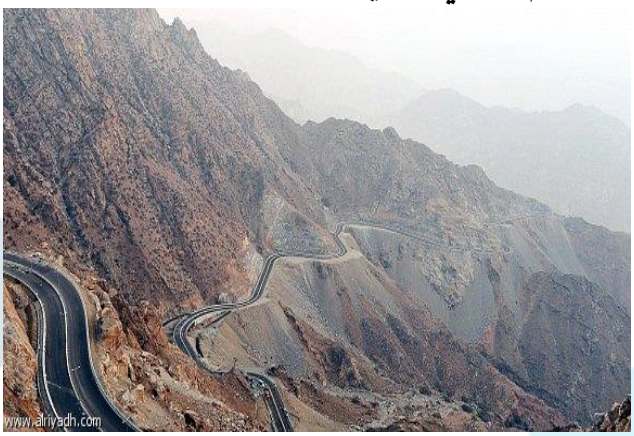
تخطيط الطرق في المناطق الجبلية

يتطلب تخطيط وإنشاء الطرق في **المناطق الجبلية** دراسات ومعطيات حقلية مختلفة، ونظراً لصعوبة إنشاء سكك حديدية في هذه المناطق فإن الاعتماد الكامل على نقل الحمولات العادية والكبيرة يكون بواسطة الطرق، إلا أن إنشاء الطرق في هذه المناطق ذات **السفوح الحادة** يتطلب كميات كبيرة من الأعمال الترابية **(حفريات وردميات)** ويحتاج الجسم الترابي إلى **إنشاء جدران استنادية** عالية وعلى امتداد كبير نسبياً.

خصائص المناطق الجبلية

تتميز التضاريس الجبلية **باختلافات كبيرة في المناسيب** قياساً لمسافات أفقية صغيرة، وتتميز هذه التضاريس بالسفوح الحادة وبالوديان العميقة الضيقة، كما أن التوضّعات الجيولوجية لهذه السفوح الجبلية قد تختلف كثيراً وعلى مسافات صغيرة نسبياً، وبالتالي فإن هذا يسبب حالة من عدم الاستقرار **وعدم التوازن** ويكون إنشاء الطرق عليها خطيراً جداً، مما يؤدي إلى **انجرافات وانهيارات**، وعند عدم وجود إمكانية للتخطيط حول هذه الأجزاء من الجبال في الظروف الغير مناسبة، فإننا نعمد إلى بعض التدابير الخاصة من أجل **توفير ثبات الجسم الترابي** للطريق ومن أجل أمان الحركة عليه.



يتطلب إنشاء الطرق في المناطق الجبلية بناء **منشآت تصريفية للمياه** أو منشآت صناعية فوق المجاري الجافة **(الوديان)**، ويتطلب بناء مثل هذه المنشآت الصناعية دراسة لبعض التدابير التي يجب أن نتخذها لحماية المنشآت من **الجرف والانهيار** نتيجة **الميول الطولية الكبيرة** في هذه المناطق (حتى ولو كانت عبارة عن أحواض صغيرة)، وهذا يؤدي إلى جرف الحجارة مع المياه مما يسبب أخطار كبيرة. لذلك فإن صعوبة **إنشاء وإنجاز الأعمال التنفيذية** في المنحدرات الجبلية إضافةً إلى الكلفة العالية لها تجعلنا نفكر في **مجموعة من الحلول** لتوضّع الطريق بحيث يكون توضّعه في الحالة المثلى من كافة النواحي وخاصةً من حيث **تكاليف الإنشاء**.

تختلف الظروف الجوية والطبيعية في الجبال عنها في المناطق الأخرى، حيث تتغير الظروف المناخية كلما ارتفعنا عن سطح البحر وكلما تعرضت السفوح أكثر للضوء، **فدرجات الحرارة** في الجو تتناقص وسطياً بمعدل 0.5 C^{o} كل **100m**ارتفاع، لذلك هناك **تأرجح كبير** في درجات الحرارة اليومية، وكلما ارتفعنا عن سطح البحر يتناقص **ضغط الهواء** مما يؤدي إلى **انخفاض في قدرة المحرك** لعدم إمكانية احتراق الوقود احتراقا كاملاً.

أما بالنسبة لكمية **الهطول المطري** فإنها تتزايد بمعدل **(40 – 60) mm** لكل **100m** ارتفاع منتهيةً بقيمة أعظمية في منطقة التشكّل التواتري للغيوم، أمّا بالنسبة للهطولات صيفاً فقد تكون الهطولات شديدةً قد تصل إلى **(15 –20) %** من الهطولات السنوية.

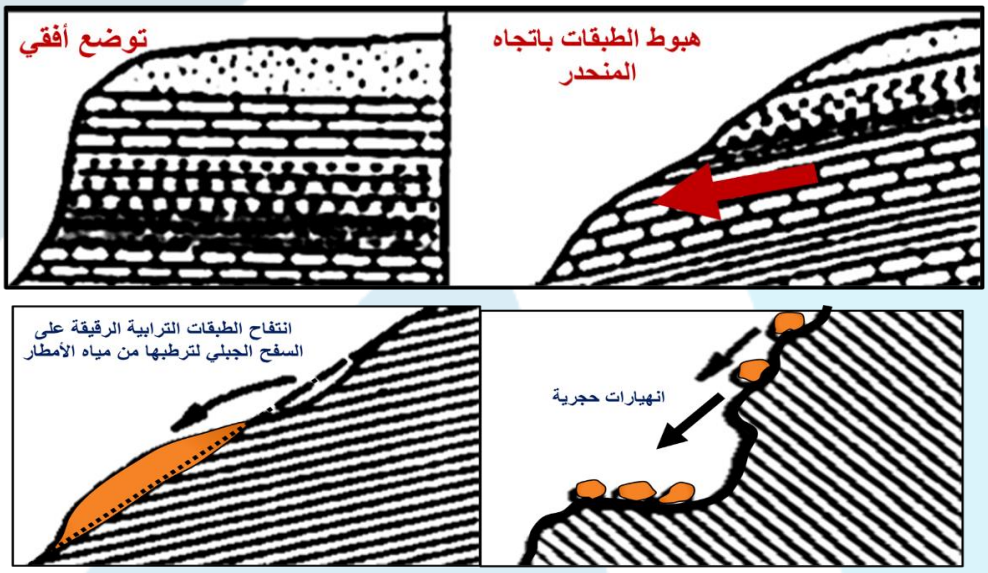
<u>دراسة توازن السفوح الجبلية</u>

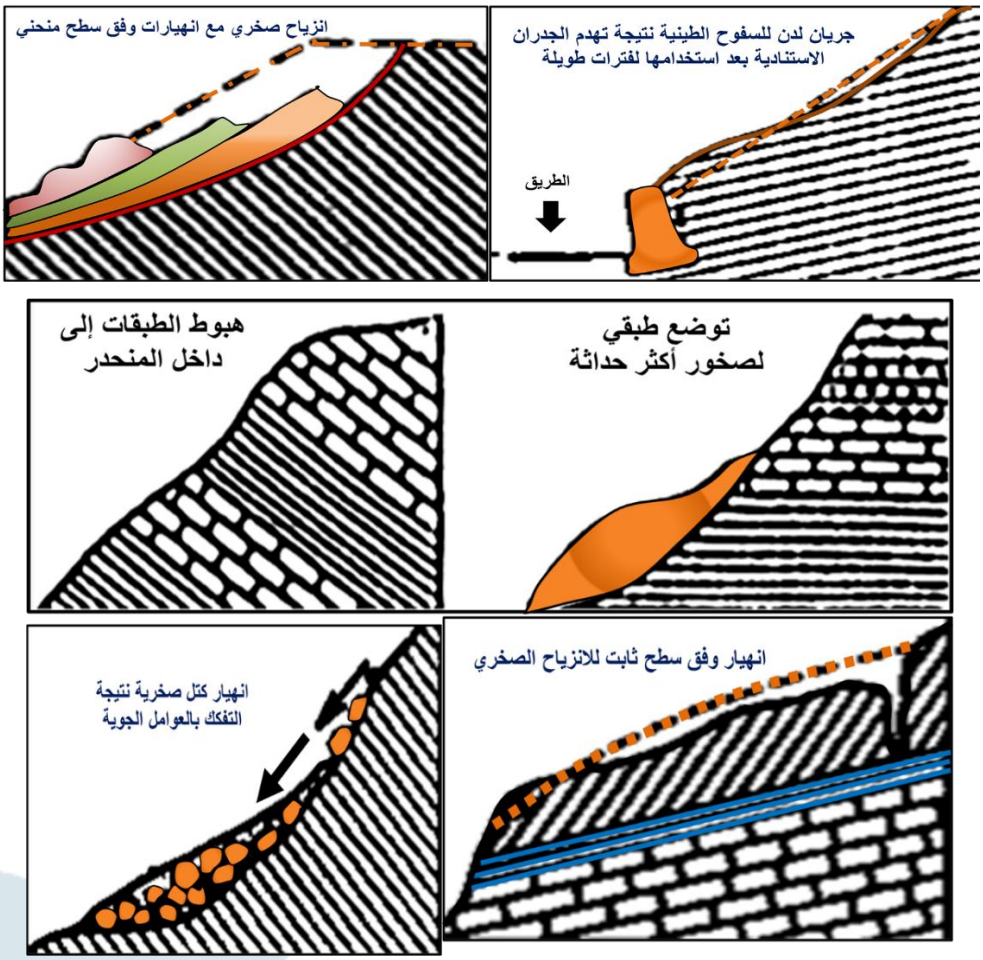
تكون الأجزاء السفلى من السفوح الجبلية عادةً مغطاة **بمنتجات الصخور الجبلية المتفككة** بفعل العوامل الجوية، وعند السفوح الحادة فقط تكون هذه السفوح عبارة عن كتل تظهر على السطح، لذلك وعند إنشاء الطرق الجبلية فإنه يجب عادةً ألاّ يُشق الطريق مباشرةً وفق الكتل الجبلية القوية أو الثابتة **(الجلمود الصخري)**، وإنما وفق المناطق المغطاة **بالمنتجات الطينية الصلصالية** أو وفق منتجات الكتل الجبلية المتفككة بفعل العوامل الجوية.

يعتبر الاتصال السطحي للطريق أو **التماس السطحي** مع المنحدر باتجاه السفح من الأمور غير الملائمة التي تتطلب اهتمام وانتباه أكثر بالنسبة للظروف الجيولوجية، وتتعلق درجة تأثير العوامل الطبيعية الجوية على السفوح الجبلية **باتجاه الضوء** وبالميول كما تتعلق بكمية الحرارة، **فالسفوح الجنوبية والجنوبية الغربية** تستقبل الشمس بشكل جيد وعمليات التفكك الجوي تؤثر عليها بشكل أكبر، وتحدث غالباً **الانهيارات والانهيارات الثلجية**، حيث تتحرر هذه السفوح بسرعة من الثلوج وتجف فيها التربة مسبقاً بخروج المياه منها ويحدث انهيال للتربة، أما السفوح الشمالية والشمالية الشرقية فإنها تحتفظ بالثلوج إلى بداية الصيف.

مسألة اختيار **الوضعية المناسبة للطريق** والتي يجب أن تتلاءم مع السفح الجبلي ومدة تعرضه للإضاءة يجب أن تُحل بشكل دقيق لاختيار المكان المراد إنشاء الطريق فيه، وبالدرجة الأولى يجب دراسة **السفوح الجبلية وانحدارها** بالإضافة إلى **التوضّع الجيولوجي** لهذه السفوح وبالتالي ثباتها (عند إنشاء هذا الطريق وبعد إنشائه)، مع دراسة لإمكانية تطور العمليات الجوية التي تؤدي إلى **تفكك الصخور**.

عند تقاطعات الطرق مع **مخارج الكتل الصخرية الأساسية**، فإن توازن الجسم الترابي للطريق يتحقق فقط إذا كانت هذه الكتل غير مكسرة بفعل **الصدوع والفوالق**، والوضع الأكثر خطورة في الصخور الرسوبية هو **هبوط الطبقات باتجاه المنحدر**، حيث توجد فيها غالباً طبقة بينية متوسطة من الصخر الصفائحي أو الطين، والتي عند إشباعها بالماء تفقد الروابط فيما بينها، مما يؤدي إلى إزاحة للطبقات المقطوعة أو إلى تفريغ **قطعة جامدة من الطين**.





أشكال تهدمات المنحدرات وتشوهات السفوح الجبلية

توضّع الطريق وفق وديان الأنهار الجبلية

بالنظر إلى **خصائص السلاسل الجبلية المختلفة** والمتشكلة وفق توضعات جيولوجية خاصة يمكن تقسيم هذه المناطق من وجهة نظر التخطيط الطرقي إلى:

1. **تضاريس ما قبل الجبال**
2. **الوديان الجبلية**
3. **السفوح الجبلية**
4. **الهضاب أو الطيات المحدبة القاسمة للمياه**

لكل من هذه التقسيمات التضاريسية خصائص تابعة لها مع **قوانين تصميمية** خاصة بها، ويتحدد اتجاه **مسار الطريق** في المسقط **بشكل متعرج** في مناطق الوديان النهرية وفق خط الوادي النهري، وذلك بسبب المجاري ذات **الأجزاء الغير مستقرة** التي تصب في هذا الوادي النهري، وبالتالي تتواجد **انحدارات شديدة الميول** تستدعي اهتمام المهندس المصمم، مما يؤدي إلى كميات حفر كبيرة أو تقود إلى تصميم أنفاق قصيرة أو إلى حمل الطريق من **ضفة إلى أخرى** في النهر.

ما هي العوامل المؤثرة على اختيار مسار الطريق في مناطق الوديان الجبلية، ذات السفوح المنحدرة تدريجياً؟

إن اختيار اتجاه مسار الطريق في أماكن **الوديان الضيقة** يتعلق بشكل كبير بتوضّع المناطق السكنية التي يجب أن تربط ما بينها الطرق، ويتعلق بمسقط **شبكة الوديان الضيقة** في المنطقة. ففي المناطق التي تتساقط فيها كميات كبيرة من الأمطار نسبياً نجد أن **المناطق السكنية** متوضعة على الأغلب في الأماكن الجافة المرتفعة وعند خطوط انقسام المياه على حدود الحوض الساكب، أما **المناطق القاحلة ومناطق السهوب** فإننا نجد أن المناطق **الأكثر ازدحاما بالسكان** هي تلك التي تقع في

الأجزاء المنخفضة من الوديان، وفي هذه الحالات وعند اختيار مسار الطريق وفق **خطوط انقسام المياه**، فإنه يتوجب الالتفاف حول ذروة **الوديان الضيقة** ومن ثم إنشاء مسالك خاصة تصل إلى المناطق السكنية.

1- توضع المناطق السكنية

تتوضع المناطق السكنية في الأجزاء المنخفضة من الوديان في مناطق السهوب ذات الأمطار القليلة.

تتوضع المناطق السكنية في الأجزاء الجافة المرتفعة على حدود الحوض الساكب في مناطق الأمطار الغزيرة.

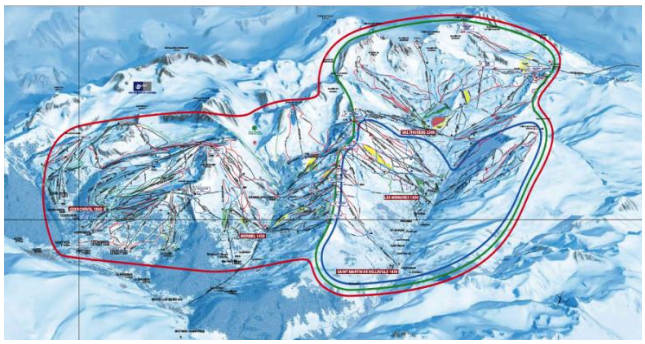
يتم **الاختيار المنطقي** لمسار الطريق بالعلاقة مع شكل شبكة الوديان في المنطقة وبالعلاقة مع درجة الطريق، فعندما تتطور شبكة هذه الوديان نجد أن وضعية الطريق **بالالتفاف حولها** تقلل من كلفة الإنشاء، ولكنها تقود إلى التواء في المسار، وبالتالي إلى **اهتراء العربة**، لذلك وفي **طرق الدرجات العالية** يجب على المهندس المصمم أن يختار مسار للطريق هو الأقصر وفق الاتجاه ولكن طبعاً دون السماح لتقاطعات زائدة مع هذه الوديان الضيقة.

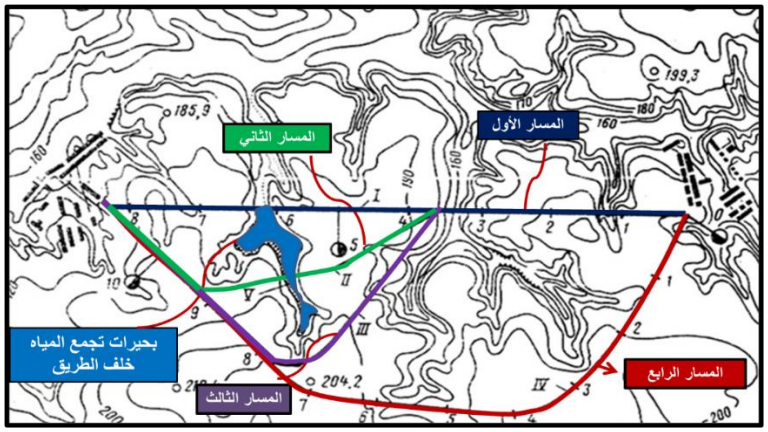
2- المسقط الأفقي لشبكة الوديان الضيقة

تشغل الوديان الضيقة مساحات كبيرة ويصل امتدادها إلى أكثر من 0.9 Km/Km2 .

أما الوديان العريضة فتكون مقاطعها غير متماثلة حسب اتجاه السفوح وحسب تعرضها لأشعة الشمس.

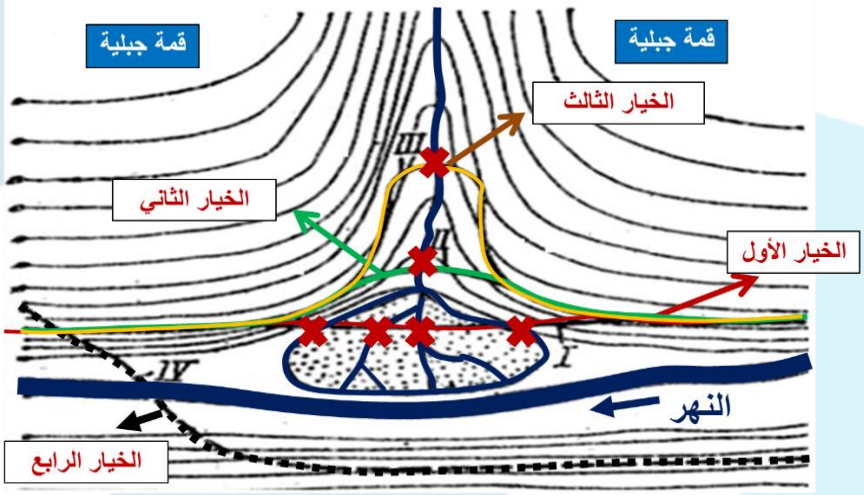
الالتفاف حولها يقلل من كلفة الإنشاء، ولكنه يقود إلى التواء في المسار واهتراء لعجلات لعربة



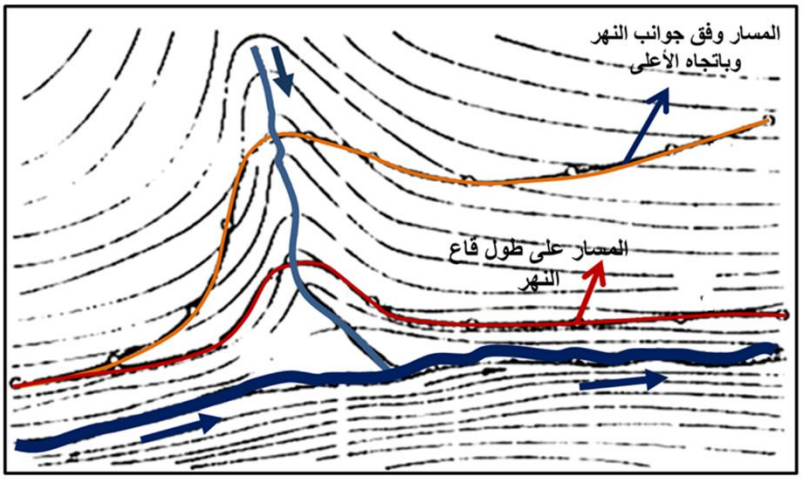


توضّع مسار الطريق في أماكن الوديان الضيقة

يسمح **الإنشاء الحديث** للطرق الجبلية ذات **التواتر الكبير نسبياً** باختيار المسار الأفضل وفق عمق الوادي النهري مع تقاطعات متكررة مع النهر وعلى مسافات قريبة نسبياً ويكون ذلك ببناء **الأنفاق القصيرة** ، إن الطرق التي تمر وفق وديان الأنهار تكون ذات **منعطفات أفقية كثيرة** وبأنصاف أقطار صغيرة نسبياً وتستدعي إنشاء جسور نتيجة تقاطع الطريق مع المجاري الجانبية الجارية بالقرب من حافة الوادي في مكان توضّع **الرسوبيات المخروطية** للسفوح الجبلية الحادة والتي تكون في أماكن مختلفة غير مستقرة نسبياً بشكل كافي مما يستدعي **إنشاء جدران استنادية تدعيمية**، بالإضافة إلى بناء منشآت خاصة من أجل الحماية المسبقة من احتمال وقوع **الانهيارات الثلجية** في تلك المناطق.



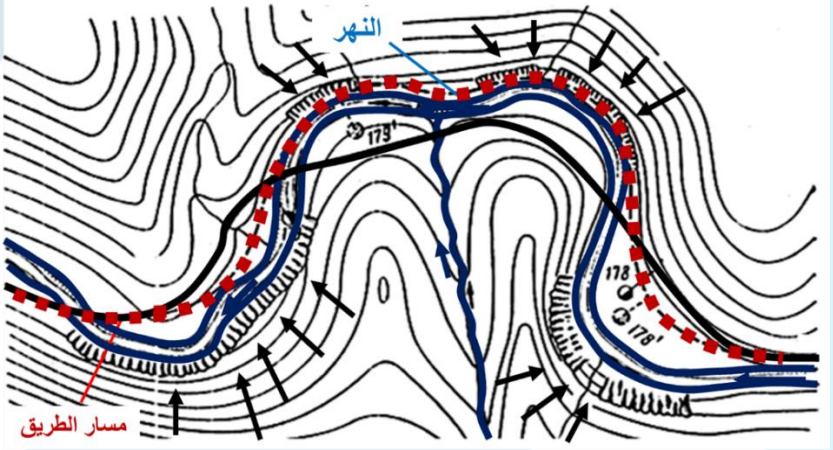
حلول اختيار المسار الطرقي عند تقاطعه مع المجرى المائي



اختيار مسار الطريق عند التقاطع مع المجرى المائي ووفق السفوح الجبلية

إن الطريق الذي يمر على **طول وادي النهر** يجب أن يتوضع فوق المستوى الأعظمي لفيضان النهر وعلى **مسافة تصميمية محسوبة** وبحيث لا يكون هناك أية إمكانية لغمر الجسم الترابي للطريق.

لا ينصح بتوضّع مسار الطريق على **طول الوادي** وفق مخاريط الرواسب للوديان المتقاطعة حيث تظهر على الأغلب **مسيلات مائية تائهة** وعندما يكون تواتر توضّع الرواسب كبيراً فإن فتحة المنشآت الصناعية قد تنسد، لذلك من الملائم أن يكون تقاطع مسار الطريق مع الوادي في المكان الأعلى من **مخروط الرسوبيات** وذلك على أطراف **قسم العبور** من هذا الوادي ولكن إذا كانت الوديان الضيقة كثيرة فإنه ومن أجل عدم إطالة المسار يتم إنشاء **منشآت توجيهية** وفق مخروط الرواسب آخذين بعين الاعتبار توجيه جريان الماء إلى **فتحة الجسر** وذلك لحماية الجسم الترابي من الجرف ولحماية المنشآت الصناعية الطرقية من **الانسداد** نتيجة الرسوبيات المحمولة.



نقل المسار من ضفة إلى ضفة أخرى في أجزاء صعبة من الطريق

يجب دراسة **الصفات العامة للأنهار الجبلية** في هذه المناطق من:

- سرعة جريان التي قد تصل إلى 10 م/ ثا.
- غزارات أعظمية قد تصل إلى 900 متر مكعب بالثانية.
- تأرجح لمستويات الماء عند الأعماق الضحلة وعند الأعماق الأعظمية للفيضانات، الذي قد يصل إلى 6 أمتار.

ماهي إجراءات الوقاية والحماية اللازمة لحماية الطريق؟

- ✓ إنشاء تكسية بيتونية أو حجرية مع بناء سن عميق في الأساس يمنع الجرف
- ✓ إنشاء جدران استنادية على تربة صخرية مقاومة
- ✓ استخدام بلوكات بيتونية ثلاثية الأرجل متشابكة مع بعضها تنزلق عند الجرف
- ✓ استعمال حشوات منزلقة نحو الأسفل وفق السفح.

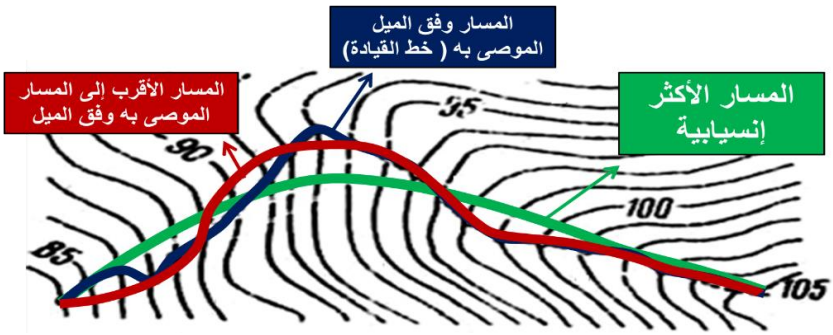
توضع مسار الطريق في الوديان العريضة والعميقة

يتم اختيار مسار الطريق وفق سفوح هذه الوديان للتقليل من حجم الأعمال الترابية، ونعمل على بناء جسور عريضة على مستوى أطراف الوديان العريضة إذا كانت الطرق ذات تواترات مرورية كبيرة، وذلك لاختصار الطريق دون الاضطرار للنزول إلى الجسر المتوضع وفق عمق الوادي، ومن ثم الصعود إلى أعلى السفح، مع توفير نظام حماية للطريق من الوادي المتزايد بفعل تطور عمليات الجرف والحت وبناء منشآت تقوية وتدعيم.

اختيار مسار الطريق وفق سفوح الوديان الجبلية

إن ضرورة تقييم خصائص **المناطق الجبلية المرتفعة** وتحديد قيم تصميمية خاصة للطرق فيها يعتبر في غاية الأهمية، حيث أن هذه الصفات تنعكس حتى على **عمل السائق** إذ تزيد من **زمن رد فعله**، وبالتالي فإن الصفة الأساسية لهذه الطرق هي الضرورة في **إطالة** مسار الطريق، حيث أن الميل وفق **الاتجاه المستقيم** يكون كبيراً، وهو يزيد عن الميل الطولي المعطى،

لذلك فإن المسار تتم زيادة طوله بالاهتداء ليس **بالقيم الحدية** وإنما بالاهتداء بالميل الأقل الذي يسمى **الميل الموصى به**، وهو عادة أقل من **الميل الحدي بـ 15%– 10**، **و** كلما كانت تضاريس المناطق الجبلية أصعب وكلما كانت الضرورة **لمسار أكثر انسيابية** كلما اقتضى ذلك تخفيض أكبر لقيمة الميل المعطاة.



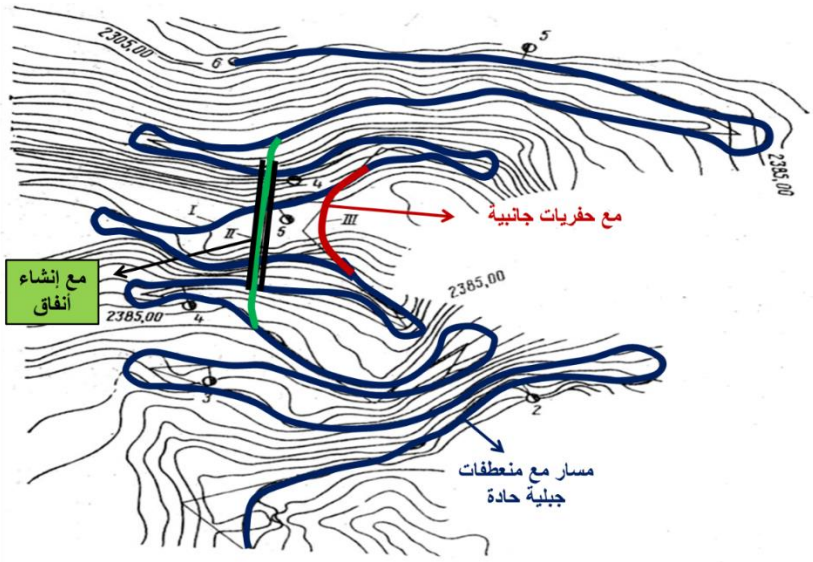
اختيار مسار الطريق وفق سفوح الوديان الجبلية

ويكون ذلك باستخدام طريقة خط القيادة الذي يمثل ميلاً ثابتاً وملائماً لطبوغرافية المنطقة ولميول الطريق المسموحة، وذلك باستخدام الفرجار وفق مقياس الخريطة بحيث تكون فتحة الفرجار:

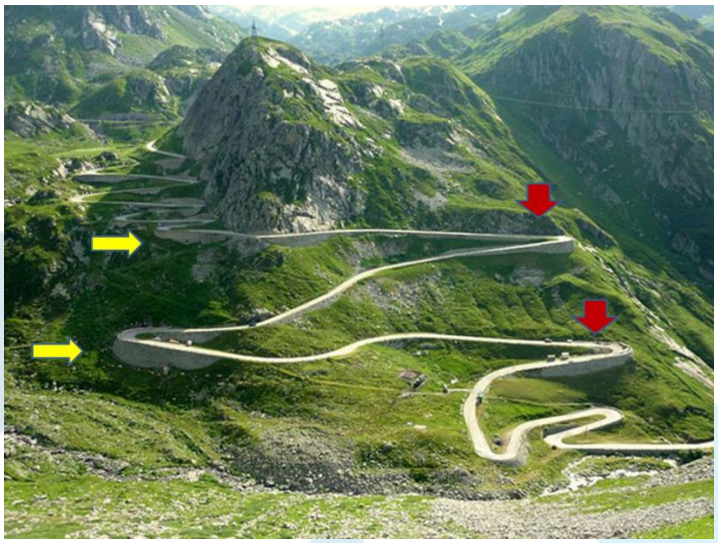
$$\left(\ell_s = \frac{100 \cdot \Delta h}{i}\right)$$

المسقط الأفقي لنقطتين يكون
الفرق بين منسوبيهما Δh.

يتم مسح المسقط المقترح للطريق طبوغرافياً وفق السفوح من أجل شريط من الأرض بعرض 100–150 متر باستخدام أجهزة مساحية ووفق زاوية نظر حسب الميل الخاص بالسفح، وبحيث يكون الميل أصغر من الميل الحدي، وتحميل الحل الذي تم اختياره إلى أرض الواقع طبوغرافياً.



حلول اختيار المسار وفق السفوح الجبلية



اختيار المسار وفق السفوح باستخدام منعطفات جبلية حادة

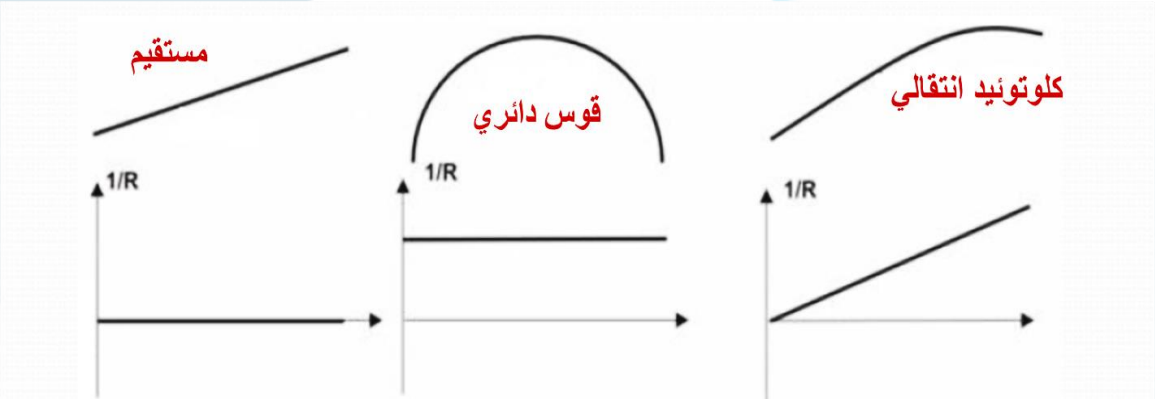
تكون الطرق المقامة وفق وديان الأنهار الجبلية ذات منعطفات أفقية كثيرة وبأنصاف أقطار صغيرة، وقد يتقاطع الطريق مع المجاري المائية الجانبية الجارية الصغيرة والغير مستقرة مع مسار الطريق المتعرج، والتي تصب في الوادي نفسه، ويختار المهندس المصمم الحل الأفضل حسب درجة الطريق وحسب الكلفة الاقتصادية، حيث أن اختيار المسار قد يترافق مع كميات كبيرة من الحفريات والردميات.

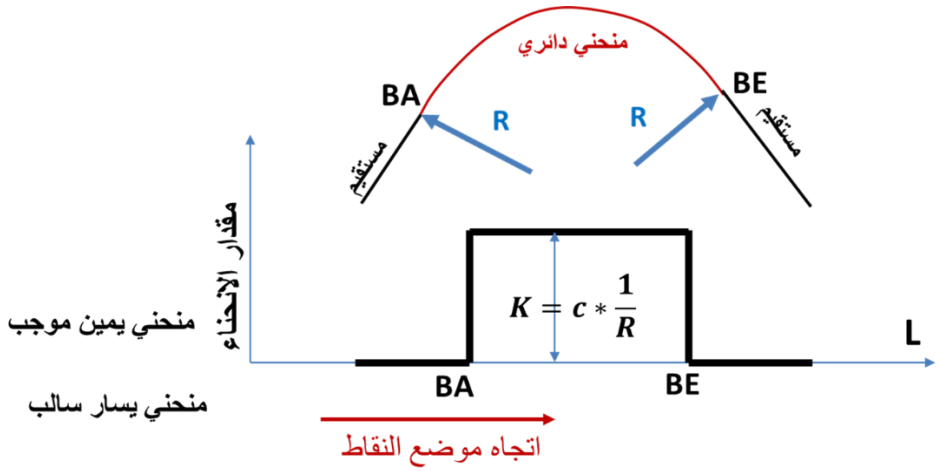
حساب درجات الانحناء في المنحنيات الأفقية البسيطة

للمنحني الدائري نصف قطر ثابت R في كل نقطة كما هو الحال للدائرة، ويكون الانحناء ثابتاً في القوس الدائري، ويعبر عن الزاوية بالراديان التي تقابل واحدة طول من قوس المنحني أي أن:

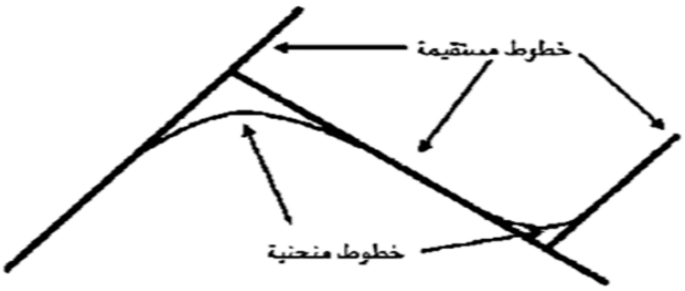
$$K=1/R$$

حيث R- نصف قطر المنعطف بالمتر





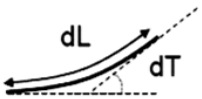
زاوية تغير الاتجاه



المستقيم (انحناء يعادل الصفر) K = 0 = const.

المنحني الدائري (انحناء ثابت) K = const.

منحني الوصل ، كلوتوئيد (انحناء متغير) K = variable



يستخدم ما يسمى الانحناء K من أجل التمثيل الرمزي لمسار الطريق:

$$K = dT / dL$$

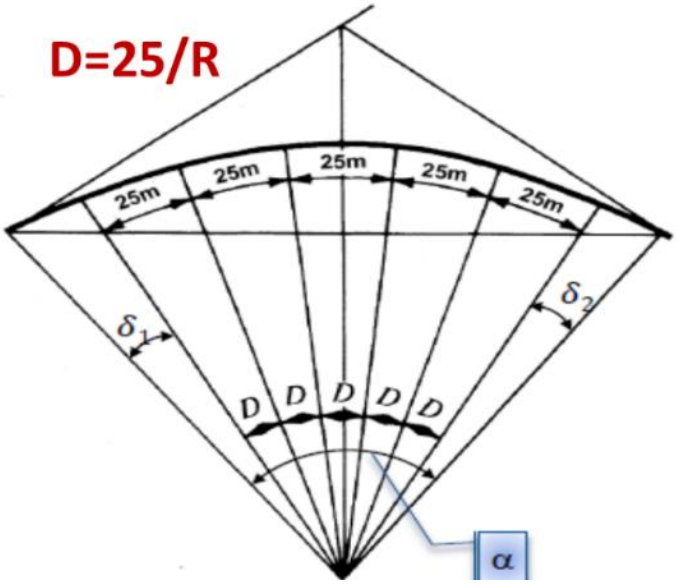
T زاوية تغيير الاتجاه في المستوى الأفقي

R نصف القطر بالمتر

زاوية درجة الانحناء في المنحنيات الأفقية البسيطة

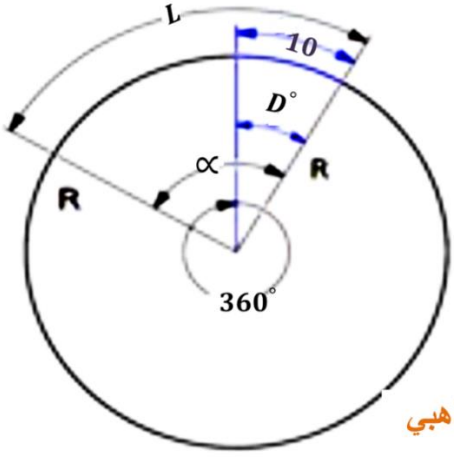
– يعبر **ثابت الانحناء للمنحني الدائري (K=1/R)** عن الزاوية بالراديان التي تقابل واحدة الطول من قوس المنحني.

– نعرف **زاوية درجة انحناء منعطف أفقي من الطريق (D)** على أنها الزاوية بالراديان التي تقابل طول **قوس يعادل 25 متر (D=25/R)**، **حيث يتم زراعة أوتاد على كامل مسار الطريق بمسافات متساوية كل 25 متر على المنحنيات.**



علاقة نصف القطر وزاوية الانحراف بدرجة الانحناء في المنحنى الدائري:

درجة الانحناء أو التقوس: هي الزاوية المركزية بين نصفي قطر المنحني والتي تقابل جزء من محيط المنحني الدائري بطول معلوم.



$$\frac{D^\circ}{10} = \frac{360^\circ}{2\pi R} \Rightarrow D^\circ = \frac{573}{R}$$

$$\frac{D^\circ}{100} = \frac{360^\circ}{2\pi R} \Rightarrow D^\circ = \frac{5730}{R}$$

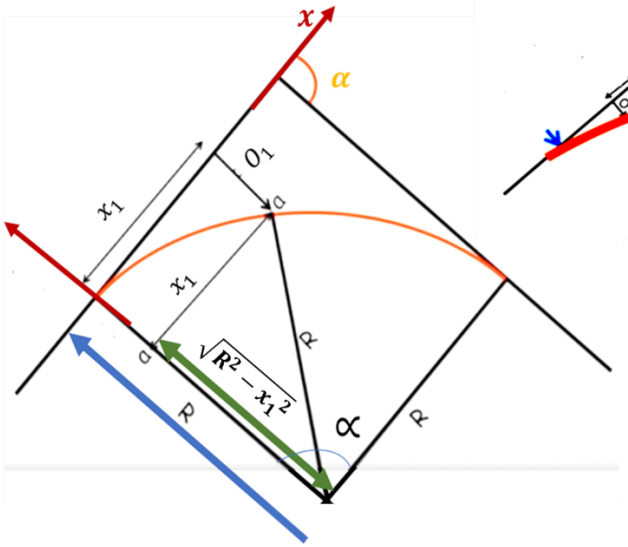
$$R = \frac{5730}{D^\circ}$$

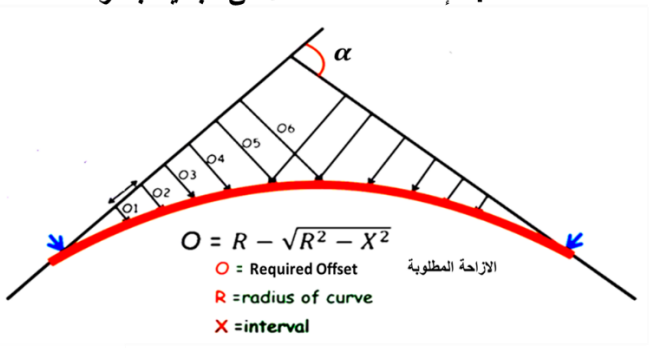
القانون الذهبي $$\frac{100}{D^\circ} = \frac{L}{\propto^\circ} = \frac{2\pi R}{360^\circ}$$

على سبيل المثال : منحني درجته 5 درجات كل 100 م فإن نصف قطره يساوي 1146.5 m.

$$R = \frac{5730}{D^\circ} = 1146.5 \text{ m}$$

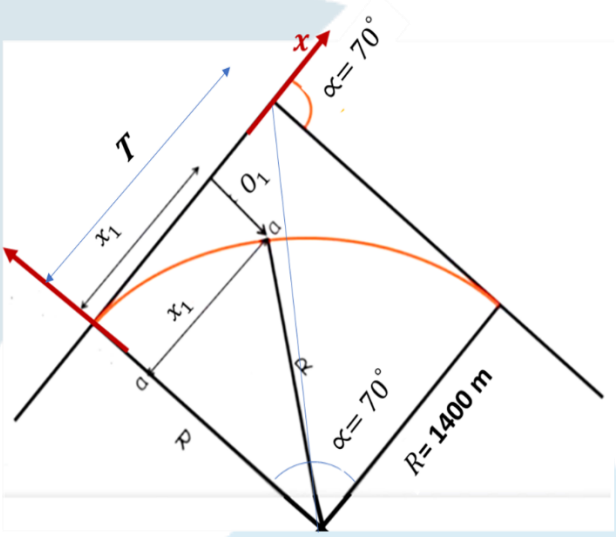
1- إسقاط المنعطف الأفقي البسيط بمعرفة نصف القطر





مثال

في منعطف أفقي بسيط يبلغ نصف قطره R=1400m، وتبلغ زاوية الانحـــــــراف عنده $\propto = 70^{\circ}$ ، احسب طول هذا المنعطف واحسب طول المماس، ثم أوجد مقدار الإزاحة العمودية المطلوبة لنقطة عليه، تبعد بمقـــدار 350 m على الاستقامة عن بداية المنعطف.



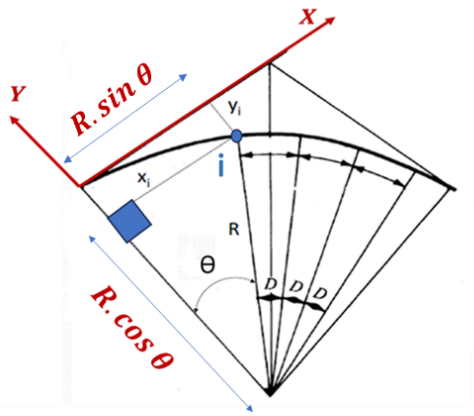
$$L = \frac{\pi * R * \propto}{180^{\circ}} = \frac{3.14 * 1400 * 70^{\circ}}{180^{\circ}} = 1709.56m$$

$$T = R * tg\frac{\propto}{2} = 1400 * tg\frac{70^{\circ}}{2} = 980.29\ m.$$

$$O = R - \sqrt{R^2 - x^2}$$

$$O = 1400 - \sqrt{1400^2 - 350^2} = 44.46\ \text{m}$$

2- إسقاط المنعطف الأفقي البسيط بمعرفة زاوية القوس



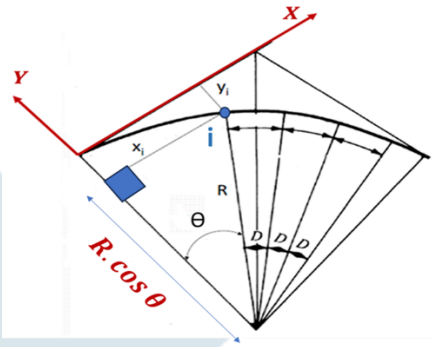
إذا كان لدينا النقطة j تقع على منحني دائري وعلى زاوية θ من بداية المنحني، عندها تحسب الفاصلة المحلية لهذه النقطة وترتيبها من العلاقتين:

$$x_i = R.sin\,\theta$$

$$y_i = R.(1 - cos\,\theta)$$

مثال:

احسب إحداثيات نقطة تقع على منحني أفقي بسيط نصف قطره R= 1800 وتبلغ زاوية الانحـــــــــــــراف عنده $\propto = 80^{\circ}$ ، علماً أنها على زاويـــــة $\theta = 30^{\circ}$ من بداية المنحني، ثم احسب إحداثيات نقطة على المنحني على زاوية θ= 35° من نهاية هذا المنحني.



$$x_i = R.sin\,\theta$$

$$y_i = R.(1 - cos\,\theta)$$

$$x_1 = 1800.sin\,30 = 900\ m$$

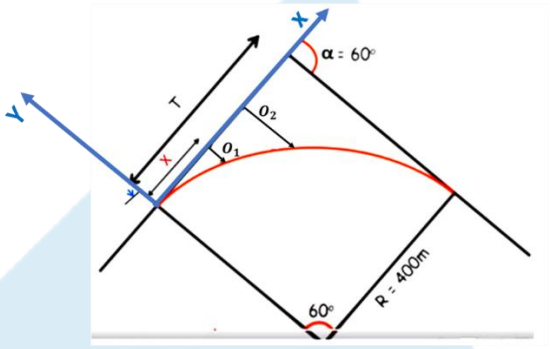
$$y_1 = 1800.(1 - cos\,30) = 241.15\ m$$

$$x_2 = 1800.sin\,45 = 1272.8\ m$$

$$y_2 = 1800.(1 - cos\,45) = 527.21\ m$$

مثال:

أوجد قيم الإزاحة العمودية لتخطيط منعطف أفقي بسيط إذا علمت أن: $\propto = 60^{\circ}$ و R = 400m، وأن الإزاحة كل 30 متر.



$$T = R * tg\frac{\alpha}{2} = 400 * tg\frac{60}{2} = 230.94\ m$$

$$N = \frac{230.94}{30} = 7.7$$

$$O = R - \sqrt{R^2 - x^2}$$

$$O_1 = 400 - \sqrt{400^2 - 30^2} = 1.126\ m$$

$$O_2 = 400 - \sqrt{400^2 - 60^2} = 4.53\ m$$

$$O_3 = 400 - \sqrt{400^2 - 90^2} = 10.26\ m$$

$$O_4 = 400 - \sqrt{400^2 - 120^2} = 18.42\ m$$

$$O_5 = 400 - \sqrt{400^2 - 150^2} = 29.19\ m$$

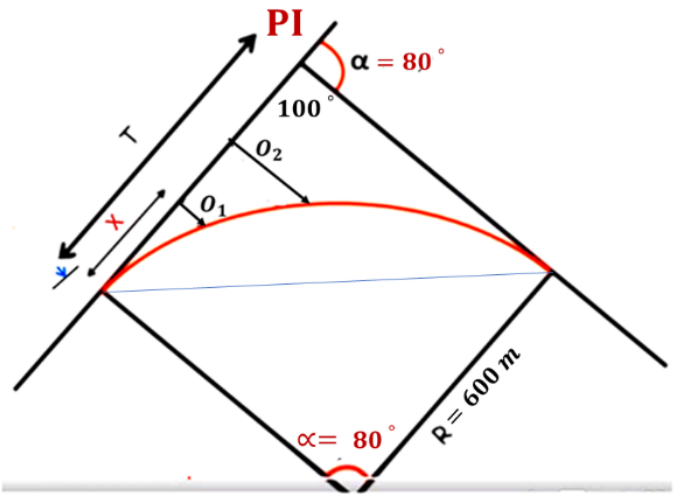
$$O_6 = 400 - \sqrt{400^2 - 180^2} = 42.79\ m$$

$$O_7 = 400 - \sqrt{400^2 - 210^2} = 59.56\ m$$

مثال:

إذا كانت زاوية التقاطع ° 80، لمنحني دائري بنصف قطر 600 m، احسب طول المماس، تدريج نقطة بداية المنحني وتدريج نقطة نهاية المنحني وطول الوتر الكلي وقيمة السهم الداخلي والخارجي، إذا علمت أن نقطة التقاطع عند التدريج 2065.5 m، وأن المسافة بين المحطات 100 متر.

$$T = R * tg\frac{\propto}{2} = 600 * tg40^\circ = 503.46\ m$$



Station P.C = station P.I - T = 2065.5 – 503.46 = 1562.04 m = 15+ 62.04 m

$$L = \frac{\pi * R * \propto}{180^{\circ}} = \frac{3.14 * 600 * 80}{180^{\circ}} = 837.33\ m$$

Station P.T = station P.C + L = 1562.04 + 837.33 = 2399.4 m = 23+99.4 m

$$L_c = 2 * R * sin\frac{\alpha}{2} = 2 * 600 * sin(40) = 771.35\ m$$

$$M = R * \left(1 - cos\frac{\propto}{2}\right) = 600 * (1 - \cos(40)) = 140.37\ m$$

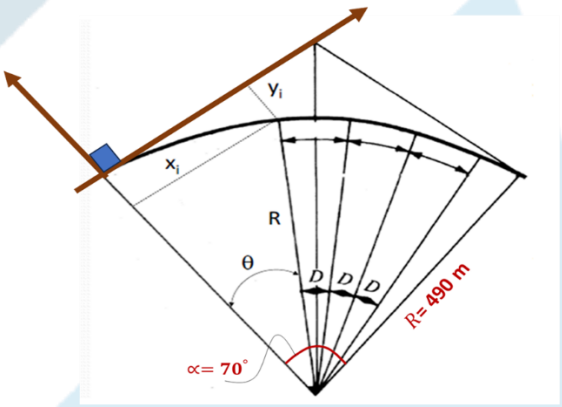
$$E = 600 * \left(\frac{1}{cos(40)} - 1\right) = 183.24\ m$$

مثال:

في منعطف أفقي بسيط يبلغ نصف قطر R= 490 m، وزاوية الانحراف عنده $\propto = 70^{\circ}$ ، ما هي قيمة ثابت الانحناء للمنحني الدائري وماهي درجة انحناء الطريق كل 25 متر، ومن ثم احسب إحداثيات نقطة على المنحني الدائري تقع على الزاوية 20° من بداية هذا المنحني، وإحداثيات نقطة منتصفه.

K=1/R =1/490 = **0.00204 Rad**

D=25/R =25/490 = **0.051 Rad**



إحداثيات النقطة من المنحني الدائري التي تقع على الزاوية 20° من بداية المنحني:

$$x_i = R * sin\,\theta$$

$$x_i = 490 * sin20^{\circ} = 167.59\ m$$

$$y_i = R * (1 - cos\theta)$$

$$y_i = 490 * (1 - \cos 20^{\circ}) = 29.551\ m$$

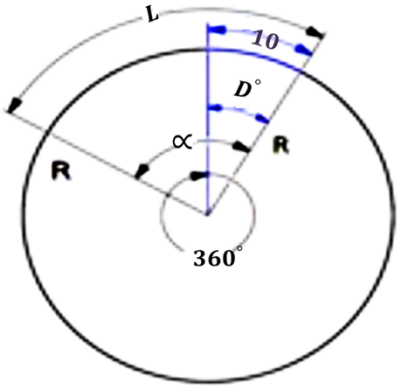
إحداثيات منتصف المنحني الدائري:

$$x_i = 490 * sin35^{\circ} = 281.05 m$$

$$y_i = 490 * (1 - \cos 35^{\circ}) = 88.62\ m$$

مثال:

ماهي قيمة درجة انحناء منعطف أفقي كل 100 متر وكل 10 أمتار، إذا علمت أن نصف قطر هذا المنعطف 1200 متر وزاوية الانحراف الكلية $\propto = 70^{\circ}$، ومن ثم احسب طول هذا المنحني واحسب درجة انحنائه على كامل طوله.



$$D^{\circ} = \frac{5730}{1200} = 4.775^{\circ}$$

$$D^{\circ} = \frac{573}{1200} = 0.477^{\circ}$$

القانون الذهبي $\frac{100}{D^{\circ}} = \frac{L}{\propto^{\circ}} = \frac{2\pi R}{360^{\circ}}$

$$L = \frac{70*100}{4.775^{\circ}} = 1465.97\ m$$

$$L = \frac{2*3.14*1200*70}{360} = 1465.33m$$

درجة انحناء المنحني على كامل طوله (الزاوية المركزية للقوس)

D=1465.33/1200 = 1.22 Rad= 69.94°

مثال:

إذا كانت زاوية انحراف منحني دائري بسيط $\propto = 30^{\circ}$ ودرجة المنحني $D = 38^{\circ}$ لكل 100 متر، احسب جميع عناصر المنحني.

القانون الذهبي $\frac{100}{D^{\circ}} = \frac{L}{\propto^{\circ}} = \frac{2\pi R}{360^{\circ}}$

حساب طول المنحني:

$$\frac{100}{D} = \frac{L}{\propto} \Rightarrow L = \frac{100 * \propto}{D} = \frac{100 * 30}{38} = 78.94m$$

حساب نصف قطر المنحني:

$$\frac{100}{D} = \frac{2 * \pi * R}{360} \Rightarrow \frac{100}{38} = \frac{2 * 3.14 * R}{360} \Rightarrow R = 150.85\ m$$

إيجاد طول المماس:

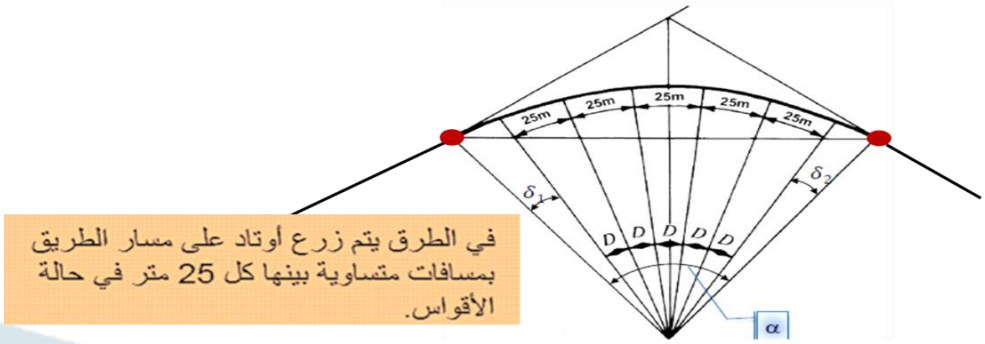
$$T = R * tg\frac{\propto}{2} = 150.85 * tg\ \frac{30^{\circ}}{2} = 40.42\ m.$$

المسافة بين ذروة المنعطف الأفقي وذروة المضلع الأفقي:

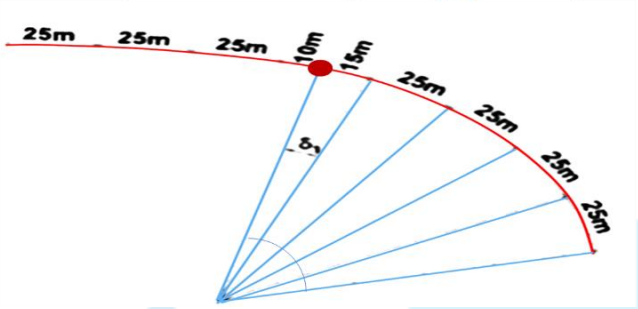
$$E = R * \left(\frac{1}{cos\frac{\propto}{2}} - 1 \right) = 150.85 * \left(\frac{1}{cos\frac{30}{2}} - 1 \right) = 5.32\ m$$

مسافة إزاحة القوس الدائري عن الوتر:

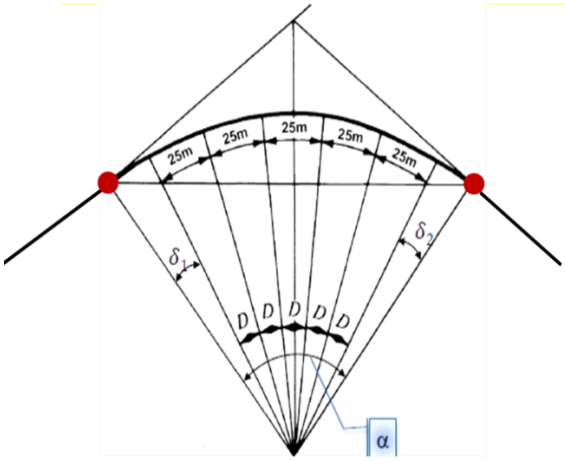
$$M = R * \left(1 - cos\frac{\propto}{2} \right) = 150.85 * \left(1 - cos\frac{30}{2} \right) = 5.14\ m$$

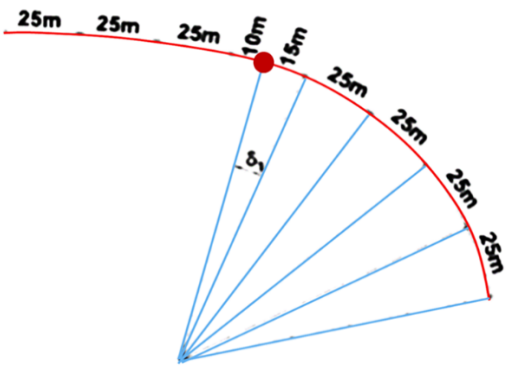


في الطرق يتم زرع أوتاد على مسار الطريق بمسافات متساوية بينها كل 25 متر في حالة الأقواس.



- تحسب الزاوية δ1 بحيث تتم المسافة من الوتد الذي هو قبل وتد بداية القوس إلى القيمة 25 متر.
- تحسب الزاوية δ2 من المسافة بين الوتد قبل الأخير في القوس ووتد نهاية القوس، بحيث لا تتجاوز هذه المسافة 25 متر.





مثال:

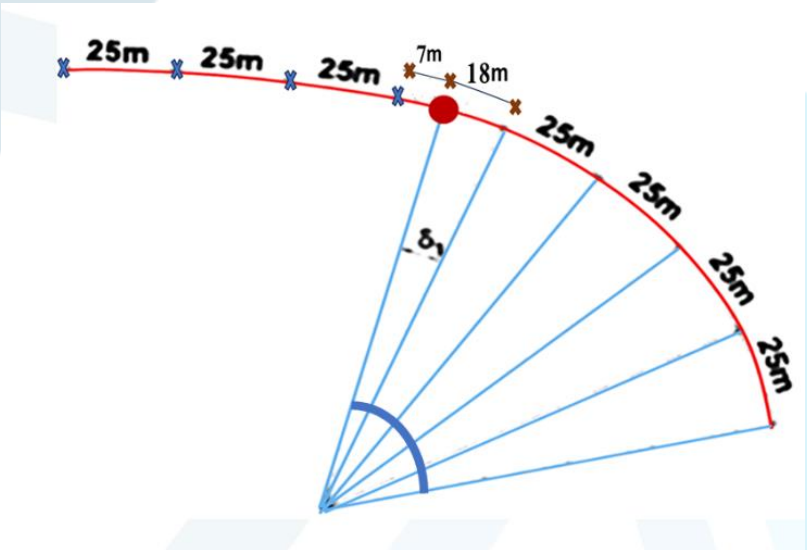
في منعطف أفقي بسيط نصف قطره 600 m وتبلغ قيمة زاوية الانـــــــــــــحراف عنده $\propto = 55^{\circ}$ ، **ماهي عدد الأوتاد داخل هذا القوس، إذا علمت أن الوتد على الاستقامة قبل الدخول إلى المنحني يبعد بمقدار 7 أمتار، وأن المسافة ما بين هذه الأوتاد 25 متر.**

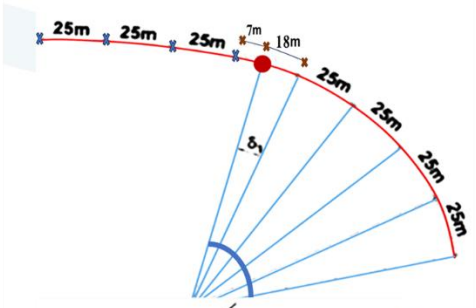
$$D=25/R=25/600 = \mathbf{0.0417\ Rad} = 2.39^{\circ}$$

المسافة المتبقية على القوس: $\mathbf{25 - 7 = 18\ m}$

حساب الزاوية المقابلة لطول قوس 18 m.

1. $\delta 1 = 18/600 = \mathbf{0.03\ Rad} = 1.720^{\circ}$





طول القوس الدائري:

$$L = \frac{\pi * R * \propto}{180^{\circ}} = \frac{3.14 * 600 * 55^{\circ}}{180^{\circ}} = 575.67\ m$$

عدد الأوتاد على القوس الدائري:

$$A = \frac{575.67 - 18}{25} = 22.31$$

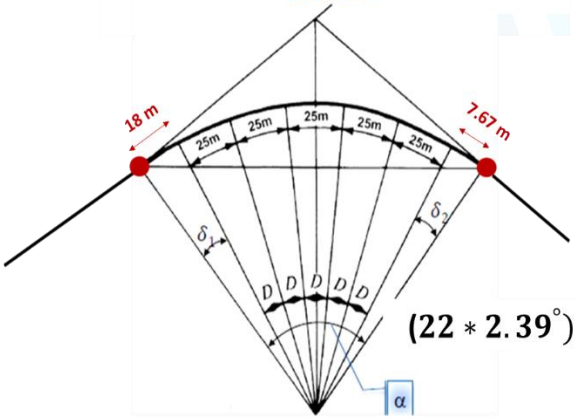
$$22 * 25 = 550\ m$$

$$575.67 - 18 - 550 = 7.67\ m$$

$$\delta 2 = 7.67/600 = 0.0128\ \text{Rad} = 0.734^{\circ}$$

عدد الأوتاد الكلي على القوس الدائري: $22 + 1 = 23$

التحقق من الزوايا: $(22 * 2.39^{\circ}) + 1.720^{\circ} + 0.734^{\circ} = 55^{\circ}$



مثال:

احسب عناصر ومحطات المنحني الدائري البسيط إذا كانـــــــــــــــــت درجة الانحناء كل 10 متر $^{\circ}$ D=5 و= T 80 m ونقطة تقاطع المماسين PIتقع عند المحطة 21+50 متر.

$$R = \frac{572.9}{5^{\circ}} = 114.6\ \text{m}$$

$$T = R * tg\frac{\propto}{2} \Rightarrow 80 = 114.6 * tg\frac{\propto}{2} \Rightarrow \frac{\propto}{2} = 34.92 \Rightarrow \propto = 69.84^{\circ}$$

$$L_c = 2 * 114.6 * sin\ 34.92 = 131.20\ m$$

$$E = 114.6 * \left(\frac{1}{cos\ 34.92} - 1\right) = 25.16\ \text{m}$$

$$M = 114.6 * (1 - cos\ 34.92) = 20.63\ \text{m}$$

$$L = \frac{\pi * R * \propto}{180^{\circ}} = \frac{3.14 * 114.6 * 69.84}{180^{\circ}} = 139.62\ m$$

Station P.C = station P.I - T = 2150 – 80 = 2070 = 20+70 m

Station P.T = station P.C + L = 2070 + 139.62 = 2209.62 m = 22+9.62 m