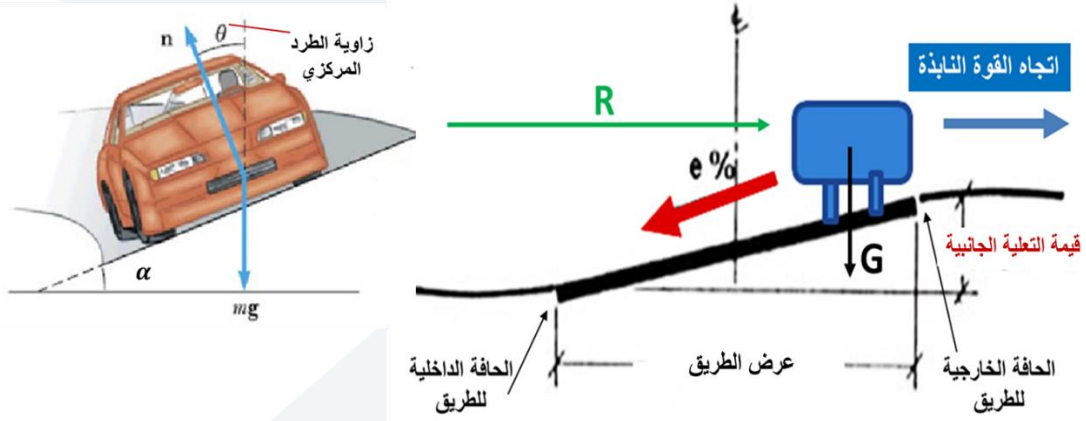
الميل العرضي الأعظمي للطريق في المنعطفات وتتراوح قيمته بين 4% إلى 10%

عامل الاحتكاك العرضي الأعظمي وتؤخذ قيمته بدلالة السرعة التصميمية



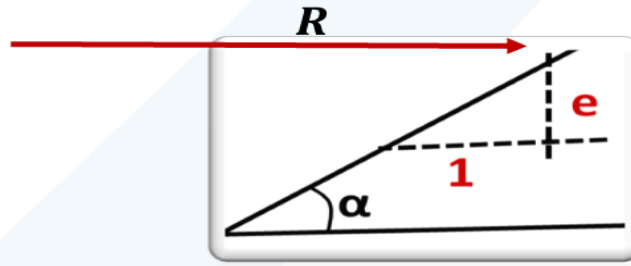
### العوامل المتعلقة بتأثير القوة النابذة المركزية:

- 1- الزيادة في قيمة السرعة تؤدي إلى زيادة تأثيرها.
  - 2- نصف قطر المنعطف الأفقي الصغير يؤدي إلى زيادة تأثيرها.
  - 3- زيادة وزن العربة يقلل من تأثير القوة النابذة.
- وبالتالي **التحكم بمعدل التعلية Superelevation control**: هو نظام تحكم شامل يستخدم في المنشأة الطرقية، ويعتمد اختياره على عدة عوامل بما في ذلك الظروف المناخية العامة وظروف التضاريس ونوع المرفق ونوع المنطقة (الريفية أو الحضرية).



**الرفع العرضاني:** هو مقدار الميل العرضاني للطريق، والذي يطبق مع قوة الاحتكاك العرضي ليوازن حركة المركبة وليخلق مقاومة ممانعة لقوى الطرد المركزية عند المنعطفات فقط، ولمقاومة عزم الانقلاب ولمقاومة قوى الانزلاق الناتجة عن تأثير القوى النابذة التي تتعرض لها العربة عند الحركة على المنعطفات، يتم رفع الحافة الخارجية للطريق عن الحافة الداخلية بمعدل يسمح للعربة بأن تستقر على الطريق، ويتم حساب هذا المعدل للرفع العرضاني من العلاقة التالية:

$$e + f = \frac{v^2}{127 * R}$$



**e:** معدل ارتفاع الطريق (الرفع العرضاني) متر/ متر

**v:** السرعة التصميمية، كم/سا

**R:** نصف قطر المنعطف الأفقي، م

**f:** معامل الاحتكاك الجانبي

**alpha:** زاوية ميل الطريق

**مثلاً:**

$e = 7\%$  أي 0.07 متر /متر أي 7 سم ارتفاع كل 100 سم، أي في طريق بحارتين كل حارة 3.5 متر يكون الارتفاع أو التعلية الطرفية 0.49 متر.

$v, km/h$	$f$
40	0.19
50	0.17
60	0.16
70	0.15
80	0.14
90	0.13
100	0.12
110	0.12
120	0.11
130	0.11

### نصف القطر الموصى به، م

السرعة التصميمية ، كم/سا	نصف القطر الأصغري، م
30	35
40	60
50	100
60	150
70	215
80	280
90	375
100	490
110	635
120	870

### خطر القوة النابذة الناتجة عن السرعة

يتحمل عامل الاحتكاك العرضي 25% من تأثيرها  
يتحمل الرفع العرضي 75% من تأثيرها

يتأثر الاحتكاك مع الزمن بخلاف التعليق التي لا يحدث لها أي تغيير، ولذلك تم جعل الجزء الأكبر من مقاومة القوة النابذة للتعليق العرضانية.

$$e + f = \frac{v^2}{127 * R}$$

يجب ألا تتجاوز قيمة التعلية e  
القيمة 1/15 أو 0.067

يجب ألا تتجاوز قيمة f القيمة 0.15

تعتبر هذه القيم قيم حدية أعظمية، وإذا لم تتوافر عندئذ يجب أن يتم تغيير نصف قطر المنعطف، أو يجب التقليل من السرعة التصميمية (أي تكون السرعة غير مناسبة).

### ملاحظة:

تؤخذ قيمة 75% من قيمة السرعة التصميمية عندما يكون الطريق مؤلف من استقامات ومنعطفات تسير عليه العربة بسرعة تصميمية قيمتها أكبر من 100 كم/سا، على ألا تقل عن 90 كم/سا.

إذا كانت قيمة e بالحساب أكبر من 0.08، نفترض أنها أولاً تساوي 0.08 ونراجع قيمة عامل الاحتكاك الجانبي f حسب السرعة التصميمية من العلاقة:

$$f = \frac{v^2}{127 * R} - e$$

إذا كانت قيمة f أكبر من 0.15 نراجع  
السرعة المسموح بها وفق العلاقة:

$$e + f = 0.08 + 0.15 = \frac{va^2}{127 * R}$$

السرعة المسموحة

إذا كانت قيمة f أقل من  
0.15 فإن معدل التعلية  
مناسب

إذا كانت السرعة المسموحة أقل من السرعة  
التصميمية نراجع مخطط المنحنيات لاختيار  
نصف قطر أكبر للمنعطف أو نفرض وجود  
لافتات خاصة لتهدئة السرعة

إذا كانت السرعة  
المسموحة أكبر من  
السرعة التصميمية تؤخذ  
قيمة e = 0.08

أقصى تعلية يمكن استخدامها (Maximum super elevation):

#### a. AASHTO:

- Ruler →  $e_{max} = 0.1$  (exceptional  $e_{max} = 0.12$ ).
- Urban →  $e_{max} = 0.06$

#### b. United Kingdom:

- Ruler & Urban →  $e_{max} = 0.07$
- at mountains < 0.1

السرعة كم/سا	e %	الاحتكاك الجانبي f	Radius (m)
20	8	0.17	30
30	8	0.16	40
40	8	0.16	55
50	8	0.15	70
60	8	0.15	80
70	8	0.14	100
80	8	0.14	110
90	8	0.14	130
100	8	0.13	140
110	8	0.12	150

### علاقة منحنى الانتقال بمعدل التغير في العجلة الطاردة المركزية

في نهاية منحنى الانتقال يصل نصف القطر إلى الحد الأدنى (نصف قطر المنحني الدائري)، ولذلك فإن العجلة الطاردة المركزية موزعة على طول المنحني الانتقالي L بالأمتار، وبالتالي الزمن اللازم لعبور منحنى الانتقال t بالثواني وبسرعة v مقدرة بالمتراً/ثا هي  $t=L/v$ ، أما العجلة الطاردة المركزية فهي  $\frac{v^2}{R}$  خلال الفترة الزمنية t.

وبذلك يكون معدل التغير في العجلة الطاردة المركزية C:

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

أو

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

طول منحنى الانتقال بالأمتار

معدل التغير المسموح به للعجلة الطاردة المركزية

نصف قطر المنعطف، م

← السرعة حتى 32 كم/سا	$C = 0.76 \text{ m/sec}^3$
← السرعة أكبر من 96 كم/سا	$C = 0.46 \text{ m/sec}^3$
← السرعة بين سرعتين 32 , 96 كم/سا	$C = \frac{73}{v+64} \text{ m/sec}^3$

يسمح بإهمال التعلية الإضافية لمقاومة قوة الطرد المركزية والمحافظة على الميل العرضي لطريق في الاستقامة ضمن المنحني الدائري، وإن كان باتجاه قوة الطرد المركزي، مالم يزيد عن 2.5% في حالتين: **الحالة الأولى:** إذا كانت السرعة التصميمية أقل من 30 كم / سا، حيث تكون قوة الطرد المركزي صغيرة، مثلاً في التقاطعات السطحية والدوارات الصغيرة عندما يكون شرط التصريف السريع للمياه نحو الخارج اعتباراً مهماً.



**الحالة الثانية:** إذا كان نصف القطر المفروض في التصميم يزيد عن 1.5 من قيمة نصف القطر الأصغر في حال تطبيق تعلية إضافية بقيمة 4%، وكانت حدود السرعة التصميمية لا تتجاوز 70 كم/سا. مثلاً:

نصف القطر الأصغر 100 م

نصف القطر التصميمي 200 م

السرعة التصميمية 60 كم/سا

**القواعد التي يجب أن تؤخذ في الاعتبار عند تصميم الرفع العرضي على المنعطفات:**

جميع الطرق تقريباً يمر عليها مرور مختلط من حيث السرعات المتفاوتة، وفي حال تنفيذ أقصى قيمة للرفع العرضي للتغلب على القوة الطاردة المركزية فإن إهمال الاحتكاك الجانبي ملائم بالنسبة للعربات السريعة، أما في حالة العربات البطيئة فإن هذا الفرض غير ملائم.

يمكن تلخيص خطوات الحساب كما يلي:

1- عند 75% من قيمة السرعة التصميمية مع إهمال الاحتكاك الجانبي:

$$e = \frac{(0.75v)^2}{127 R}$$

إذا كانت قيمة e أقل من 0.067 يمكن تنفيذها، أما إذا كانت أكبر نفرض قيمة مساوية لـ 0.067 مع التحقق من قيمة معامل الاحتكاك الموافقة لذلك وفق العلاقة التالية:

$$f = \left( \frac{v^2}{127 R} - 0.067 \right)$$

إذا كانت قيمة f أقل من 0.15 أي يمكن تنفيذها، فإن قيمة العلو أو الرفع العرضي مناسبة، أما إذا كانت أكبر من ذلك نحسب السرعة المسموحة وفق المعادلة التالية:

$$e + f = 0.067 + 0.15 = \frac{v_a^2}{127 R}$$

إذا كانت السرعة المسموحة أقل من السرعة التصميمية، يكون التصميم مناسب ونأخذ  $e=0.067$ ، أما إذا كانت أكبر من السرعة التصميمية، فإنه يجب تحديد السرعة ووضع علامات لتهدئة السرعة، ولكن يفضل عدم اللجوء إلى تخفيض السرعة على المنعطفات وخاصة في الطرق الرئيسية السريعة، ويفضل تنفيذ منعطفات بأنصاف أقطار كبيرة.

### نصائح خاصة بالميل العرضي في المنعطفات:

1. لا نستطيع زيادة قيمة الميل العرضي للحصول على سرعة أكبر من أجل نصف قطر إنحناء ثابت إلا ضمن حدود ضيقة.
2. من أجل نصف قطر إنحناء وميل عرضي مفروضين، فإن الذي يتحكم بسرعة المركبة هو شرط الإنزلاق وليس الانقلاب.
3. ينصح بعدم استخدام الميول العرضية التي تتجاوز قيمتها 8% إلا ضمن حدود ضيقة، لأنها مزعجة لحركة المركبات البطيئة جداً، أما في حالة التصميم في المناطق الجبلية أو في المناطق ذات الطبوغرافية القاسية أو في المناطق التي يكثُر بها الصقيع، فيجب ألا يتجاوز الميل العرضي 6% لتحاشي خطر الانزلاق.

درجة الطريق	أقصى قيمة تعلقة إضافية مرغوبة e (متر/متر)	أقصى قيمة تعلقة إضافية مطلقة e (متر/متر)
طريق سريع (درجة أولى)	0.08	0.08
طريق درجة أولى	0.08	0.10
طريق درجة ثانية	0.08	0.10
طريق درجة ثالثة ورابعة	0.10	0.10

### الطول اللازم لتحقيق التعلقة الإضافية على المنعطفات وطرق تطبيقها:

يجب استخدام خط المشروع الطرقي كمحور دوران للمقطع العرضي، حيث أن محور الدوران هو المحور الذي تكون عنده المناسيب متوافقة مع المقطع الطولي للطريق. يتم الانتقال من الميل باتجاهين متعاكسين للمقطع العرضي عند الاستقامة، إلى الميل باتجاه واحد نتيجة الرفع العرضاني عند المنحنيات، ضمن مسافة تسمى المسافة الانتقالية.

وفي حالة طريق الدرجة الأولى، فإن أقل طول للمنحدر الجانبي هو 50 متراً، أما للطرق من الدرجات الأدنى فإن أقل طول للمنحدر 30 متراً، ويتم حساب الطول الأصغر للمنحدر الجانبي (المسافة الانتقالية) على أن يكون أكبر من القيمتين السابقتين من خلال المعادلة:

$$L = \frac{50 * e * W}{\mu}$$

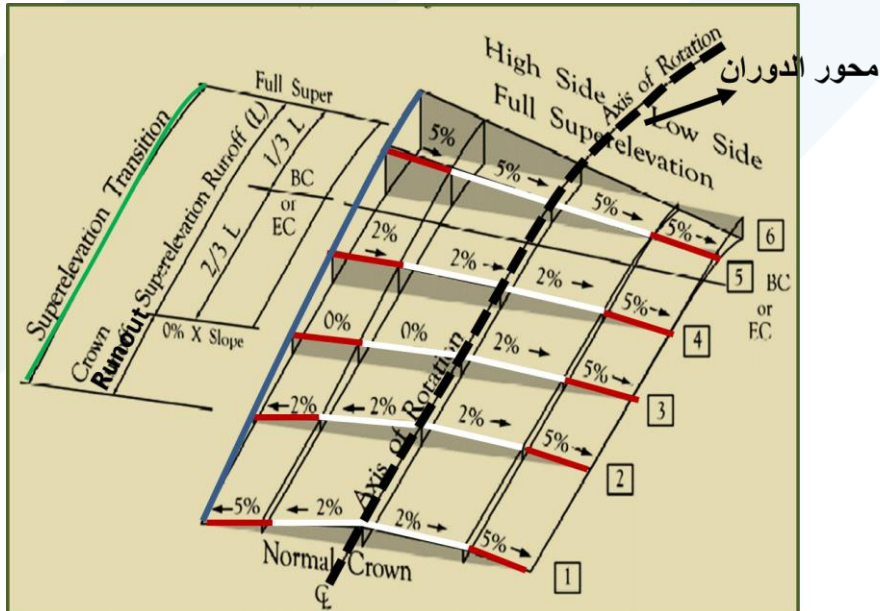
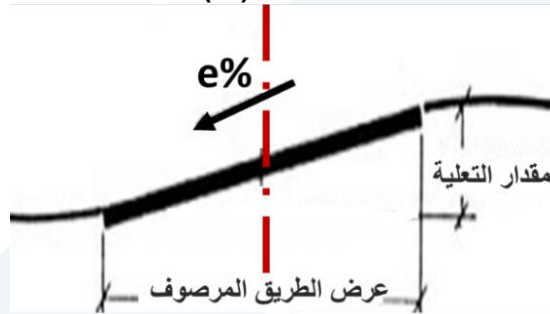
حيث:

L: طول المنحدر الأصغري (متر)؛

e: قيمة التعلية الإضافية (متر/متر) ؛

w: عرض الجزء المعبد من الطريق أو القارعة (متر)؛

$\mu$ : ميل المنحدر الجانبي لمسار التعلية ويؤخذ من جدول خاص (%).



مثلاً: عرض الطريق المرصوف 12 متر وقيمة التعلية الإضافية 8% والسرعة التصميمية 90 كم/سا، ماهو الطول الأصغري للمسافة الانتقالية، علماً أن الطريق من الدرجة الأولى:

$$L = \frac{50 \cdot 0.08 \cdot 12}{0.47} = 102.13 \text{ m}$$

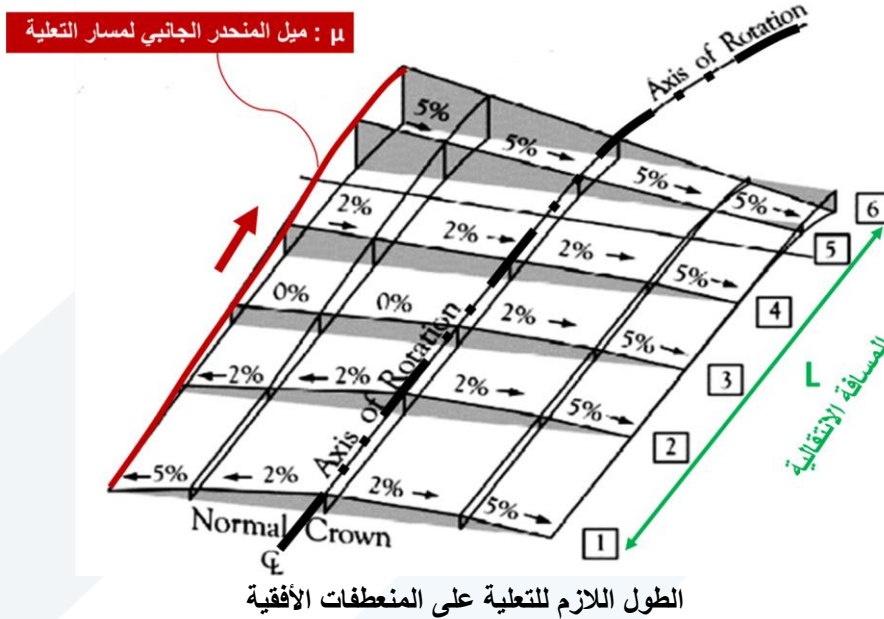
ميل المنحدر بالعلاقة مع السرعة التصميمية

السرعة التصميمية (km/h)	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140
ميل المنحدر (%)	0.74	0.66	0.59	0.54	0.50	0.47	0.44	0.41	0.38	0.36	0.34



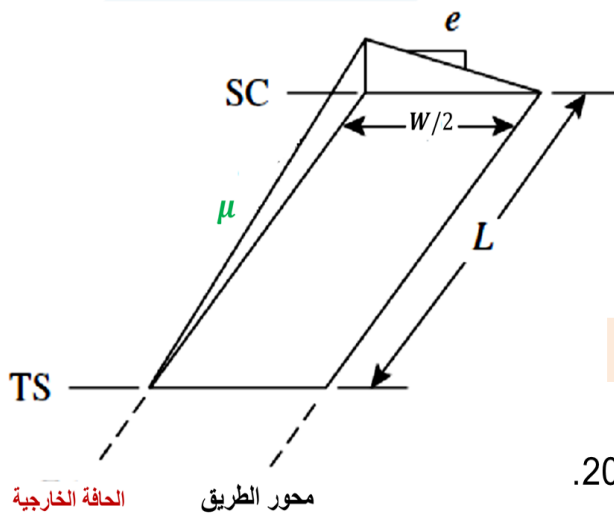
### الطول اللازم لتحقيق التعلية الإضافية وطرق تطبيقها:

يتم الانتقال من الميل باتجاهين متعاكسين للمقطع العرضي عند الاستقامة الى الميل الأعظمي باتجاه واحد نتيجة الرفع العرضاني عند المنحنيات ضمن مسافة تسمى المسافة الانتقالية L.



يعتمد حساب الطول اللازم لمسافة التعلية على معايير المظهر أو الراحة، وأحد هذه المعايير هو القاعدة في أن الاختلاف في المنحدر الطولي (الدرجة) بين المحور وحافة الطريق الخارجية يجب ألا يتجاوز 1:200.

يتم قياس L من TS إلى SC، في TS الفرق في الارتفاع بين خط الوسط والحافة هو صفر، أما في SC فهو حاصل جداء معدل التعلية والمسافة W/2 من خط المحور إلى الحافة.



الفرق في الميل بين خط المحور والحافة يجب ألا يتجاوز 1:200:

$$\frac{e * W/2}{L} \leq \frac{1}{200}$$

$$L \geq 200 * e * W/2$$

وعادة يتم حسابه من مضاعفات العدد 20.

نسبة ميل المنحدر الجانبي لإيجاد طول  
المنحدر Runoff

نسبة ميل المنحدر (%) $\mu$	السرعة التصميمية (كم / سا)
0.74	40
0.66	50
0.59	60
0.54	70
0.50	80
0.47	90
0.44	100
0.41	110
0.38	120
0.36	130
0.34	140

مثال تطبيقي:

طريق مؤلف من حارتين بسرعة تصميميه 80 كم / ساعة وعرض الرصف 7.30 متر بمعدل الرفع الجانبي التصميمي للطريق 0.10 متر / متر، والمطلوب حساب طول المنحدر.

من الجدول نجد أن نسبة ميل المنحدر المقابلة للسرعة التصميمية 80 كم/سا هي 0.5 وبالتطبيق في المعادلة:

$$L = \frac{50 \times e \times W}{\mu}$$

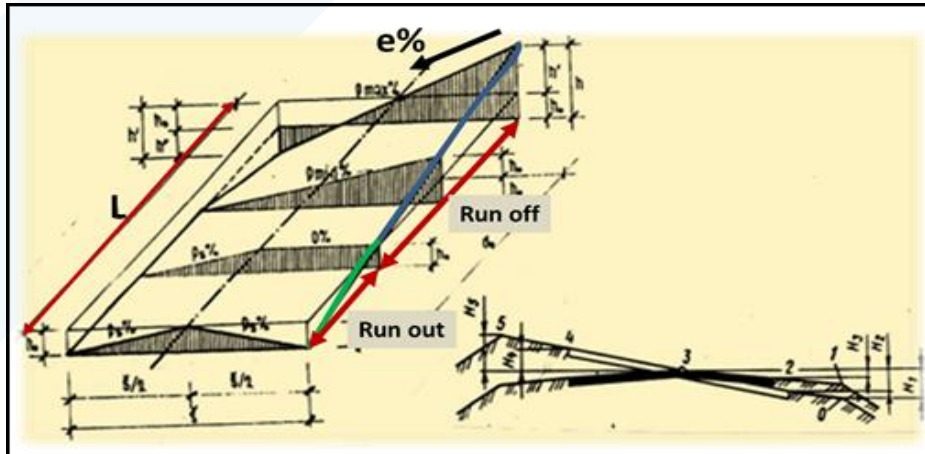
نجد أن أقل طول للمنحدر 73 متراً .

مسافة التعلية: هي المسافة المطلوبة لتحول الميل العرضي للطريق من شكله في الاستقامة ودورانه حتى الوصول إلى كامل قيمة التعلية المفروضة في القوس الدائري، وتقسم إلى:

- **طول مماس الدوران الخارجي (Run out):** هي المسافة المطلوبة للانتقال من الشكل المحدب للمقطع العرضي إلى الشكل الذي يكون فيه النصف الآخر من المقطع مستويًا.

- **طول المنحدر (Run off):** هي المسافة المطلوبة من نقطة نهاية مسافة مماس الدوران الخارجي حتى الوصول للميل العرضي للتعلية الإضافية التصميمية في القوس الدائري.

يجب استخدام خط المشروع الطرقي كمحور دوران للمقطع العرضي، حيث أن محور الدوران هو المحور الذي تكون عنده المناسيب متوافقة مع المقطع الطولي للطريق.



مراحل الرفع العرضي على المنعطفات

**طول مسافة التعلية (L) superelevation**: هو المسافة المطلوبة لنقل الطريق من قسم المقطع العادي إلى المقطع العالي، وطول الانتقال هو مجموع مسافات TR والانتقال السطحي L.

**الانتقال المماسي (TR) Tangent Runout**: هو المسافة اللازمة لنقل الطريق من المقطع العادي إلى نقطة يتم رفع الميل العرضي المعاكس إلى المنسوب صفر.

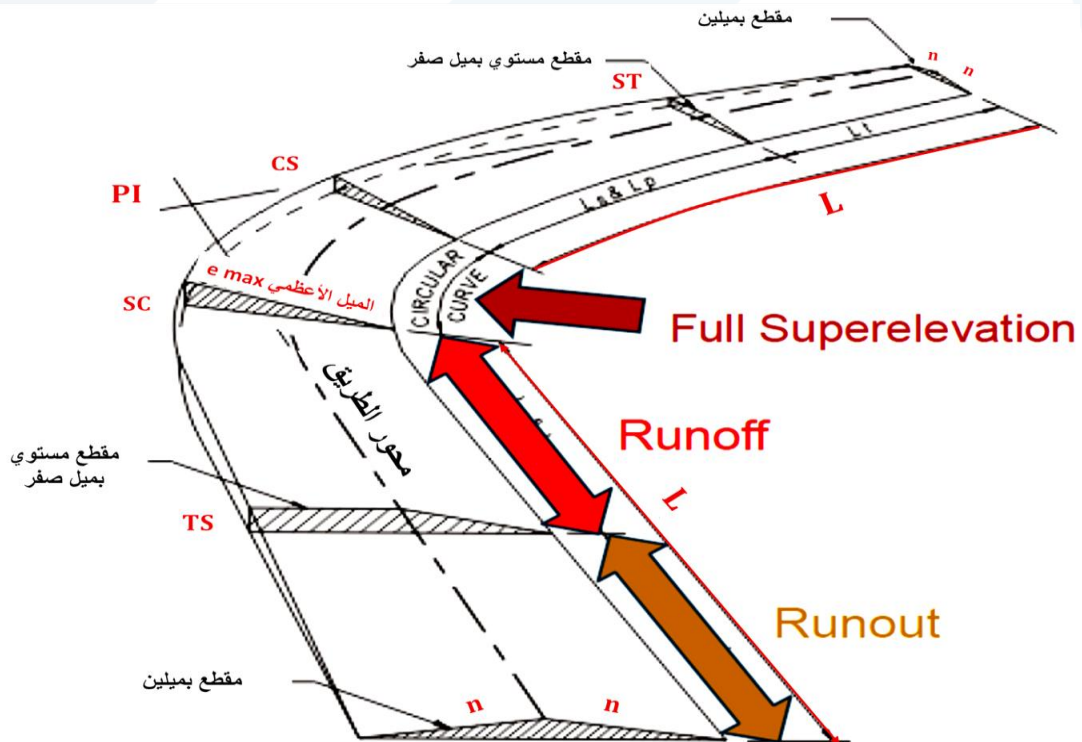
$$TR = \frac{S_{NORMAL}}{e/L} = \frac{(S_{NORMAL})(L)}{e}$$

ويكون عادةً 2% ←

**الانتقال مع التعلية (L1) Superelevation Runoff**: هو المسافة اللازمة لنقل المقطع العرضي من نهاية الانتقال المماسي إلى قسم مائل بمعدل التعلية الأعظمي.

من أجل السرعة المنخفضة في الشوارع الحضرية

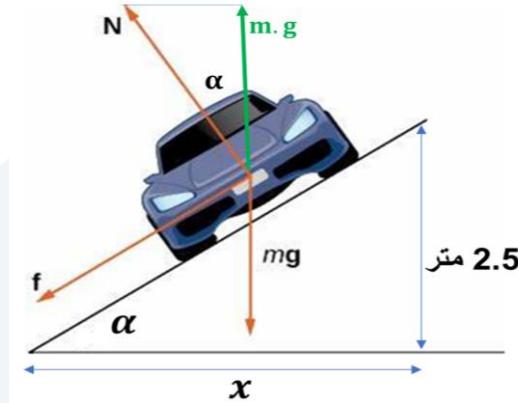
السرعة التصميمية كم/سا	القيم الدنيا لأطوال الانتقال مع التعلية، م
30	10
40	15
50	15
60	20
70	20



الطول اللازم لمسافة التعلية المطلوبة للرفع العرضي

### مسألة (1):

ماهي قيمة أكبر سرعة لانطلاق عربة تجتاز منعطف أفقي مائل بنصف قطر قدره 150 متر، إذا كان عرض الطريق 6.5 متر، وارتفاع الحافة الخارجية عن الداخلية 2.5 متر، علماً أن كتلة العربة 1800 كغ، وإهمال قيمة الاحتكاك، ثم احسب مقدار قيمة التسارع المركزي وقيمة رد فعل الطريق العمودي عليه.



$$x^2 = 6.5^2 - 2.5^2 = 42.25 - 6.25 = 36$$

$$x = 6 \text{ m}$$

$$\text{Tg}\alpha = i_t = 2.5/6 = 0.417$$

$$v = \sqrt{i_t \cdot R \cdot g} = \sqrt{0.417 \cdot 150 \cdot 9.81} = 24.77 \text{ m/sec} = 89.17 \text{ km/h}$$

$$R_{min} = \frac{v^2}{127(e_{max} + f_{max})}$$

$$a_c = \frac{v^2}{R} = \frac{613.55}{150} = 4.09 \text{ m/sec}^2$$

يجب ألا تزيد  
السرعة عن 25  
م/ثا.

$$R_{min} \geq \frac{v^2}{g(f_2 + i_t)}$$

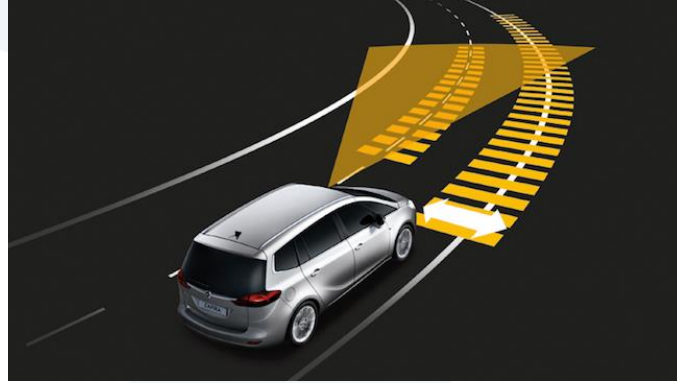
السرعة، م/ثا

$f_2 = 0$

$$N = \frac{m \cdot g}{\cos\alpha} = \frac{1800 \cdot 9.81}{\frac{6}{6.5}} = 19129.5 \text{ N}$$

### مسألة (2):

تسير عربة بسرعة انطلاق 108 كم/سا وأمامها منعطف أفقي بنصف قطر 80 متر، فإذا كان معامل الاحتكاك العرضاني بين العجلة والطريق 0.5، هل بالإمكان لهذه المركبة أن تجتاز المنعطف بهذا الانطلاق وبأمان.



$$R_{min} \geq \frac{v^2}{g(f_2 + i_t)}$$

السرعة، م/ثا

$i_t=0$

$$v^2 \leq f_2 \cdot R \cdot g = 0.5 \cdot 80 \cdot 9.81 = 392.4$$

$$v \leq 19.81 \text{ m/sec} = 71.31 \text{ Km/h}$$

وبالتالي لا تستطيع العربة اجتياز المنعطف بهذا الانطلاق  
وبأمان لأن سرعتها تتجاوز السرعة المسموحة لها.

### مسألة (3):

طريق بحارتي مرور باتجاهين خارج المدينة، تبلغ السرعة التصميمية له 90 كم/سا، بفرض أن الميل العرضي في الجزء الدائري 5% والمطلوب:

1. حساب نصف قطر الانحناء الأصغر بفرض أن عامل الاحتكاك العرضي 0.07
2. حساب عناصر المنحني الدائري، علماً أن زاوية تغير الاتجاه بين الاستقامة الأولى والاستقامة الثانية هي 70 grad.

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

$$0 = \alpha \cdot R = \frac{70 \cdot \pi}{200} \cdot 535 = 587.96 \text{ m}$$

طول المماس:

$$T = R \cdot tg\left(\frac{\alpha}{2}\right) = 535 \cdot tg\left(\frac{70}{2}\right) = 327.85 \text{ m}$$

### إحداثيات منتصف القوس الدائري:

$$x = R * \sin \frac{\alpha}{2} = 535 * \sin \left( \frac{70}{2} \right) = 279.54 \text{ m}$$

$$y = R * \left( 1 - \cos \frac{\alpha}{2} \right) = 535 * \left( 1 - \cos \frac{70}{2} \right) = 78.84 \text{ m}$$

### مقدار الانزياح:

$$E = R * \left( \frac{1}{\cos \frac{\alpha}{2}} - 1 \right) = 535 * \left( \frac{1}{\cos \frac{70}{2}} - 1 \right) = 92.46 \text{ m}$$

### مسألة (4):

احسب معدل الارتفاع العرضاني الذي يجب تطبيقه على منعطف نصف قطره R=500m تسير عليه عربة بسرعة تصميمية تساوي 100 كم/سا.

بما أن السرعة أكبر من 100 كم/سا حسب الملاحظة المتعلقة بذلك، يجب تحميل e 75% من قيمة السرعة التصميمية وفق ما يلي:

$$e = \frac{(0.75v)^2}{127 * R} = \frac{(0.75 * 100)^2}{127 * 500} = 0.0885 \text{ m/m} > \frac{1}{15}$$

نفترض عندئذ  $e = \frac{1}{15}$ ، ولكن يجب التحقق من قيمة معامل الاحتكاك الجانبي f:

$$f = \frac{v^2}{127 * R} - \frac{1}{15} \Rightarrow \frac{100^2}{127 * 500} - 0.067 = 0.09 < 0.15$$

وبما أن قيمة f أصغر من 0.15، فإن التصميم

ملائم، ويكون معدل الرفع العرضاني  $\frac{1}{15}$ .

### مسألة (5):

ما هو معدل ارتفاع الطريق (الرفع العرضاني) المطلوب تحقيقه على منعطف أفقي، يخضع لتأثير القوة النابذة وبسرعة تصميمية للطريق تبلغ 80 كم/سا، إذا علمت أن نصف قطر المنعطف R=100m وأن عامل الاحتكاك الجانبي أو العرضاني f= 0.14، ثم تحقق من قيمة هذا الرفع إذا كان مناسباً، وماهي الحلول المقترحة في حال عدم توفر الشروط الحديثة؟

$$e = \frac{v^2}{127 * R} - f = \frac{80^2}{127 * 100} - 0.14 = 0.364 \text{ m/m}$$

أي أن قيمة الرفع 0.364 متر لكل 1متر من عرض الطريق.

للتحقق من قيمة الرفع العرضاني من الناحية العملية نتبع الخطوات التالية:

1- نحسب معدل الرفع العرضاني عند 75% من قيمة السرعة التصميمية، مع إهمال الاحتكاك الجانبي، (أي اعتبار أن السرعة تقوم بـ 75% أو تقاوم 75% من تأثير القوة النابذة والعامل  $f$  يقاوم 25%).

$$e = \frac{v^2}{127 * R} = \frac{60^2}{127 * 100} = 0.28 \text{ m/m}$$

2- عندئذ يجب التأكد من قيمة  $f$  حسب السرعة التصميمية:

$$f = \frac{v^2}{127 * R} - e = \frac{80^2}{127 * 100} - 0.28 = 0.22 > 0.15$$

في هذا المثال ومن الأرقام الناتجة نجد أنه لكي يتحقق استقرار السيارة على المنعطف، سيأخذ الاحتكاك الجانبي أكثر من القيمة الحدية المسموحة 0.15، وبالتالي معدل التعلية غير مناسب.

3- نحسب نصف القطر المناسب للمنعطف الأفقي، بحيث لا تزيد القيم  $e, f$  عن القيم المسموحة مجتمعةً. وبالتالي يجب مراجعة السرعة المسموحة على المنعطف  $v_a$ :

$$e + f = \frac{1}{15} + 0.15 = \frac{v^2}{127 * R}$$

$$0.067 + 0.15 = \frac{80^2}{127 * R} \Rightarrow R = 232.22 \text{ m}$$

في حال لم تسمح الظروف بزيادة نصف القطر، عندئذ سيضطر المصمم إلى اعتماد قيمة أخرى للسرعة التصميمية مناسبة للقيم المسموحة للتعلية، والتي تحسب كما يلي:

$$0.067 + 0.15 = \frac{v_a^2}{127 * 100} \Rightarrow v_a = 52.5 \text{ km/h}$$

### مسألة (6):

احسب أقصى سرعة يسمح بها للسير على منعطف في حالة التقيد بالمعدل الأعظمي للرفع العرضاني، علماً أن نصف قطر المنعطف 200m والسرعة التصميمية 100km/h، ثم احسب قيمة الرفع العرضاني الفعلية.

$$e + f = \frac{1}{15} + 0.15 = \frac{v_a^2}{127 * R}$$

$$v_a^2 = 127 * 200 * 0.217 = 74.24 \text{ km}^2/\text{h}^2$$

وهي القيمة الفعلية للسرعة، وبالتالي تكون قيمة الرفع العرضاني الفعلية:

$$e = \frac{74.24^2}{127 * 200} - 0.15 = 0.067 \text{ m/m}$$