

المنحنيات الرأسية Vertical Curves

تصمم المنعطفات الشاقولية على شكل قطوع مكافئة بسيطة في ذروة المضلع الشاقولي، عند نقاط خط المشروع للطريق عندما يتغير الميل الطولي له، وذلك من أجل التغلب على الانكسارات الحاصلة الناجمة عن تغير هذه الميول في المقطع الطولي، والتي تسيء الى حركة العربات، إما من عدم تحقيق الرؤية في المناطق المحدبة، أو من تعرض العربة لصدمة مفاجئة نتيجة دخولها في المناطق المقعرة، بالإضافة إلى ضرورة تأمين انسيابية لمسار الطريق كي لا يحدث تسارع للقوة النابذة، مما يؤثر في توازن العربة وسلامة حركتها.

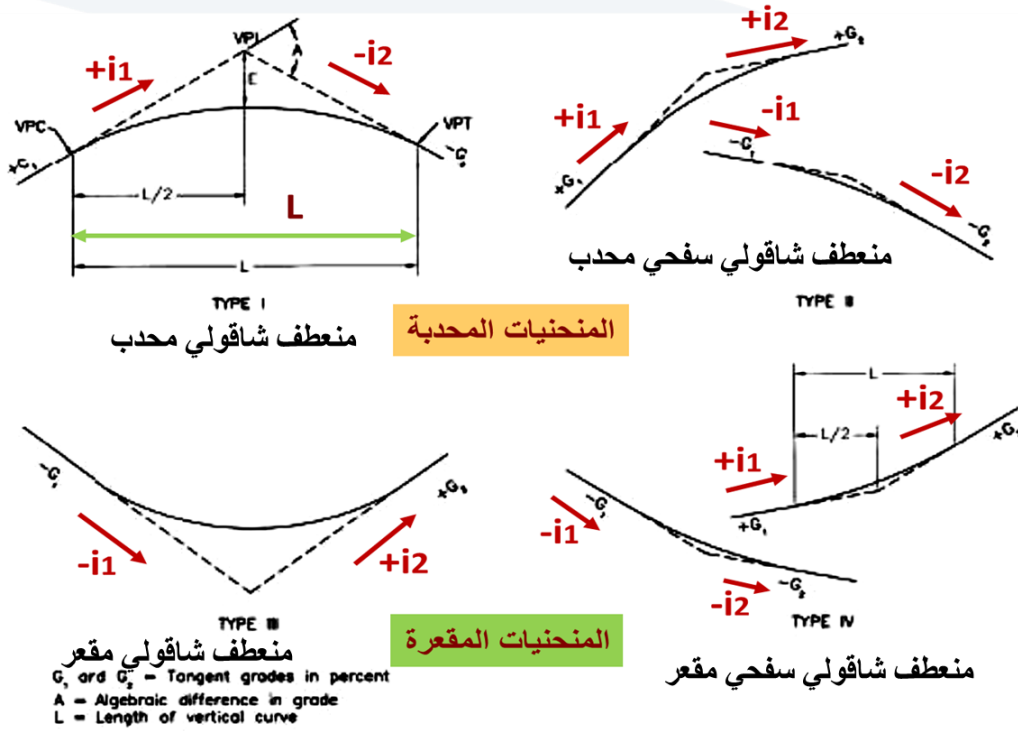
شروط التصميم:

يجب أن تكون المنحنيات الرأسية سهلة الاستخدام، وأن تهيئ تصميماً مأموناً ومريحاً في التشغيل ومقبولاً في الشكل، وأهم مطلب في تصميمها هو أن تعطينا مسافات رؤية كافية للسرعة التصميمية، حيث تصمم على شرط توفر مسافة رؤية للتوقف لتكون مساوية للحد الأدنى من طول المنحني أو أكبر منه. تحقق المنحنيات الرأسية منطقة انتقال انسيابية عند تغير الميول الطولية، ويجب أن تؤمن سرعة الانتقال الآمنة والراحة وشروط التصريف، ويستخدم القطع المكافئ في هذه المنحنيات لأن تغير الميل فيه ثابت، وهذا مرورياً يعتبر ايجابياً، ويعطي معدل تغير منتظم للانحناء مما يسهل حساب إحداثياته، وبالتالي يسهل حساب مناسب خط المشروع، بالإضافة إلى بساطة توقيعه في الطبيعة واستيفائه شروط الرؤية على كامل طول المنحني، ويمكن إلباسه حسابياً بالقوس الدائري حيث تكون دقة الحساب في هذه الطريقة مقبولة جداً.

أنواع المنعطفات الشاقولية:

تقسم المنحنيات الشاقولية إلى نوعين رئيسيين: المنحنيات المحدبة والمنحنيات المقعرة، واستناداً الى اتجاه الميول الطولية، فإنه يتحدد لدينا الأنواع التالية من المنعطفات الشاقولية:

- 1- منعطف شاقولي محدب
- 2- منعطف شاقولي مقعر
- 3- منعطف شاقولي سفحي محدب
- 4- منعطف شاقولي سفحي مقعر



أشكال المنحنيات الشاقولية المحدبة والمقعرة

المنعطفات الشاقولية المحدبة:

ينطلق حساب نصف قطر المنعطف الشاقولي المحدب من علاقات هندسية بسيطة، انطلاقاً من شرط تأمين مسافة الرؤية التصميمية لسطح الطريق من قبل سائق العربة، حيث أن هذا الشرط كاف لتحقيق أمان الحركة وراحتها، باعتبار أن الأثر السلبي للقوة النابذة في قيادة العربة وثباتها ليس كبيراً. يجب أن تؤمن المنعطفات الشاقولية شروط الرؤية التي تحدد مسافة الرؤية للتوقف في حال تصميم الطرق باتجاهات منفصلة بجزيرة وسطية، أما في حال الطرق التي لا تفصل بين اتجاهاتها جزيرة وسطية، فإننا نأخذ بعين الاعتبار مسافة الرؤية للتجاوز، فإذا اعتبرنا:

L : طول مسافة المنعطف (الطول الأفقي للانحناء).

S : مسافة الرؤية.

h_1 : ارتفاع عين السائق عن سطح الطريق.

h_2 : ارتفاع العائق المتوضع على سطح الطريق والمطلوب رؤيته.

$i_1 - i_2$: الفرق بين الميلين.

يتضمن تصميم المنعطف الشاقولي شكل ونوعية المنعطف، طول المنعطف مع تحديد نصف قطره، مكان توضع المنعطف الشاقولي، حيث يؤثر في مسافة الرؤيا على المنحنيات قيمتان أساسيتان، وهما

الفارق الجبري لميلي المماسين المتتاليين A ، وطول المنحني الشاقولي L .

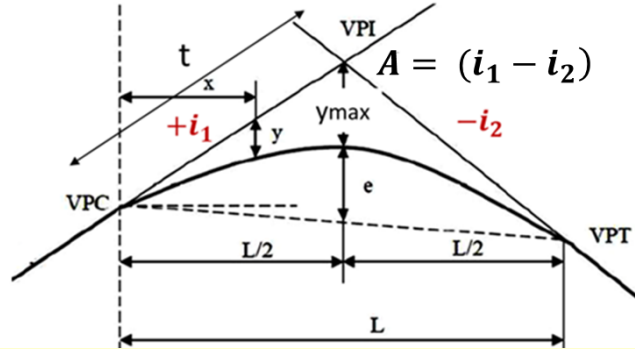
العناصر الهندسية و التصميمية للمنعطفات الشاقولية

يعتبر القطع المكافئ هو أبسط وأسهل المنحنيات التي تستخدم في المنعطفات الشاقولية لأن:

✓ تغير الميل فيه ثابت، وهذا مرورياً يعتبر إيجابياً.

✓ سهولة حساب الإحداثيات، وبالتالي سهولة حساب مناسيب خط المشروع.

يجب أن نترك عند كل وتد (عند كل نقطة) ارتفاع خط المشروع، ولا يجوز أن يتداخل منحنيان دائريان، وعلى الأكثر يمكن أن يلتقوا في نقطة واحدة.



تحدد الأطوال الدنيا أو الأصغرية للمماسات بالمتري حسب العلاقات التالية:

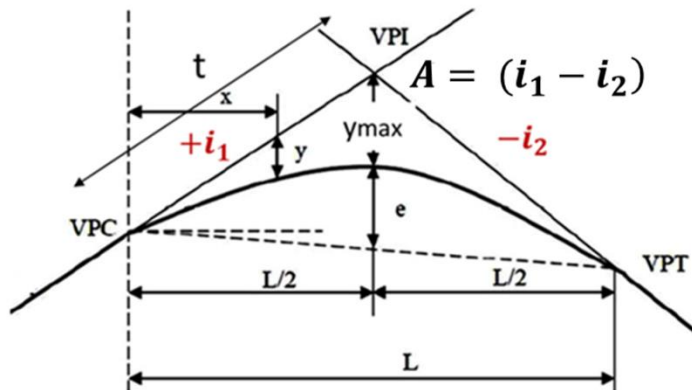
$$\min t = V \text{ (مجموعة طرق الدرجة الأولى)}$$

$$\min t = 0.75 V \text{ (مجموعة طرق الدرجة الثانية)}$$

حيث V السرعة التصميمية كم/سا.

هناك أطوال مماسات مختلفة، وذلك حسب أهمية الطريق ويختلف من كود إلى آخر.

نصف قطر المنعطف Rz ، طول المماس t ، طول المنحني الشاقولي L ، السهم Ymax .



يمكن استخدام القوس الدائري كمنعطف شاقولي ولكنه الأقل استخداماً، ونظراً لأن الميول الطولية الأعظمية المسموحة هي بحدود 10%، ولأن أنصاف أقطار المنعطفات الشاقولية التصميمية كبيرة، فإن الفرق بين

الدائرة والقطع المكافئ صغير جداً. إذاً: يمكن التعويض عن انحناء القطع المكافئ بقوس دائري بسيط، وبالتالي يمكن الحصول على المعادلة النهائية للمنعطف الشاقولي المؤلف من قوس بسيط كما يلي:

$$y = \frac{X^2}{2 \cdot R_z}$$

$$R_z = \frac{L}{i_1 - i_2}$$

$$t = \frac{R_z(i_1 \mp i_2)}{2 * 100}$$

$$L = R_z(i_1 - i_2)$$

$$y_{max} = \frac{t^2}{2R_z}$$

- منسوب أي نقطة من نقاط المنعطف:

$$y_M = y_{max} * \left[\frac{X_M}{\frac{L}{2}} \right]^2$$

- منسوب النقطة M على خط المشروع:

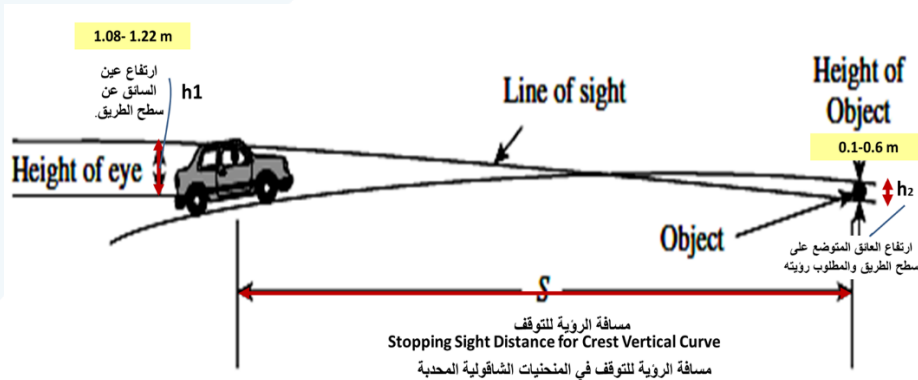
$$H_M = H_{M0} \pm y_M$$

حيث: H_{M0} : منسوب مبدئي

- طول الانحناء الأصغري:

$$\min L = R_{zmin} * (i_1 - i_2)$$

تصمم المنحنيات الشاقولية على شرط توفر مسافة رؤية للتوقف تكون مساوية للحد الأدنى من طول المنحني أو أكبر منه، حيث يؤثر في مسافة الرؤيا على المنحنيات قيمتان أساسيتان وهما الفارق الجبري لميلي المماسين المتتاليين A أو α وطول المنحني الشاقولي L.



شروط الرؤية:

الرؤية ضرورية في المقطع الطولي كما هي ضرورية في المسقط الأفقي للطريق، بحيث يرى السائق أي عائق أمامه، ثابتاً كان أو متحركاً على مسافة كافية، وأن يكون لديه الوقت اللازم لكبح جماح عربته، فعندما يكون العائق ثابتاً تكون مسافة الرؤية:

$$S = 0.75 v + \frac{v^2}{2 \cdot g \cdot f}$$

السرية بالمتر/ ثا \rightarrow
عامل الاحتكاك وقيمه 0.4
إذا لم يذكر خلاف ذلك

وعندما يكون العائق متحركاً، (أي سيارة آتية من الجهة المعاكسة)، تكون مسافة الرؤية هي ضعف القيمة أعلاه، أي:

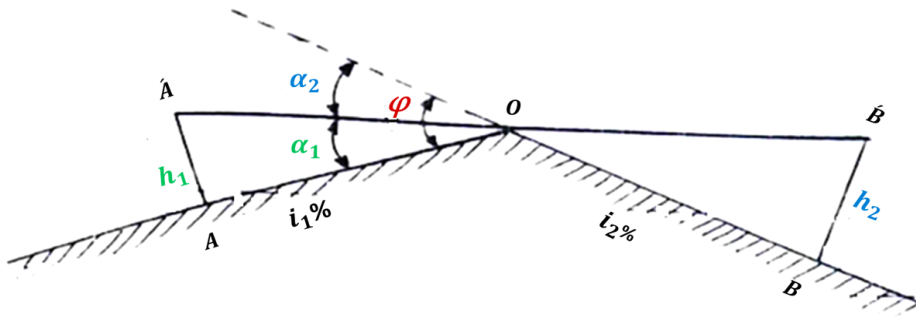
$$S = 1.5v + \frac{v^2}{g \cdot f}$$

وإذا عوضنا $V = v/3.6$, $g = 9.81$, $f = 0.4$ ، ينتج لدينا العلاقة التالية حيث السرعة بالكم/سا:

$$S = 2 * \left(\frac{v}{5} + \frac{v^2}{100} \right)$$

ملاحظة: إذا لم يذكر في النص نوع العائق (ثابت أو متحرك)، نصمم على أساس أن العائق متحرك لأننا يجب أن نصمم على الحالة الأسوأ.

شروط الانحناء في المقطع الطولي:



يشكل المستقيمان المتقاطعان زاوية φ فيما بينهما مماسها يساوي $\% i_1 \mp \% i_2 = tg\varphi$ ، حيث نعتبر الإشارة موجبة عندما يكون الميلان باتجاهين مختلفين، ونعتبر الإشارة سالبة عندما يكون الميلان باتجاه واحد، وارتفاع عين السائق h_1 يتراوح بين 1.25 متر و1.35 متر، أما ارتفاع العائق فإن قيمته وسطية تساوي 0.5 متر، ومن الشكل نستنتج العلاقة التالية:

$$OA = \frac{h_1}{\sin \alpha_1} \cong \frac{h_1}{\alpha_1}$$

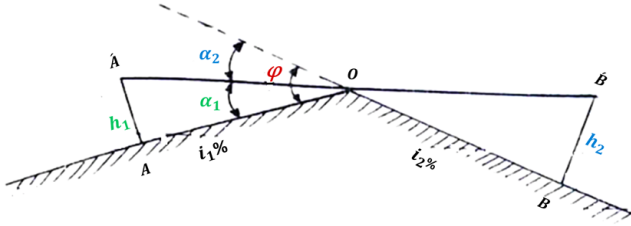
$$OB = \frac{h_2}{\sin (\varphi - \alpha_1)} \cong \frac{h_2}{\varphi - \alpha_1}$$

لأن الزاوية صغيرة

والمسافة التي يتمكن ضمنها السائق من رؤية العائق أو السيارة المتحركة هي:

$$\overline{A'B} = \overline{OA'} + \overline{OB} = \frac{h_1}{\alpha_1} + \frac{h_2}{\varphi - \alpha_1}$$

لكل قيمة لـ α_1 يوجد وضع معين للسيارة والسائق، وهناك قيمة واحدة فقط تعطي القيمة الأصغرية للمسافة $\overline{A'B}$ ، فإذا رمزنا لـ للمسافة $\overline{A'B}$:



$$L = \frac{h_1}{\alpha_1} + \frac{h_2}{\varphi - \alpha_1}$$

$$\varphi = \frac{h_1 + h_2 + 2\sqrt{h_1 * h_2}}{L} = \frac{(\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2})^2}{L}$$

$$h = h_1 = h_2 \Leftrightarrow \varphi = \frac{4h}{S}$$

ارتفاع عين السائق عن الأرض
مسافة الرؤية المطلوبة

من الضروري نظرياً وعملياً إنشاء منحني شاقولي للوصل

$$i_1 + i_2 > \varphi$$

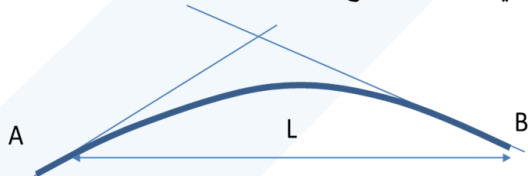
لا داعي نظرياً لإنشاء منحني وصل شاقولي، وعملياً نحتاج إلى منحني وصل حتى لا يحصل انكسار في الطريق، ولكي نتجنب حدوث قفزة للسيارة

$$i_1 + i_2 < \varphi$$

انتقاء المنحني الشاقولي:

إن المنحني المفضل نظرياً هو القطع المكافئ، ولكن باعتبار أن زاوية الميل φ تكون عادةً صغيرة، فيمكن عندها استخدام الدائرة التي يمكن أن تنطبق على القطع المكافئ، في هذه الحالة يكون الفرق بينهما صغيراً ويمكن إهماله، ولهذا يجب حساب نصف قطر دائرة الوصل.

طول منحني الاستدارة المحدب يتم حسابه باستخدام منحني على هيئة قطع مكافئ وفق المعادلة التالية:



$$Y = \frac{X^2}{a} = \frac{X^2}{\frac{2L}{A}}$$

طول المنحني

زاوية الانحراف

وبما أن المنحني طويل نسبياً وإحداثياته الرأسية صغيرة، فإنه يمكن اعتبار طول المنحني L يساوي المسقط الأفقي AB، وعند تحديد طول المنحني يجب أن نتحقق من مسافة الرؤية للتوقف وللتجاوز.

نصف قطر التحدب: يحدد بشكل أساسي من خلال الرغبة بحركة آمنة بمقدار كاف، بحيث يمكن لسائق المركبة من التوقف في الوقت المناسب قبل اصطدامه بعائق فجائي، وهذا يعني الحفاظ على مسافة الرؤية للتوقف على طول الطريق، وكذلك على طول المجال المحدب من الطريق، واستناداً إلى نموذج تحديد قطر التحدب الأصغري كتابع لمسافة الرؤية للتوقف، نستنتج العلاقة التالية:

$$\min R = \frac{S^2}{2(\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2})^2}$$

مسافة الرؤية للتوقف بالمتري

ارتفاع نظر السائق وارتفاع العائق، م

نصف قطر التحدب الأصغري بالمتري

يجب ان تكون أنصاف أقطار المنحنيات الشاقولية المحدبة والمقعرة كبيرة ما أمكن، مع مراعاة محافظتها على صورة الطبيعة، وملاءمتها للمناطق المجاورة ، وبأقل تكاليف انشائية ممكنة، ويجب أن يكون نصف القطر الشاقولي أكبر من نصف القطر الأفقي بنسبة بين 1:5 إلى 1:10 .

يجب أن نأخذ بالاعتبار عند حساب طول منحنى الاستدارة العلوي أو المحدب لمسافة الرؤية للتوقف الحالتين:

- طول المنحنى أكبر من مسافة الرؤية للتوقف
- طول المنحنى أصغر من مسافة الرؤية للتوقف

1- طول المنحنى أكبر من مسافة الرؤية للتوقف $L > S$

المعادلة العامة لطول المنحنى المكافئ هي:

زاوية الانحراف وتساوي الفرق الجبري بين الانحدارين أو الميلين

$$L = \frac{A * S^2}{(\sqrt{2h_1} + \sqrt{2h_2})^2}$$

مسافة الرؤية للتوقف

ارتفاع عائق عن سطح الأرض ويؤخذ 0.1 متر

ارتفاع خط نظر السائق عن سطح الأرض ويؤخذ 1.22 متر

$$L = \frac{A * S^2}{4}$$

وبالتعويض نحصل على العلاقة التالية:

2- طول المنحني أصغر من مسافة الرؤية للتوقف $L < S$

المعادلة العامة لطول المنحني المكافئ هي:

$$L = 2 * S - \frac{(\sqrt{2h_1} + \sqrt{2h_2})^2}{A} = 2 * S - \frac{4}{A}$$

ويمكن بعد ذلك تحديد نصف قطر المنحني من العلاقة التالية والتحقق من قيمته من الجداول حسب السرعة التصميمية:

$$R = \frac{L}{A}$$

بنفس الطريق يحسب طول منحني الاستدارة لمسافة التجاوز، حيث يؤخذ ارتفاع العائق في هذه الحالة مساوياً لارتفاع خط البصر، أي أن:

$$H = h_1 = h_2 = 1.22m$$

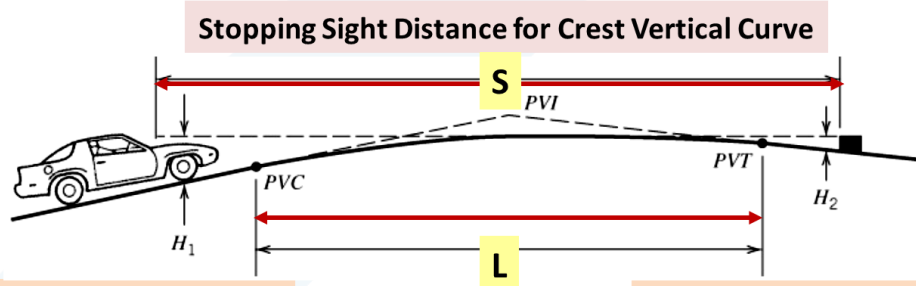
1- طول المنحني أكبر من مسافة الرؤية للتجاوز $L > S$

$$L = \frac{A * S^2}{8 H} = \frac{A * S^2}{9.76}$$

2- طول المنحني أصغر من مسافة الرؤية للتجاوز $L < S$

$$L = 2 * S - \frac{9.76}{A}$$

حساب طول المنحنيات المحدبة في حالة مسافة الرؤية للتوقف:



2. في حالة مسافة الرؤية للتوقف أطول من المنحني $(S > L)$:

1. في حالة مسافة الرؤية للتوقف أقصر من طول المنحني $(S < L)$:

$$L = 2S - \frac{(\sqrt{2h_1} + \sqrt{2h_2})^2}{A}$$

طول المنحني الشاقولي المحدب في حالة الرؤية للتوقف (متر)

الفارق الجبري لميلي المماسين (%)

$$L = \frac{AS^2}{(\sqrt{2h_1} + \sqrt{2h_2})^2}$$

ارتفاع عين السائق عن سطح الأرض
1.08 - 1.22m

ارتفاع العائق عن سطح الأرض
0.1 - 0.6m

معدل الانحناء الشاقولي المحدب في حالة مسافة الرؤية للتوقف

السرعة التصميمية	مسافة الرؤية للتوقف	ثابت الانحناء التصميمي K
20	20	1
30	35	2
40	50	4
50	65	7
70	105	17
80	130	26
90	160	39
100	185	52
110	220	74
120	250	95
130	285	124

المعادلة الأساسية في حساب طول المنحني الشاقولي المحدب باستخدام ثابت الانحناء الشاقولي (K) الموافق لمسافة الرؤية في حال التوقف:

$$L = K \times A$$

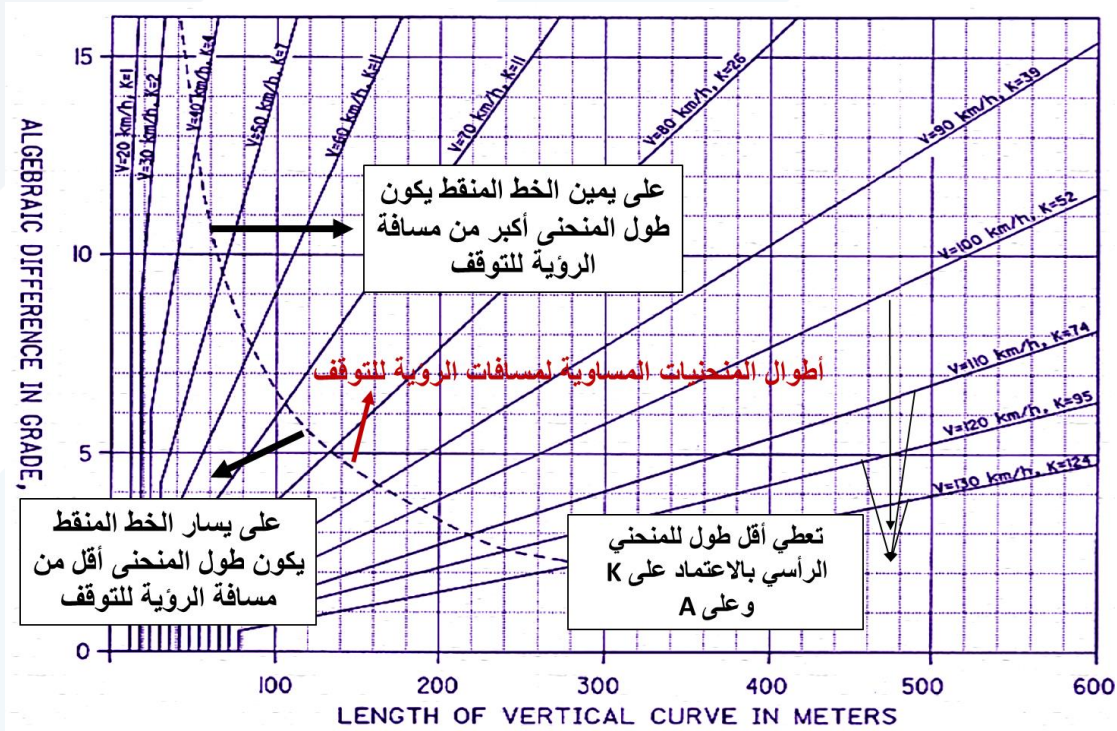
ثابت الانحناء الشاقولي (بلا وحدة)

الفارق الجبري لميلتي المماسين الطولين (%)

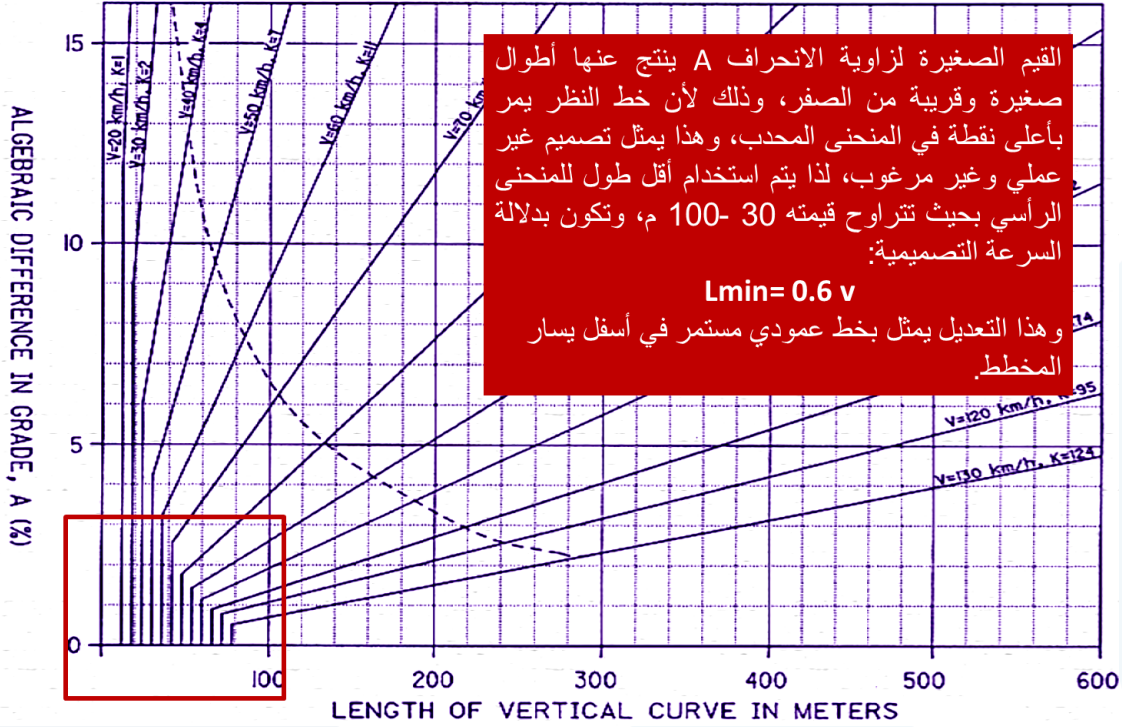
طول المنحني لكل درجة تغير في زاوية الانحراف

$$L = 3V$$

أيهما أكبر من حيث القيمة



مخطط إيجاد طول المنحني الراسي المحدب وفقاً لمسافة الرؤية للتوقف



مخطط ايجاد طول المنحنى الرأسي المحدب وفقاً لمسافة الرؤية للتوقف

العلاقة بين طول مسافة الرؤية وبين طول المنعطف الشاقولي المحدب:

الحالة الأولى: وهي الحالة التي تساعد في معرفة أو تحديد قيمة الفرق بين الميلين للمضلع الشاقولي والتي لا تتطلب تصميم منعطف شاقولي من ناحية متطلبات الرؤية:

$$A = i_1 - i_2 = \frac{h_1 + 2\sqrt{h_1 \cdot h_2} + h_2}{L_{rmin}}$$

$$L_{rmin} = \frac{h_1 + 2\sqrt{h_1 \cdot h_2} + h_2}{A}$$

الحالة الثانية: (مسافة رؤية مفروضة): طول مسافة الرؤية أصغر من طول الانحناء أي: $S < L$ أي أن العائق والعربة يقعان ضمن المنحنى الشاقولي:

$$\min R_z = \frac{S^2}{2(\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2})^2} = \frac{S^2}{2(h_1 + 2\sqrt{h_1 \cdot h_2} + h_2)}$$

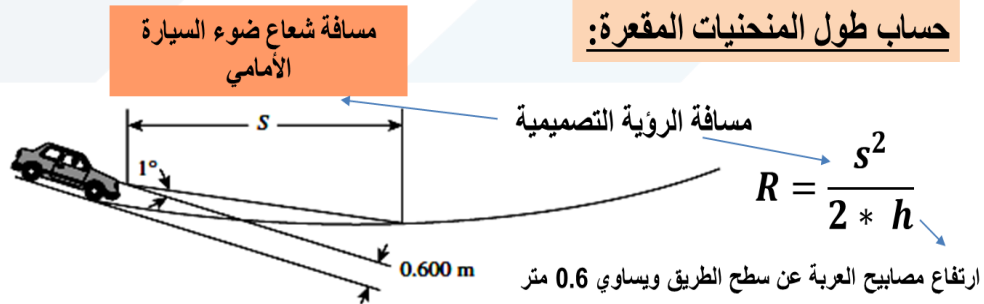
الحالة الثالثة: طول مسافة الرؤية أكبر من طول الانحناء أي: $S > L$

$$L = 2S \sin - \frac{2}{A} (h_1 + 2\sqrt{h_1 \cdot h_2} + h_2)$$

الحالة الرابعة: هي الحالة الحدية أي عندما يكون: $S = L$

$$R_z = \frac{S^2 * (i_1 - i_2)}{2(h_1 + 2\sqrt{h_1 \cdot h_2} + h_2)}$$

$$S_{min} = \frac{2(h_1 + 2\sqrt{h_1 \cdot h_2} + h_2)}{(i_1 - i_2)}$$



يفترض أن يكون اتجاه النور الصادر من السيارة عند النزول، والذي يقدر ارتفاعه بـ 0.6 m، يشكل زاوية مقدارها درجة واحدة بالنسبة للخط الأفقي، وهذا يعني أنه كلما كان وضع المنحني المقعر قليل الانحناء، كلما كان الوضع أفضل بالنسبة للسائق.

طول المنحني الشاقولي المقعر بالعلاقة مع مسافة ضوء السيارة:

$$L = \frac{AS^2}{120 + 3.5S} \quad \text{عندما } S \text{ أقل من } L$$

طول المنحني الشاقولي المقعر

$$L = 2S - \left(\frac{120 + 3.5S}{A} \right) \quad \text{عندما } S \text{ أكبر من } L$$

يتعلق طول المنحني الشاقولي المقعر بمسافة الأضواء الأمامية للعربة (بالرؤية الليلية)، وبحيث تكون هذه المسافة كافية لتحقيق مسافة وقوف العربة فقط، بحيث لا يسمح بالتجاوز على هذا النوع من المنحنيات، ويحسب طول المنحني باستخدام المعادلات التالية على اعتبار ارتفاع الأضواء الأمامية 60 سم وزاوية انحراف (انتشار) الضوء الرأسية 1 درجة مئوية..

• الحالة الثانية: عندما يكون طول المنحني أقصر من مسافة الرؤية $(S < L)$:

• الحالة الأولى: عندما يكون طول المنحني أطول من مسافة الرؤية $(S > L)$:

$$L = 2s - \frac{200h_3 + 3.5 * s}{A}$$

مسافة الرؤية للتوقف على المنحني المقعر (متر)

الفرق الجبري بين ميلي المماسين بدون نسبة مئوية

$$L = \frac{A * s^2}{200h_3 + 3.5 * s}$$

طول المنحني الشاقولي المقعر (متر)

h_3 : ارتفاع مصابيح العربة عن سطح الطريق ويساوي 6.0 متر

طول المنحني الشاقولي المقعر باستخدام ثابت الانحناء الشاقولي (K) الموافق لمسافة الرؤية في حال التوقف:

$$L = K \times A$$

الفارق الجبري لميلي المماسين (%)

ثابت الانحناء الشاقولي (بلا وحدة)

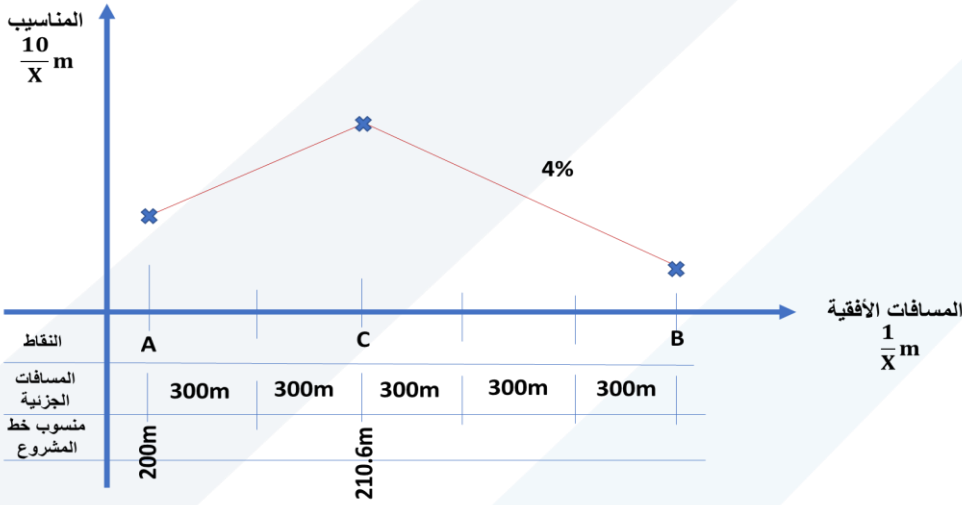
الميلان الطولي للمماس (%)

V, Km/ h	Min Rw للمنحنيات المقعرة
50	500
60	750
70	1000
80	1300
90	2400
100	3800
120	8800

مسألة (1):

إذا كان لدينا خط المشروع المقترح بين A,B:

1. احسب ميل الخط AC
2. احسب منسوب النقطة B
3. صمم منعطف شاقولي مع رسم كروكي لعناصره على خط المشروع واحسب منسوب ذروته علماً أن مسافة الرؤية للتوقف $S = 115m$



$$I_{AC} = \frac{\Delta h_{AC}}{L_{AC}} * 100 = \frac{210.6 - 200}{600} * 100 = 1.766\% = 2\%$$

$$h_B = h_C - i \cdot L_{CB} = 210.6 - \frac{4}{100} * 900 = 174.6m$$

$$R_{Zmin} = \frac{S^2}{2 * (h_1 + 2\sqrt{h_1 \cdot h_2} + h_2)} = \frac{115^2}{2 * (1.2 + 2\sqrt{1.2 * 0.2} + 0.2)} = 2778.6m$$

$$T = \frac{R_Z}{2} |(\bar{F}i_1) - (\bar{F}i_2)| = \frac{2778.6}{2} |(+0.02) - (-0.04)| = 83.36m$$

$$Y_{max} = \frac{T^2}{2R_Z} = \frac{83.36^2}{2 * 2778.6} = 1.25m$$

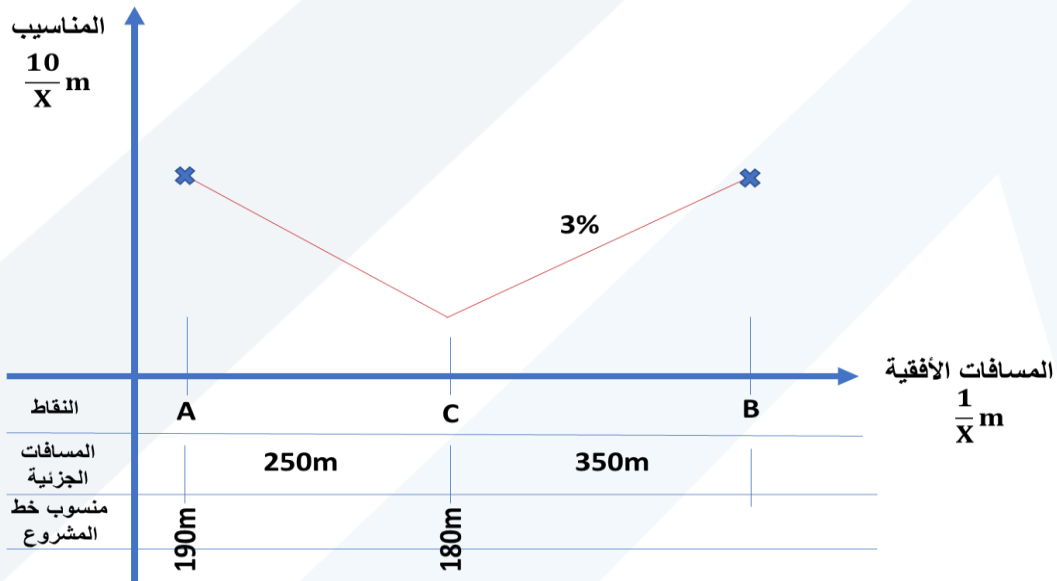
$$H_C = h_C - Y_{max} = 210.6 - 1.25 = 209.35m$$

وهو منسوب الذروة على المنعطف الشاقولي المحدب.

مسألة (2):

إذا كان لدينا خط المشروع المقترح التالي بين النقطتين A, B:

1. احسب ميل الاستقامة AC
2. احسب منسوب النقطة B
3. صمم المنعطف الشاقولي مع رسم كروكي لعناصره على خط المشروع علماً أن $V=80$ Km/h
4. احسب منسوب ذروة المنعطف الشاقولي المقعر



$$I_{AC} = \frac{\Delta h_{AC}}{L_{AC}} * 100 = \frac{190 - 180}{250} * 100 = 4\%$$

$$h_B = h_C + i \cdot L_{CB} = 180 + \frac{3}{100} * 350 = 190.5m$$

$$R_{Zmin} = \frac{V^2}{1.82} = \frac{80^2}{1.82} = 3516.5m$$

$$T = \frac{R_Z}{2} |(\bar{F}i_1) - (\bar{F}i_2)| = \frac{3516.5}{2} |(-0.04) - (0.03)| = 123.1m$$

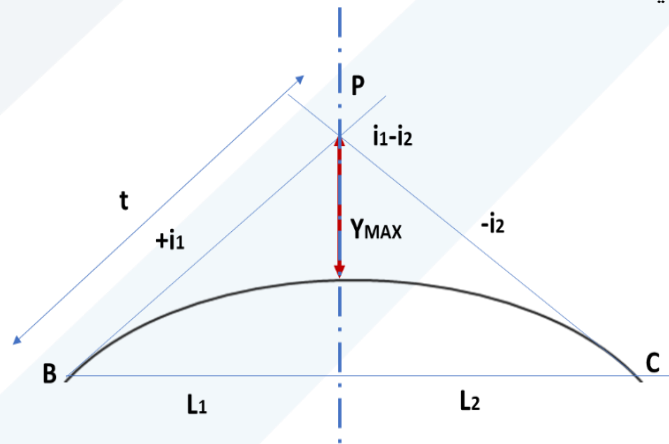
$$Y_{\max} = \frac{T^2}{2R_z} = \frac{123.1^2}{2 * 3516.5} = 2.15\text{m}$$

$$H_C = h_C + Y_{\max} = 180 + 2.15 = 182.15\text{m}$$

وهو منسوب الذروة على المنعطف الشاقولي المقعر.

مسألة (3):

صمم منعطف شاقولي محدب ومتماثل، واحسب نصف القطر الأصغري الموافق، إذا علمت أن طول هذا المنحني هو 120 متر، وأن منسوب النقطة B هو 100 متر، وأن الميلين $i_1 = +5\%$, $i_2 = -5.5\%$ ، ثم حدد قيمة t لمعرفة بداية ونهاية هذا المنحني، واحسب المناسيب الموافقة وذلك على مسافة كل 20 متر من بداية المنحني.



$$A = |i_1 - i_2| = +5 - (-5.5) = +10.5\%$$

$$L = L_1 + L_2 = 120\text{m}$$

$$R_z = \frac{L}{i_1 - i_2} = \frac{120}{0.05 - (-0.055)} = \frac{120}{0.105} = 1142.86\text{m}$$

$$t = \frac{R_z(i_1 - i_2)}{2} = \frac{1142.86(0.105)}{2} = 60\text{m}$$

$$y_{max} = \frac{L_1 * L_2}{2(L_1 + L_2)} * \frac{\alpha}{100} = \frac{60 * 60}{2(60 + 60)} * \frac{10.5}{100} = 1.575m$$

أو:

$$y_{max} = \frac{t^2}{2R_z} = \frac{60^2}{2 * 1142.86} = 1.575m$$

$$y_M = y_{max} * \left[\frac{X_M}{\frac{L}{2}} \right]^2$$

حساب المناسيب:

أو:

$$y_M = y_{max} * \left(\frac{2 * X_M}{L} \right)^2$$

$$X_M = 20m \Rightarrow y_M = 1.575 * \left(\frac{2 * 20}{120} \right)^2 = 0.175m$$

$$X_M = 40m \Rightarrow y_M = 1.575 * \left(\frac{2 * 40}{120} \right)^2 = 0.70m$$

$$X_M = 60m \Rightarrow y_M = 1.575 * \left(\frac{2 * 60}{120} \right)^2 = 1.575m$$

$$X_M = 80m \Rightarrow y_M = 1.575 * \left(\frac{2 * 80}{120} \right)^2 = 2.8m$$

$$X_M = 100m \Rightarrow y_M = 1.575 * \left(\frac{2 * 100}{120} \right)^2 = 4.375m$$

$$X_M = 120m \Rightarrow y_M = 1.575 * \left(\frac{2 * 120}{120} \right)^2 = 6.3m$$

وتكون المناسيب كما يلي:

$$H_{X=20} = [(0.05 * 20) - 0.175] + 100 = 100.825m$$

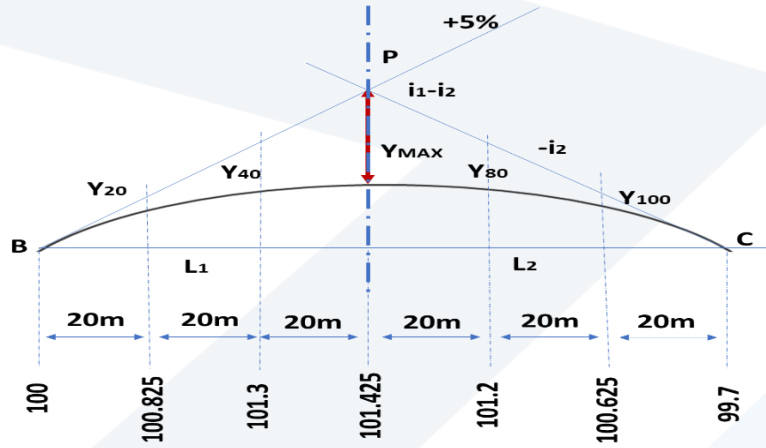
$$H_{X=40} = [(0.05 * 40) - 0.70] + 100 = 101.3m$$

$$H_{X=60} = [(0.05 * 60) - 1.575] + 100 = 101.425m$$

$$H_{X=80} = [(0.05 * 80) - 2.8] + 100 = 101.2m$$

$$H_{X=100} = [(0.05 * 100) - 4.375] + 100 = 100.625m$$

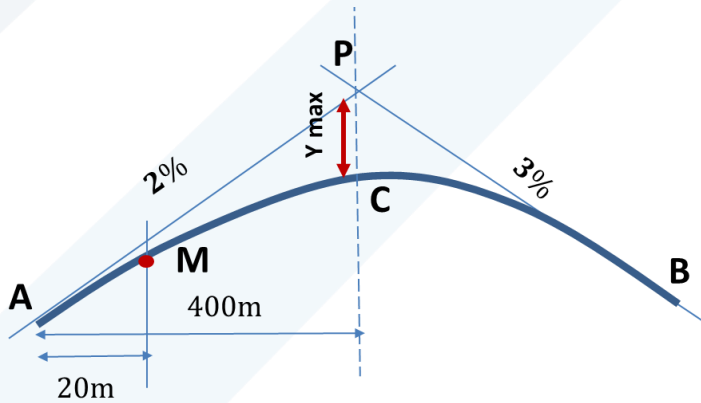
$$H_{X=120} = [(0.05 * 120) - 6.3] + 100 = 99.7m$$



مسألة (4):

إذا كان لدينا خط المشروع المقترح ما بين النقطتين A, B:

1. صمم المنعطف الشاقولي وارسم كروكي لعناصره إذا علمت أن مسافة الرؤية للتوقف 115 متر.
2. احسب منسوب ذروة المنعطف المحدب علماً أن منسوب النقطة A هو 200 متر.
3. احسب منسوب النقطة M التي تقع على بعد 20 متر من بداية المنعطف.



$$R_{Zmin} = \frac{S^2}{2 * (h_1 + 2\sqrt{h_1 \cdot h_2} + h_2)} = \frac{115^2}{2 * (1.2 + 2\sqrt{1.2 * 0.2} + 0.2)} = 2778.6m$$

$$T = \frac{R_Z}{2} |(\bar{i}_1) - (\bar{i}_2)| = \frac{2778.6}{2} |(+0.02) - (-0.03)| = 69.47m$$

$$Y_{max} = \frac{T^2}{2R_Z} = \frac{69.47^2}{2 * 2778.6} = 0.87m$$

$$h_p = H_A + i \cdot L_{AC} = 200 + \frac{2}{100} * 400 = 208m$$

وبالتالي منسوب النقطة C على المنعطف:

$$H_C = 208 - 0.87 = 207.13m$$

منسوب النقطة M على المنعطف = منسوب النقطة M على المضلع - Y_X

$$H_M = \tilde{H}_M - Y_X$$

$$\tilde{H}_M = H_A + i \cdot L_{MA} = 200 + 0.02 * 20 = 200.4m$$

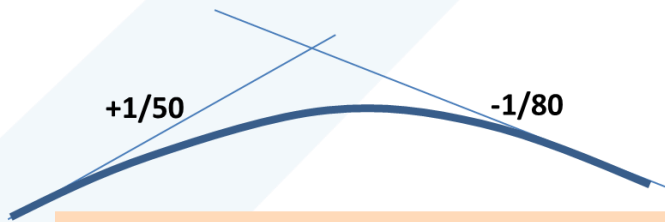
$$Y_X = \frac{X^2}{2R_Z} = \frac{20^2}{2 * 2778.6} = 0.072m$$

$$H_M = 200.4 - 0.072 = 200.32m$$

مسألة (5):

في مشروع طريق باتجاهين يطلب إدخال منعطف شاقولي (قطع مكافئ متساوي المماسين)، يصل بين ميلين الأول صاعد 50/1 مع انحدار بميل 1/80-، فإذا علمت أن مسافة الرؤية للتوقف 120 متر وأن مسافة الرؤية للتجاوز 640 متر، وإذا كانت ظروف الموقع تسمح بطول أعظمي للمنعطف الشاقولي لا يتجاوز 500 متر، المطلوب مناقشة تحقيق الرؤية على هذا المنعطف.

$$A = |i_2 - i_1| = \left| -\frac{100}{80} - \frac{100}{50} \right| = 3.25\%$$



الحالة الأولى: $L > S$

نستخدم العلاقة التالية:

$$500 = \frac{A * SSD^2}{100(\sqrt{2h_1} + \sqrt{2h_2})^2} = \frac{3.25 * SSD^2}{100(\sqrt{2 * 1.07} + \sqrt{2 * 0.15})^2}$$

$$SSD = 249.38 m > 180 m$$

أي أن مسافة الرؤية للتوقف محققة ضمن هذا الطول من المنعطف

ملاحظة: لو حسبنا من العلاقة $L < S$ نلاحظ أن المتراحة غير محققة حيث أن $L = 500 \text{ m}$, $S = 313.16 \text{ m}$

الحالة الأولى: $L > S$

من أجل مسافة الرؤية للتجاوز $\text{PSD} = 640 \text{ m}$ ، نستخدم العلاقة التالية:

$$500 = \frac{A \cdot \text{PSD}^2}{100(\sqrt{2h_1} + \sqrt{2h_2})^2} = \frac{3.25 \cdot \text{PSD}^2}{100(\sqrt{2 \cdot 1.07} + \sqrt{2 \cdot 1.03})^2}$$

$$\text{PSD} = 359.47 \text{ m} < 640 \text{ m}$$

أي أن مسافة الرؤية للتجاوز غير محققة ضمن هذا الطول من المنعطف

ملاحظة: لو حسبنا من العلاقة $L < S$ نلاحظ أن المتراحة غير محققة حيث أن $L = 500 \text{ m}$, $S = 301.24 \text{ m}$

مسألة (6):

في منعطف شاقولي محدب بفرق للميلين الجبريين مساوي 0.08 ، أوجد طول المنحني في الحالتين:

- عندما يكون طول المنحني أكبر من مسافة الرؤية للتوقف، والتي تساوي 120 متر.
 - عندما يكون طول المنحني أقل من مسافة الرؤية للتوقف، والتي تساوي 45 متر.
- أوجد الحد الأدنى لنصف القطر، وناقش النتائج على أساس أن أقل نصف قطر مسموح به هو 420 متر لسرعة 65 كم/سا.

عندما يكون طول المنحني أكبر من مسافة الرؤية للتوقف:

$$L = \frac{A \cdot S^2}{(\sqrt{2 \cdot h_1} + \sqrt{2 \cdot h_2})^2} = \frac{A \cdot S^2}{4} \quad L > S$$

$$h_1 = 1.22 \text{ m}$$

$$h_2 = 0.1 \text{ m}$$

$$A = 0.08$$

حيث:

$$L = \frac{A \cdot S^2}{4} = \frac{0.08 \cdot 120^2}{4} = 288 \text{ m}$$

$$L < S$$

$$L = 2 * S - \frac{(\sqrt{2h_1} + \sqrt{2h_2})^2}{A} = 2 * S - \frac{4}{A} = 40 \text{ m}$$

الحد الأدنى لنصف القطر:

$$R = \frac{L}{A} = \frac{40}{0.08} = 500 \text{ m}$$

هذه القيمة أكبر من الحد الأدنى المسموح به 420 متر عند السرعة 65 كم/سا، ولذلك لا داعي لوضع قيود لتخفيض السرعة عن القيمة 65 كم/سا.

مسألة (7):

في مقطع طولي لطريق لدينا انحدار صاعد 1/50 يتقابل مع انحدار هابط مقداره 1/30-، فلو تطلب الأمر تصميم منعطف شاقولي محدب يسمح بمسافة رؤية للتوقف 125 متراً، ومسافة رؤية للتجاوز 400 متراً، احسب طول هذا المنحني الذي يفى بالشرطين، علماً بأنه ونظراً لأسباب فنية فإن طول المنعطف الشاقولي يجب أن لا يتجاوز 500 متراً.

$$A = +\frac{1}{50} - \left(-\frac{1}{30}\right) = \frac{8}{150}$$

1- مسافة الرؤية للتوقف تساوي 125 متر:

$$L = \frac{A * S^2}{4} = \frac{8 * 125^2}{150 * 4} = 208 \text{ m} \quad L > S$$

وهي أقل من الطول المسموح به 500 متر.

2- مسافة الرؤية للتجاوز تساوي 400 متر:

$$L = 2 * S - \frac{9.76}{A} \quad L < S$$

$$L = 2 * 400 - \frac{9.76 * 150}{8} = 617 \text{ m} > 400$$

وبالتالي نطبق العلاقة الخاصة حيث أن طول المنحني أكبر من مسافة الرؤية للتجاوز:

$$L = \frac{A * S^2}{9.76} = \frac{8 * 400^2}{150 * 9.76} = 875 \text{ m}$$

ونظراً لأن طول المنحني يجب ألا يتعدى 500 متر، فإنه لا يمكن تحقيق مسافة الرؤية للتجاوز المطلوبة وهي 400 متر، وبالتالي لا يسمح بالتجاوز على هذا المنعطف.

مسألة (8):

حدد الحد الأدنى لطول المنحني الشاقولي المحدب بين ميلين الأول صاعد بقيمة 0.5%، والثاني هابط بميل 1%، لطريق بسرعة تصميمية 100 كم/ساعة، ويجب أن يوفر المنحني الرأسي مسافة 190 مترًا لمسافة الرؤية للتوقف، وأن يطابق المعايير الأمريكية، (قم بالتقريب لعشرين متر أكبر).

$$L = \frac{A * S^2}{100(\sqrt{2h_1} + \sqrt{2h_2})^2} = \frac{\{(0.5 - (-1))\} * (190)^2}{100(\sqrt{2 * 1.07} + \sqrt{2 * 0.15})^2} = 134m < 190 m$$

إذاً مسافة الرؤية للتوقف أكبر من طول المنعطف الشاقولي المحدب وبالتالي نطبق العلاقة التالية:

$$L = 2 * S - \frac{(\sqrt{2h_1} + \sqrt{2h_2})^2}{A} = 110.5 m$$

المعايير الأمريكية تفرض أن السرعة التصميمية 100 كم/سا هي أكبر من 60 كم/سا، ولكن الفرق الجبري 1.5% أصغر من 2%، نستخدم الطول 60 كتر.

مسألة (9):

في مقطع طولي لطريق لدينا انحدار صاعد 30/1 يتقابل مع انحدار هابط مقدار 40/1، فلو تطلب الأمر تصميم منعطف شاقولي محدب يسمح بمسافة تجاوز مقدارها 440 مترًا، احسب طول هذا المنحني في الحالتين:

- طول المنحني أكبر من مسافة الرؤية للتجاوز
 - طول المنحني أقل من مسافة الرؤية للتجاوز
- ثم تحقق من الحد الأدنى لنصف القطر والذي يجب ألا يقل عن 660 مترًا.

$$A = \frac{1}{30} - \left(-\frac{1}{40} \right) = \frac{7}{120}$$

طول المنحني أكبر من مسافة الرؤية للتجاوز:

$$L = \frac{A * S^2}{(\sqrt{2 * h_1} + \sqrt{2 * h_2})^2} = \frac{A * S^2}{8 * h} = \frac{A * S^2}{9.76} \quad L > S$$

$$h_1 = h_2 = 1.22 \text{ m}$$

$$L = \frac{7 \cdot 440^2}{120 \cdot 9.76} = 1160 \text{ m}$$

$$L < S$$

$$L = 2 * S - \frac{(\sqrt{2h_1} + \sqrt{2h_2})^2}{A} = 2 * S - \frac{9.76}{A} = 40 \text{ m}$$

$$L = 2 * 440 - \frac{9.76 * 120}{7} = 713 \text{ m}$$

الحد الأدنى لنصف القطر:

$$R = \frac{L}{A} = \frac{1160 * 120}{7} = 19890 \text{ m}$$

وهي أكبر من الحد الأدنى المسموح به وهو 660 متر.

مسألة (10):

في مشروع طريق سرعته التصميمية 90 كم/س، يراد إدخال منعطف شاقولي يصل بين ميلين الأول صاعد (+3.5%) والثاني هابط (-4%) والمطلوب:
تحديد الطول الأصغري للمنعطف الشاقولي ليتمكن سائق يسير وفق السرعة التصميمية من التوقف بأمان حين رؤيته لعائق يعترض الطريق، لا يقل ارتفاعه عن 0.15 متر، وفق الاعتبارات التالية:
الحالة الأسوأ للتوقف وحيث أن زمن رد الفعل 3 ثواني، ارتفاع عين السائق عن سطح الطريق 1.07 متر، عامل الاحتكاك الطولي بين سطح الطريق وإطار العربة 0.24.

يجب أن نحسب الحالتين لأنه تم طلب الحالة الأسوأ، ونختار القيمة الأكبر لتكون هي الأسوأ.



$$SSD = t * v + \frac{v^2}{2g(f_1 + i)} = \frac{3 * 90}{3.6} + \frac{(90)^2}{2 * 9.81 \left(0.24 + \frac{3.5}{100}\right) * (3.6)^2} = 190.837 \text{ m}$$

حالة ميل صاعد

$$SSD = t * v + \frac{v^2}{2g(f_1 - i)} = \frac{3 * 90}{3.6} + \frac{(90)^2}{2 * 9.81 \left(0.24 - \frac{4}{100}\right) * (3.6)^2} = 234.276 \text{ m}$$

حالة ميل هابط

الحالة الأسوأ هي الأطول عندما تكون مسافة الرؤية للتوقف $SSD = 234.276 \text{ m}$

لتحديد الطول الأصغري أيضاً ندرس حالتين ونختار الحل الذي يحقق المتراجحة:

الحالة الأولى: $L > S$

نستخدم العلاقة التالية:

$$L = \frac{A * S^2}{100(\sqrt{2h_1} + \sqrt{2h_2})^2} = \frac{7.5 * (234.276)^2}{100(\sqrt{2 * 1.07} + \sqrt{2 * 0.15})^2} = 1018.28 \text{ m} > 234.267 \text{ m}$$

أي أن المتراجحة محققة

الحالة الثانية: $L < S$

نستخدم العلاقة التالية:

$$L = 2 * S - \frac{200 * (\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2})^2}{A}$$

$$L = 2 * (234.276) - \frac{200 * (\sqrt{1.07} + \sqrt{0.15})^2}{7.5} = 414.65 \text{ m} > 234.267 \text{ m}$$

أي أن المتراجحة غير محققة

إذاً الطول الأصغري للمنعطف الشاقولي هو $L = 1018.28 \text{ m}$ وهو في حالة $L > S$