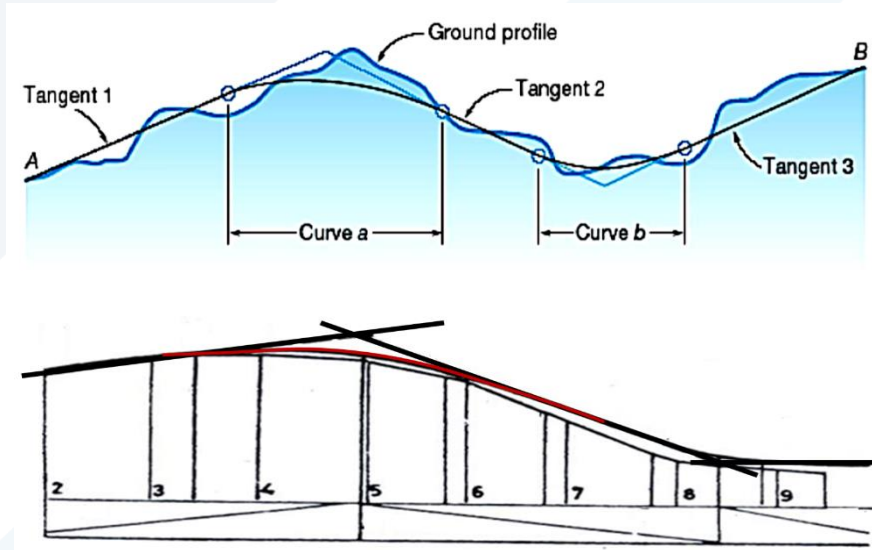


التخطيط الشاقولي للطريق

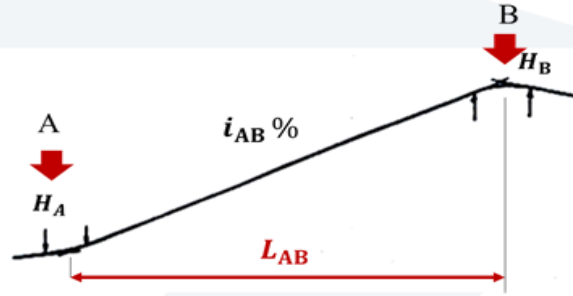
التخطيط الرأسى أو الشاقولي للطريق، هو وضع مسارات رأسية عبارة عن خطوط بميول معينة يتغير انحدارها ليكون هناك صعود وهبوط، كما تتقاطع مع بعضها في نقاط تقاطع تحدد خطوط التصميم الرأسى، ليتم تصميم منحنيات رأسية محدبة ومقعرة فيما بينها، ويعتمد تحديد الميول الطولية لهذه الخطوط ونوع وأطوال المنحنيات الرأسية بصفة أساسية على اعتبارات وافتراضات، تتعلق بخصائص كل من السائق والمركبة والطريق، وكذلك على متطلبات مسافات الرؤية اللازمة للتوقف، إذ تؤثر المنحنيات الرأسية على مدى ما يراه السائق أمامه أو خلفه، ويزداد هذا التأثير إذا اجتمع تأثير المنحنى الرأسى مع المنحنى الأفقى، أما ميل المنحدرات الطولية فإنه يؤثر على سرعة المركبة وعلى معدل التسارع أو التباطؤ، بالإضافة إلى تأثيره على راحة العربة وحركتها.



التخطيط الشاقولي للطريق

يتكون المضلع الشاقولي للطريق من استقامات شاقولية تشكل فيما بينها زاوية، يتم التغلب على انكساراتها، بتصميم منعطفات شاقولية في نقاط انكسار هذا المضلع، وعند اختيار المضلع الشاقولي للطريق في المناطق السهلية، قد يحدث تطابق شبه تام بين الأرض الطبيعية وخط المشروع للطريق، ويكون المسار الأقصر هو المستقيم الذي يصل بين النقطة A ذات الارتفاع H_A مع النقطة B ذات الارتفاع H_B من الأرض الطبيعية، ويكون المسقط الأفقى لهذا المستقيم هو L_{AB} ، أما ميل هذا المستقيم فهو:

$$i_{AB} \% = \frac{H_B - H_A}{L_{AB}} = \frac{H_{AB}}{L_{AB}}$$



وعندما نبدأ بدراسة مشروع طريق ما، يجب أن نحدد مسبقاً الميل الأعظمي الذي يمكن أن نعطيه للطريق في المقطع الطولي، وتحول هذا الميل يتبع إلى عناصر عديدة منها:

- 1- تكاليف المشروع التي تتزايد كلما كان الميل أكبر
 - 2- سهولة السير التي تتحسن عندما نخفف الميل
 - 3- شكل الأرض متعرجة أم مسطحة
 - 4- تربة الطريق ومقاومتها
 - 5- طبيعة القوافل والسيارات ثقيلة أم خفيفة
- في الطرقات السريعة يجب أن تكون الميول أقل من الميول في الطرقات العادية،
والميول العظمى المسموحة على الطرق هي:

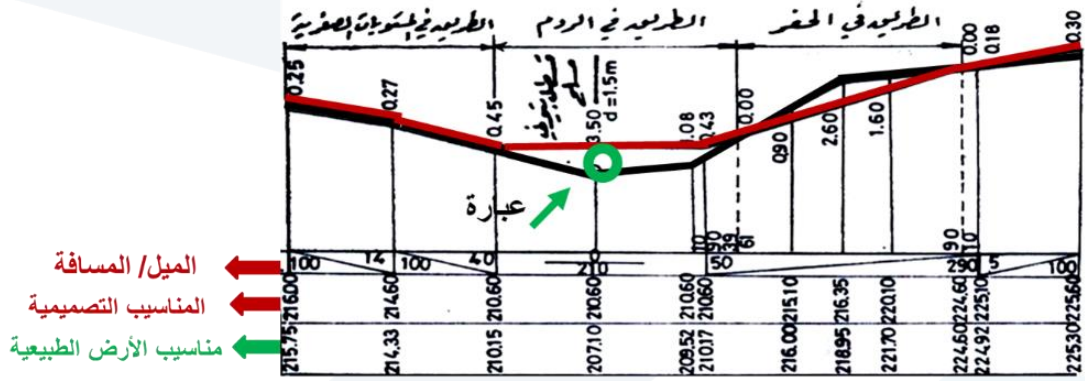
- الطرق السريعة من 3- 4%
- الطرق الرئيسية في المناطق السهلية من 4- 5%
- الطرق الرئيسية في الأراضي المتعرجة قليلاً من 5- 6%
- الطرق الرئيسية في المناطق الجبلية حتى 8%

عند البدء بتصميم المنحني الشاقولي في المقطع الطولي يجب التحقق مما يلي:

- 1- مسافة الرؤية المناسبة، المتعلقة بالسلامة والقيادة المريحة.
- 2- تصريف جيد للمياه المتجمعة من سقوط الأمطار.
- 3- مناظر مريحة للنظر.

تعريف المقطع الطولي للطريق: هو المخطط الناجم عن إسقاط محور الطريق المنشور على مستوى

شاقولي مع المحافظة على المناسيب، حيث يحدد بشكل أساسي قيم الميول الطولية لمختلف أجزاء الطريق، فعندما تزيد الميول الطولية لسطوح منحدرات الأرض الطبيعية عند محور الطريق عن الميول المناسبة والمسموح بها لحركة العربات، نلجأ إلى اختيار ميول طولية للطريق أقل من ميول سطح الأرض الطبيعية، وهذا ما ينتج عنه حفر جزء من التربة وردم جزء آخر، وتختلف مناسيب سطح الطريق، نتيجة تشكل الحفریات والردميات عن مناسيب الأرض الطبيعية، ويحدد فرق الارتفاع بينهما، ارتفاع الحفر أو الردم في كل نقطة من نقاط الطريق، كما هو مبين في الشكل التالي.

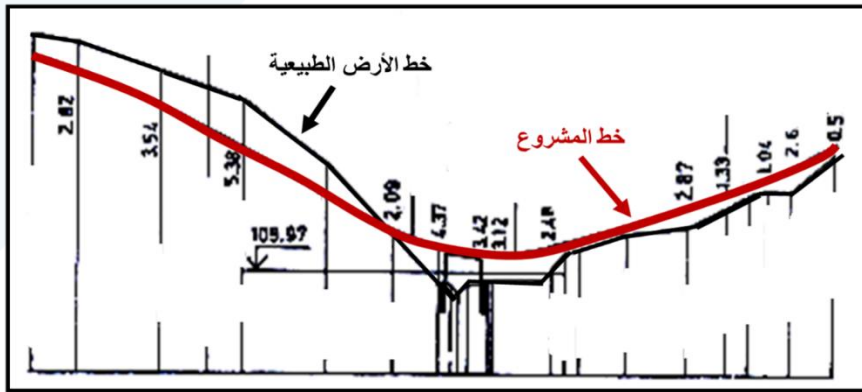


أما أهم العناصر التي تتحكم في المقطع الطولي فهي:

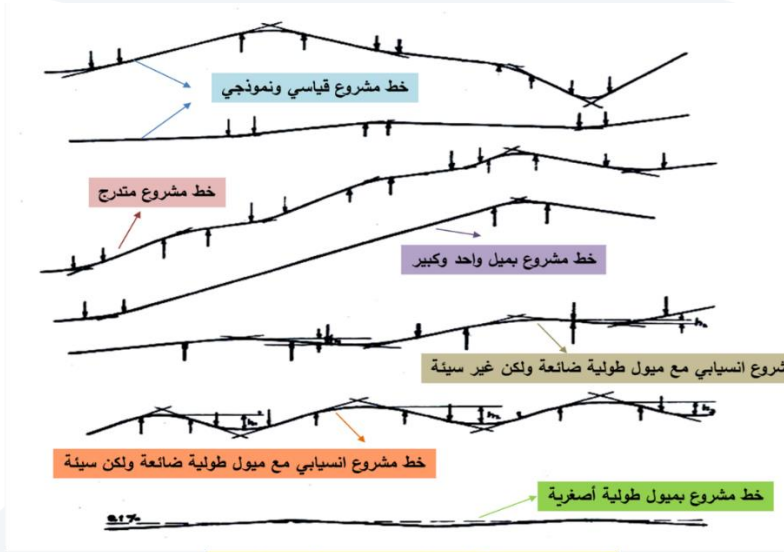
- 1- الأمان والتطور الاجتماعي والاقتصادي للمنطقة.
- 2- طبوغرافية الأرض (الميول ضمن القيم المسموحة).
- 3- صنف الطريق السريع (درجة أولى - ثانية..)، وبالتالي السرعة التصميمية.
- 4- المخطط الأفقي وتكاليف الإنشاء.

خط الأرض الطبيعية: هو الخط الذي يصل مناسيب الأرض الطبيعية في المقطع الطولي، ويرسم باللون الأسود.

خط المشروع: هو الخط التصميمي الذي يتوضع على طول الطريق في محور الجزء المعبد، والذي عليه تتخذ كافة العناصر الأفقية كالاستقامات والمنحنيات الأفقية، وهو يصل مناسيب سطح الطريق عند المحور بتحديد مناسيب المرور الإجبارية، وتصميم قيم الرفع اللازم لأسفل الغطاء الطرقي على الأجزاء المختلفة من الطريق، تبعاً لنوع التربة والشروط الهيدرولوجية، ومن ثم يتم تصميم خط المشروع بما يوافق الميول الطولية المسموح بها حسب درجة الطريق، ويرسم باللون الأحمر، ويكون أغلظ بمرتين من خط الأرض الطبيعية، وذلك لإبرازه على المخطط.

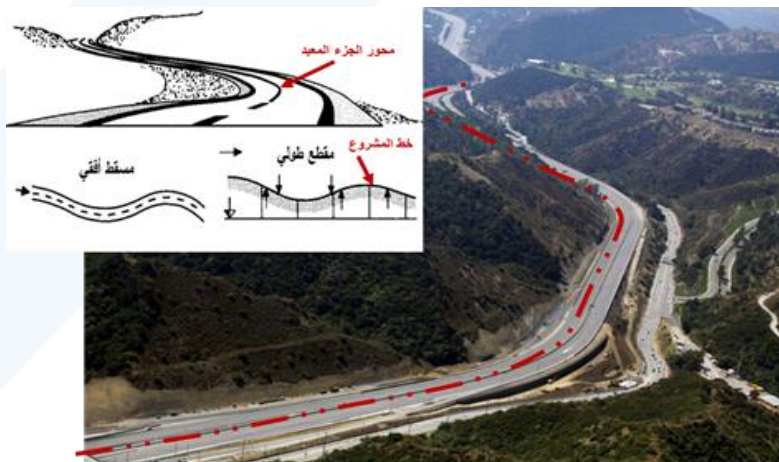


مقطع طولي في الطريق مبيناً فيه خط المشروع وخط الأرض الطبيعية



أشكال مختلفة لخط المشروع في الطريق

إذا كانت الميول الطولية متناوبة لمسافات قصيرة أي (ميول موجبة ومن بعدها ميول سالبة)، فإن هذه الحالة يعبر عنها بالميول الضائعة، حيث تضطر العربة عندها إلى كبح السرعة عند النزول وزيادة قدرة المحرك عند الصعود، مما ينتج عن ذلك هدر في الطاقة بشكل عام. ومن أجل الإقلال من الميول الضائعة نصل بين النقاط باستقامات ذات ميل أقل من الميل الأعظمي المسموح، ولكن قد تزيد عندها كميات الحفر والردم، لذلك لا بد من إجراء المقارنة بين الحلول واختيار الحل المناسب والأكثر اقتصادية.



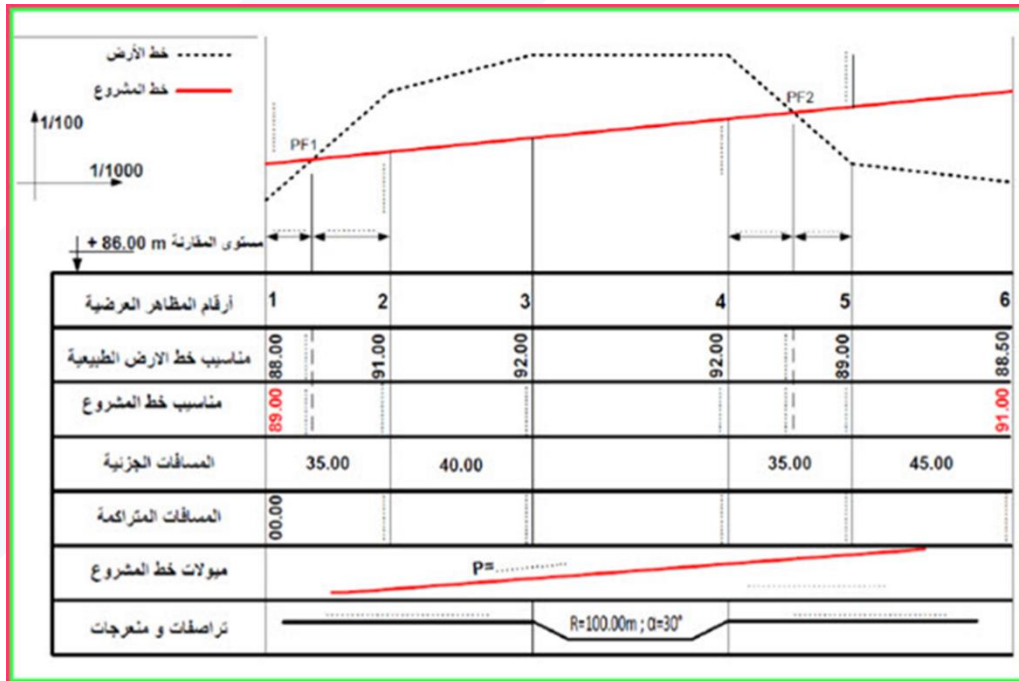
نحدد مناسيب الأرض الطبيعية على خط التسوية الذي يتقاطع مع محور الطريق في المسطح، وعند تصميم المقطع الطولي وأثناء وضع خط المشروع، يجب مراعاة ما يلي:

1- انسيابية المقطع الطولي للطريق والابتعاد قدر الإمكان عن المفاجآت غير المتوقعة.

- 2- التقييد بالقيم المسموحة للميول الطولية وتأمين رؤية كافية، تسمح بتحقيق سرعة مناسبة لحركة العربات.
- 3- تأمين الراحة في الحركة والأمان أثناء سير العربة ليلاً ونهاراً، وفي كافة الظروف والأحوال.
- 4- تصريف المياه عن الجسم الترابي للطريق.
- 5- تجنب الميل الضائع في المقطع الطولي للطريق على شكل زكزاك، مما يؤدي إلى جهد ضائع في عمل المحرك.
- 6- التركيز على جمالية الطريق وعلى تلاؤمه مع الطبيعة المجاورة، والحرص على انسجام العناصر الأفقية مع العناصر الشاقولية.

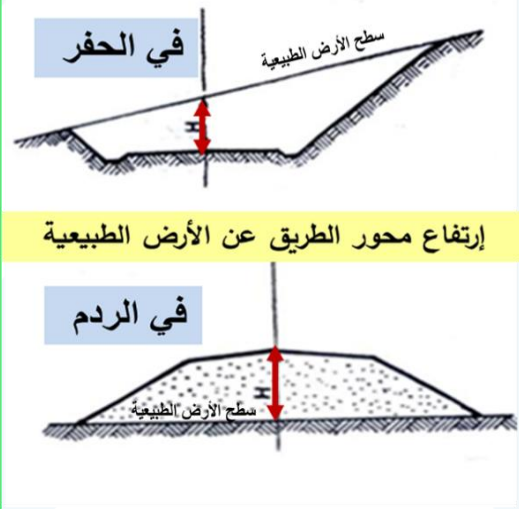
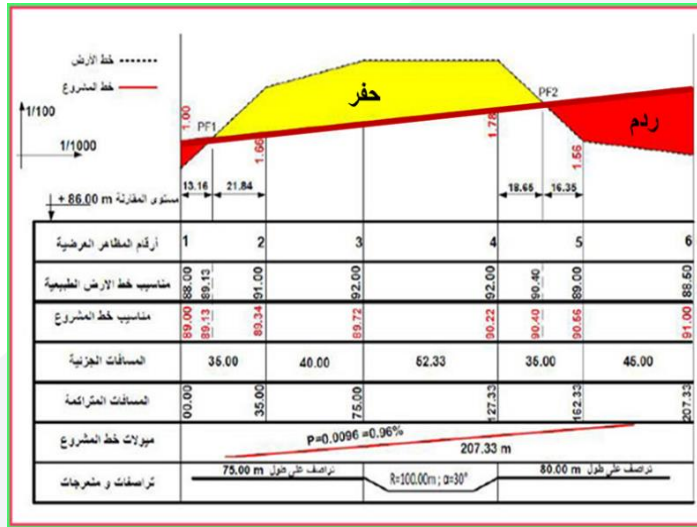
إن عناصر التصميم الأساسية التي تمثل في المقطع الطولي هي: الميل الطولي، نصف قطر الانحناء، ويتضمن المقطع الطولي أيضاً المعطيات التالية:

أوتاد المسقط الأفقي على محور الفواصل OX، إحداثيات خط المشروع والارض الطبيعية عند كل مقطع عرضي، وعند كل نقطة انعطاف، وعند جميع التقاطعات والطرق المحورية والتحويلات ومعايير المياه..... الخ. ولكي نستطيع تمثيل المقطع الطولي بشكل واضح، يتم تكبير الأشكال على محور الترتيب OY عادةً بنسبة 1/10 مقارنةً بمحور الفواصل OX، والمقياس في المسقط الأفقي عادةً يكون 1/1000، إلا إذا كانت المنطقة صغيرة، أي في المقطع الطولي يكون لدينا مقياسان أفقي 1/1000 وشاقولي مثلاً 1/100، أي الفرق بينهما 10 أضعاف، ولذلك في تصميم الطريق، يظهر بشكل واضح الميول وفروق الارتفاعات.



تشكل الحفریات والردمات

عندما تزيد الميل الطولية لسطوح منحدرات الأرض الطبيعية عند محور الطريق عن الميل المناسبة والمسموح بها لحركة العربات، نلجأ إلى اختيار ميل طولية للطريق مناسبة وأقل من ميل سطح الأرض الطبيعية، مما ينتج عن ذلك كميات من الحفر والرمد مختلفة، وبالتالي يجب أن نوازن بين حجوم الحفریات والردمات في المناطق المتجاورة.



وبما أن حجوم الحفریات تكون عادةً أكبر منها في الردمات، من أجل مساحات تصميمية متساوية على المقطع الطولي، لذلك فإنه يجب اختيار خط المشروع بحيث تكون مساحة أجزاء الحفر أقل من مساحة أجزاء الرمد على المقطع الطولي بمقدار (25-30) %، ويفضل عدم استخدام استقامات طويلة بميل ثابت، حتى لا تتطلب أعمال ترابية إضافية، ويفضل في هذه الحالات استخدام منحنيات شاقولية مغلقة، ذات أنصاف أقطار كبيرة جداً.

الميل الطولي:

للتغلب على تفاوت ارتفاعات المناطق الموجودة، وللتغلب على ارتفاعات العناصر الإيجابية (كالجسور مثلاً)، يجب إمالة خطوط الطريق وفق مواصفات قياسية، حيث تتضمن النورمات النظامية الميل الطولية الأعظمية وقيمها الدنيا بدلالة السرعة التصميمية.

وبشكل عام تصمم الميل الطولية بقيم قليلة بحيث تؤمن المتطلبات التالية:

- السلامة المرورية
- توفير في تكاليف التشغيل والتوفير في الطاقة
- تقليل الانبعاثات الضارة

- تحسين نوعية المرور الطرقي، فكلما كان الميل أقل تكون نوعية المرور أفضل.

يعتبر تحديد الميول الطولية من الأمور الهامة عند تصميم مسار الطريق، ومن الاعتبارات التي يجب الانتباه لها عند التصميم، حيث يتعلق تحديد الميل المناسب للطريق بصنف الطريق وبشكل الأرض الطبيعية، ففي الأراضي السهلية مثلاً يتحكم تصريف المياه السطحية من فوق الطريق بتحديد الميول، وفي المناطق الجبلية قد يتجاوز الميل الطولي الميول المسموحة، فطبيعة الأرض في الغالب هي التي تتحكم بشكل الميل الطولي.

إن تحديد الميل الطولي للطريق يتبع عدة عوامل وهي:

- سهولة القيادة عندما نقلل من الميل ونجعله أقل من الميل الأعظمي.
- شكل الأرض (هل هي متعرجة أو سطحية).
- تربة الطريق ومقاومتها، والتي تؤثر من الناحية الاقتصادية.
- طبيعة العربات على الطريق ونوع السيارة سياحية أو شاحنات.
- تكاليف المشروع والعامل الاقتصادي.

الميول الطولية الأعظمية والأصغرية

ترتبط قيم الميول الطولية الأعظمية المسموحة بدرجة الطريق وبطبيعة المنطقة المحيطة بهذا الطريق، ولكن تتفق معظم المعايير العالمية على أن تكون هذه القيمة بين (10 - 6%)، أما الميول الطولية الأصغرية المسموحة فهي توافق 0.5% في مناطق الردم و1% في مناطق الحفر، وذلك بما يتلاءم مع إمكانية تصريف المياه عن سطح الطريق. يفضل ألا يتجاوز الميل الطولي 2% وذلك في حالة المسافات الطويلة للطرق، وذلك للتقليل من أخطار الحوادث المحتمل أن تكون عالية، ولتجنب تخفيض سرعات المركبات الثقيلة. ويفضل ألا يقل الميل الطولي الأصغري عن 0.7% في حال كون الميل العرضي أقل من 2.5%، أي لا يجوز تصميم الطريق أفقياً تماماً، حيث أن تصريف المياه يتم طويلاً وعرضياً، أي يكون سير المياه بزوايا معينة وليست عمودية على سطح الأرض.

يجب أن لا يقل الميل الطولي في مناطق الجسور عن 0.5%، ويجب أن يكون هناك اختلاف بين الميل الطولي والميل العرضي بمقدار لا يقل عن 0.2% ويفضل 0.5%.

الميل الطولي - الميل العرضي $\leq 0.2\%$ (والأفضل 0.5%).

الميول الطولية القصوى والعظمى المرغوبة للميل الطولي حسب صنف الطريق

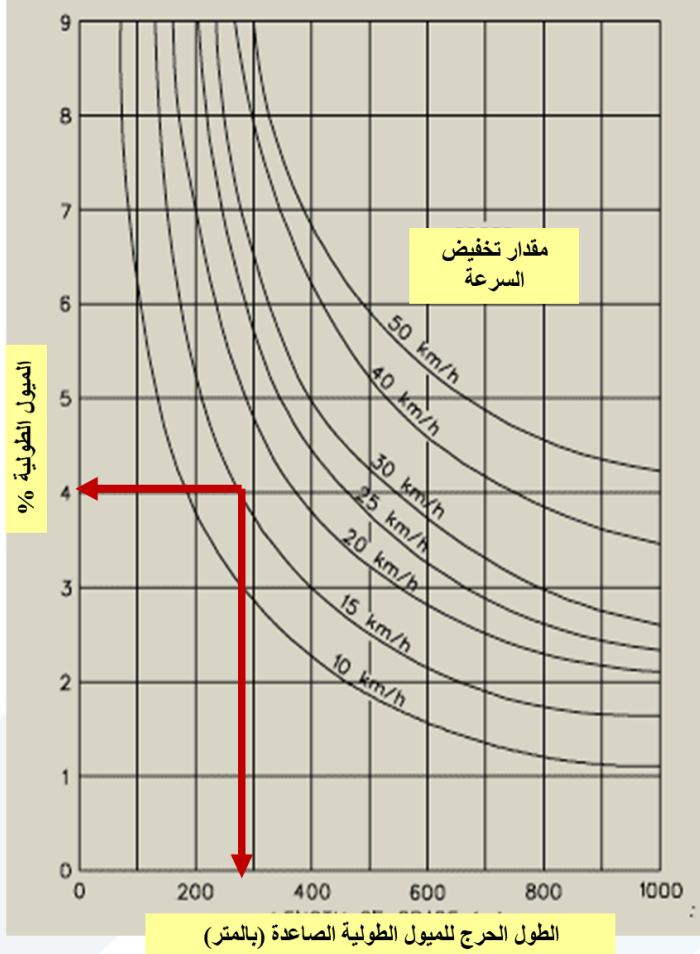
السرعة التصميمية Km/h	صنف الطريق									
	الطرق السريعة		طرق الدرجة الأولى		طرق الدرجة الثانية والثالثة				طرق الدرجة الرابعة	
	المرغوب	المطلق	المرغوب	المطلق	المرغوب	المطلق	المرغوب	المطلق	المرغوب	المطلق
40	-	-	-	-					8	15
50	-	-	-	-	7	8	7	10	7	12
60	-	-	-	-	6	8	7	9	6	10
70	-	-	4.5	6	5	6	6	8	5.5	9
80	4	5	4	5	4	6	5	7	5	8
90	3.5	5	3.5	5	3.5	5	4	6.5	5	7
100	3	5	3	5	3	3	3	6	-	-
110	2.5	4.5	2.5	4.5					-	-
120	2.5	4	2.5	4					-	-
130	2	3.5	-	-					-	-
140	2	3	-	-					-	-

الأطوال الحرجة للميول الطولية

يتوجب على المصمم عند اختيار الميول الشديدة أن يأخذ الطول الحرج للميول بعين الاعتبار، والطول الحرج هو أقصى طول للميل الصاعد في الطريق الذي تستطيع الشاحنات محملة الاستمرار في السير عليه، بدون تخفيض سرعتها انخفاضاً كبيراً يؤثر على السلامة أو على سعة الطريق بشكل غير مقبول، (بحيث لا يتجاوز انخفاض السرعة 15 كيلومتر/سا)، ولتحديد الطول الحرج للميول الطولية، فإنه تم اختيار الشاحنة الثقيلة والتي يشار إليها هنا بنسبة الوزن إلى الاستطاعة، والتي تعادل (180 كغ/ كيلواط) كعربة نموذجية، وإذا تم تجاوز الطول الحرج في التصميم، فإنه يجب على المصمم، إما أن يعطي ميول منبسطة، أو أن يضع حارات خاصة بصعود الشاحنات (حارات التسلق).

الأطوال الحرجة للميول الطولية المختلفة

الميل الطولي %	الطول الحرج بالمتر	الميل الطولي %	الطول الحرج بالمتر
3	400	6	170
4	280	7	150
5	210	8	135



مثال:

هل تم تجاوز الطول الحرج للميول الطولية في طريق جبلي بميل طولي صاعد 4% وبطول 350 متر في حال تخفيض السرعة 15%؟؟؟

إن الطول الحرج المطلوب للميل الطولي الصاعد 4% هو 280 متر و المقابل لمنحني تخفيض السرعة المعياري (15 كم/سا)، وبالتالي فإن الطول 350 متر يتجاوز الحدود الحرجة، أي يجب على المصمم إما أن يخفض الميول على كامل المسافة أو أن يخلق مناطق خفيفة الميل بعد الطول الحرج، أو أن يفكر في وضع حارات خاصة بصعود الشاحنات.

وعلى المصمم إذا زاد طول الميل عن الطول الحرج أن يأخذ بالاعتبار:

- تعديل الميول بحيث لا يزيد طول أي منها عن الطول الحرج.
- إضافة حارة صاعدة لاستيعاب الشاحنات التي ستقل سرعتها لأكثر من 15 كم/ساعة.

حارات الصعود الخاصة بالشاحنات (حارات التسلق):

إن الهدف الرئيسي لإنشائها هو عدم إعاقة المركبات المختلفة وتخفيض سرعتها، وكذلك تجنباً للحوادث المرورية في حال تجاوز المركبات للشاحنات، وتستخدم هذه الحارات عند توفر الشروط التالية:

- معدل تدفق المرور لكل أنواع المركبات المارة في الميل الصاعد يتجاوز 200 مركبة/سا.
- معدل تدفق المرور للشاحنات في الميل الصاعد يتجاوز 20 مركبة/سا.
- في إحدى الحالات التالية:

1. تجاوز الطول الحرج للحدود المسموحة عند منحني تخفيض السرعة 15 كم/سا.
2. عندما يحصل انخفاض في مستوى الخدمة (LOS) من درجة E or F
3. عندما يحصل انخفاض في مستوى الخدمة درجتين أو أكثر.
4. وفي حالات خاصة مثل وجود أسباب أخرى أهمها السلامة الطرقية، مثل نشوء حوادث مرورية على الميل الصاعد، بسبب السرعة المنخفضة للشاحنات وتجاوزها من المركبات الأخرى، أو عندما يلاحظ انخفاض السرعة التشغيلية إلى أقل من 50 كم/سا على الطرق السريعة الحرة (4 حارات).

