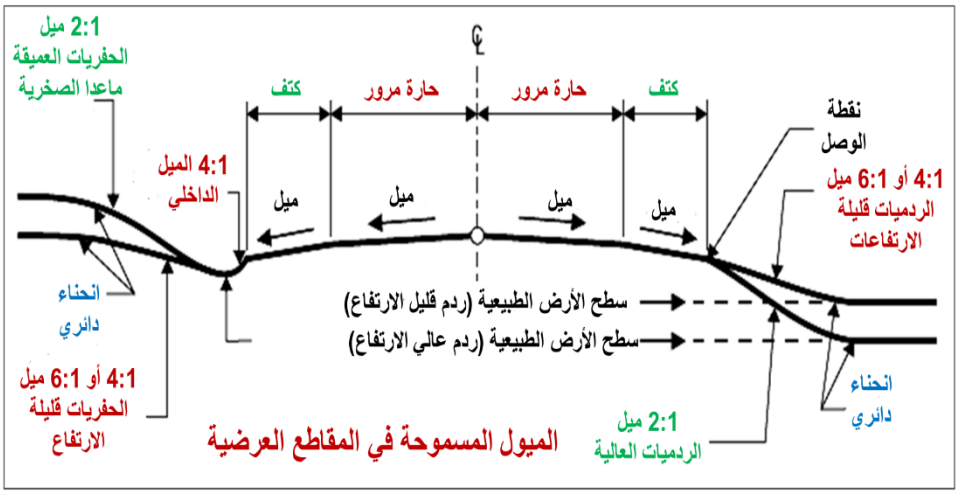
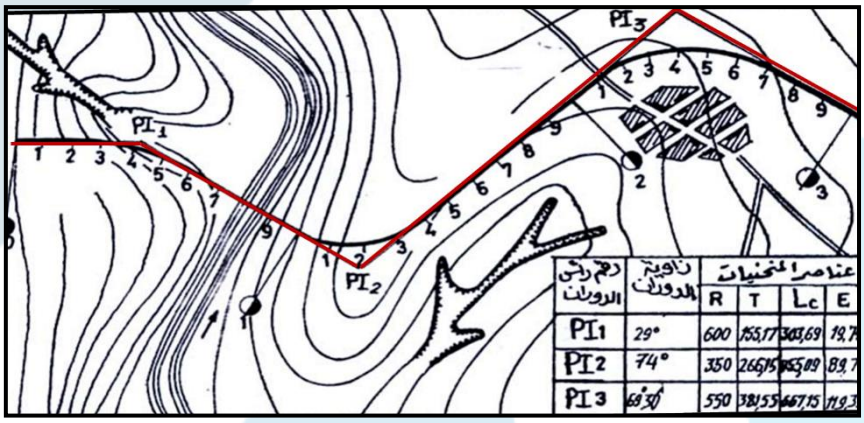
المقطع العرضي للطريق

تعريف المقطع العرضي:

هو مخطط مرسوم بمقياس مصغر للشكل الناتج عن قطع الطريق بمستوي شاقولي عمودي على محوره، وهو المقطع الهندسي الذي يبين عناصر وأبعاد وميول الطريق والمنحدرات والخنادق في المقطع المتعامد مع اتجاه حركة السير، وتؤخذ المقاطع العرضية عادةً كمقاطع نموذجية توضيحية أو كمقاطع تنفيـــــذية كل 25m-50m عند الأوتاد الطرقية، وعند نقاط التغير سواء في الميول أوفي شكل الطريق، وترسم كمخطط مرسوم بمقياس مصغر.



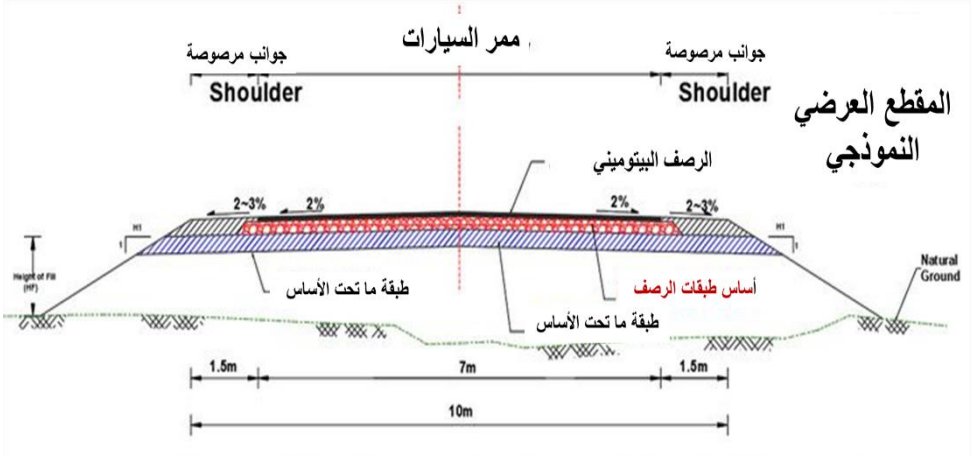
المقطع العرضي النموذجي للطريق خارج المدن



شكل يوضح ترقيم الأوتاد على محور الطريق في المسقط الأفقي

تمشي العربات على شريحة من سطح الطريق منشأة من مواد ذات مقاومة عالية وتسمى الغطاء، أما القميص فهو السطح العلوي له، ويحيط بالغطاء من كل طرف الأكتاف الجانبية (البانكيت) المدعمة والمقواة إما بالتعبيد أو بشريحة تقوية بيتونية طرفية لزيادة مقاومتها.

يسمى الخط الناتج عن التقاء الأكتاف الجانبية للطريق مع منحدرات الردم أو مع المنحدرات الداخلية لخنادق التصريف المائي بطرف الطريق، وتسمى المسافة ما بين طرفي الطريق عند الأعلى عرض الطريق (الغطاء + الأكتاف).



المقطع العرضي للطريق مع طبقات الرصف

العوامل المؤثرة على شكل وتصميم المقاطع العرضية للطرق:

1- صنف الطريق، وله تأثير في اختيار المقطع بشكل عام وفي تحديد الحرم المطلوب للطريق.

2- السرعة التصميمية والتي تؤثر بشكل رئيسي على الميول العرضي للطريق، وعلى عرض الحرم اللازم لتحقيق الرؤية الجانبية الآمنة.

3- متطلبات التصريف السريع للمياه، خاصةً المياه المطرية بعيداً عن قارعة الطريق والأكتاف الجانبية للطريق.

4- يجب أن يكون العرض المخصص لمرور المركبات كافياً لاستيعاب حجوم المرور الحالية خلال العمر التصميمي للطريق، وبناءً عليه يتحدد عـــــدد الحارات اللازمة لتصريف التدفقات المرورية عليه، وبالتالي عرض القارعة.

5- أن يكون ذا سطح خشن وأن تكون ميوله العرضية متناسبة مع المواد المستخدمة في سطح الطريق.

6- أن تكون هنالك استمرارية في شكل المقطع العرضي حتى لا يتعرض السائق لتغيرات مفاجئة.

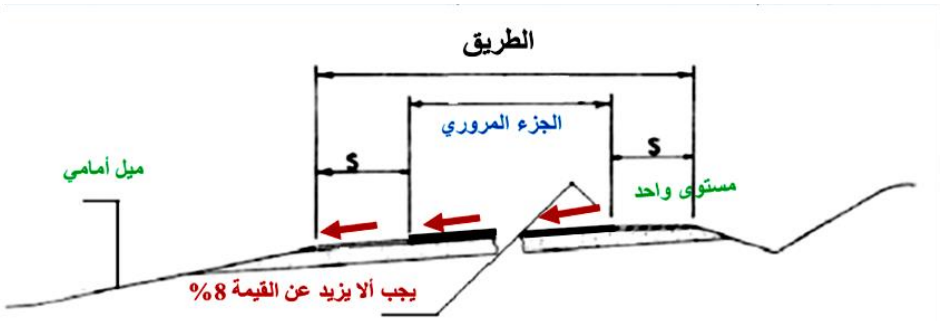
7- الميول الطولية الشديدة، والتي تتطلب وجود حارات إضافية لصعود الشاحنات.

8- مواقع التقاطع مع منشآت الجسور وتغير المقطع تبعاً لذلك.

9- وجود منحنيات أفقية وتأثيرها في الميول العرضية (التعلية الإضافية)، وفي التعريض الإضافي اللازم في المنعطفات الطرقية.

11- حالة مرور المقطع في مناطق حفر أو ردم، ويتحدد بها مقدار ميل منحدرات الردم أو قطاعات الحفر وأماكن وضع المصاطب، كذلك يتحدد بها مواقع أسيجة الحماية وأجهزة الأمان.

12- ألا تكون على المقطع العرضي أية عوائق صناعية أو طبيعية تمنع الرؤية المطلوبة، وبما يتناسب مع السرعة التصميمية.



شكل توضيحي للمقطع العرضي مع التعلية الإضافية عند المنعطفات

عناصر المقطع العرضي:

1- الجزء المزفت (القارعة أو الشوصة):Travel Lanes

هو الجزء المعبد بالاسفلت أو بمواد أخرى والمخصص لسير المركبات وفي بعض الحالات للدراجات، ويتألف من حارة أو أكثر، ويحسب عرض القارعة بعدد الحارات المرورية مضافاً إليها (0.6م) في حال استخدام الأكتاف الجانبية، ويضاف (1م) في حال استخدام الأرصفة أو الأطاريف:

عرض القارعة =عدد الحارات *عرض الحارة +0.6 : (في حال الأكتاف الجانبية)

عرض القارعة =عدد الحارات *عرض الحارة +1 : (في حال الأرصفة أو الأطاريف)

عرض الحارة المرورية (متر)	الصنف التصميمي للطريق
3.25	الدرجة الرابعة
3.50	الدرجة الثانية والثالثة
3.65	الدرجة الأولى
3.75	الطرق السريعة

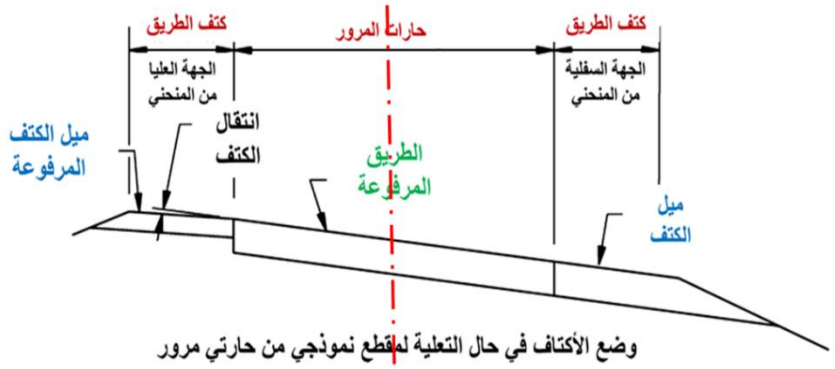
وبالنسبة للميل العرضي الخاص بالجزء المزفت (الشوصة)، تستخدم الميول العرضية باتجاهين لتحقيق التصريف السريع للمياه عن سطح الطريق باتجاه خنادق التصريف عندما يكون الطريق مستقيماً، أما في حالة المنعطفات فيكون للميل العرضي (باتجاه واحد) مهمتان: الأولى تصريف المياه والثانية تحقيق التعلية الإضافية لمقاومة مركبة القوى النابذة.

الميول العرضية الطبيعية في الاستقامة فإن قيمتها تتراوح بين (1.5%–3.5%)، ويتبع الميل لنوعية المادة المستخدمة في الطبقة السطحية للطريق وللظروف الجوية في المنطقة التي يمر فيها الطريق كالتالي:

- **سطح الطريق من البيتون الإسفلتي (زفت) : (1.5%–2%)،**
- **سطح الطريق معبد بالمواد الحصوية المكسرة :(2.5%–3%)،**
- **سطح الطريق مبلط بالحجارة (بلوكاج حجري):–3.5% (2.5%).**

في المنعطفات يكون للميل العرضي مهمتان :

- ✓ **الأولى تصريف المياه**
- ✓ **الثانية تحقيق التعلية الإضافية لمقاومة مركبة القوى النابذة.**



وضع الأكتاف في حال التعلية لمقطع نموذجي من حارتي مرور

2- الكتف الجانبي (البانكيت):Shoulders

هو الجزء المزفت الملاصق للجزء المزفت، ويكون مرصوف بنفس طبقات الرصف الحصوية (الأساس وما تحت الأساس)، ويكون أحياناً معبداً ولكن بلون مغاير للون القارعة أو بنفس اللون مع فصله بخط دهان مستمر (خط القيادة والتوجيه) بعرض **0.25 متر أو 0.5 متر**، الذي يتميز عنهما بلونه الأبيض أو الأصفر.

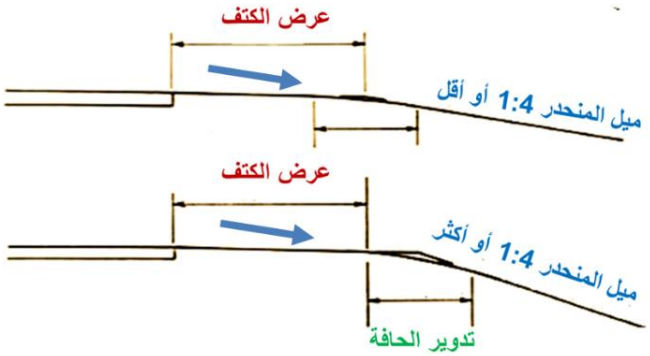
يتراوح عرض البانكيت المعبد بين **1.25 متر** و**3.25 متر**، حيث يتبع لعرض الطريق ولدرجته ولتضاريس الأرض الطبيعية، كما يتراوح ميل البانكيت بين **(2%-8%)**، ويفضل ألا يقل عن **(4%)** في الاستقامات، أما في المنعطفات فيتأثر بالميل العرضي للتعلية الإضافية، بحيث لا يتجاوز الفارق الجبري للميل العرضي بين القارعة والميل العرضي للكتف **(10%)** في أي حال من الأحوال.

أما البانكيت غير المعبد فهو عبارة عن شريط من الأرض مؤلف من مواد ترابية مرصوصة جيداً، مهمتها حماية الشوصة وحماية البانكيت المعبد إن وجد، وتتوضع عليه كافة الشواخص الطرقية وتجهيزات الأمان الطرقي، وهو بعرض **0.5إلى 0.75 متر**، ويزيد عرضه ليصبح من **1 إلى 1.5متر** لتوضع الإشارات وحواجز الأمان عليه.

ميزات الأكتاف أو البانكيت:

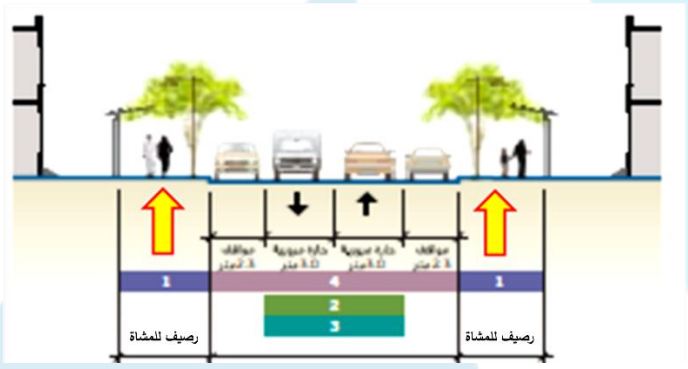
1 – تهيئ الأكتاف مكاناً لوقوف السيارات المعطلة للحالات الطارئة، وذلك لأن وقوف السيارات على الجزء المرصوف من الطريق قد يكون سبباً قوياً لوقوع الحوادث.
2 - تمكّن السائق من الوقوف لفحص خريطة حركته واتجاهاته على الطريق .
3 – تمكّن السائق من تفادي بعض الحوادث أو تقلل من شدة خطورتها.
4– تشعر السائق بالراحة إذا كانت بعرض كبير وكافي، وتخفف من توتر أعصابه .
7 – تهيئ الأماكن اللازمة لمهمات الصيانة.

يتم إنشاء الجسم الترابي – في حال الحفر والردم – مع خنادق جانبية، وهي ضرورية لتصريف المياه عن سطح الطريق، وينسب أيضاً إلى الجسم الترابي للطريق جميع المآخذ الجانبية التي هي عبارة عن حفريات غير عميقة على طول الأرض المجاورة للطريق، والتي منها تستخرج التربة اللازمة لتشكيل ردميات الجسم الترابي، كما ينسب إليه أيضاً تلك الأماكن التي تتجمع فيها الحفريات الزائدة عند الحاجة.



3–أرصفة المشاة:

تعتبر أرصفة المشاة جزءاً مكملاً لتصميم الطرق الحضرية، وينبغي ألا يقل عرض الرصيف عن **1.5 متر** وأن يكون من مواد تعطي مسطحاً ناعماً ومستوياً سليماً، ويجب أن يكون سطح الرصيف الذي يسير المشاة عليه مساوياً في الجودة أو أحسن حالة من سطح الرصف المخصص لطريق السيارات لجذب المشاة للسير عليه.

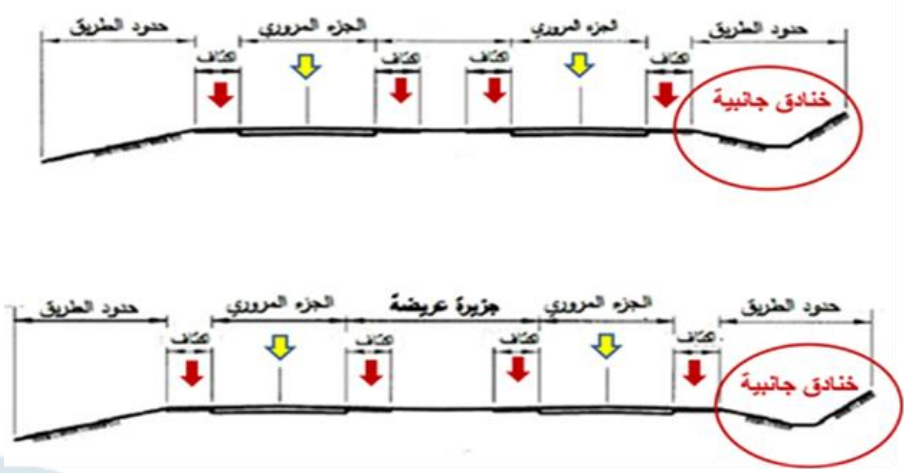


طريق في مناطق سكنية موضحاً عليه الأرصفة

4- الجزيرة الوسطية:

هي عبارة عن جزء من الطريق غير مخصص لسير العربات عليه، وهي ضرورية جداً في الطرق البرية السريعة، وخاصةً في الطرق التي يكون فيها عدد الحارات أربع حارات فما فوق، ويتراوح عرضـــــــها بين **(1-10m)**، حيث تتبع لدرجة الطريق ولطبيعة المنطقة، أما إذا كان عرضها صغيراً، فإنه يجب وضع حواجز أمان تفصل بين اتجاهي السير، وقد تكون معشبة أو معبدة، ويمكن الاستفادة منها بالمستقبل عندما يراد تعريض الطريق بإضافة حارة مرور بكل اتجاه.

إذا كان عرضها صغيراً فإنه يجب وضع حواجز أمان تفصل بين اتجاهي السير، وقد تكون معشبة أو معبدة، ويمكن الاستفادة منها بالمستقبل عندما يراد تعريض الطريق بإضافة حارة مرور بكل اتجاه.



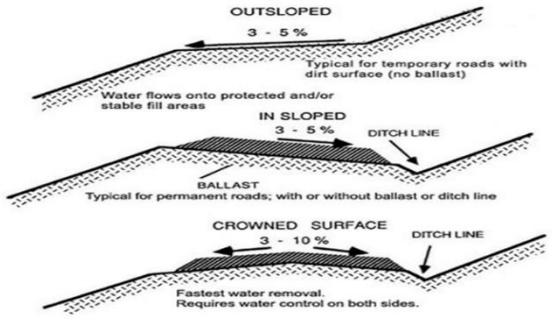
مقطع عرضي لطريق موضحاً عليه الجزيرة الوسطية

5- حواجز حافة الطريق Roadside Barriers & Guard rails

توضع لحماية السيارات من خطر وقوع الحوادث في المناطق الجبلية وعلى الجسور، وقد تكون حواجز معدنية أوبيتونية.

6- الخنادق الجانبية:

هي تجويفات طولانية ترابية أو بيتونية (أقنية مفتوحة) توضع في مناطق الحفر ذات مقطع عرضي، قد تكون على شكل مثلث أو مستطيل أو شبه منحرف أو منحني، وعمقها يتراوح بين (0.2 إلى 0.8 متر)، والغاية الأساسية منها استقبال المياه المصرفة من سطح الطريق الناتجة عن سقوط الأمطار أو عن ذوبان الثلوج، ومن ثم تصريفها بشكل طولاني إلى مواقع العبارات أو المناطق المنخفضة، ويجب ألا يقل ميلها الطولي عن 0.5% حتى لا تترسب المواد المحمولة مع المياه في قاعها وتؤدي إلى انسدادها، وينصح بألا يزيد عمق توضعها السفلي عن 0.25 م عن أسفل طبقات الرصف.



الجسم الترابي – في حال الحفر والردم

7- المنحدرات الجانبية في حالتي الحفر والردم:

هي الطبقات الجانبية المتممة للقارعة والكتف، وتبدأ اعتباراً من نهاية الكتف الجانبي (البانكيت) وتكون مائلة بنسبة معينة، حيث يتم تصميم الميول الجانبية لمنحدرات الحفر والردم للحفاظ على استقرار الترب وثبات الطريق ولإعطاء فرصة لتأمين السيارات الخارجة عن السيطرة، وتتعلق ميول منحدرات الحفر والردم بنوع الترب وبالردم، وبارتفاع طبقات الردم عن الأرض الطبيعية وطبيعة المنطقة التي يمر بها.

يسمى الخط الناجم عن التقاء الأكتاف الجانبية للطريق مع منحدرات الردم أو المنحدرات الداخلية لخنادق الصرف (طرف الطريق)، ونعبر عن ميول المنحدرات أو الميول الجانبية بالنسبة ما بين ارتفاع المنحدر إلى مسافته الأفقية، وتختصر على شكل نسبة يمثل فيها الرقم 1 المسافة الشاقولية والرقم الآخر المسافة الأفقية اللازمة لتحقيق الميل المطلوب.

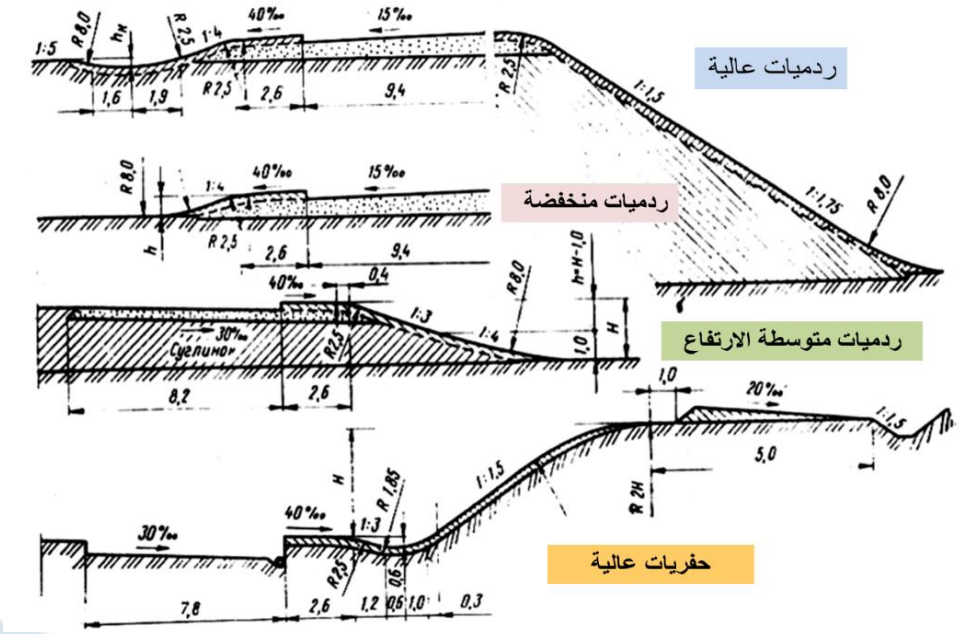
ترتبط قيمة **ميول جوانب الردم** بشروط مهمة:

- **توازن وثبات جسم الطريق، والتي تتأثر بخصائص مواده وبارتفاعه**
- **تحقيق شروط أمان الحركة**

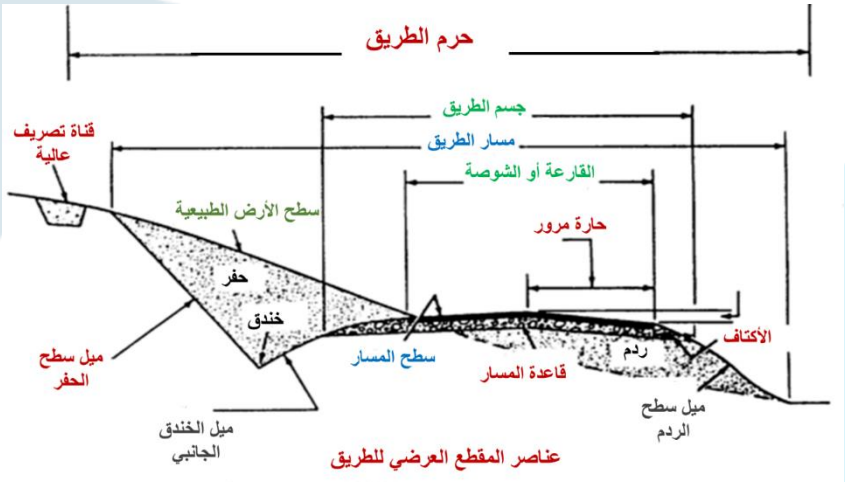
ترتبط **ميول جوانب الحفر** بـ:

- **نوعية وخصائص تربة منطقة الطريق**
- **عمق الحفر**
- **العوامل الجيولوجية للمنطقة**

مع ضرورة المحافظة على جوانب وسطوح الردم من عوامل التعرية والجرف وذلك بالتعشيب، عن طريق وضع طبقة من التربة صالحة للزراعة بسماكة تتراوح ما بين **10 إلى 30 سم.**



ميول الحفر والردم لمقاطع عرضية بارتفاعات مختلفة

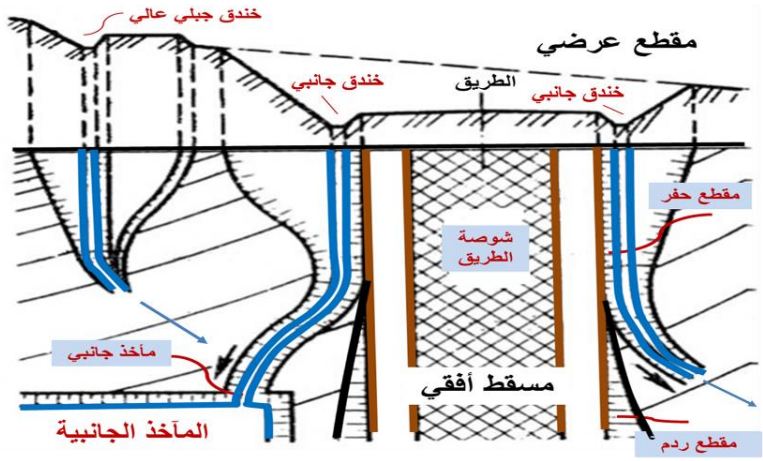


مقطع عرضي نموذجي مع المساحات الاحتياطية التابعة لها

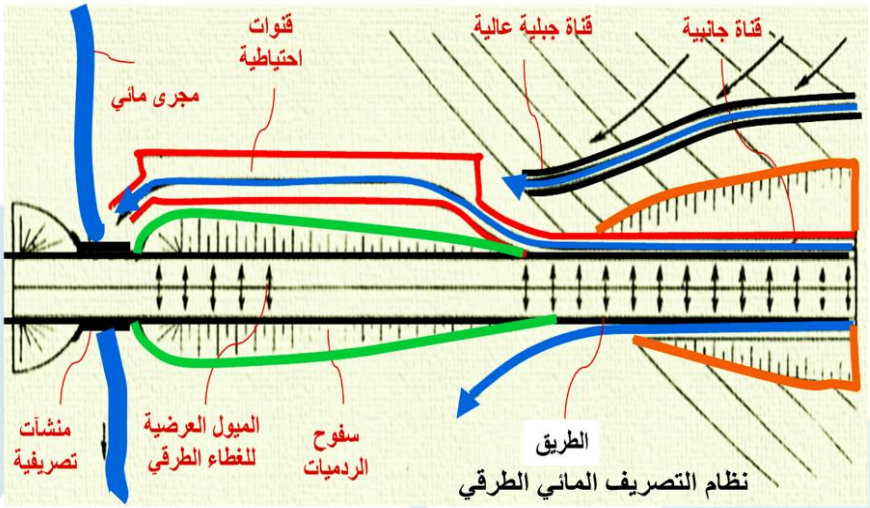
تصريف مياه الأمطار عن الطريق:

يتم إنشاء الجسم الترابي – في حال الحفر والردم – مع خنادق جانبية، ومن ثم يتم توجيه المياه إلى المآخذ الجانبية، التي هي عبارة عن حفريات غير عميقة على طول الأرض المجاورة للطريق لاستخراج التربة اللازمة لتشكيل ردميات الجسم الترابي،

وبعدها تؤخذ المياه إلى الأماكن التي تتجمع فيها الحفريات الزائدة عند الحاجة، وتحدد ميولها الطولية بقيم أعظمية وأصغرية، وذلك بما يناسب غزارة الماء وما يناسب الطريق التابعة له.



مقطع عرضي ومسقط أفقي لطريق مع القنوات والمآخذ الجانبية لتصريف المياه

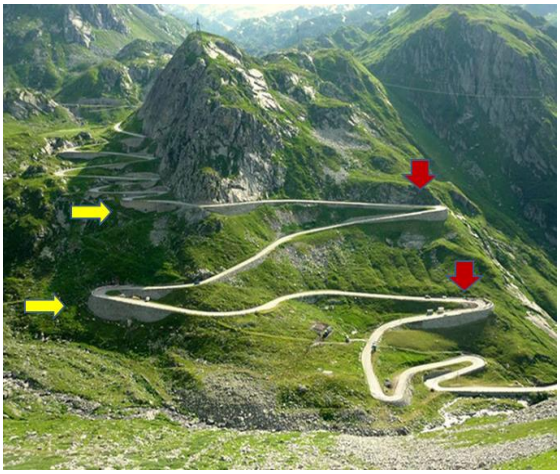


مسقط أفقي يبين نظام تصريف مياه الأمطار عن المقطع العرضي للطريق

استقرار وثبات الجسم الترابي للطريق في المقاطع العرضية

يجب دراسة التوضع الجيولوجي للسفوح في المناطق الجبلية لدراسة استقرار الجسم الترابي للطريق، حيث أن الاختلاف الكبير للتوضعات الجيولوجية على سفوحها، يؤدي إلى حالة من عدم الاستقرار وعدم التوازن للجسم الترابي للطريق في المقطع العرضي.

كما أن الانحدارات الشديدة للسفوح الجبلية وميولها الكبيرة عن الشاقول تصعب من عملية توضع وتنفيذ الطريق، والتي تترافق مع كميات كبيرة من الحفريات والردميات. إن اختيار المسار الأمثل للتوضع الأمثل للمقطع العرضي وفق السفوح الجبلية، يقود إلى تصميم المنعطفات الجبلية الحادة نتيجة الميول الشديدة، والتي تترافق مع صعوبة كبيرة في تنفيذ المقاطع العرضية التابعة لها، وما يلحق بها من منشآت صناعية وجدران استنادية.

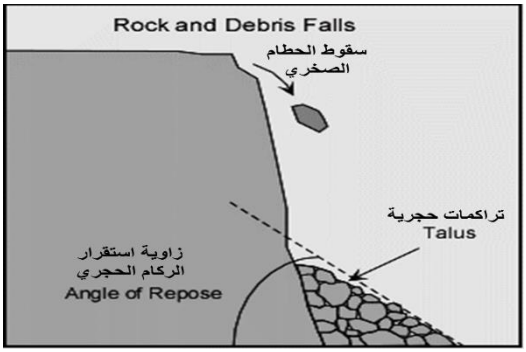


كما يجب دراسة إمكانية تطور العمليات الجوية، وبالتالي إمكانية تفكك الصخور والتي تشكل خطراً كبيراً على استقرار جسم الطريق، وإجراء فحص دائم ومستمر لمنطقة الإنشاء ومراقبة السفوح بشكل منتظم، والعمل على تثبيت وحماية جوانب الطريق شديدة الانحدار بتجهيزات خاصة من الشبكات المعدنية ومن السواتر المعدنية الجانبية، بحيث لا تؤثر على حركة المركبات ولا تلحق الأضرار بها.

السقوطات الحجرية والانهيالات الترابية بفعل العوامل الجوية

أسباب السقوطات الحجرية المفاجئة على الطرق:

1- تحطم الصخور الجبلية بفعل العوامل الجوية؛
2- قطع التوضعات الطبقية عند إنشاء الجسم الترابي؛
3- كثرة الشقوق الجبلية، إما بسبب تخريب الطبقات أو نتيجة التفجير؛
4- تجمد المياه في الشقوق نتيجة انخفاض درجة الحرارة.



الحواجز المعدنية مع الشبك المعدني

قد يتقاطع الطريق مع أجزاء حجرية محطمة ناتجة عن الحت والتعرية، ومتجمعة عند قاعدة السفح الحاد على شكل مخاريط مؤلفة من شظايا متكسرة مع شوائب مختلفة وأجزاء ترابية منهالة، وقد تتحول إلى انهيالات متحركة لأنها متوضعة في حالة من عدم التوازن وعدم الاستقرار، وخاصةً إذا كانت الردمية معرضة للتحميل أو تكون متأثرة بالصدمات الزلزالية، أما الانهيالات المخمدة فقد تنمو عليها الأعشاب والأشجار الصغيرة، وهذا يزيد من مقاومة الترب الضعيفة.

إن توضع الجسم الترابي للطريق على السفوح الشديدة الانحدار بشكل قريب جداً من المجرى المائي، يستدعي إنشاء الطريق على ردميات ترابية إستنادية مدعمة ومقواة وملتصقة بالمجرى، مما يعرض الجسم الترابي للطريق إلى خطر الانغمار بسبب الفيضانات، مع ضيق مقطع المجرى المائي، لذلك يمكن تقويم المجرى المائي لتخفيض خطر غمر الجسم الترابي للطريق، أو بناء منشآت خاصة لحماية الطريق، عبارة عن جدران استنادية حجرية على تربة صخرية مقاومة، أوإنشاء تكسية بيتونية أو حجرية، ويجب أن يتوضع الطريق على طول الوادي النهري فوق المستوى الأعظمي للفيضان وعلى مسافة تصميمية مدروسة.

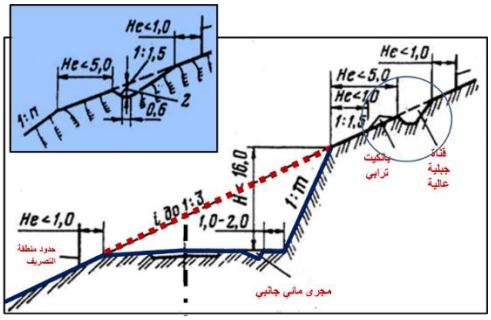
تخريب الطريق نتيجة الانغمار بسبب الفيضانات

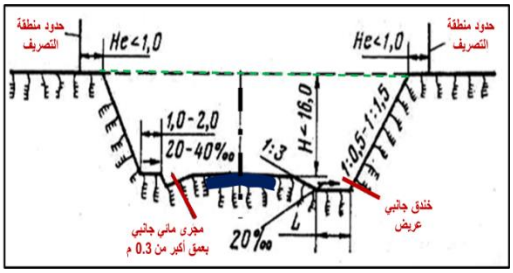
قد يكون المقطع العرضي محمولاً على جسور عريضة على مستوى أطراف الوديان العريضة، إذا كانت الطرق ذات تواترات مرورية كبيرة، حيث يتم اختصار الطريق دون الاضطرار للنزول إلى الجسر المتوضع وفق عمق الوادي ومن ثم الصعود إلى أعلى السفح، مع ضرورة توفير نظام حماية للطريق من الوادي المتزايد بفعل تطور عمليات الجرف والحت وبناء منشآت تقوية وتدعيم.

الجسور العالية المحمولة على مناصب

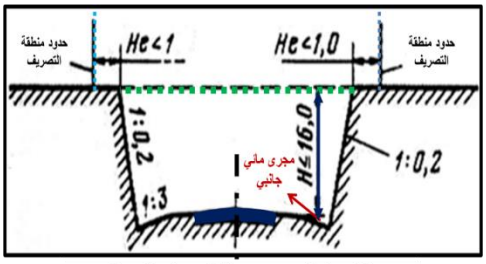
اختيار المقاطع على شكل رف أو حفرة مكشوفة في المناطق الجبلية يوفر الثبات والتوازن لها، حتى لو كانت حجوم الأعمال الترابية كبيرة، وقد تكون مقاطع حفر في صخور جبلية ذات مقاومة كبيرة "صخور بركانية"، وهي عبارة عن صخور منضدة

قوية كما الصخور البازلتية، التي توفر المتانة والقوة والتوازن للسفوح المتوضعة على شكل بلاطات صفائحية لا تحتوي على أي تصدعات شاقولية أو أفقية.





مقطع حفر في تربة ضعيفة المقاومة تحت تأثير العوامل الجوية



مقطع حفر في صخور جبلية ذات مقاومة كبيرة

تصميم الرفع العرضاني في المنعطفات الأفقية (Superelevation)

ترتبط قيمة نصف القطر الأصغري للمنعطفات الأفقية بالقيمة الموافقة لسرعة تصميمية مفروضة، وتكون هذه القيمة مرتبطة بالميل العرضي لسطح الطريق وبعامل الاحتكاك العرضي وفق العلاقة التالية:

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

- R_{min}: نصف قطر انحناء الطريق الأصغري (متر)
- V: السرعة التصميمية (كم/سا)
- e_{max}: الميل العرضي الأعظمي للطريق في المنعطفات وتتراوح قيمته بين 4% إلى 10%
- f_{max}: عامل الاحتكاك العرضي الأعظمي وتؤخذ قيمته بدلالة السرعة التصميمية

لمقاومة عزم الانقلاب ولمقاومة القوى النابذة التي تتعرض لها العربة عند الانتقال على المنعطفات، يتم رفع الحافة الخارجية للطريق عن الحافة الداخلية بمعدل يسمح للعربة بأن تستقر على الطريق ضد الانقلاب، ويخلق مقاومة ممانعة لقوى الطرد المركزية.

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

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

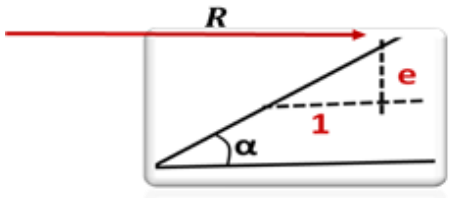
v: السرعة التصميمية، كم/سا

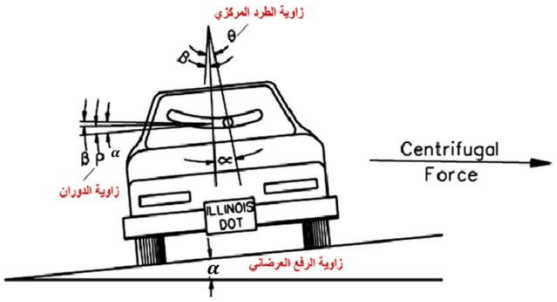
R: نصف قطر المنعطف الأفقي، م

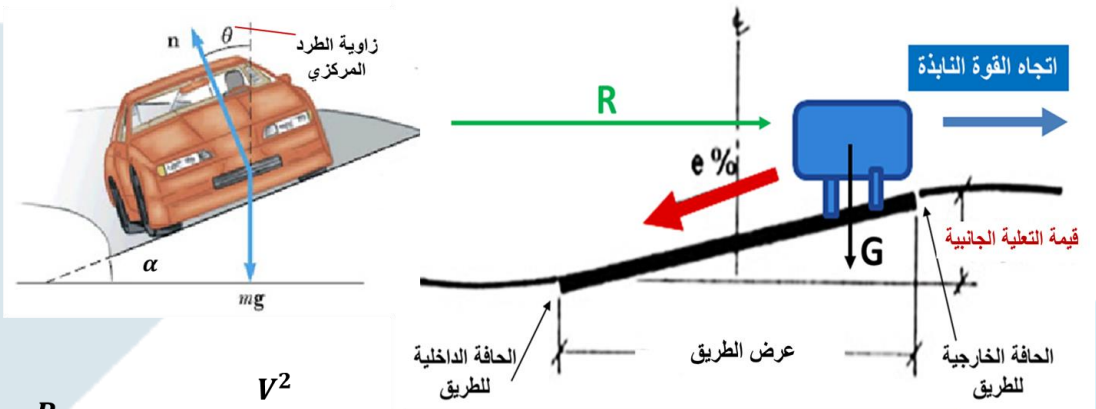
f: معامل الاحتكاك الجانبي

α: زاوية ميل الطريق

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.







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

العوامل المتعلقة بتأثير القوة النابذة المركزية:

1- الزيادة في قيمة السرعة تؤدي إلى زيادة تأثير القوة النابذة.

2- نصف قطر المنعطف الأفقي الصغير الذي يؤدي إلى زيادة تأثيرها.

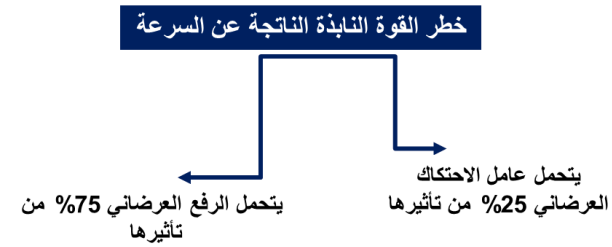
3- زيادة وزن العربة التي تقلل من تأثير القوة النابذة.

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 وصنف المنطقة (الريفية أو الحضرية).

في جميع الطرق تمر عليها العربات بسرع متفاوتة، فإذا تم تنفيذ أقصى قيمة للتعلية لتجنب القوة الطاردة المركزية، فإن إهمال الاحتكاك الجانبي ملائم بالنسبة للعربات السريعة، أما بالنسبة للعربات الثقيلة فإن هذا غير ملائم، والعكس بالنسبة لتنفيذ الحد الأدنى للتعلية.

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.

هناك عاملان يعملان على تقليل الانزلاق للعربات الناتجة عن زيادة السرعة هما معامل الاحتكاك والتعلية، لذلك تم توزيع القوة الطاردة المركزية المسببة للانزلاق على هذين العاملين.



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

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

يجب ألا تتجاوز قيمة f القيمة 0.15

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

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.

خطوات تصميم الرفع العرضاني:

من الناحية العملية تحسب التعلية على 75% من السرعة التصميمية، بحيث لا تتعدى القيمة 0.08 مع إهمال الاحتكاك الجانبي وفق العلاقة التالية:

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

- ✓ إذا كانت قيمة e أقل من 0.08 نأخذ القيمة التي حصلنا عليها، وإذا كانت قيمة e أكبر من 0.08 فإننا نفترض القيمة 0.08 ونراجع قيمة عامل الاحتكاك الجانبي f حسب قيمة السرعة التصميمية ووفق المعادلة:

$$f = \frac{(v)^2}{127.R} - e$$

- ✓ إذا كانت قيمة f أقل من قيمة 0.15 فإن معدل التعلية مناسب، وإذا كانت قيمة f أكبر من قيمة 0.15، فإنه يجب مراجعة السرعة المسموحة v_a وفق المعادلة:

$$e + f = 0.08 + 0.15 = \frac{(v_a)^2}{127.R}$$

✓ إذا كانت السرعة المسموحة أصغر من قيمة السرعة التصميمية تؤخذ قيمة e =0.08، وإذا كانت السرعة المسموحة أكبر من قيمة السرعة التصميمية، يجب مراجعة التصميم واختيار منعطف أفقي أكبر، أو وضع لافتة لتهدئة السرعة.

أقل قيمة تعلية مستخدمة في الطرق

أقصى قيمة تعلية موافقة لأقل نصف قطر منعطف أفقي

السرعة كم/سا	e %	عامل الاحتكاك العرضاني	نصف قطر المنعطف،م
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

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.

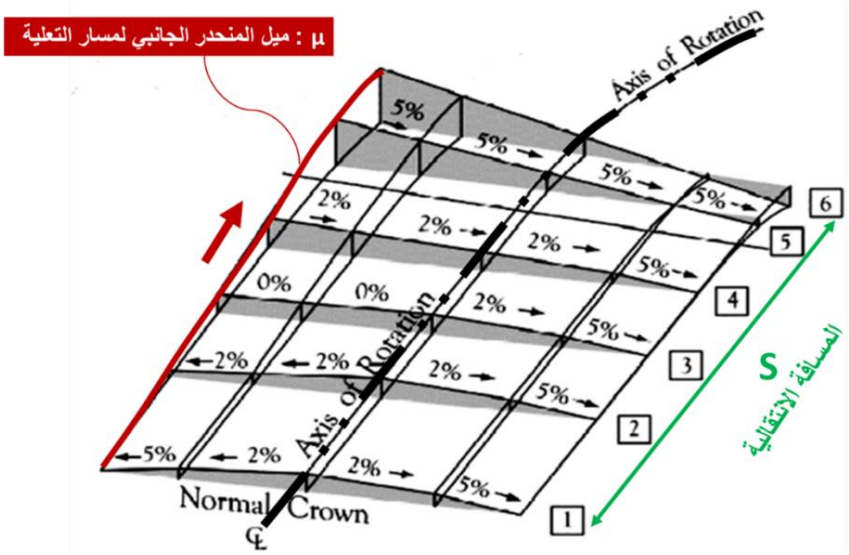
الحالة الثانية: إذا كان نصف القطر المفروض في التصميم يزيد عن 1.5 من قيمة نصف القطر الأصغري في حال تطبيق تعلية إضافية بقيمة 4%، وكانت حدود السرعة التصميمية لا تتجاوز 70 كم/ سا.

مثلاً :نصف **القطر الأصغري** **100 م، نصف القطر التصميمي 200 م، السرعة التصميمية 60 كم/ سا.**

مراحل التعلية الإضافية

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

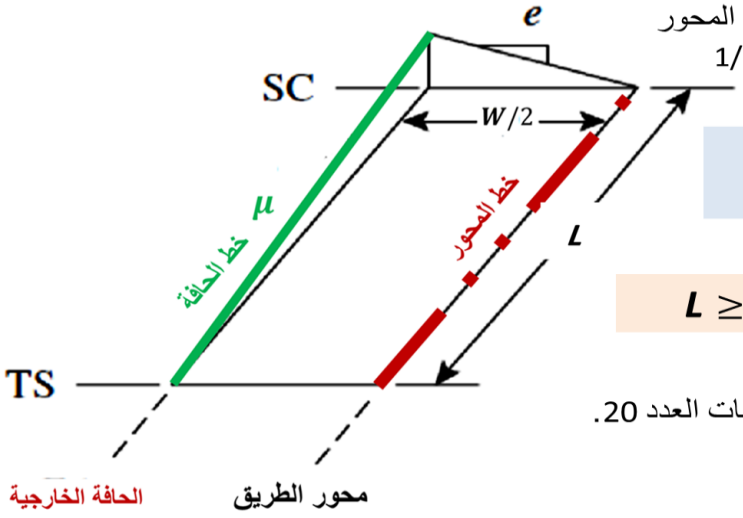
يتم الانتقال من الميل باتجاهين متعاكسين للمقطع العرضي عند الاستقامة الى الميل الأعظمي باتجاه واحد نتيجة الرفع العرضاني عند المنحنيات ضمن مسافة تسمى المسافة الانتقالية S.



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 e والمسافة W/2 من خط المحور إلى الحافة.

الفرق في الميل بين خط المحور والحافة يجب ألا يتجاوز1/200



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

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

وعادة يتم حسابه من مضاعفات العدد 20.

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 الأصغري للمنحدر الجانبي، على أن يكون أكبر من القيمتين السابقتين من خلال المعادلة :

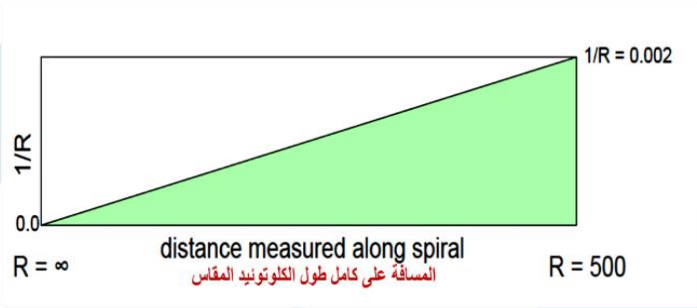
$$S = \frac{50 * e * W}{\mu}$$

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

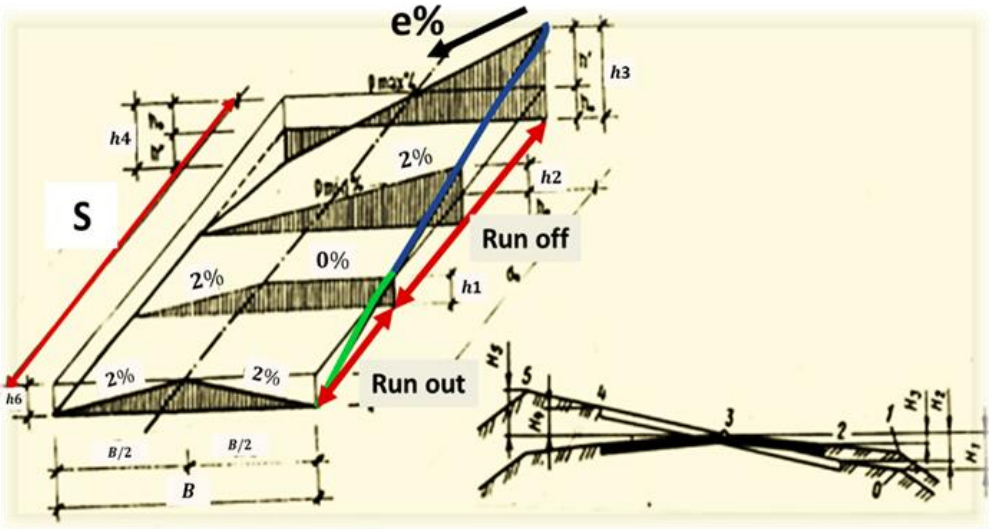
$$S = \frac{50 * 0.08 * 12}{0.47} = 102.13 \text{ m}$$

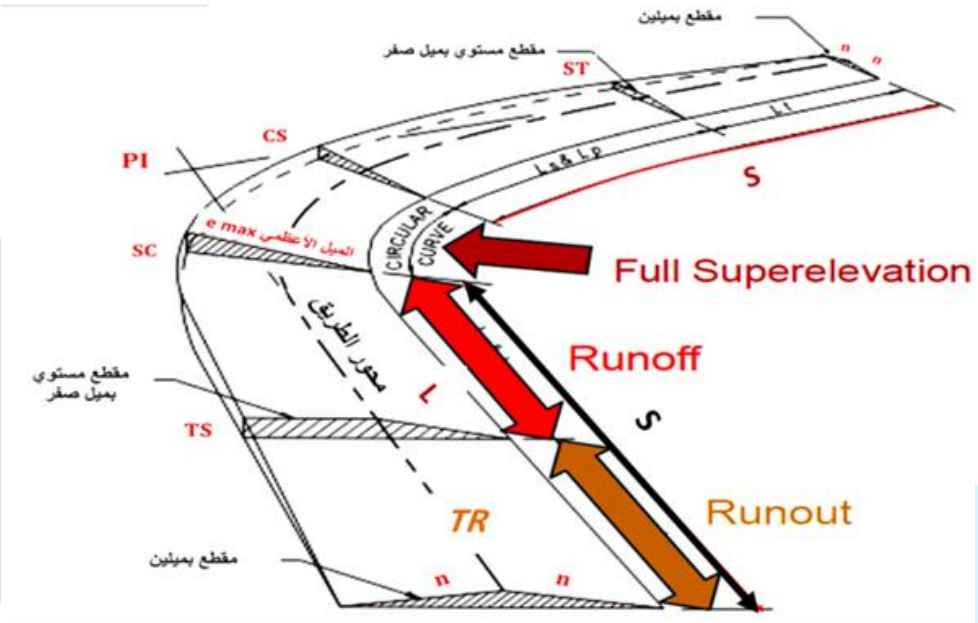
ميل المنحدر بالعلاقة مع السرعة التصميمية

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



<u>طول مسافة التعلية superelevation (S):</u> هي المسافة المطلوبة لتحول الميل العرضي للطريق من شكله في الاستقامة ودورانه حتى الوصول إلى كامل قيمة التعلية المفروضة في القوس الدائري، أي لنقل الطريق من قسم المقطع العادي إلى المقطع العالي.





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 مستوياً، (الانتقال المماسي).
- **طول المنحدر (Run off):** هو المسافة المطلوبة من نقطة نهاية مسافة مماس الدوران الخارجي حتى الوصول للميل العرضي للتعلية الإضافية التصميمية في القوس الدائري، (الانتقال مع التعلية).

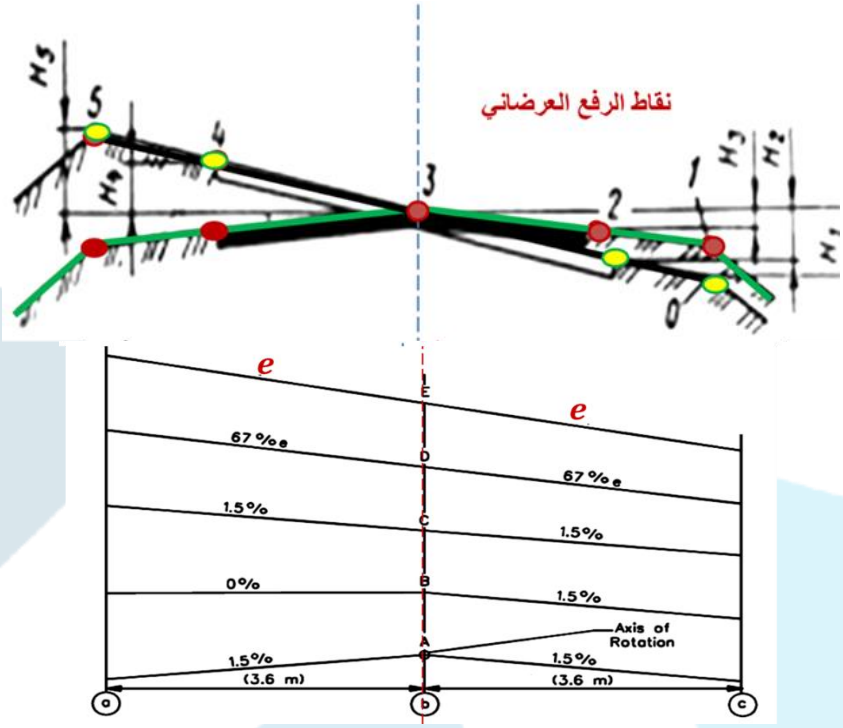
الانتقال المماسي (*TR*) Tangent Runout: هو المسافة اللازمة لنقل الطريق من المقطع العادي إلى نقطة يتم رفع الميل العرضي المعاكس إلى المنسوب صفر.

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

ويكون عادةً 2%

وهو عادةً طول الكلوتوئيد

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



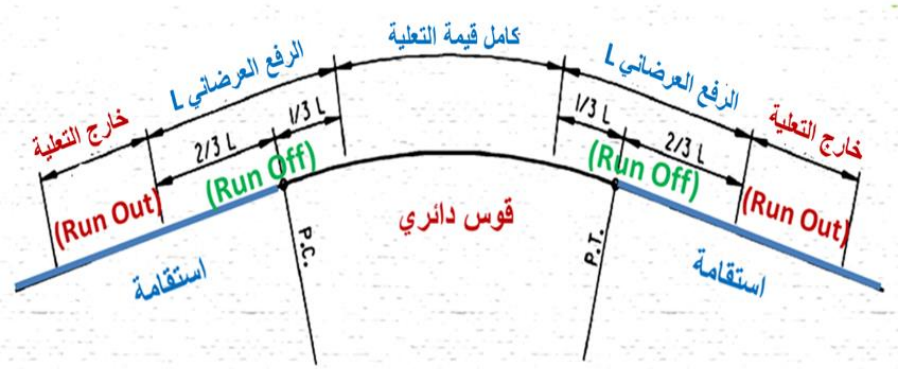
حالات التعلية:

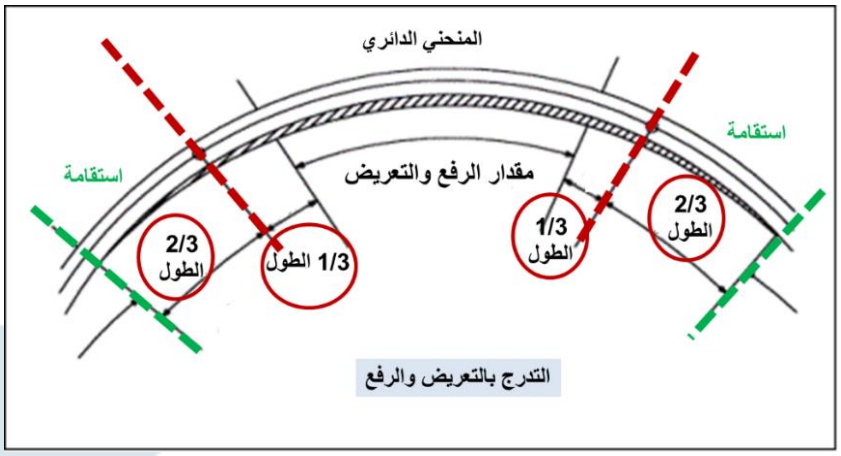
1- تنفيذ التعلية في الأقواس الدائرية بدون المنحنيات الانتقالية:

تنفذ التعلية في المنحنيات الأفقية بأنواعها، حيث أن الطول اللازم لتنفيذ التعليـــــــــة هو مجموع طول الـ **(Run Off)** وطول الـ **(Run Out)**.

ينفذ الـ **(Run Out)** في الجزء المستقيم قبل المنحني، ثم يبدأ **(Run Off)** من نقطـــــــة النهايـــــــة لـ **(Run Out)**، بحيث يمتد بثلثي القيمة من طول الـ **(Run Off)** قبل المنحني، والثلث الأخير ينفذ داخل المنحني.

يكون الميل في مدخل المنعطف هو نفسه على الاستقامة، ويصبح بقيمة عظمى في بداية القوس الدائري، ويبقى ثابتاً على طول القوس، ومن ثم يتناقص حتى يصبح في مخرج المنعطف مساوياً قيمة الميل العرضي في الاستقامة، وبحيث لا يزيد الميل العرضي للطريق في الاستقامة عن 4%.

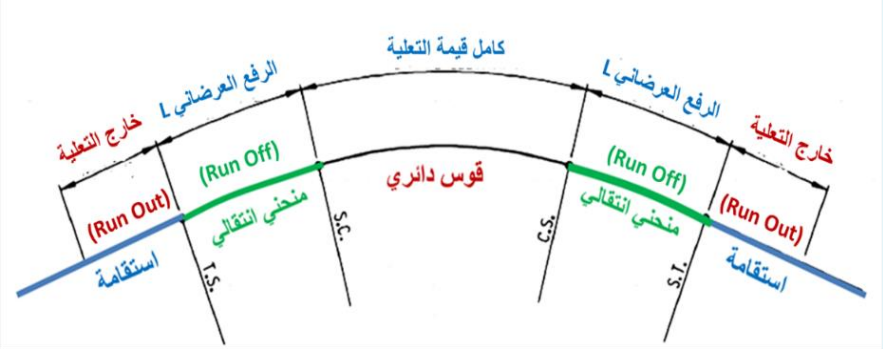


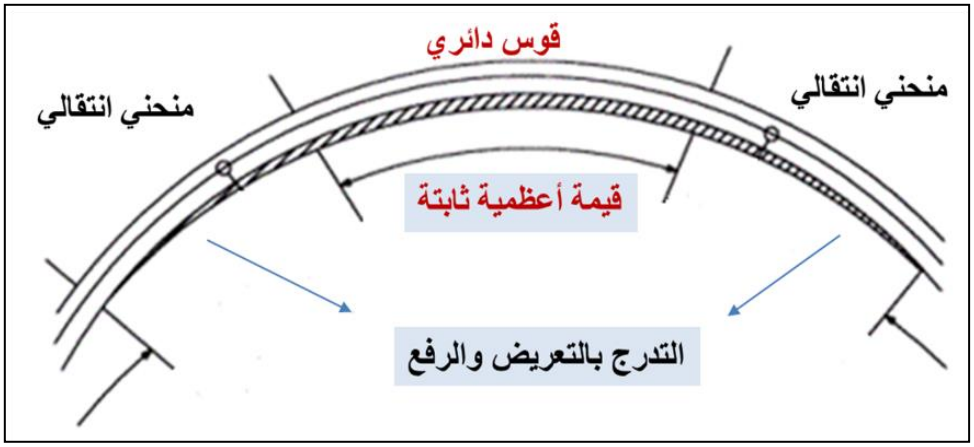


استقامات + أقواس دائرية

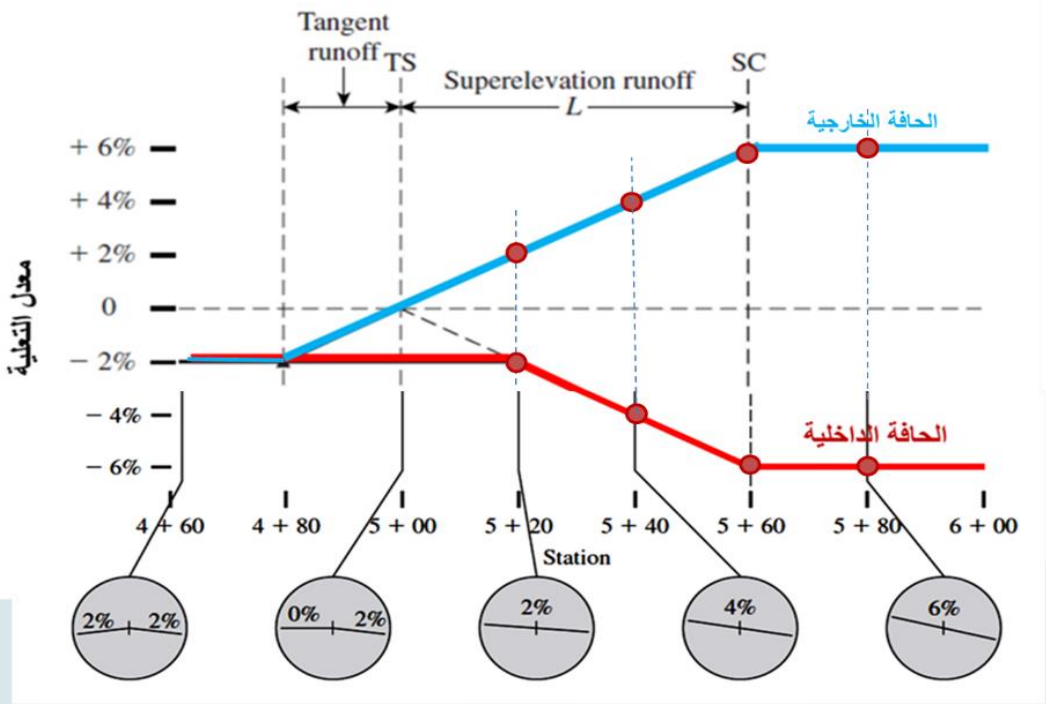
2- تنفيذ التعلية في الأقواس الدائرية مع المنحنيات الانتقالية:

وفي حال وجود منحنيات انتقالية ينفذ الـ **(Run Off)** بأكمله داخل المنحني الانتقالي. يتم تطبيق التعلية أو الرفع العرضاني من بداية الكلوتوئيد 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 (الكلوتوئيد)**، وتكون قيمة التعلية الأعظمية على كامل طول القوس الدائري.





أقواس دائرية + منحنيات انتقالية



رسم بياني للرفع العرضاني، يوضح شكل المقطع العرضي من خلال المسافة الانتقالية