التّصميم الهندسي للطرق

التصميم الهندسي للطرق: هو عملية ايجاد الأبعاد الهندسية لكل طريق وترتيب العناصر المرئية له، مثل المسار ومسافات الرؤية والانحدارات..... الخ، ومن أهم المعطيات اللازمة للتصميم الهندسي للطرق هي:

- **أهمية المشروع وأهدافه.**
- **المسح الطبوغرافي لمسار الطريق ووضع المخططات المطلوبة بمقياس *(1/1000)* أو بمقياس *(1/500)*.**
- **ميكانيك التربة وتحديد أنواع الترب وقدرة التحمّل لكل منها.**
- **الدراسة الهيدرولوجية ومواقع المسيلات والأعمال الصناعية المتوقّعة.**
- **القيم المرورية المتوقّعة ونسب العربات.**
- **نتائج الدراسات الاستطلاعية والأولية لمسار الطريق بمختلف أنواعها.**
- **نقاط التحكم الإجبارية والتي تعترض المسار الأفقي للطريق.**

معايير وتوجيهات التصميم:

تعتمد عملية التصميم بشكل عام على عدد من المعايير والعوامل الخاصة التي تتأثر بها، ومن أهمها :

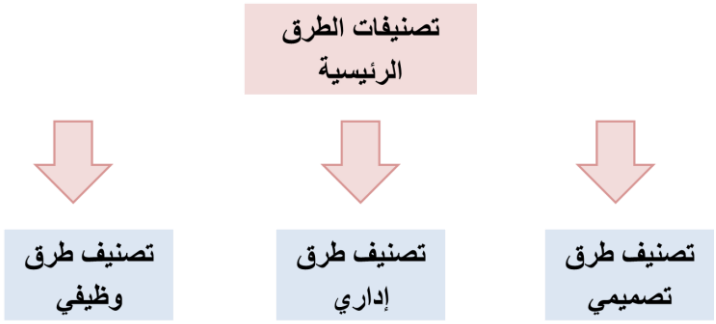
1 - التصنيف الوظيفي للطريق
2 -طبيعة المنطقة
3 -العربة التصميمية
4 -حجوم المرور المتوقعة
5 -السرعة التصميمية
6 -الكثافة واستعمالات الأراضي المجاورة
7- اعتبارات اقتصادية وبيئية

تتغير هذه العوامل على طول الطريق، لذلك يجب ألا يكون التصميم ثابت على كامل طول الطريق، كما أن التغيرات في التصميم مطلوبة للحصول على ارتباط صحيح ومناسب بين تخطيط الطريق والعوامل المذكورة سابقاً، مع المحافظة على تكاليف التشييد ضمن مستويات واقعية مقبولة، أما أهم الدراسات الاستطلاعية الخاصة بالطرق، فهي موضحة بالجدول التالي:

Class of road	صنف الطريق المراد تصميمه أو درجته
Surveys and mapping	أعمال المساحة وأعمال الخرائط الكونتورية
Centerline location and preliminary design	انتقاء المحور والتصميم الأولي للطريق
Geotechnical engineering	دراسة التربة
Hydrology	الدراسة الهيدرولوجية
Traffic and projections	دراسة النقل وتوقعات المستقبل

تصنيف الطرق:

يعتبر تصنيف الطرق ضرورياً للتعريف بالطرق ولتحديد خصائصها الهندسية ولتنظيم وضبط الأعمال الإدارية والقانونية المتعلقة بها، وهو يعتمد على الغزارات المرورية على الطريق، عدد الرحلات عليها، استيعاب الطريق، المسافات المقطوعة.



تصنيف الطرق التصميمي:

هو عملية تحديد المواصفات الهندسية وفقاً لأهمية ومستوى الخدمة الذي تقدمه لحركة النقل والمرور، ووفق المعايير والضوابط الهندسية المناسبة للسرعة التصميمية المطلوبة.

تصنيف الطرق الإداري:

يستعمل للدلالة على مستويات المسؤولية الحكومية، (ومثال على ذلك: نظام الطرق المركزية على مستوى القطر ونظام الطرق المحلية على مستوى المحافظات والمدن والمنطقة.....)، ويحدد طريقة التمويل للإنشاء والصيانة والأعمال الملحقة، كما يحدد الوظيفة الإدارية للطرق.

تصنيف الطرق الوظيفي:

يستخدم للدلالة على الطرق داخل المدن أو خارجها، حسب نوعية الأماكن التي تخدمها هذه الطرق والهدف من إنشائها، إما كطرق مركزية أو طرق محلية مع المناطق والقرى، أو طرق لخدمة الأراضي الزراعية والمناطق السياحية والمواقع الأثرية.

كما تصنف الطرق بشكل عام إلى ثلاثة أصناف رئيسية هي:

الطرق السريعة:express ways

وهي متعددة الحارات غالباً تكون الحركة فيها باتجاهين، وتفصلهما في الوسط جزيرة فاصلة، ويكون حجم المرور عليها كبيراً، وتربط المدن الرئيسية بالبلدان المجاورة.

الطرق الريفية rural ways:

تقع خارج المدن في القرى والبلدات المجاورة لها، وسرعتها التصميمية قليلة، وحجم المرور عليها قليل، وتتألف من حارة واحدة أو أكثر، وتكون الحركة عليها باتجاهين.

الطرق الحضرية urban ways:

تتألف من حارات عدة، وتكون الحركة عليها باتجاهين، وتغطي المدن والضواحي، وعلى طرفيها أرصفة لخدمة المشاة.

طرق المناطق الجبلية

الطرق الحضرية

الطرق الريفية

الطرق السريعة

تتميز شبكة الطرق في المناطق الحضرية عن الطرق البرية بمجموعة من الخصائص التي تؤثر على شروط تصميمها وإنشائها، ومن هذه الخصائص:

1- أحجام المرور الكبيرة للسيارات الصغيرة ذات الحمولات المحورية القليلة.

2- كثرة التقاطعات.

3- قلة المساحة المخصصة للإنشاء.

4- مرور هذه الطرق في المناطق المأهولة، الأمر الذي يفرض مجموعة من الشروط التنفيذية والبيئية.

الطرق في المناطق الحضرية

تصنيف الطرق داخل المدينة:

تم اعتماد تصنيف شبكة الطرق الوارد من قبل الهيئات العالمية مثل اتحاد مسؤولي النقل والطرق في الولايات المتحدة الأمريكية (AASHTO):

American Association of State Highway and Transportation Officials

1- الطرق المحلية:

- **تقوم هذه الطرق بتخديم مناطق سكنية أو مناطق سكنية وتجارية معاً، ويمكن أن تكون متعددة المسارات ولكن نادراً ما تحوي جزراً وسطية.**
- **تتصل هذه الطرق مع الطرق المحلية الأخرى ومع الطرق التجميعية، ويمكن أن تتصل مباشرة مع الطرق الشريانية في بعض المناطق التجارية والصناعية.**
- **تكون حركة المرور على هذه الطرق غير مقيدة، ووسائل تنظيم المرور عليها بسيطة، وتتكون من إشارات توقف أو إشارات ضوئية.**

الطرق المحلية

2- الطرق التجميعية:

- تكون حركة المرور مختلطة في المناطق التجارية والصناعية، وتضم سيارات صغيرة وشاحنات تتحرك من وإلى الطرق الشريانية.
- الحركة على هذه الطرق مقيدة في المراكز التجارية وقربها نتيجة الإشارات الضوئية العديدة.

الطرق التجميعية

3- الطرق الشريانية:

- تتلخص وظيفة هذه الطرق بالوصل بين الطرق التجميعية والطرق السريعة، وتتحرك عليها أحجام مرور كبيرة من مختلف السيارات الصغيرة والشاحنات، وبسرعات متوسطة وعالية.
- تقوم هذه الطرق بتخديم الحركة بين مراكز التوليد والجذب الرئيسية، كما تتصل مع الطرق البرية والشريانية والمحلية.
- تستخدم هذه الطرق من قبل مختلف السيارات الصغيرة والكبيرة ويمكن أن تصل نسبة السيارات الشاحنة عليها إلى عشرين (20) بالمائة، وتتحرك عليها حافلات النقل الداخلي والخارجي.
- تتصل هذه الطرق مع الطرق السريعة والشريانية الأخرى، ومن غير المفضل وصل الطرق السكنية المحلية مع الطرق الشريانية مباشرة.

الطرق الشريانية

4 - الطرق السريعة (طرق الحركة الحرة):

- ❑ تتلخص وظيفة هذه الطرق بتأمين شروط حركة مستمرة دون إعاقات لأحجام المرور الكبيرة بين مناطق توليد المرور الرئيسية.
- ❑ تمثل هذه الطرق امتداداً للطرق البرية الرئيسية، وتقوم بربط المناطق السكنية والتجارية والصناعية الكبيرة مع مركز المدينة التجاري.
- ❑ لا يسمح بتوقف السيارات أو عبور المشاة السطحي على هذه الطرق، كما أن هذه الطرق تكون مفصولة عن المناطق المجاورة.
- ❑ حجم المرور كبير، وتتحرك عليها كل أصناف السيارات الصغيرة والشاحنة، وتصل نسبة السيارات الشاحنة إلى عشرين (20) بالمائة أو أكثر.

طرق الحركة الحرة

5- طرق المناطق الصناعية:

- ❑ تتلخص وظيفة هذه الطرق بتأمين حركة السيارات ضمن المناطق الصناعية، وربطها مع الطرق من الأصناف الأخرى، وتنتمي إلى هذه المجموعة الطرق في محطات السكك الحديدية والمرافئ.
- ❑ أحجام المرور على هذه الطرق قد تكون غير كبيرة، لكن نسبة السيارات الشاحنة ذات الحمولات الكبيرة عالية.
- ❑ تتطلب طبقات الرصف في بعض أجزاء هذه الطرق تصميماً ومعالجات خاصة لمقاومة الحمولات الكبيرة.

طرق المناطق الصناعية

تصنيف السرع:

تصنف السرع إلى:

- **السرعة المطلوبة:** هي السرعة التي يتمنى السائق السفر وفقها.
- **السرعة التشغيلية:** وهي السرعة المقاسة في ظروف الجريان الحر.
- **سرعة الجريان:** وهي السرعة الوسطية التي يتم الحفاظ عليها على طريق معين عندما تكون العربة في حالة حركة.
- **السرعة الموضعية:** هي السرعة المقيدة لأسباب تتعلق بعمليات المرور الآمنة.
- **السرعة v85:** هي السرعة التي لاتتجاوزها 85%من العربات السياحية، والتي تسير على طريق مبلل ونظيف وخال من العوائق، وهي قيمة ديناميكية يتم تحديد قيم هندسية مختلفة تبعاً لها من ميل عرضي في المنعطف ومسافة الرؤية المطلوبة للتوقف والتجاوز.

السرعة التصميمية:

- ❑ **هي السرعة المختارة كقاعدة آمنة لتأسيس عناصر هندسية ملائمة من أجل مقطع مخصص للطريق.**
- ❑ هي **السرعة القصوى الآمنة** التي يمكن أن يحافظ عليها السائق فوق مقطع الطريق المخصص وفقاً للمواصفات التصميمية للطريق في ظروف الطقس الجيدة.
- ❑ هي **مؤشر لمستوى الخدمة** الذي يقدمه الطريق، وتعتبر مرجعاً رئيسياً لتحديد وضبط **عناصر التصميم الهندسي للطريق** في المسقط الأفقي والمقطع الطولي.

تخفيض قيمة السرعة التصميمية:

ينصح بالمحافظة على قيمة السرعة التصميمية في الاستقامات والمنعطفات، أما في **حال مرور الطريق خلال تضاريس صعبة** فيمكن تخفيض السرعة **بمقدار 25%من** قيمتها في الاستقامة، نظراً لارتباطها المباشر في اختيار أنصاف الأقطار، وانعكاس ذلك على كلفة الإنشاء في بعض الحالات.

درجة الطريق	السرعة الصغرى (Km/h)	السرعة المرغوبة (Km/h)
طريق محلي	30	50
طريق تجميعي	50	60
طريق شرياني – عام	80	100
طريق شرياني - أقل اضطراب	70	90
طريق شرياني - اضطراب ملموس	50	60
طريق سريع	90	120

صنف الطريق	تضاريس الأرض	السرعة المرغوبة (km/h)	السرعة الصغرى (km/h)
طرق الدرجة الرابعة ADT(20)≥300vh	سهلية	80	70
	متعرجة	70	60
	جبلية	60	30
طرق الدرجة الثالثة ADT(20)2000-3000vh	سهلية	90	80
	متعرجة	80	60
	جبلية	60	50
طرق الدرجة الثانية ADT(20)1000-4000vh	سهلية	100	80
	متعرجة	90	80
	جبلية	70	60
طرق الدرجة الأولى ADT(20)2000-15000vh	سهلية	110	100
	متعرجة	100	100
	جبلية	100	70
طرق الدرجة السريعة ADT(20)>15000vh	سهلية	130	110
	متعرجة	120	110
	جبلية	100	80

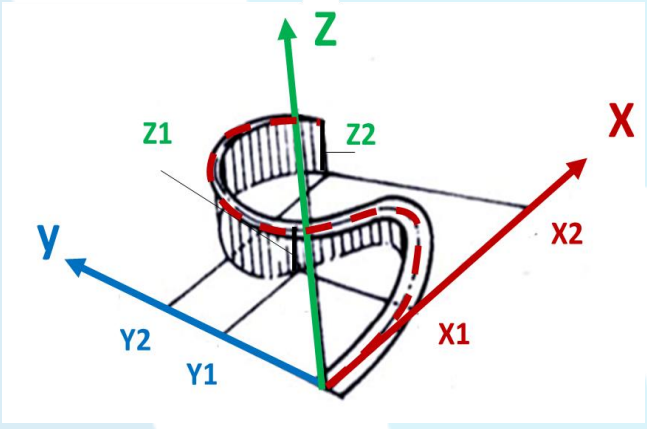
قيم السرعات التصميمية استناداً إلى درجة الطريق

العناصر الهندسية للطريق:

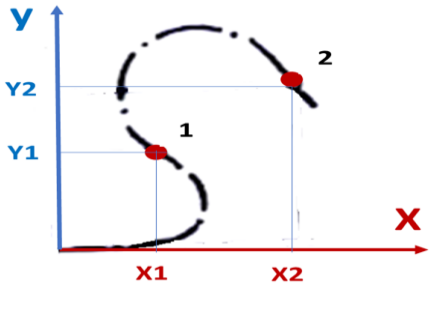
يتألف الطريق من مجموعة عناصر ومنشآت مكملة وضرورية له، ويتحدد جسم الطريق بثلاث عناصر هندسية متكاملة:

- **المسقط الأفقي**
- **المقطع الطولي**
- **المقاطع العرضية.**

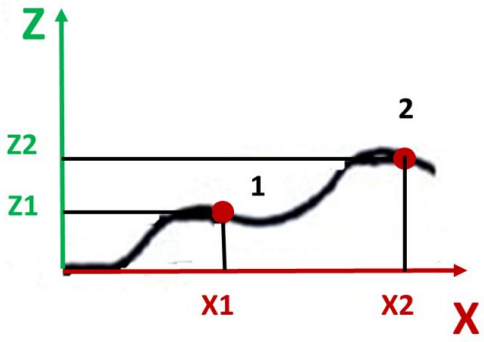
تجسد هذه العناصر الثلاث مجتمعة مسار الطريق، والذي يعرف بأنه الخط الفراغي الانسيابي المؤلف من استقامات ومنحنيات فراغية، ولكل طريق مسقط أفقي واحد ومقطع طولي واحد ومقاطع عرضية كثيرة.



يمكن تمثيل الطريق على أنه منحني 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.



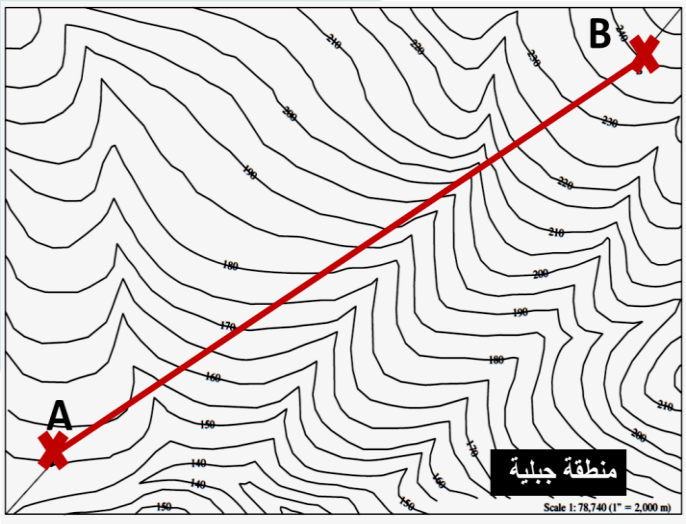
المسقط الأفقي لمحور الطريق

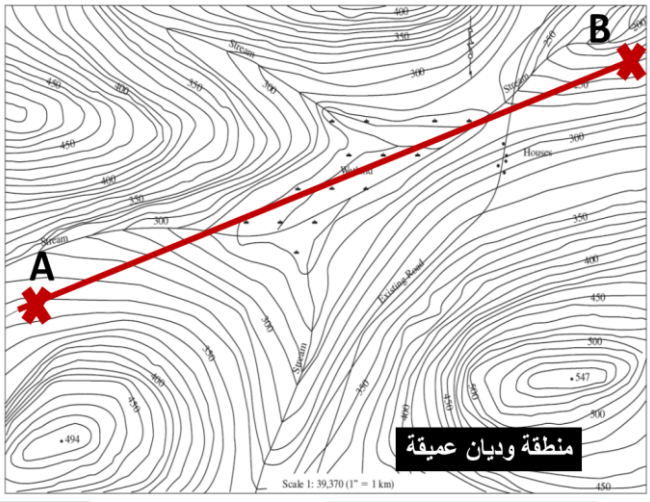


المقطع الطولي في الطريق

تحديد مسار الطريق:

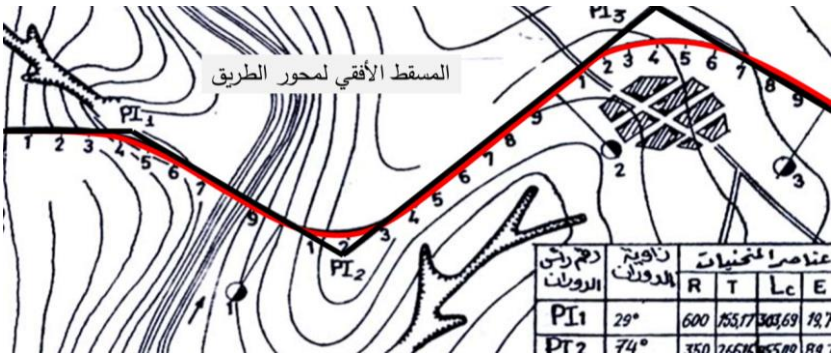
يعتبر تحديد مسار الطريق أو البحث عنه في المخطط الطبوغرافي ذا أهمية كبيرة كخطوة أولى في التصميم، والذي سيكون له انعكاسات اقتصادية وجمالية وفنية مختلفة، وتأتي دراسة محور الطريق في المراحل الأولى ومنها ننطلق إلى دراسة بقية عناصر الطريق، وتتم دراسته على مخططات طبوغرافية بمقاييس مختلفة يمكن أن تكـون 1/ 10000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



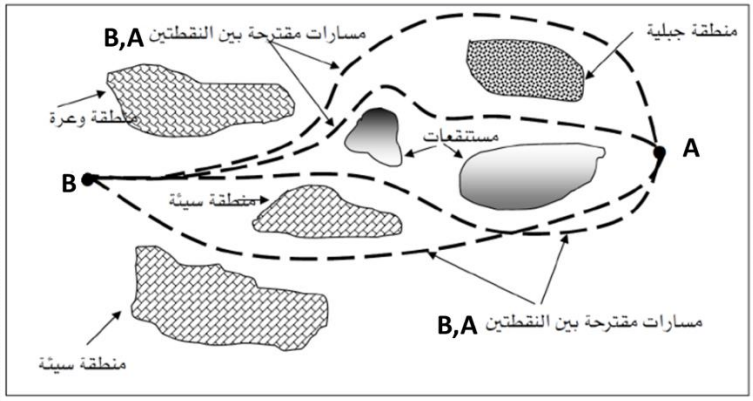


محور الطريق:

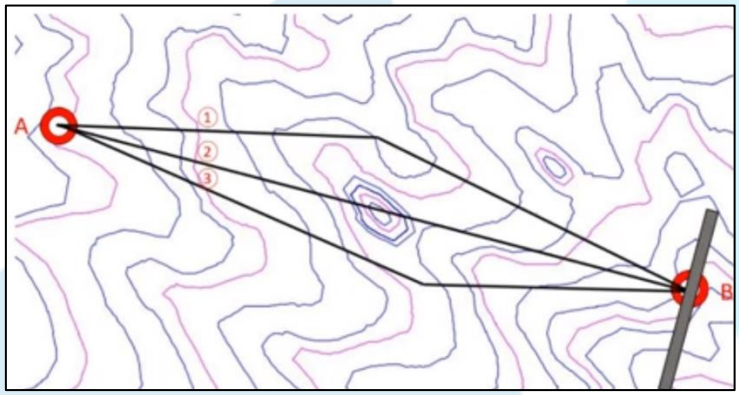
هو عبارة عن **خط فراغي انسيابي** يتغير في المسقط الأفقي بهدف تجاوز **العقبات الطبيعية**، ويتغير اتجاهه في المقطع الطولي بسبب صعوده على المرتفعات وهبوطه عند المنخفضات.

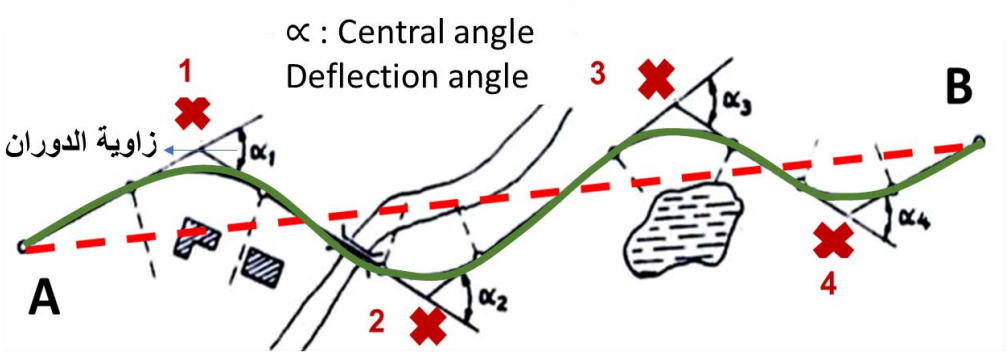


وضع المسارات الأولية للطريق



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.

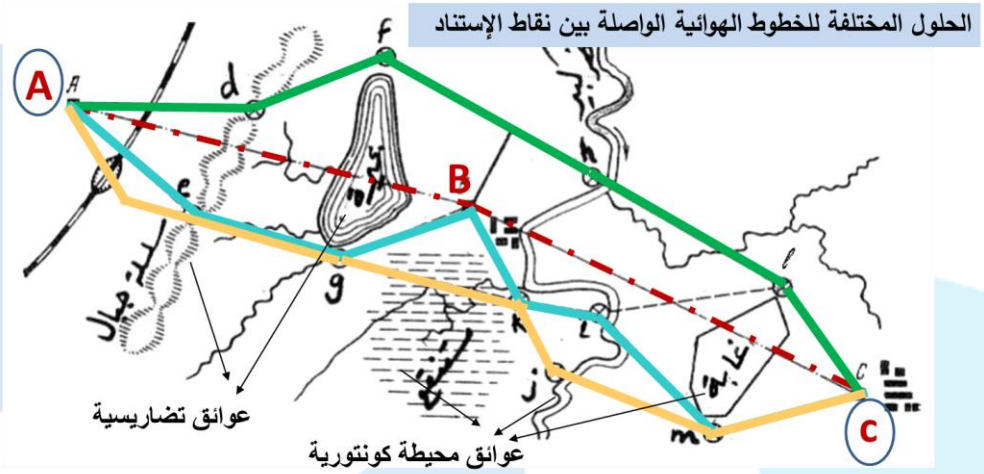




شكل يوضح محور الطريق مع تغيير اتجاهه والزوايا المرافقة لهذا التغيير

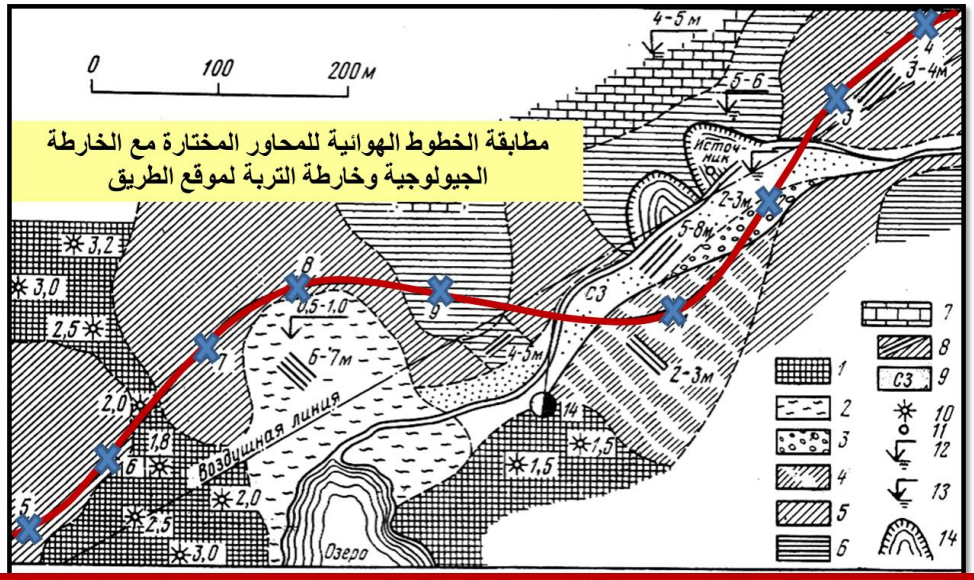
ونعبر عادةً عن درجة إطالة الطريق بسبب انكسارات المحور عند رؤوس الدوران بعامل الإطالة، (الذي يساوي نسبة الطول الفعلي للطريق إلى الطول الوهمي للمستقيم الواصل بين نقطتي البداية والنهاية لهذا لطريق).

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.



يسمح التقييم الجيد للشروط الجيولوجية ولخواص التربة لكل حل من الحلول بمقارنة المقاطع الطولية المصممة، بموجب الخطوط الهوائية المرسومة على المخططات الطبوغرافية، وبالتالي انتقاء الحل الأفضل للمحور، مع ضرورة تجنب استخدام الأراضي الزراعية الخصبة والمناطق المشجرة أو البساتين ذات الأشجار المثمرة عند اختيار مسار الطريق، وعند الاضطرار الشديد لهذا الاختراق، فإنه يجب أن نضع ذلك في الحسبان أثناء إجراء المقارنة الفنية والاقتصادية للحلول المختلفة، لأن كل إطالة في المحور يؤدي إلى زيادة في المسافة المقطوعة من قبل العربات.

المجموع السنوي لهذه المسافات الإضافية على الطريق ذات غزارة المرور الكبيرة، قد يشكل في معظم الأحيان كلفة نقل إضافية عالية تبرر اختراق أكثر الأراضي خصوبة، وعلى العكس فإن زيادة نفقات النقل الناجمة عن إطالة المحور، يمكن تعويضها بالإيرادات الناجمة عن المحاصيل الكبيرة للأراضي ذات الخصوبة العالية، التي كان سيخترقها محور الطريق المصمم.



1 - تورف متفسخ متوسط الكثافة 2- طمي ضعيف الإستقرار تحت تأثير الحمولات 3- بحص طبيعي 4 - تربة رملية غضارية سطحية 5 - تربة غضارية سيلتية 6 - غضار متطبق كثيف (من حقبة الديفون) 7- حجر كلسي 8- طريقة بيان التوضعات الموجودة تحت الطبقة السطحية9 - رمل متوسط الخشونة 10-أماكن أخذ العينات وسماكة طبقة التورف 11 - أماكن ظهور المياه الجوفية على شكل ينابيع 12 - عمق توضع المياه الجوفية 13 - عمق توضع مياه الينابيع 14 - المناطق المعرضة للإنزلاق.

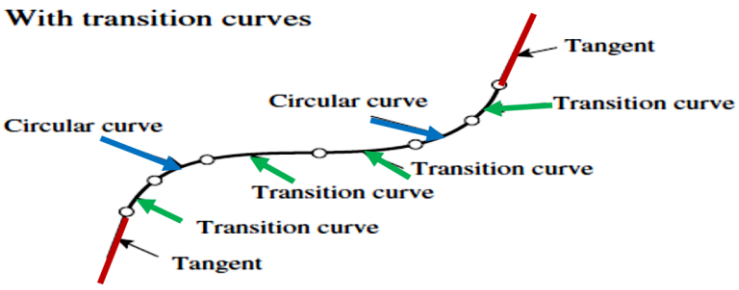
كما أن توضّع الطريق بالنسبة إلى اتجاهات الضوء له أهمية كبيرة من حيث كمية الضوء الممتصة من السفوح التي تتغير في درجات كبيرة جداً، حسب مدة تعرض هذه السفوح للأشعة الشمسية، فالسفوح الجنوبية تتخلص من الثلوج قبل السفوح الشمالية

وتجف بأسرع منها، كما أن عمليات التعرية بسبب العوامل الجوية وعمليات التفتت تكون فعالة على السفوح الجنوبية أكثر منها على السفوح الشمالية، وبالتالي فإن الاختيار الصحيح لسفح الوادي يمكن أن يحسن بشكل ملموس من عمل الطريق.

التخطيط الأفقي:

يتألف المسقط الأفقي للطريق من 3 عناصر رئيسية

1- الاستقامة الأفقية
2- المنحنيات الأفقية
3-المنحنيات الانتقالية



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 طولية، 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(m5000).
- إذا كانت الاستقامة الأفقية بين منعطفين متتاليين ومتعاكسين بالاتجاه، فإنه يمكن تصميمها كعنصر هندسي رابط، إلا إذا قلت عن m15، عندئذ نعمل على إلغائها.

مزايا الاستقامة:

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

سلبيات 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 (m)

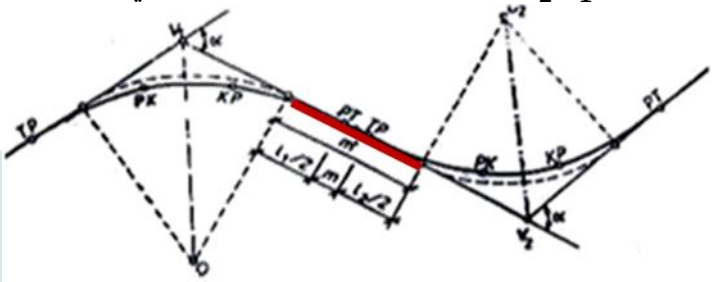
الطول الأصغري بين منحنيين باتجاه واحد:

min L= 6*V (m)

- الطول الأعظمي للمسار بين كلوتوئيدين اثنين بانحناءات متعاكسة:

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

A_1, A_2 : ثابت الكلوتوئيد الأول والثاني



الاستقامة الأفقية بين منعطفين متتاليين ومتعاكسين بالاتجاه

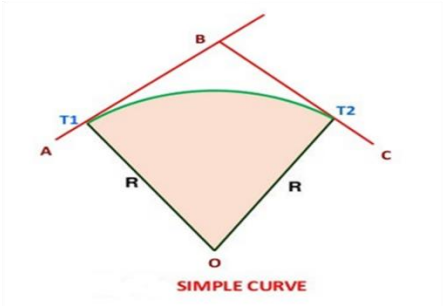
2- المنحنيات الأفقية

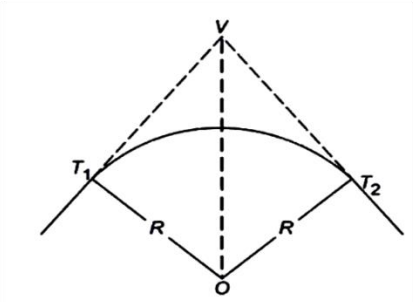
عبارة عن منحنيات متوضعة في نقاط ذروة المضلع الأفقي، ويوجد ثلاث أشكال من المنحنيات المستخدمة لربط استقامتين تتقاطعان بزاوية في طريق ما:

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

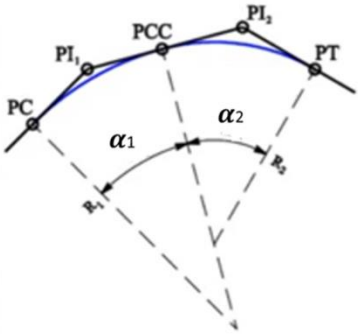
المنعطفات الدائرية البسيطة
Simple Circular Curve

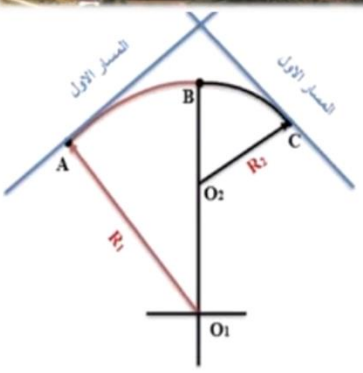
❖ المنحنيات الأفقية البسيطة (الأقواس الدائرية):التي تتألف من قوس دائري نصف قطره أكبر من 1500m.

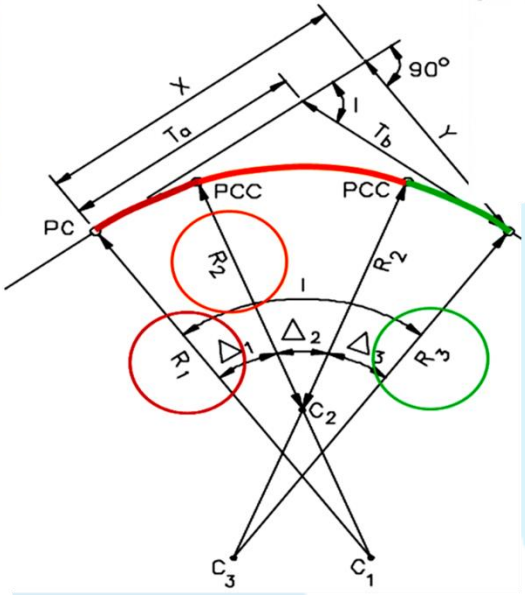




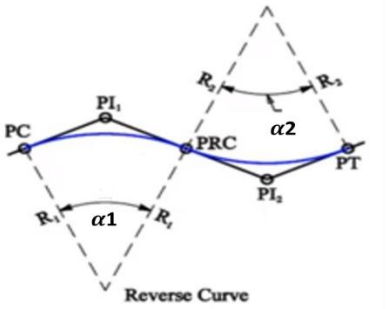
المنعطفات المركبة
mpound Circular Curves

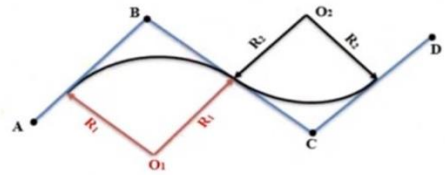






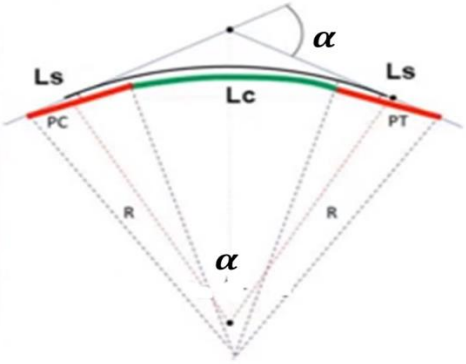
المنعطفات المتعاكسة بالاتجاه

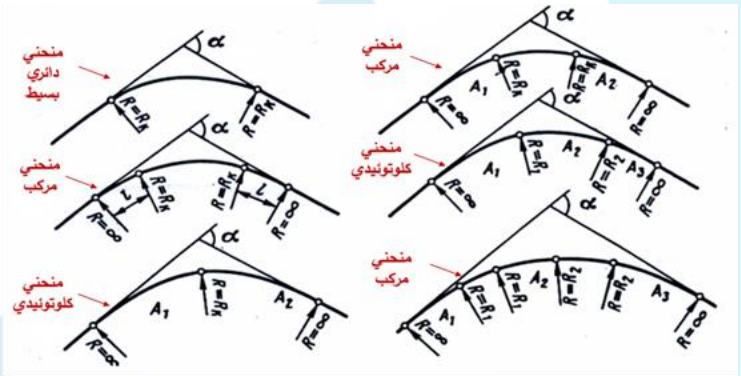




المنعطفات الكلوتوئيدية
Spiral Curves

❖ **المنحنيات الانتقالية (والأكثر استخداماً من هذه المنحنيات هو الكلوتوئيد أو المنحني الحلزوني):**
وتستخدم لربط الاستقامات بالأقواس الدائرية، مثال المنعطف الكلوتوئيدي والمنعطف الجبلي الحاد، والمنعطف الأفقي المؤلف من قوس دائري ومنحنيات وصل انتقالية متناظرة أو غير متناظرة.





الأشكال المختلفة للمنحنيات في المسقط الأفقي

اختيار نصف القطر الأصغرى 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، ويحسب من 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 12%
- f_{max}: 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.

أقل قيمة مسموح بها لنصف القطر (الحد الأدنى المطلق لنصف القطر)، يمكن إيجاد معادلته من العلاقة :

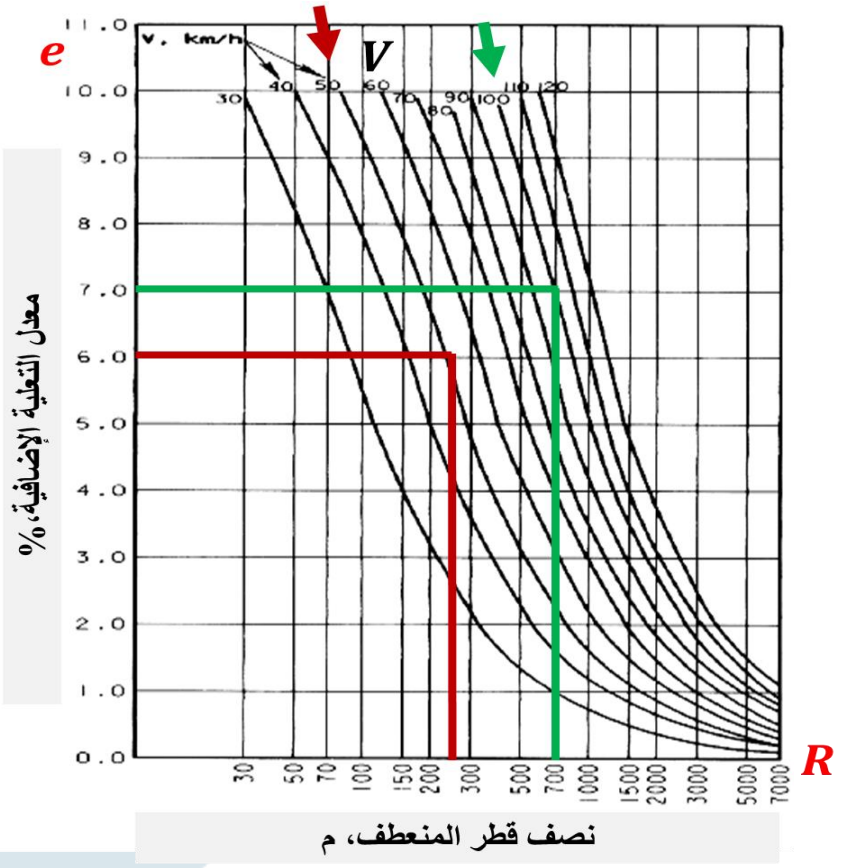
$$e + f = 0.067 + 0.15 = 0.217 = \frac{V^2}{127 * R}$$

$$R_{min} = \frac{V^2}{127 * 0.217} = \frac{V^2}{27.5}$$

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

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



منحنيات اختيار نصف القطر الأصغري بدلالة السرعة التصميمية ومعدل التعلية الإضافية

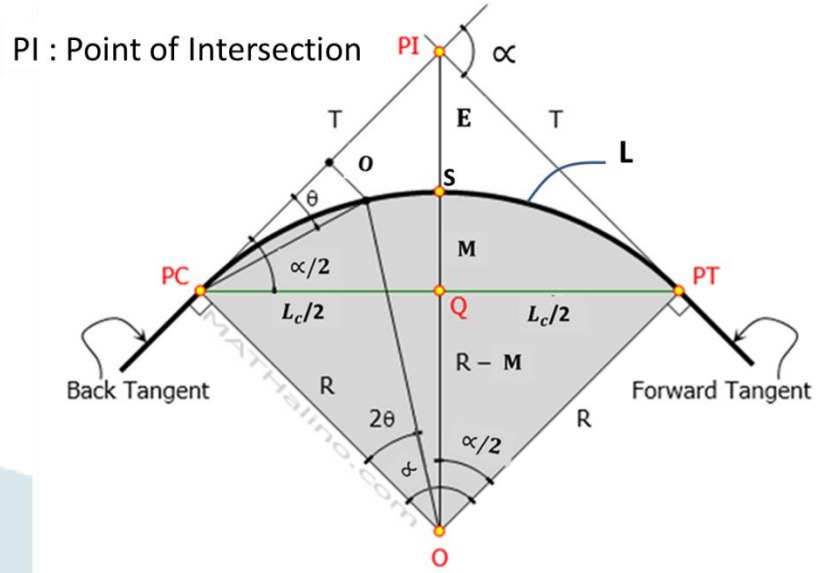
ينصح بعدم استخدام الميول العرضية التي تتجاوز قيمتها 8% إلا ضمن حدود ضيقة، لأنها مزعجة لحركة المركبات البطيئة جداً، أما في حالة التصميم في المناطق الجبلية أو في المناطق ذات الطبوغرافية القاسية أو في المناطق التي يكثر بها الصقيع، فيجب ألا يتجاوز الميل العرضي 6% لتحاشي خطر الانزلاق.

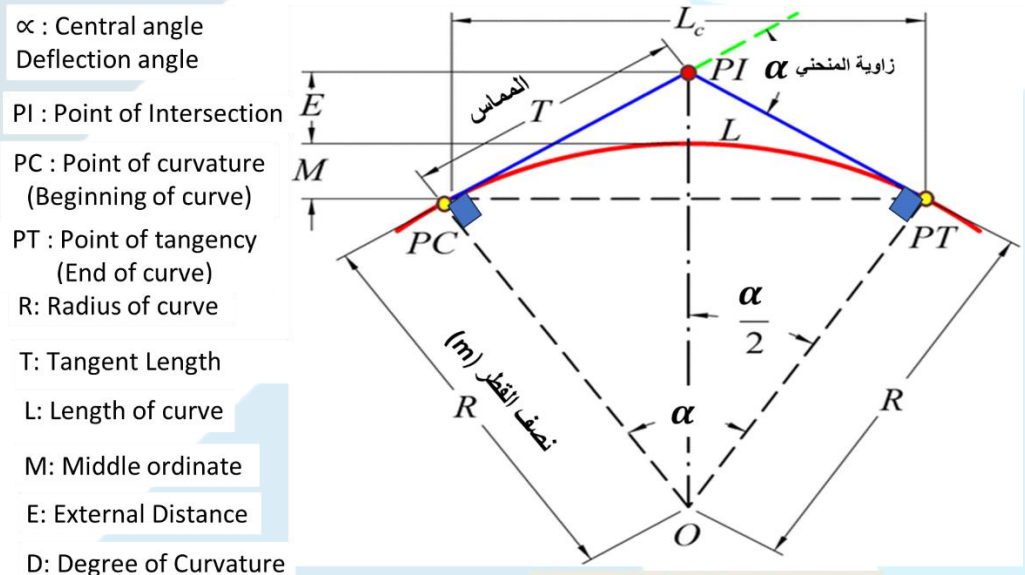
درجة الطريق	أقصى قيمة تعلية إضافية مرغوبة e (متر/متر)	أقصى قيمة تعلية إضافية مطلقة e (متر/متر)
طريق سريع (درجة أولى)	0.08	0.08
طريق درجة أولى	0.08	0.10
طريق درجة ثانية	0.08	0.10
طريق درجة ثالثة ورابعة	0.10	0.10

المنحنيات البسيطة:

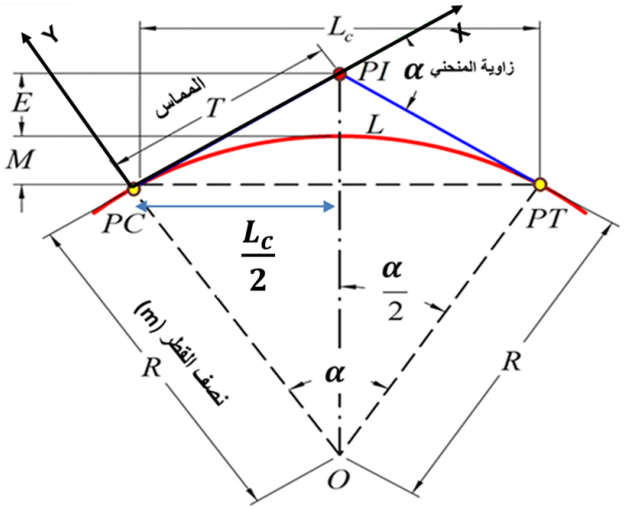
يصمم المنعطف البسيط عندما يكون نصف قطره كبيراً والزاوية المركزية له كبيرة، وتكون قيمة نصف القطر التصميمي أكبر من قيمة نصف القطر الأصغري أو تساويها **R> (1200m-1500m).**

يبين الشكل التالي القيم الحسابية لتصميم المنحنيات الأفقية الدائرية، حيث PI ذروة المنعطف الأفقي وT هو طول المماس، والزاوية α هي زاوية الانحراف لمسار الطريق، وهي نفسها الزاوية المركزية للمنعطف بسبب تعامد الأضلاع، وR نصف قطر المنعطف، وE المسافة العمودية الفاصلة بين ذروة المنعطف الأفقي والقوس الدائري.





عناصر المنحنيات الأفقية البسيطة



المسافة الأفقية لنقطة منتصف المنحني الدائري:

$$\frac{L_c}{2} = R * sin\frac{\alpha}{2}$$

القيمة العمودية لنقطة منتصف المنحني الدائري:

$$M = R * \left(1 - cos\frac{\alpha}{2}\right)$$

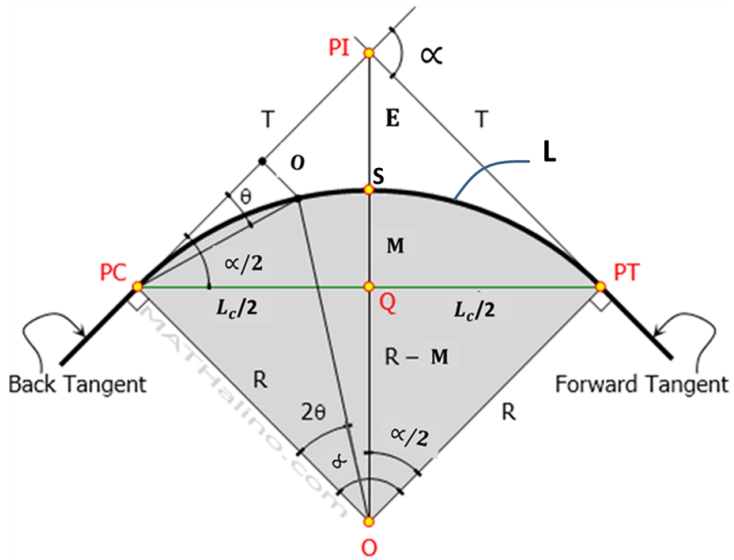
المماس هو المسافة من الذروة حتى نقطة بداية المنحني:

$$T = R * tg\frac{\alpha}{2}$$

المسافة العمودية E:

$$\sin\frac{\alpha}{2} = \frac{T}{E+R} = \frac{R * tg\frac{\alpha}{2}}{E+R} \Rightarrow E * \sin\frac{\alpha}{2} + R * \sin\frac{\alpha}{2} = R * tg\frac{\alpha}{2}$$

$$E = R * \frac{tg\frac{\alpha}{2}}{sin\frac{\alpha}{2}} - R * \frac{sin\frac{\alpha}{2}}{sin\frac{\alpha}{2}} \Rightarrow E = R * \left(\frac{1}{cos\frac{\alpha}{2}} - 1\right)$$



طول القوس الدائري، الزاوية بالغراد

$$L = \frac{\pi * \alpha * R}{200}$$

طول القوس الدائري، الزاوية بالدرجات

$$L = \frac{\pi * \alpha * R}{180}$$

$$L_c = 2 * R * sin\frac{\alpha}{2}$$

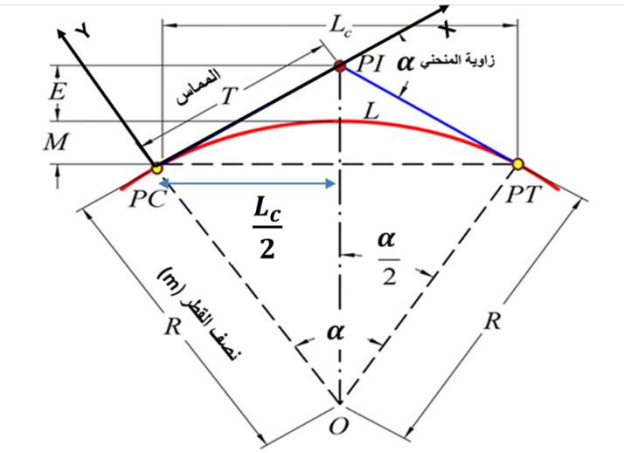
مقدار التوفير في المسافة بين المسلك الأصلي على الاستقامتين وبين المسلك الجديد على المنحني:

$$N = 2T - L$$

مثال (1):

احسب عناصر منعطف أفقي بسيط إذا علمت أن α = 70 ^{0} و R = 1700m، ومن ثم حدد النقاط الثانوية لهذا المنعطف (إحداثيات النقاط الجزئية له)، باعتبار أن مركز الإحداثيات يمر من مدخل المنعطف، أي أن المحور Xيتطابق مع المضلع الأفقي والمحور Y يتعامد معه، وحيث أن طول الخطوة على القوس الدائري تساوي 500 متر.

يصمم المنعطف الأفقي البسيط عندما يكون نصف قطره كبيراً أي R> 1500m.



1 – يتم تحديد مدخل المنعطف ومخرجه من العلاقة التالية التي تعطي طول المماس الكلي للمنعطف:

$$T = R * tg\frac{\propto}{2} = 1700 * tg\ \frac{70^{\circ}}{2} = 1190.35\ m.$$

2 – يتم تحديد ذروة المنعطف من حساب E (المسافة بين ذروة المنعطف الأفقي وذروة المضلع الأفقي):

$$E = R * \left(\frac{1}{cos\frac{\propto}{2}} - 1 \right) = 1700 * \left(\frac{1}{\cos 35^{\circ}} - 1 \right) = 375.32m$$

3 – حساب الإحداثيات X,Y للنقطة C(ذروة المنعطف):

$$X = R * sin\frac{\propto}{2} = 1700 * \sin 35^{\circ} = 975.1m$$

$$Y = R * \left(1 - \cos\frac{\propto}{2}\right) = 1700 * (\ 1 - \cos 35^{\circ}) = 307.44m$$

4 – حساب طول القوس الدائري الذي يتحدد من العلاقة التالية:

$$O = \frac{\pi * R * \propto}{180^{\circ}} = \frac{3.14 * 1700 * 70^{\circ}}{180^{\circ}} = 2075.89m$$

5 – إذا كانت الخطوة على القوس الدائري هي S= 500m :

$$\frac{\gamma}{S} = \frac{360^{\circ}}{2 * \pi * R} \Rightarrow \gamma = \frac{S}{R} * \frac{180^{\circ}}{\pi} = \frac{500}{1700} * \frac{180^{\circ}}{3.14} = 16.9^{\circ}$$

$$X_1 = R * sin\,\gamma = 1700 * sin16.9^{\circ} = 494.19m$$

$$Y_1 = R * (1 - cos\gamma) = 1700 * (1 - cos16.9^{\circ}) = 73.42m$$

$$X_2 = R * sin\,2\gamma = 1700 * sin33.8^{\circ} = 945.70m$$

$$Y_2 = R * (1 - cos2\gamma) = 1700 * (1 - cos33.8^{\circ}) = 287.33m$$

$$X_3 = R * sin\,3\gamma = 1700 * sin50.7^{\circ} = 1315.53m$$

$$Y_3 = R * (1 - cos3\gamma) = 1700 * (1 - cos50.7^{\circ}) = 623.25m$$

$$X_4 = R * sin\,4\gamma = 1700 * sin67.6^{\circ} = 1571.73m$$

$$Y_4 = R * (1 - cos4\gamma) = 1700 * (1 - cos67.6^{\circ}) = 1052.18m$$

مثال (2):

أوجد العناصر اللازمة لتخطيط منعطف أفقي بسيط إذا علمت أن: α = 7 ^{0} و R = 1300m، وأن نقطة تقاطع المماسين P1 station = 22 + 34.58 , وأن المسافة ما بين المحطات هي 100 متر.

1- نحدد مدخل المنعطف ومخرجه من العلاقة التي تعطي طول المماس الكلي للمنعطف:

$$T = R * tg\frac{\propto}{2} = 1300 * tg\,\frac{7^{\circ}}{2} = 79.51\,m.$$

2 – نحدد ذروة المنعطف من حساب E (المسافة بين ذروة المنعطف الأفقي وذروة المضلع الأفقي):

$$E = R * \left(\frac{1}{cos\frac{\propto}{2}} - 1\right) = 1300 * \left(\frac{1}{\cos 3.5^{\circ}} - 1\right) = 2.43m$$

3 – حساب الإحداثيات X,Y:

$$X = R * sin\frac{\propto}{2} = 1300 * \sin 3.5^{\circ} = 79.36m$$

$$Y = R * \left(1 - \cos\frac{\propto}{2}\right) = 1300 * (1 - \cos 3.5^{\circ}) = 2.42m$$

4 – حساب طول القوس الدائري:

$$O = \frac{\pi * R * \propto}{180^{\circ}} = \frac{3.14 * 1300 * 7^{\circ}}{180^{\circ}} = 158.74m$$

5 – حساب طول الوتر:

$$C = 2 * R * sin\frac{\alpha}{2} = 2 * 1300 * sin3.5^{\circ} = 158.73m$$

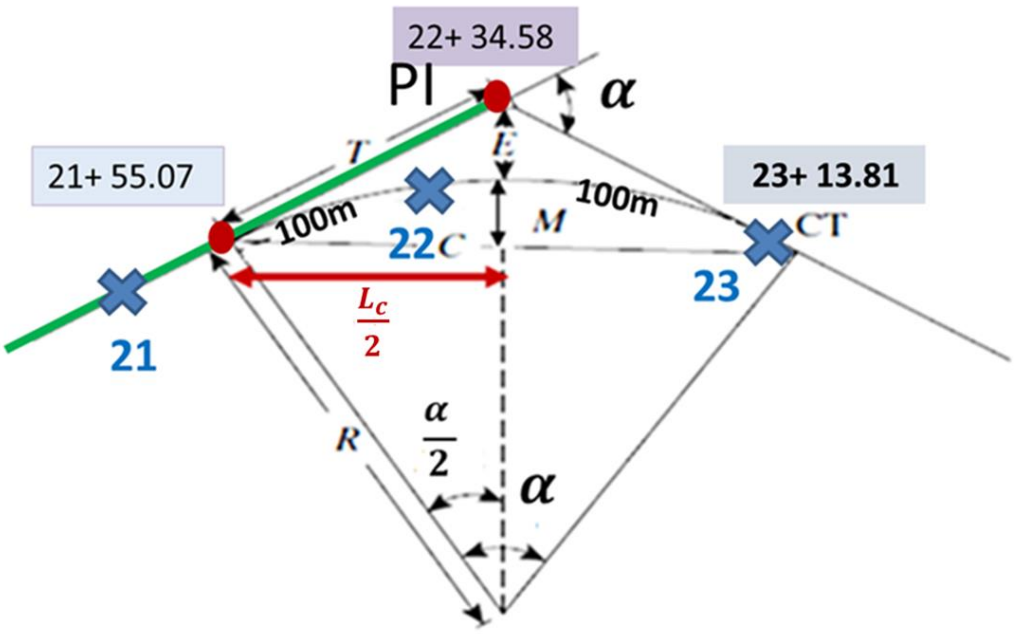
6 – الإزاحة من نهاية E حتى تقاطعه مع الخط C:

$$M = R * \left(1 - \cos\frac{\propto}{2}\right) = 1300 * (1 - \cos 3.5^{\circ}) = 2.42m$$

7 – تحديد النقاط (المحطات) PC PT:

(نقطة بداية المنعطف) Station Pc = station P_1 - T =22+ 34.58 -79.51 = **21+ 55.07**

(نقطة نهاية المنعطف) Station PT = station PC+ O =21+ 55.07 +158.74 = **23+ 13.81**



مثال 3: طريق بحارتي مرور باتجاهين خارج المدينة، تبلغ السرعة التصميمية له 90 كم/ سا ، بفرض أن الميل العرضي في الجزء الدائري 5% والمطلوب:

1. حساب نصف قطر الانحناء الأصغر بفرض أن عامل الاحتكاك العرضي 0.07
2. حساب عناصر المنحني الدائري، علماً ان زاوية تغير الاتجاه بين الاستقامة الأولى والاستقامة الثانية هي 70 grad.

$$R_{min} = \frac{V^2}{127 * (e+f)} = \frac{(90)^2}{127 * (0.05+0.07)} = 531.5 \sim 535\ m$$

الزاوية بالراديان

$$0 = \propto * R = \frac{70 * \pi}{200} * 535 = 587.96m$$

طول المماس

$$T = R * tg\left(\frac{\propto}{2}\right) = 535 * tg\left(\frac{70}{2}\right) = 327.85m$$

إحداثيات نقطة منتصف القوس الدائري:

$$x = R * sin\frac{\alpha}{2} = 535 * sin(\frac{70}{2}) = 279.54\ m$$

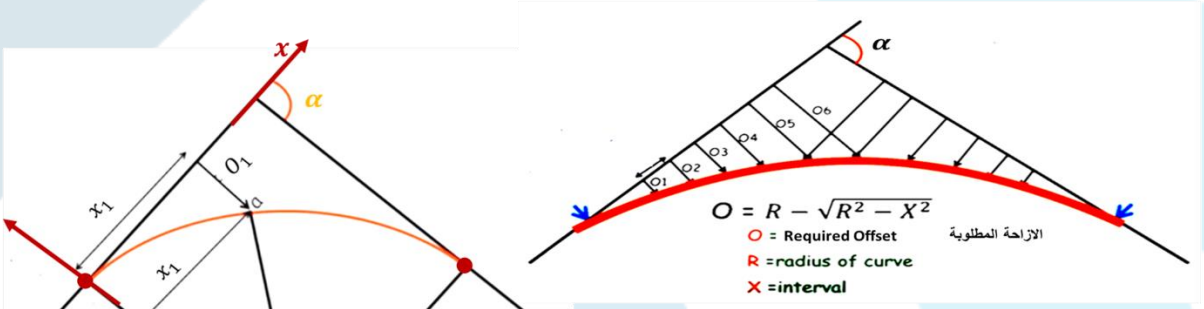
$$y = R * \left(1 - cos\frac{\alpha}{2}\right) = 535 * \left(1 - cos\frac{70}{2}\right) = 78.84m$$

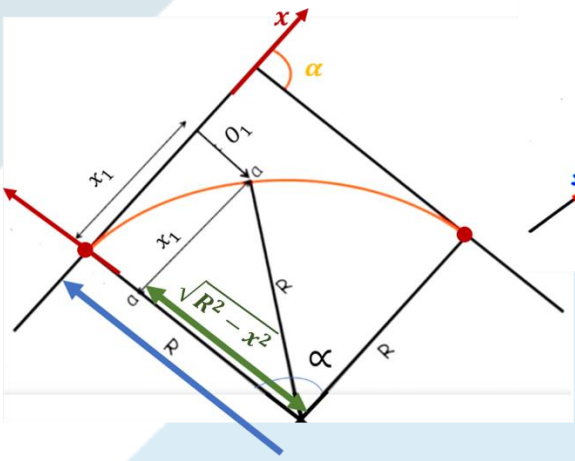
مقدار الانزياح

$$E = R * \left(\frac{1}{cos\frac{\alpha}{2}} - 1\right) = 535 * \left(\frac{1}{cos\frac{70}{2}} - 1\right) = 92.46m$$

كيفية إسقاط نقاط المنحني الأفقي البسيط (الأوتاد):

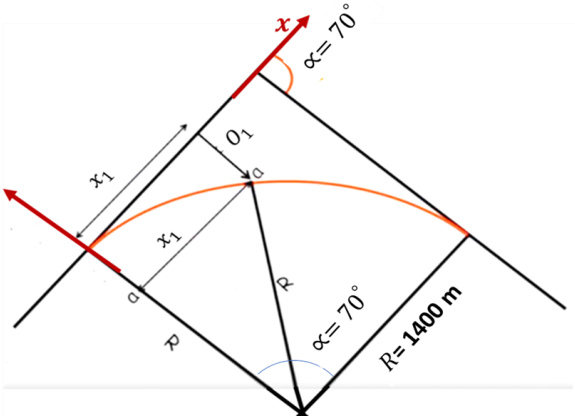
1- إسقاط المنعطف الأفقي البسيط على جملة الإحداثيات بمعرفة نصف القطر





$$O_1 = R - \sqrt{R^2 - x^2}$$

مثال 1: في منعطف أفقي بسيط نصف قطره R= 1400 m، وتبلغ زاوية الانحـــــــــــراف 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.



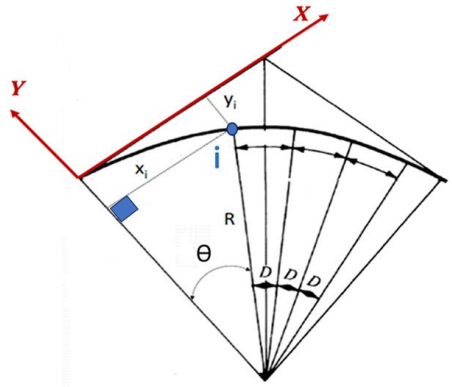
$$L = \frac{\pi * R * \propto}{180^{\circ}} = \frac{3.14 * 1400 * 70^{\circ}}{180^{\circ}} = 1709.56m$$

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

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

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

2- إسقاط المنعطف الأفقي البسيط بمعرفة زاوية القوس



إذا كان لدينا النقطة i 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 m وتبلغ زاوية الانحـــــــــــراف عنده $\propto = 80^{\circ}$ ، علماً أنها على زاويـــــة $\theta = 30^{\circ}$ من بداية المنحني، ثم احسب إحداثيات نقطة على المنحني على زاوية $\theta = 35^{\circ}$ من نهاية هذا المنحني.

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

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

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

$$y_2 = 1800.(1 - cos\,45) = 527.2m$$