

تقنيات الطرق

التصميم الرأسي للطرق

الوحدة الثالثة : التصميم الرأسي للطرق

الجدارة:

يدرس المتدرب في هذه الوحدة مبادئ وخطوات التصميم الرأسي للطرق، حيث يتعرف على أنواع المنحنيات الرأسية وطرق تصميمها وتصميم الانحدارات وحساب الحد الأقصى والأدنى للميل الطولي للطريق.

الأهداف:

عند الانتهاء من هذه الوحدة يكون للمتدرب القدرة على:

١. تصميم المنحنيات الرأسية.
٢. حساب الحد الأقصى والأدنى للميل الطولي للطريق
٣. حساب مسافات الرؤية عند المنحنيات الرأسية.
٤. قراءة المخططات التصميمية ومعرفة عناصرها المختلفة.

مستوى الأداء المطلوب: إتقان المتدرب لهذه الوحدة بنسبة لا تقل عن ١٠٠ %.

الوقت المتوقع لإنهاء هذه الوحدة: ساعتان.

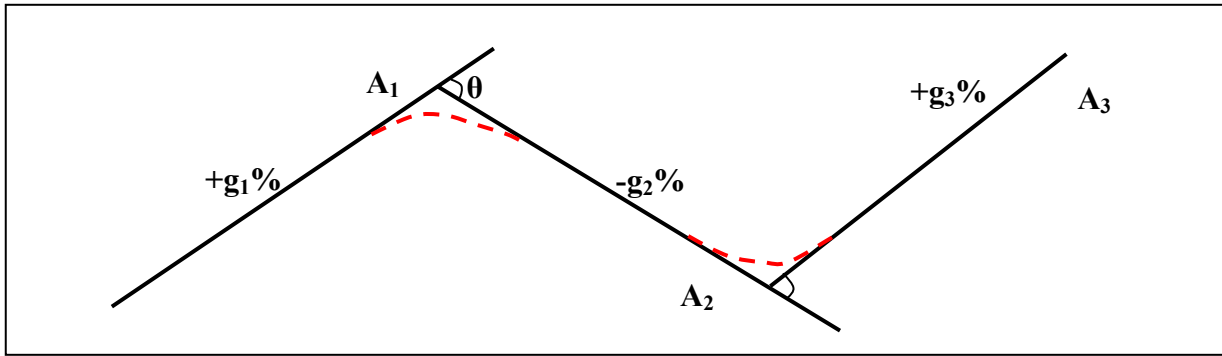
متطلبات الجدارة: معرفة ما سبق دراسته في الوحدات السابقة خاصة وحدة التصميم الأفقي للطريق.

التصميم الرأسي للطرق

٣- ١ التخطيط الرأسي

يتكون القطاع الطولي للطريق من سلسلة من المماسات أو الخطوط المستقيمة المتتالية والمتصلة بمنحنيات رأسية على شكل القطاع المكافئ كما هو مبين في الشكل (٣- ١). ويشمل التخطيط الرأسي تحديد انحدار الخطوط المستقيمة وتصميم منحنيات رأسية بينها وتحديد أطوال هذه المنحنيات وعناصرها. وتحديد المحور الرأسي للطريق لتحديد مناسيب الرصف والمسائل التي تتعلق بالتنفيذ كالحفر والردم والصرف.

وعند تصميم خط منسوب الطريق يجب الأخذ في الاعتبار الجانب الاقتصادي بجعل عمليات الحفر والردم في حدها الأدنى، وتحقيق متطلبات مسافة الرؤية وغيرها من متطلبات التصميم. وفي المناطق الجبلية يجب وضع خط المنسوب بحيث يحقق التوازن بين أعمال الحفر والردم لتقليل تكلفة الإنشاء. وفي المناطق المسطحة يجب أن يرتفع خط الطريق عن سطح الأرض الطبيعية بالمقدار الذي يسمح بتصريف المياه السطحية بسهولة.



شكل (٣- ١): نموذج من منحنيات رأسية.

ومن الشكل الموضح أعلاه نستنتج:

$$A_1 = \left(\frac{+g_1}{100} \right) - \left(\frac{-g_2}{100} \right)_1 = \frac{(g_1 + g_2)}{100}$$

$$A_2 = \left(\frac{-g_2}{100} \right) - \left(\frac{+g_3}{100} \right)_2 = - \frac{(g_2 + g_3)}{100}$$

حيث: A الفرق الجبري بين انحداري المماسين المحيطين بالمنحنى.

٣- ٢ الحد الأقصى والأدنى للميل الطولي للطريق

لقد بينت الدراسات أن جميع العربات الخاصة تستطيع صعود الانحدارات التي تصل إلى ٨ ٪ بسهولة ولا تتأثر سرعتها كثيراً على عكس مركبات النقل التي تتأثر سرعتها بشدة بالميل. والجدول (٣- ١) يعطي بعض القيم الخاصة بالانحدارات القصوى المقبولة التي حددتها هيئة أشو على أساس السرعة التصميمية لبعض أنظمة الطرق. وتتوقف السرعة القصوى للمركبات التجارية عند صعودها الانحدارات على طول ونسبة الانحدار وعلى النسبة بين الوزن والقدرة للمركبة.

جدول (٣- ١) الانحدارات القصوى المقبولة حسب مواصفات هيئة آشتو (AASHTO).

الانحدار الأقصى (٪)		السرعة التصميمية (كم / الساعة)
مناطق جبلية	مناطق منبسطة	
٩	٦	٤٨
٨	٥	٦٤
٧	٤	٨٠
٦	٣	٩٦
٥	٣	١١٢
٤	٣	١١٨

٣- ٣ الطول الحرج لميل الطريق

بالإضافة إلى الحد الأقصى المسموح به للانحدار فإن هناك طولاً حرجاً للانحدار يجب أن يؤخذ في الاعتبار عند التصميم، وهو أقصى طول على انحدار تستطيع عربات النقل صعوده والبقاء عليه دون أن يؤثر ذلك تأثيراً كبيراً على سرعتها ويكون التخفيض في السرعة في حدود ٢٥ كم/الساعة فقط من السرعة المتوسطة. ويعطي الجدول (٣- ٢) الأطوال الحرجة للمنحدرات التي تتناسب مع مقدار الانحدار حسب مواصفات هيئة آشتو (AASHTO).

جدول (٣ - ٢) قيم الأطوال الحرجة للمنحدرات حسب مواصفات هيئة آشتو (AASHTO).

الانحدار (%)	٢,٥	٣	٤	٥	٦	٧	٨
الطول (م)	٧٠٠	٤٧٥	٣٢٥	٢٥٠	٢٠٠	١٧٥	١٦٠

مثال:

احسب الطول الحرج لمنحدر مقداره ٥ %.

الحل:

الطول الحرج يساوي ٢٥٠ م، هذا يعني أن عربة النقل المحملة التي تصعد على انحدار بنسبة ٥٪ تستطيع البقاء على هذا الطريق لمسافة تصل إلى ٢٥٠ م دون أن تنخفض سرعتها أكثر من ٢٥ كم / الساعة.

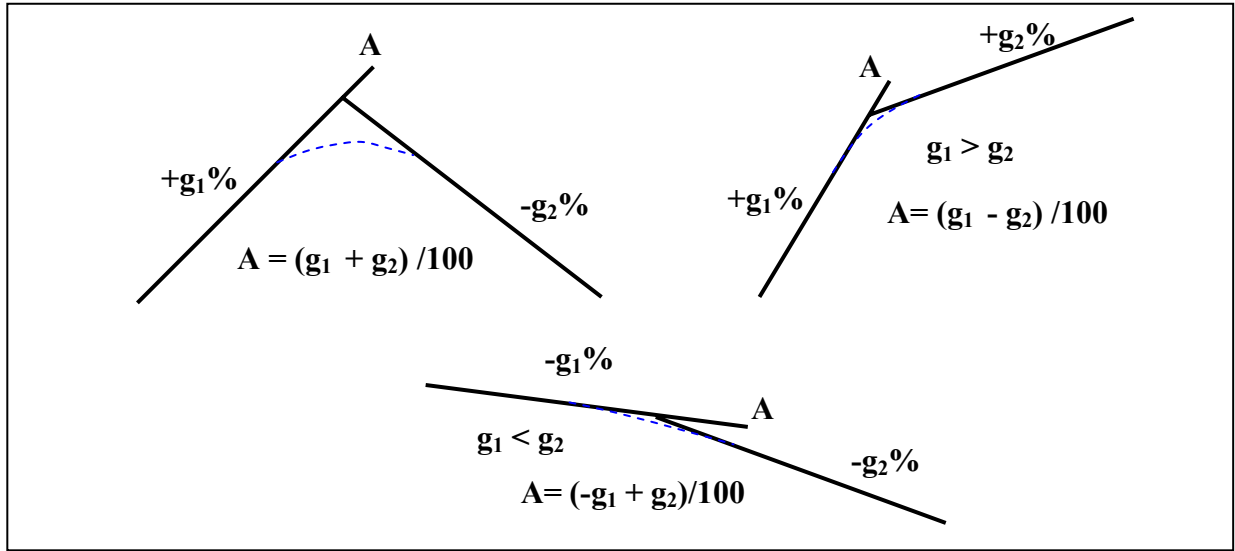
٣ - ٤ المنحنيات الرأسية

يحتوي خط منسوب الطريق على مجموعة خطوط مستقيمة ومتقاطعة (في المستوى الرأسي) يتم ربط كل خطين متقاطعين بمنحنى رأسي مناسب. وتكون هذه المنحنيات على شكل منحنيات استدارة علوية (أي منحنيات رأسية محدبة) كما هو موضح في الشكل (٣ - ٢)، أو منحنيات استدارة سفلية (أي منحنيات رأسية مقعرة) كما في الشكل (٣ - ٣).

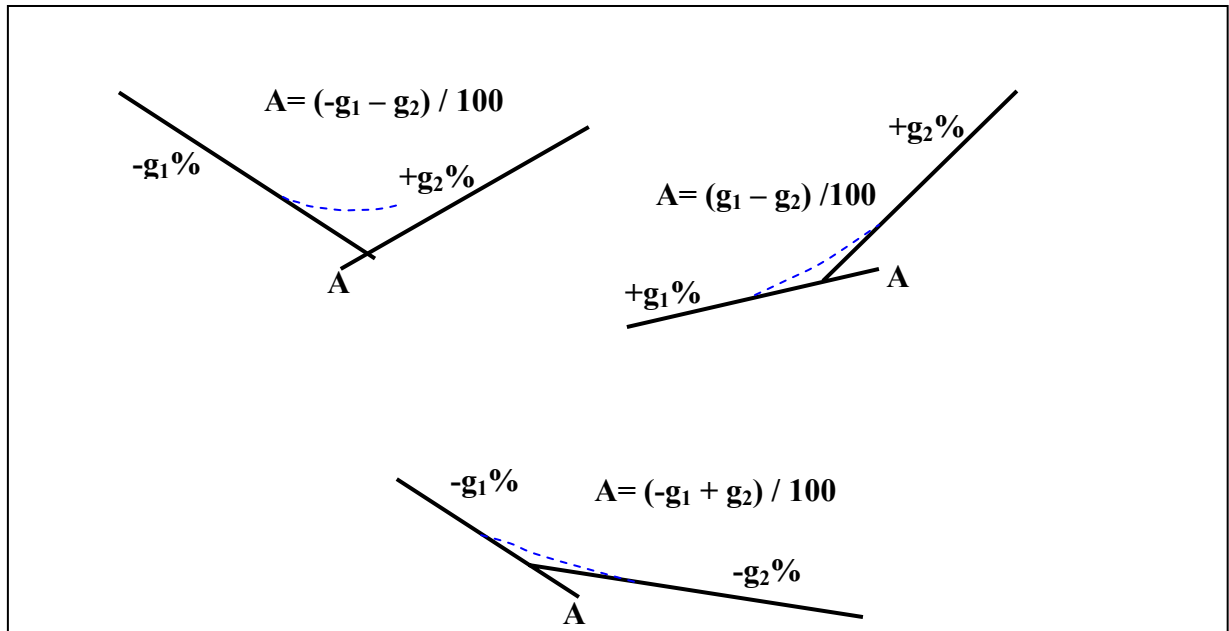
يجب أن تكون المنحنيات الرأسية سهلة الاستخدام وتهيئ تصميماً آمناً ومريحاً في التشغيل، ومقبولاً في الشكل، وكافياً لتصريف المياه مع مراعاة النواحي الاقتصادية. وأهم مطلب في المنحنيات الرأسية هو أن تعطينا مسافات رؤية كافية للسرعة التصميمية. ويستخدم القطع المكافئ في المنحنيات الرأسية لسهولة حساباته وبساطة توقيعه في الطبيعة واستيفائه للمطالب السالفة.

ولتعيين العناصر اللازمة لتصميم المنحنيات الرأسية، كما هو موضح في الشكل (٣ - ٤)، يجب توفير المعلومات التالية:

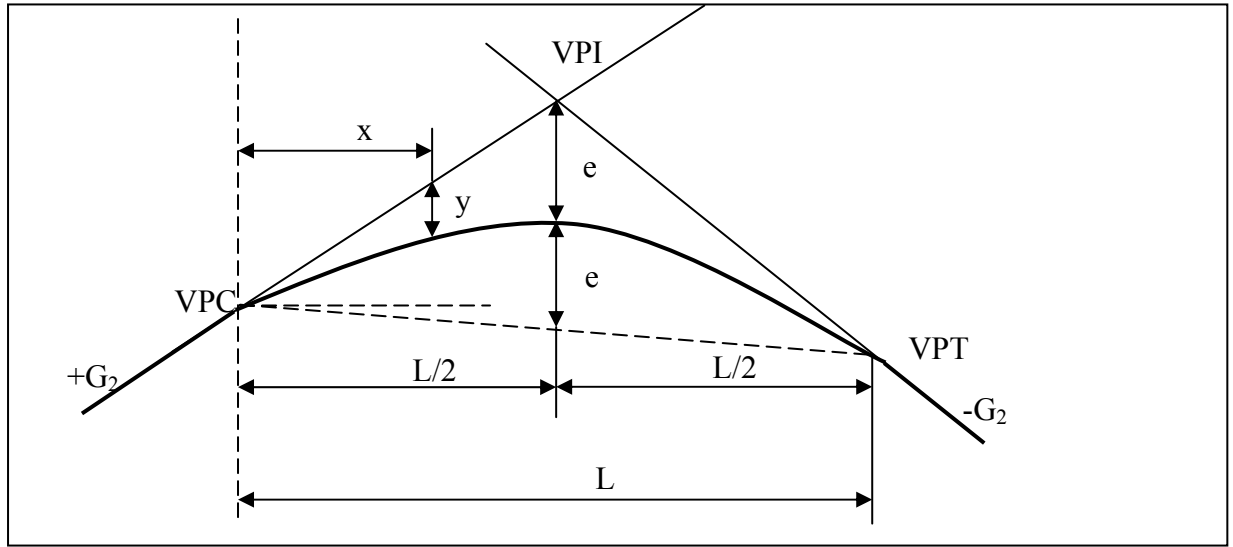
- ميول خطوط المناسيب الرأسية المتتالية.
- نقطة التقاطع لكل خطين متتاليين.
- طول المنحنى الرأسي وهو عبارة عن المسافة الأفقية بين نقطتي البداية والنهاية للمنحنى.



شكل (٣ - ٢): منحنيات استدارة علوية.



شكل (٣ - ٣): منحنيات استدارة سفلية.



شكل (٣-٤): العناصر التصميمية للمنحنيات الرأسية.

٣- ٥ مسافة الرؤية عند المنحنيات الرأسية

تكون المنحنيات الرأسية على نوعين إما منحنيات استدارة علوية (منحنيات قمة) أو منحنيات استدارة سفلية (منحنيات قعر) كما هو مبين في الشكل (٣-٢) والشكل (٣-٣). ويجب أن تصمم هذه المنحنيات بمسافة رؤية كافية تمكن السائق من الوقوف أو التجاوز براحة وأمان.

٣- ٥- ١ حساب طول منحنى الاستدارة العلوي لمسافة الرؤية للتوقف (SSD)

لإيجاد طول المنحنى الرأسي اللازم لتأمين مسافة رؤية كافية للتوقف نأخذ الحالات التالية:

١. الحالة الأولى: طول المنحنى أكبر من مسافة الرؤية $(SSD < L)$:

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

٢. الحالة الثانية: طول المنحنى أقل من مسافة الرؤية $(SSD > L)$:

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

حيث:

L : طول منحنى الاستدارة للتوقف (متر).

S : مسافة الرؤية للتوقف على منحنى الاستدارة العلوي (متر).

A : الفرق الجبري بين انحداري المماسين المحيطين بالمنحنى (بدون نسبة مئوية).

h_1 : ارتفاع عين السائق عن سطح الأرض وتؤخذ 1.22 متر.

h_2 : ارتفاع عائق عن سطح الأرض وتؤخذ 0.1 متر.

٣ - ٥ - ٢ حساب طول منحنى الاستدارة العلوي لمسافة التجاوز

لحساب طول منحنى الاستدارة العلوي لمسافة التجاوز نستخدم نفس العلاقات السابقة الخاصة بمسافة الرؤية للتوقف مع أخذ ارتفاع عين السائق عن سطح الأرض h_1 متساوية مع ارتفاع العائق عن سطح الأرض h_2 (أي $h_2 = h_1 = 1.22$ م).

وعليه يكون طول المنحنى:

١. في حالة طول المنحنى أكبر من مسافة الرؤية للتجاوز ($PSD < L$):

$$L = \frac{AS^2}{9.76}$$

٢. في حالة مسافة الرؤية للتجاوز أطول من طول المنحنى ($PSD > L$):

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

حيث:

L : طول منحنى الاستدارة للتوقف (متر).

S : مسافة الرؤية للتوقف على منحنى الاستدارة العلوي (متر).

A : الفرق الجبري بين انحداري المماسين المحيطين بالمنحنى (بدون نسبة مئوية).

٣ - ٥ - ٣ حساب طول منحنى الاستدارة السفلي

تحدد مسافة الرؤية ليلاً حسب مسافة الأضواء الأمامية للمركبة، بحيث تكون هذه الأخيرة كافية لتحقيق مسافة إيقاف فقط حيث لا يسمح بالتجاوز إطلاقاً على هذا النوع من المنحنيات. ويمكن حساب طول منحنى الاستدارة السفلي باستخدام المعادلة التالية:

$$L = 0.378 \left(AV^3 \right)^{\frac{1}{2}}$$

حيث:

L : طول منحنى الاستدارة السفلي (متر).

A : الفرق الجبري بين انحداري المماسين المحيطين بالمنحنى.

V : السرعة التصميمية (كم / ساعة).

مثال:

إذا كان منحنى استدارة علوي انحرافه يساوي 0.09. أوجد طول المنحنى للتوقف في الحالات التالية:

١. مسافة الرؤية = ١٠٠ متر أقل من طول المنحنى.

٢. مسافة الرؤية = ٥٠ متر أكبر من طول المنحنى.

الحل:

■ الحالة الأولى: طول المنحنى أطول من مسافة الرؤية ($SSD < L$):

$$A = 0.09 \quad S = 100 \text{ m} \quad h_1 = 1.22 \text{ m} \quad h_2 = 0.1 \text{ m}$$

$$L = \frac{AS^2}{\left(\sqrt{2h_1} + \sqrt{2h_2} \right)^2} = \frac{0.09 \times 100^2}{\left(\sqrt{2 \times 1.22} + \sqrt{2 \times 0.1} \right)^2} = 222.93 \text{ m}$$

■ الحالة الثانية طول المنحنى أقل من مسافة الرؤية ($SSD > L$):

$$A = 0.09 \quad S = 50 \text{ m} \quad h_1 = 1.22 \text{ m} \quad h_2 = 0.1 \text{ m}$$

$$L = 2S - \frac{\left(\sqrt{2h_1} + \sqrt{2h_2} \right)^2}{A} = 2 \times 50 - \frac{\left(\sqrt{2 \times 1.22} + \sqrt{2 \times 0.1} \right)^2}{0.09} = 55.14 \text{ m}$$

مثال:

منحنى استدارة علوي يربط انحدار صاعد بهميل (1/30) مع انحدار هابط بهميل (1/40). احسب طول

المنحنى الذي يسمح بمسافة تجاوز مقدارها ٤٤٠ متر في حالة طول المنحنى أكبر من مسافة التجاوز وفي

حالة طول المنحنى أقل من مسافة التجاوز.

الحل:

• الحالة الأولى: $PSD < L$

$$A = g_1 - g_2 = (+1/30) - (-1/40) = 0.058$$

$$L = \frac{AS^2}{9.76} = \frac{0.058 \times 440^2}{9.76} = 1150.49 m$$

• الحالة الثانية: $PSD > L$

$$L = 2S - \frac{9.76}{A} = 2 \times 440 - \frac{9.76}{0.058} = 711.72 m$$

مثال:

منحنى استدارة سفلي تكون نتيجة لانحدار هابط بميل (1/20) ولآخر صاعد بميل (1/25). أوجد طول المنحنى إذا كانت السرعة التصميمية ٩٠ كم / ساعة.

الحل:

$$A = g_1 - g_2 = (-1/20) - (+1/25) = 0.09$$

$$L = 0.378 \left(AV^3 \right)^{\frac{1}{2}} = 0.378 \left(0.09 \times 90^3 \right)^{\frac{1}{2}} = 96.82 m$$

٣- ٦ معايير عامة على التخطيط الرأسي للطريق

هناك عدة معايير عامة يجب مراعاتها أثناء التخطيط الرأسي وهي:

١. يجب أن يكون الهدف هو الحصول على منسوب تصميمي طولي سهل ذي تغييرات تدريجية تتمشى مع نوع الطريق ودرجته وكذا طبيعة الأرض.
٢. يجب اجتناب التخطيط الرأسي المتموج أو ذي الانخفاضات المحجوبة.
٣. يجب تجنب الانحدارات الشديدة في جميع الحالات.
٤. ألا يتجاوز انحدار الخطوط الحد الأقصى المسموح به.
٥. يجب مراعاة الطول الحرج للانحدارات.

٦. يجب مراعاة مسافات الرؤية اللازمة.

٧. يجب مراعاة التوازن بين حجم الحفر وحجم الردم للتربة.

٨. لا يقل انحدار الخطوط عن ٠,٥ ٪ لتصريف المياه.

٩. عند وجود تقاطعات مستوية في أجزاء من الطرق ذات انحدارين متوسط وشديد فيحسن تخفيض الانحدار خلال التقاطع.

٣- ٧ التنسيق بين التخطيط الأفقي والتخطيط الرأسي

يجب أن يقوم المصمم بالتوفيق بين التصميم الأفقي والتصميم الرأسي ويسعى إلى إحداث تجانس بينها كي يتحصل على طريق آمن وغير مشوه. ولتحقيق ذلك لا بد من اتباع الأسس التالية:

١. يفضل أن يكون طول المنحنى الأفقي أكبر من طول المنحنى الرأسي في نفس المنطقة.

٢. يجب أن تكون المنحنيات الأفقية متوازنة مع الانحدارات الطولية، حيث إن التخطيط الأفقي المستقيم أو المنحنيات الأفقية المنبسطة مجتمعة مع انحدارات طولية حادة أو طويلة، وكذا عمل انحناء حاد للاحتفاظ بانحدار منبسط، كلاهما تصميم رديء.

٣. تجنب التداخل بين المنحنى الأفقي والمنحنى الرأسي.

٤. تجنب إدخال منحنى أفقي حاد قرب منتصف منحنى رأسي سفلي.

٥. تجنب إدخال منحنى أفقي حاد قرب قمة منحنى رأسي علوي.

٦. تخفيض الانحدار عند التقاطعات.

٧. في حالة وجود منحنيات أفقية أو رأسية عند تقاطع يجب التقليل من حدة هذه المنحنيات.

أسئلة :

- (١) عرف التصميم الرأسي للطريق؟
- (٢) عرف الحد الأقصى للميل الطولي للطريق؟
- (٣) عرف الطول الحرج لميل الطريق ثم احسب الطول الحرج لمنحدر مقداره ٧ ٪
- (٤) عدد أنواع المنحنيات الرأسية؟
- (٥) اذكر عناصر المنحنى الرأسي؟
- (٦) ما هي الاعتبارات التي يجب أخذها عند تصميم المنحنيات الرأسية؟
- (٧) عرف مسافة الرؤية عند المنحنيات الرأسية؟
- (٨) إذا كان منحنى استدارة علوي مقدار انحرافه يساوي ٠,٠٣ ومسافة الرؤية المطلوبة هي ١٥٠ متر. أوجد طول المنحنى للتوقف في حالة مسافة أقل من طول المنحنى.
- (٩) منحنى استدارة علوي يربط انحداراً صاعداً بميل ٤ ٪ مع انحدار هابط بميل ٦ ٪. احسب طول المنحنى الذي يسمح بمسافة تجاوز مقدارها ٣٨٠ متر في حالة طول المنحنى أكبر من مسافة التجاوز وفي حالة طول المنحنى أقل من مسافة التجاوز؟
- (١٠) منحنى استدارة سفلي تكون نتيجة لانحدار هابط بميل ٣ ٪ ولآخر صاعد بميل ٥ ٪. أوجد طول المنحنى إذا كانت السرعة التصميمية ١٠٠ كم / ساعة؟