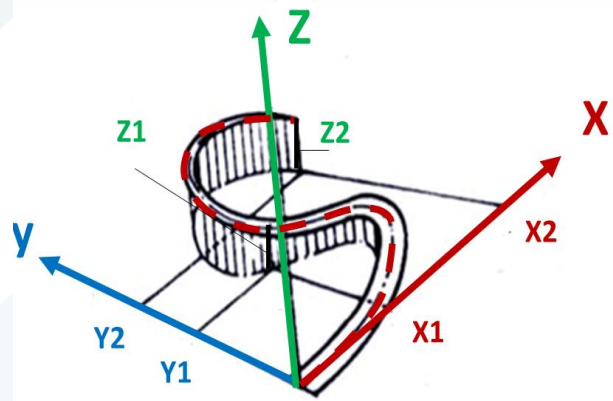


العناصر الهندسية للطريق

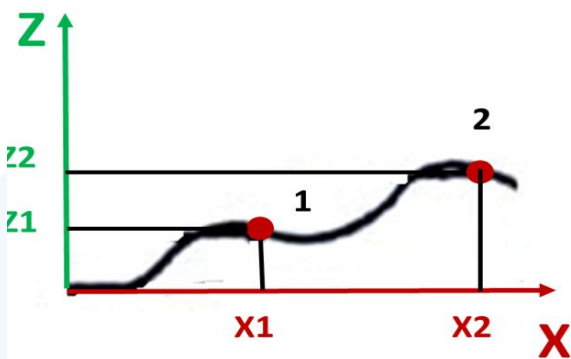
يتألف الطريق من مجموعة عناصر ومنشآت مكملة وضرورية له، ويتحدد جسم الطريق بثلاث عناصر هندسية متكاملة:

- المسقط الأفقي
- المقطع الطولي
- المقاطع العرضية.

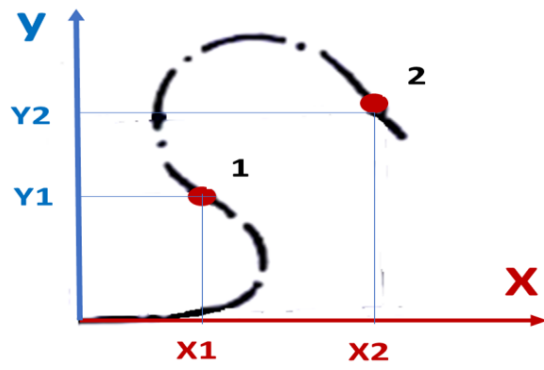
تجسد هذه العناصر الثلاث مجتمعة مسار الطريق، والذي يعرف بأنه الخط الفراغي الانسيابي المؤلف من استقامات ومنحنيات فراغية، ولكل طريق مسقط أفقي واحد ومقطع طولي واحد ومقاطع عرضية كثيرة.



يمكن تمثيل الطريق على أنه منحنى فراغي يمكن إسقاطه على ثلاثة محاور رئيسية، حيث يعطي على جملة الإحداثيات X, Y ، المسقط الأفقي للطريق (محور الطريق)، وعلى المحورين X, Z ، المقطع الطولي للطريق (خط المشروع)، الذي يمثل المسار في المسطح الشاقولي.



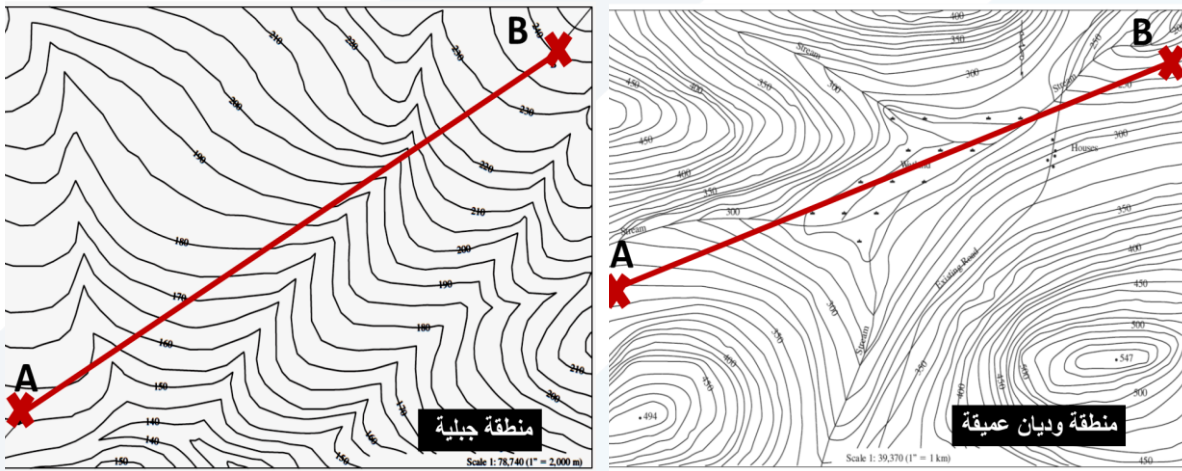
المقطع الطولي في الطريق



المسقط الأفقي لمحور الطريق

تحديد مسار الطريق:

يعتبر تحديد مسار الطريق أو البحث عنه في المخطط الطبوغرافي ذا أهمية كبيرة كخطوة أولى في التصميم، والذي سيكون له انعكاسات اقتصادية وجمالية وفنية مختلفة، وتأتي دراسة محور الطريق في المراحل الأولى ومنها ننطلق إلى دراسة بقية عناصر الطريق، وتتم دراسته على مخططات طبوغرافية بمقاييس مختلفة يمكن أن تكون 1/ 10000؛ 1/ 25000؛ 1/ 50000؛ 1/ 5000؛ 1/ 2000؛ 1/ 1000؛ 1/ 500؛ حسب دقة التصميم وحسب نوع الدراسة اللازمة.

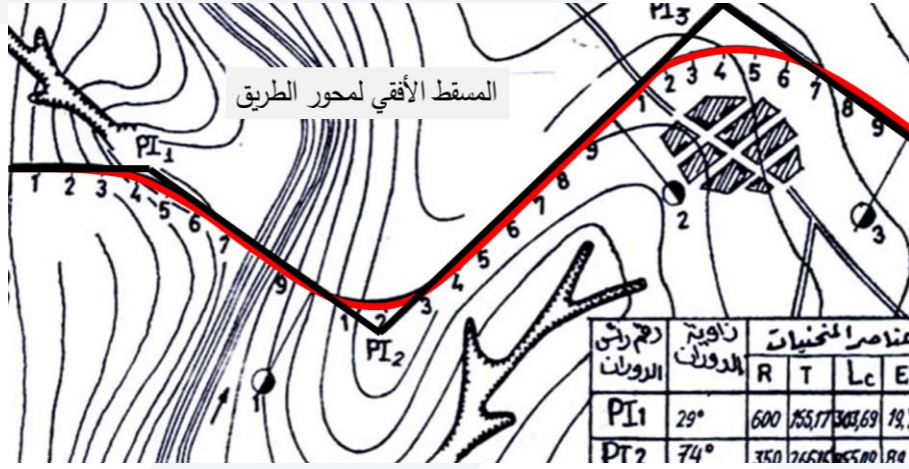


أهم المبادئ الواجب مراعاتها عند رسم مسار الطريق:

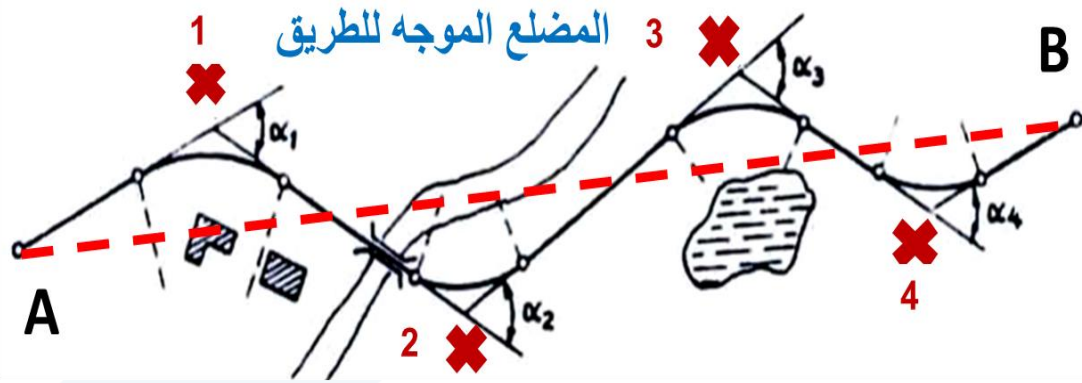
- 1) **مسايرة خطوط التسوية:** يجب أن يتم التقاطع مع خطوط التسوية بمسارات غير متعامدة معها، إلا إذا كان ذلك لا يؤدي إلى تجاوز الميل الطولي الأعظمي المسموح لدرجة الطريق المدروس.
- 2) **المرور بالنقاط المتوسطة:** مثل المرور من منطقة سكنية أو محطة ما تقع بين النقطتين اللتين يتم رسم المسار بينهما من أجل تخديم هذه المنطقة، وكي لا نضطر إلى إنشاء طرق فرعية تصلها بالطريق الرئيس.
- 3) **التقاطع مع الطرق الموجودة والسكك الحديدية والأنهار والوديان العميقة بزوايا قائمة ما أمكن، وذلك أفضل من الناحية الاقتصادية، وبالنسبة للسكك الحديدية تحديداً يجب ألا تقل زاوية التقاطع عن 60 درجة.**
- 4) **يفضل ألا يمر الطريق في البساتين والأراضي الزراعية الخصبة.**

محور الطريق:

هو عبارة عن خط فراغي انسيابي يتغير في المسقط الأفقي بهدف تجاوز العقبات الطبيعية، ويتغير اتجاهه في المقطع الطولي بسبب صعوده على المرتفعات وهبوطه عند المنخفضات.



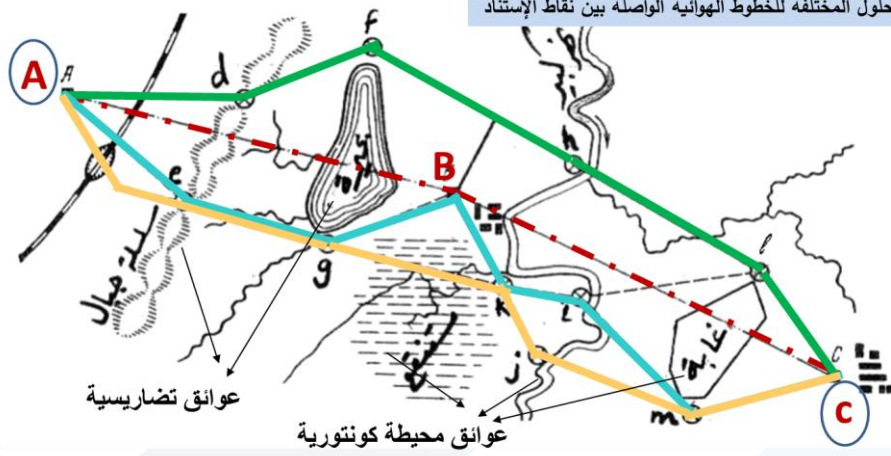
إن كل تغيير في اتجاه محور الطريق يعبر عنه بزاوية الدوران التي يصنعها امتداد كل ضلع للمحور مع الضلع الذي يليه، وترقم رؤوس الدوران بشكل متتالي على طول المحور، وتحسب إحداثياتها للتمكن من إسقاط المحور على الطبيعة بعد تصميمه بشكله النهائي. ونعبر عادةً عن درجة إطالة الطريق بسبب انكسارات المحور عند رؤوس الدوران بعامل الإطالة، (الذي يساوي نسبة الطول الفعلي للطريق إلى الطول الوهمي للمستقيم الواصل بين نقطتي البداية والنهاية لهذا لطريق).



شكل يوضح محور الطريق مع تغيير اتجاهه والزوايا المرافقة لهذا التغيير

يتأثر تحديد مسار الطريق بالظروف الطبيعية أثناء الإنشاء والتشغيل، مع ضرورة دراسة تأثير الظروف الطبوغرافية والجيولوجية والهيدروليكية وكذلك الظروف الجوية، وقد ينتج الانحراف عن الخط المستقيم (الخط الهوائي الواصل بين كل نقطتي استناد يمكن أن تكون مراكز صناعية أو مراكز ثقافية أو سياسية أو إدارية أو عقد طرقية)، عن ضرورة مرور الطريق من نقاط معينة مفضلة تسمى نقاط المرور.

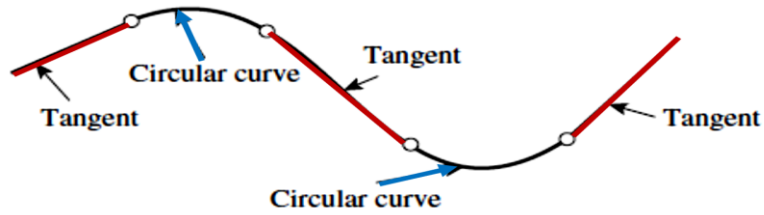
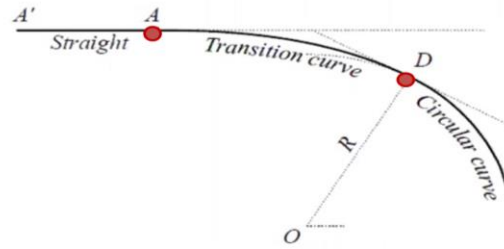
الحلول المختلفة للخطوط الهوائية الواصلة بين نقاط الإستناد.



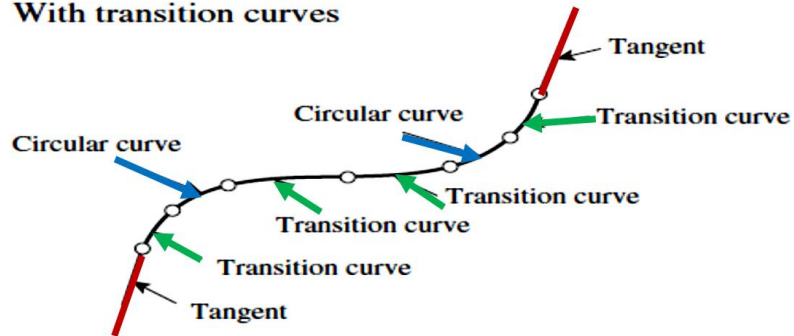
عناصر التخطيط في المسقط الأفقي:

يتكون التخطيط في المسقط الأفقي من ثلاثة عناصر رئيسية:

- الخط المستقيم.
- المنحنى الدائري.
- المنحنى الانتقالي.



With transition curves



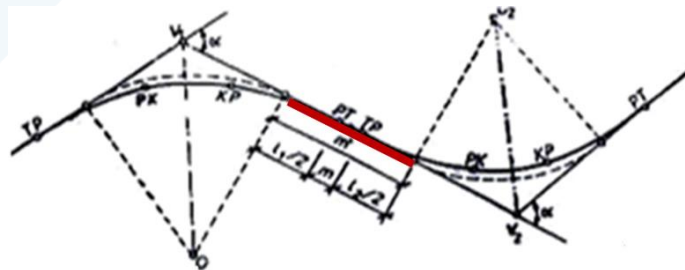


1- الاستقامة الأفقية:

- ❖ من الناحية المرورية هي أبسط العناصر الهندسية تخطيطياً، ولكن يجب ألا تكون طويلة جداً حتى لا تسبب الملل والرتابة للسائق أثناء السفر، وخاصةً في الليل.
- ❖ تشترط المواصفات العالمية الحديثة أن طول الاستقامة الأعظمية المسموحة هي تلك التي تسيرها العربة خلال زمن قدره (2-3) دقيقة، حسب السرعة التصميمية للطريق.

v (km / h)	50	60	70	80	100	110	120
طول الاستقامة، م	70	100	200	300	400	500	600

- ❖ عند الاضطرار إلى استقامات طويلة، فإنه يجب التخفيف من رتابتها بوضع اللوحات الإعلانية على جانبي الطريق، أو بإنشاء مواقف أو محطات استراحة، أو الاستعاضة عنها بمنحني أفقي ذي نصف قطر كبير جداً أكبر من (5000m).
- ❖ إذا كانت الاستقامة الأفقية بين منعطفين متتاليين ومتعاكسين بالاتجاه، فإنه يمكن تصميمها كعنصر هندسي رابط، إلا إذا قلت عن 15m، عندئذ نعمل على إلغائها.



الاستقامة الأفقية بين منعطفين متتاليين ومتعاكسين بالاتجاه

مزايا الاستقامة:

- تلاؤم جيد مع المنحنيات الإجبارية، مثل الوديان والأقنية والخطوط الحديدية الممتدة لمسافات طويلة
- تمثل أقصر وصلة بين نقطتين
- تحقق مدى رؤية واسع، ولاسيما عند العقد المرورية وتجاوز المركبات الأخرى.

سلبات الاستقامة:

- تأثير لانبهار عالي ليلاً
- صعوبة تقدير بعد العربات الأخرى وسرعاتها
- تعب سريع للسائقين
- صعوبة التلاؤم مع الطبيعة، ولاسيما في المناطق ذات الهضاب الكثيرة.

القيم الحدية للاستقامات:

- الطول الأعظمي للطرق المستقيمة ذات الميل الطولي الثابت:

$$\max L = 20 * V \text{ (m)}$$

الطول الأصغري بين منحنيين باتجاه واحد:

$$\min L = 6 * V \text{ (m)}$$

- الطول الأعظمي للمسار بين كلوتويدين اثنين بانحناءات متعاكسة:

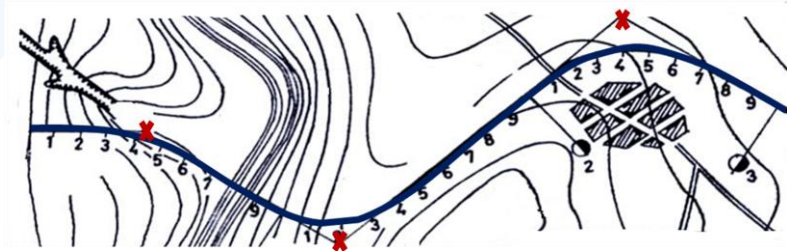
$$\max L = 0.08 (A_1 + A_2)$$

$A_2 A_1$: ثابت الكلوتويد الأول والثاني

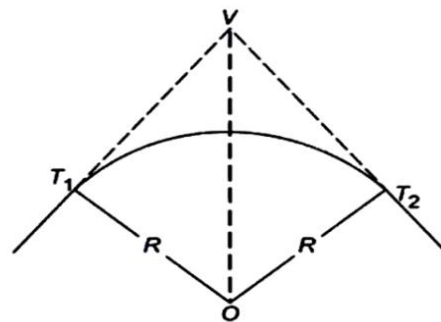
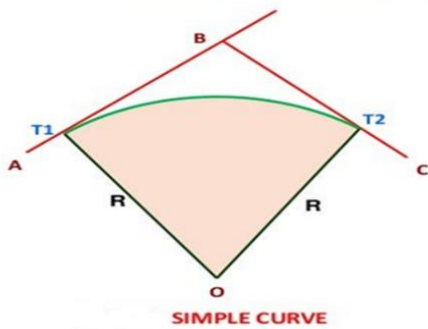
2- المنحنيات الأفقية

عبارة عن منحنيات متوضعة في نقاط ذروة المضلع الأفقي، ويوجد ثلاث أشكال من المنحنيات المستخدمة لربط استقامتين تتقاطعان بزاوية في طريق ما:

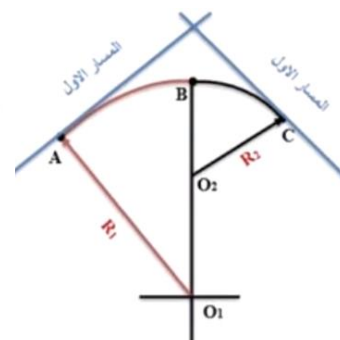
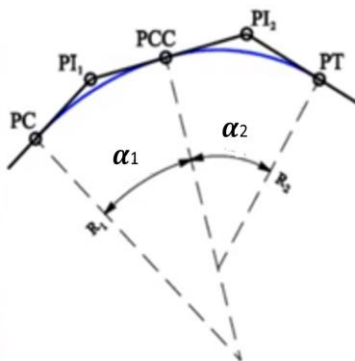
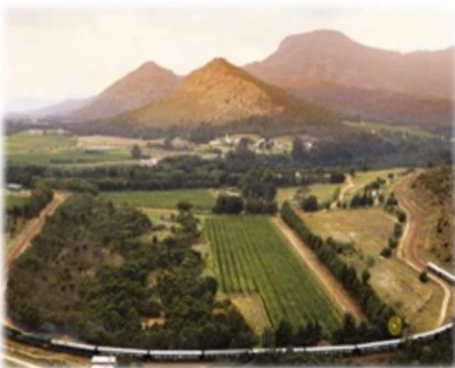
- ❖ **المنحنيات الأفقية البسيطة (الأقواس الدائرية):** التي تتألف من قوس دائري نصف قطره أكبر من 1500m.
- ❖ **المنحنيات الانتقالية (والأكثر استخداماً من هذه المنحنيات هو الكلوتويد أو المنحني الحلزوني):** وتستخدم لربط الاستقامات بالأقواس الدائرية، مثال المنعطف الكلوتويدي والمنعطف الجبلي الحاد، والمنعطف الأفقي المؤلف من قوس دائري ومنحنيات وصل متدرجة متناظرة أو غير متناظرة.
- ❖ **المنحنيات المركبة (عادةً تستخدم فيها ثلاث أقواس دائرية).**



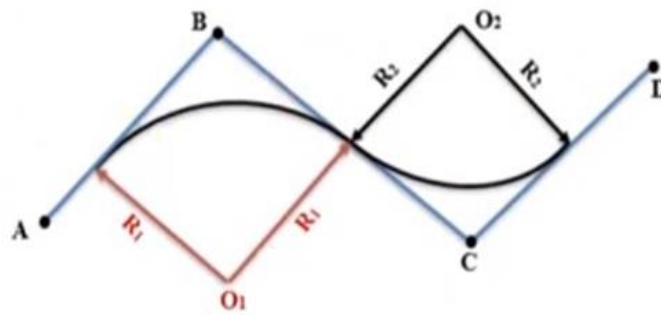
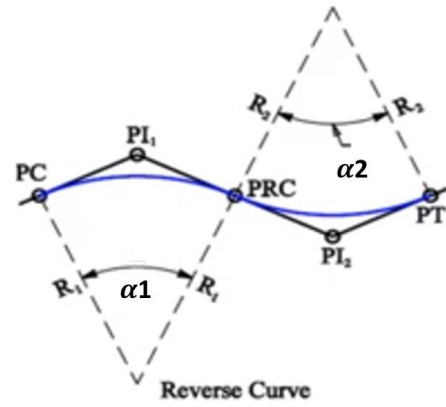
المنعطفات الدائرية البسيطة Simple Circular Curve



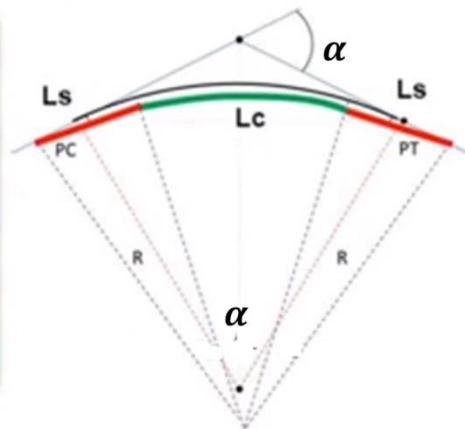
المنعطفات المركبة Compound Circular Curves

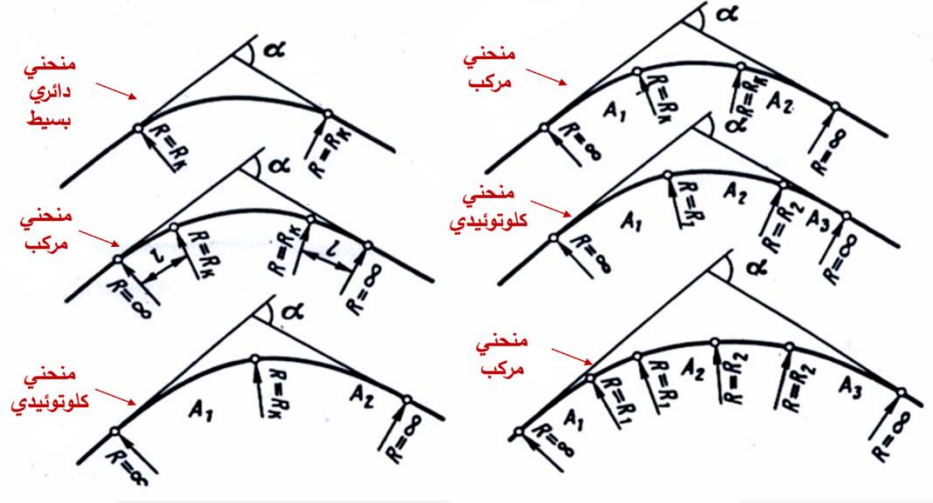


المنعطفات المتعكسة بالاتجاه
Reverse Circular Curves



المنعطفات الكلوئونية
Spiral Curves





الأشكال المختلفة للمنحنيات في المسقط الأفقي

اختيار نصف القطر الأصغري الملائم للسرعة التصميمية في المسقط الأفقي:

نصف القطر الأصغري هو قيمة الإنحناء في الطريق المقابلة لسرعة تصميمية مفروضة، وتكون هذه القيمة مرتبطة بالميل العرضي لسطح الطريق وبعامل الاحتكاك العرضي، وبحسب من العلاقة التالية:

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

نصف قطر انحناء الطريق الأصغري (متر)

السرعة التصميمية (كم/سا)

الميل العرضي الأعظمي للطريق في المنعطفات وتتراوح قيمته بين 4% إلى 12%

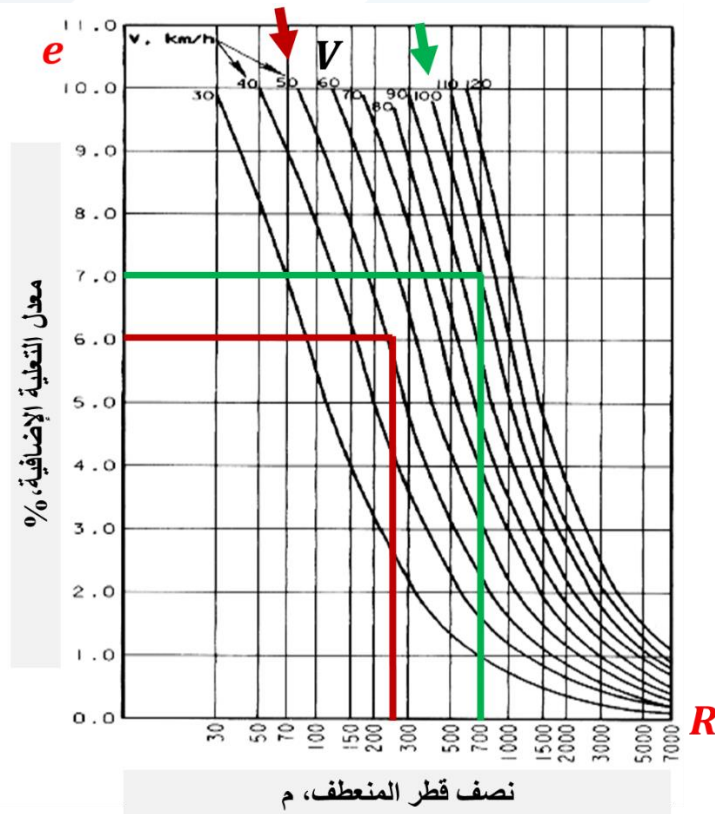
عامل الاحتكاك العرضي الأعظمي وتؤخذ قيمته بدلالة السرعة التصميمية

الاحتكاك العرضي: هو التفاعل بين سطح الطريق وسطح العجلات، حيث يساعد على توازن المركبة وعلى مقاومة قوى الطرد بالاشتراك مع التعلية الإضافية في المنعطفات.

يمكن اختيار نصف القطر الأصغري بدلالة السرعة التصميمية ومعدل التعلية الإضافية من منحنيات نظامية، كما هو موضح في الشكل التالي.

أنصاف الأقطار الأصغرية والميل العرضي ومعامل الاحتكاك العرضي وذلك حسب السرعة التصميمية.

R (m)				f	V (km/h)
e=0.10	e=0.08	e=0.06	e=0.04		
25	30	30	35	0.17	30
45	50	50	60	0.17	40
75	80	90	100	0.16	50
115	125	135	150	0.15	60
160	175	195	215	0.14	70
210	230	250	280	0.14	80
275	305	335	375	0.13	90
360	395	435	490	0.12	100
455	500	560	635	0.11	110
595	665	755	870	0.09	120



منحنيات اختيار نصف القطر الأصغري بدلالة السرعة التصميمية ومعدل التعلية الإضافية

- تناسق بين الطريق والمنطقة المحيطة.
- توافق بين عناصر المسقط الأفقي وتأثيرات الفراغ المكاني.
- تقارب بين السرعة التصميمية والسرعة V85

في طرقات الدرجة الأولى يجب ألا يقل نصف القطر المقترح للمنحني الدائري البسيط (دون المنحنيات الانتقالية) عن 3000 متر، وفي طرق الدرجات الثانية والثالثة يجب ألا يقل عن 2000 متر، كي تكون الحركة آمنة ومستقرة، وإذا لم نتمكن من ذلك عندئذ يجب استخدام المنحنيات الانتقالية. في السرعة المنخفضة $v \leq 70 \text{ Km/h}$ على طرق المدينة، فإنه نموذجياً تستخدم المنحنيات البسيطة، وإذا كان ضرورياً، فإنه ومن المقبول استخدام المنحنيات المركبة على الطرق الرئيسية من أجل الحالات التالية:

✓ تجاوز العقبات

✓ لتناسب طبوغرافية المنطقة.

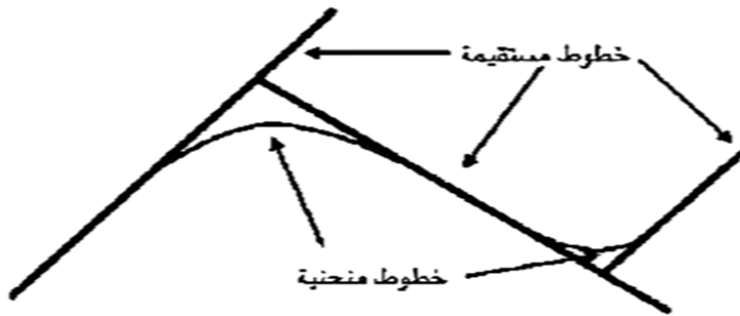
على أن تستخدم المنحنيات المركبة على الطرق الرئيسية وبحيث يكون:

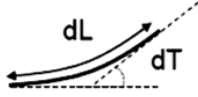
$$R_1 = 1.5 \cdot R_2$$

حيث: R_1 - نصف القطر الأكبر، R_2 - نصف القطر الأصغر

نصف القطر الأصغر المقترح لتجنب منحنيات الوصل (متر)	السرعة التصميمية (كم/سا)
1200	80
1400	90
1800	100
2000	110
2500	120
3000	130

زاوية تغير الاتجاه





$K = 0 = \text{const.}$ المستقيم (انحناء يعادل الصفر)
 $K = \text{const.}$ المنحني الدائري (انحناء ثابت)
 $K = \text{variable}$ منحني الوصل ، كلوتويد (انحناء متغير)

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

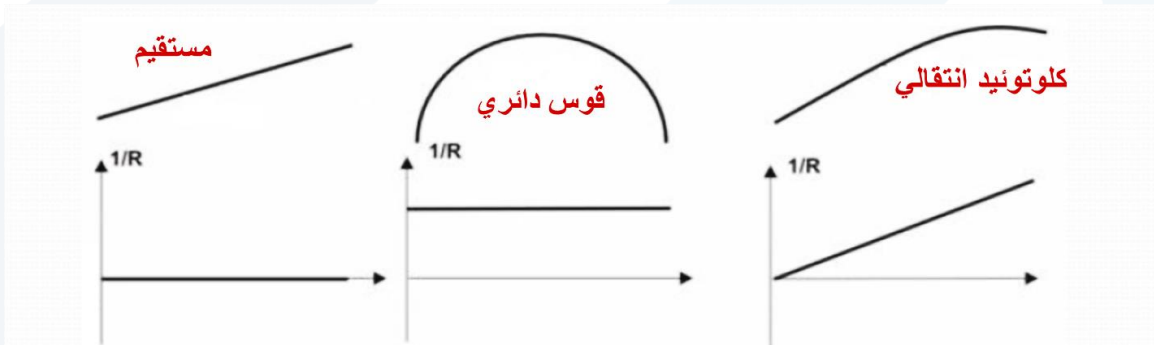
$$K = dT / dL$$

T زاوية تغيير الاتجاه في المستوى الأفقي
 R نصف القطر بالمترا

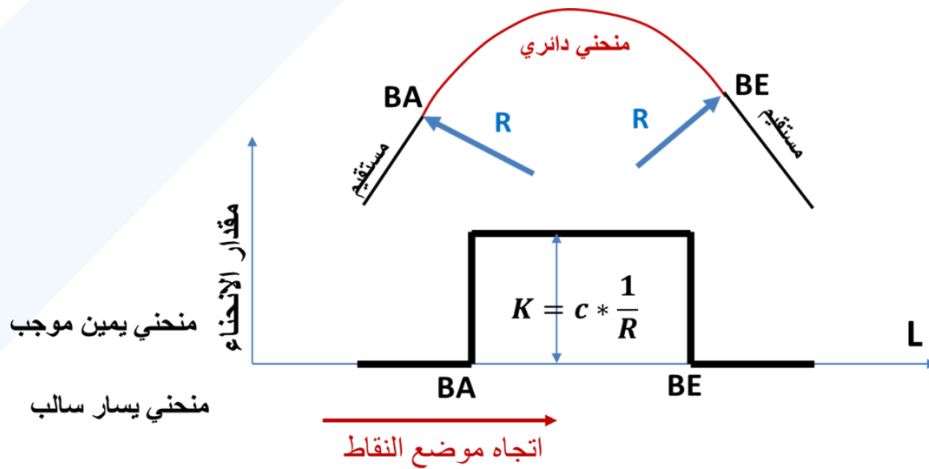
يكون الانحناء ثابتاً في القوس الدائري، ويعبر عن الزاوية بالراديان التي تقابل واحدة طول من قوس المنحني أي أن:

$$K=1/R$$

حيث R - نصف قطر المنعطف بالمترا

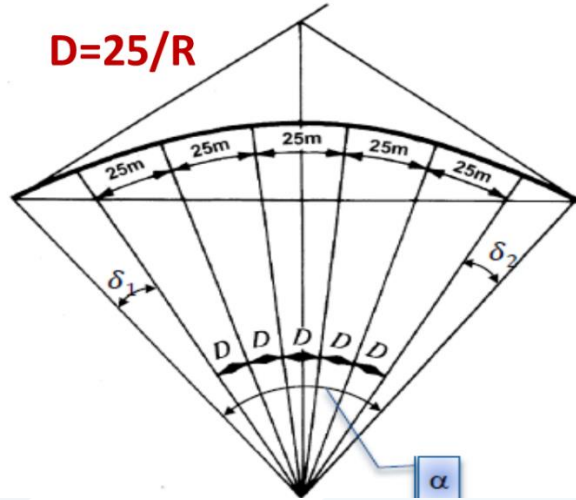


للمنحني الدائري كما هو الحال للدائرة نصف قطر ثابت R في كل نقطة، ونصف القطر الثابت للدائرة يقود مثلما هو الحال في الاستقامة إلى قيمة انحناء ثابت.



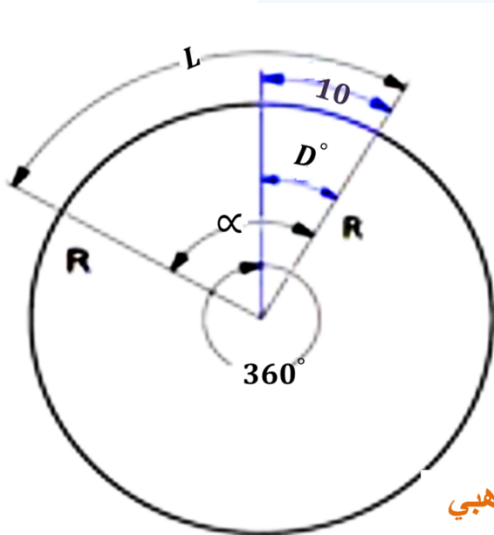
زاوية درجة الانحناء في المنحنيات الأفقية البسيطة

في الطرق يتم زرع أوتاد على مسار الطريق بمسافات متساوية فيما بينها كل 25 متر في حالة الأقواس. نعبر عن زاوية درجة انحناء الطريق D، على أنها الزاوية بالراديان التي تقابل طول قوس يعادل 25 متر، أي:



علاقة نصف القطر وزاوية الانحراف بدرجة الانحناء في المنحني الدائري:

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



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

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

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

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

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

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