

الباب الثالث

التصميم الهندسي للطرق

1-3 المقدمة :

يعرف التصميم الهندسي للطريق على أنه عملية إيجاد الأبعاد الهندسية لكل طريق وترتيب العناصر المرئية للطريق مثل المسار ومسافات الرؤية والعروض والانحدارات .. الخ . وفي البدء يجب تصنيف الطرق من حيث كونها طرقاً رئيسية أو فرعية أو محلية حتى يمكن تحديد السرعة التصميمية والانحدار الحاكم بعد موازنة بعض العوامل مثل أهمية الطريق وتقدير حجم وخصائص المرور والتضاريس والأموال المتاحة . وتعتبر السرعة التصميمية والانحدار الحاكم هما بدورهما القاعدة الأساسية لوضع الحدود الدنيا القياسية لكل من التخطيط الرأسي والأفقي للطريق وبعد ذلك يستطيع المصمم بالمحاولة والخطأ أن يطوع هذه الحدود أو أعلى منها للتضاريس من أجل التوصل إلى مسقط أفقي وقطاع طولي للطريق . ثم تأتي مرحلة تفاصيل الأبعاد الهندسية للتقاطعات ذات المستوى الواحد أو المستويات المتعددة ولطرق الخدمة وغيرها من الملامح . وأخيراً لابد من تحديد تفاصيل العلامات والخطوط وإشارات المرور إن وجدت وغيرها من مقاييس التحكم في المرور. ويمكن الوصول إلى طريق لا يسبب حوادث ويحقق الانسياب السلس بجعل جميع عناصر الطريق تتماشى مع توقعات السائقين بتجنب التغيرات المفاجئة في مواصفات التصميم . ويهدف هذا الباب إلى تحديد المعايير التصميمية الرئيسية للطرق الحضرية لمساعدة المهندس المصمم والمهندس المراجع لتحديد توافق التصميم الهندسي للطريق مع المتطلبات الهندسية المطلوبة. ويحتوي هذا الباب في المرحلة الأولى على التصنيف الوظيفي والمجموعات التصميمية للطرق الحضرية ، ومواصفات ومحددات التصميم ، ويستعرض التخطيط الأفقي للطريق ويشمل الرفع الجانبي للطريق Super elevation والتوسيع Widening والمنحنيات الانتقالية، أما المرحلة التالية فتستهدف التخطيط الرأسي للطريق والمنحنيات الرأسية ثم تأتي المرحلة الأخيرة تصميم القطاعات العرضية وتحديد عروض الرصف والأكتاف.

2-3 التصنيف الوظيفي للطرق الحضرية:

التصنيف الوظيفي هو العملية التي يتم بموجبها تقسيم الطرق إلى أنواع أو أنظمة وفقاً لطبيعة الخدمة التي تؤديها ، ومن أساسيات هذه العملية أن ندرك أن الطرق المفردة لا تخدم حركة السفر والانتقال بوضعها المستقل خدمة ذات أهمية كبيرة ، فالواقع أن معظم حركة السفر والتنقل تتم باستخدام عدد من الطرق ولذلك فمن الضروري أن تقرر الكيفية التي يمكننا بها توجيه حركة السير ضمن شبكة الطرق ككل بطريقة فعالة ، وهنا تأتي أهمية التصنيف الوظيفي الذي يتم عن طريقه تحديد الدور الذي يؤديه كل طريق لخدمة حركة المرور والنقل .

وتختلف درجات الطرق الحضرية للمناطق التي تخدمها سواء كانت سكنية أو تجارية أو سكنية تجارية الخ وأيضا حسب إجمالي الحركة التي ستتولد من تلك المناطق المخدومة ويمكن إيجاز تصنيف الطرق المتبع الى الاتي :

أ - طرق حضرية رئيسية :

تربط هذه الطرق مراكز الأنشطة الرئيسية في المناطق الحضرية وترتبط بالشبكة الإقليمية وتتحمل أكبر حمل مروري خلال المنطقة الحضرية وعروض هذه الطرق حوالي (40 متراً فأكثر) .

ب - طرق حضرية ثانوية :

تقوم هذه الطرق بتجميع المركبات من الطرق الرئيسية وتقوم بتوزيعها إلى درجات الطرق الأقل وعروضها حوالي (16 - 25 متراً) .

ج - طرق حضرية من الدرجة الثالثة (محلية) :

تقوم بتجميع المركبات خلال المناطق السكنية ومناطق الأنشطة إلى درجات الطرق الأعلى وتحمل أقل مقدار من المرور في الشبكة وتعتبر أقل درجة في التدرج الهرمي لشبكة الطرق وعروضها حوالي (12-16 متراً) .

3-3 السرعة SPEED :

✓ السرعة التصميمية Design Speed

هي أعلى سرعة مستمرة يمكن أن تسير بها السيارة بأمان على طريق رئيسي عندما تكون أحوال الطقس مثالية وكثافة المرور منخفضة وتعتبر مقياساً لنوعية الخدمة التي

يوفرها الطريق. والسرعة التصميمية عبارة عن عنصر منطقي بالنسبة لطبوغرافية المنطقة.

✓ سرعة الجريان Running Speed

تعتبر السرعة الجارية للمركبة في قطاع معين من الطريق عبارة عن المسافة المقطوعة مقسومة على زمن الرحلة (فقط زمن سير المركبة) .

✓ السرعة اللحظية المتوسطة Average Spot Speed

هي عبارة عن المتوسط الحسابي للسرعات لجميع المركبات عند لحظة محددة لجميع المركبات عند نقطه محددة بقطاع صغير من الطريق.

جدول رقم (3-1) العلاقة بين السرعة التصميمية وسرعة الجريان :

السرعة التصميمية (كم / ساعة) Design Speed	متوسط سرعة الجريان (كم / ساعة) Average Running Speed
50	45
60	53
70	61
80	68
90	75
100	81
110	88
120	94
130	100
140	106

✓ مواصفات السرعة التصميمية Design Speed Standards

يجب أن تكون خصائص التصميم الهندسي للطريق متناسبة مع السرعة التصميمية المختارة والمتوقعة للظروف البيئية وظروف التضاريس كما يجب على المصمم اختيار السرعة التصميمية المناسبة على أساس درجة الطريق المخططة وخصائص التضاريس و حجم المرور والاعتبارات الاقتصادية .

جدول رقم (2-3) السرعة التصميمية للطرق الحضرية :

السرعة المرغوبة (كم/ ساعة)	الطرق السرعة الأدنى (كم / ساعة)	درجات
50	30	طريق محلي (LOCAL)
60	50	طريق تجميعي (COLLECTOR)
100	80	شرياني -عام
90	70	-أقل اضطراب
60	50	-اضطراب ملموس
120	90	طريق سريع (Expressway)

4-3 سعة الطريق و مستوى الخدمة :

✓ سعة الطريق :

أقصى عدد للمركبات التي يتوقع مرورها فوق جزء معين من حارة أو طريق خلال فترة زمنية معينة في ظل ظروف المرور السائدة .

✓ مستوى الخدمة :

هو القياس النوعي لتأثير عدد من العوامل مثل سرعة التشغيل ومدة السفر وأعطال حركة المرور و حرية المناورة والعبور وسلامة القيادة والراحة ومدى ملائمة الطريق وتكاليف التشغيل بالنسبة للخدمة التي يوفرها الطريق لمستخدميه .

5-3 مواصفات ومحددات التصميم :

✓ مسافة الرؤية (Sight Distance) :

مسافة الرؤية هي طول الجزء المستمر و المرئي من الطريق أمام السائق ومن الضروري جداً في التصميم توفر مسافة رؤية كافية لضمان أمان التشغيل وتحقيق مسافة الرؤية الكافية للوقوف ويجب أن توفر باستمرار بطول الطريق .

✓ مسافة الرؤية للتوقف (Stopping Sight Distance) :

مسافة الرؤية للتوقف عبارة عن المسافة المطلوبة للسائق للسير بسرعة محددة و السماح للمركبة بالتوقف عند حدوث أي طارئ وهي تساوي مجموع المسافات أثناء الإبصار والتفكير ومسافة الكبح .

✓ مسافة الرؤية للتجاوز (Passing Sight Distance) :

في الطرق ذات الحارتين لإمكان تجاوز السيارات بأمان فإنه يجب أن يرى السائق أمامه مسافة كافية خالية من المرور بحيث يمكنه إتمام عملية التجاوز دون احتكاك بالسيارة التي يتخطاها ودون أن تعترضه أي عربة مضادة يحتمل ظهورها بعد أن يبدأ التجاوز ثم يعود إلى الحارة اليمنى بسهولة بعد عملية التجاوز .

✓ مسافة الرؤية الأفقية :

عندما يوجد جسم مجاور للرصف كدعامة جسر أو كتف أو حائط ساند أو ميل قطع أو غير ذلك مما يحد من مسافة الرؤية فإن مسافة الرؤية للتوقف هي التي يميزها أقل قيمة لنصف قطر الانحناء كما يتم استخدام المنحنيات في حالة مسافة الرؤية للتجاوز . ولإيجاد نصف القطر الذي يحقق الخلوص الأفقي المطلوب مقاساً من الحارة الداخلية للطريق يتم استخدام المنحنيات بمعلومية الخلوص الأفقي والسرعة التصميمية.

6-3 التخطيط الأفقي Horizontal Alignment :

يشمل مسار الطريق في المسقط الأفقي سلسلة متتالية من الخطوط المستقيمة يطلق عليها مماسات مربوطة ببعضها بواسطة منحنيات دائرية، و تنحصر أعمال التخطيط الأفقي في تصميم الأجزاء المستقيمة والأجزاء الدائرية المكونة للطريق، وذلك بحساب أطوال أضلاع المسارات وتحديد زوايا انحرافها ونقاط تقاطعها وتصميم المنحنيات الأفقية وتحديد أطوالها وأنصاف أقطارها وميولها.

ومن أهم العوامل التي تؤثر في التخطيط الأفقي هي السرعة التصميمية والمنحنيات الأفقية، وللد من أخطار القيادة ولتوفير راحة أكثر للسائق يجب أن يكون التخطيط منتظماً بحيث يتجنب الانتقال المفاجئ من الأجزاء المستقيمة إلى المنحنيات الحادة، أو الانتقال المفاجئ من المنحنيات المنبسطة إلى المنحنيات الحادة وتجنب المنحنيات المعكوسة .

✓ الخط المستقيم (المماس) :

هو أبسط أجزاء التخطيط هندسياً ، وتنفيذاً في الطبيعة، إلا أنه يمتلك بعض العيوب مثل القيادة على وتيرة واحدة مما يسبب تعب لقائد السيارة وكذلك صعوبة تقدير المسافات والسرعات للمركبات، فتقدر السرعة بأقل من قيمتها الحقيقية مما يسبب خطورة التصادم في حالات التخطي، وأخيراً خطورة كذلك للمرور المقابل بسبب العمى الليلي من الضوء المباشر من السيارات .

✓ حدود الخط المستقيم :

- أقصى طول لخط مستقيم (بالمتر) أقل أو يساوي $(20V_c)$ ، حيث (V_c) السرعة التصميمية (كم/ساعة).

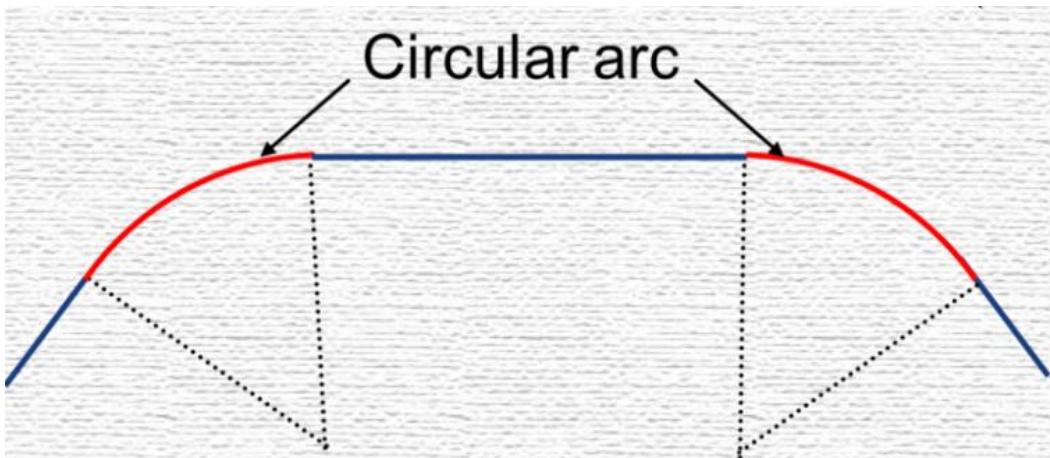
- أقل طول لخط مستقيم بين منحنيين لهم نفس اتجاه الانحناء هو $(6V_c)$ ، وأقل طول لخط مستقيم بين منحنيين لهم عكس اتجاه الانحناء هو $(2V_c)$.

✓ المنحنى الأفقي الدائري:

هي المنحنيات المستخدمة في الطريق عند تغيير الاتجاه لمحور الطريق فعند مرور العربات في المنحنيات الأفقية تتولد قوة طاردة مركزية أفقية (force Centrifugal) تعمل على دفع السيارة خارجا خلال مركز الثقل للعربة .

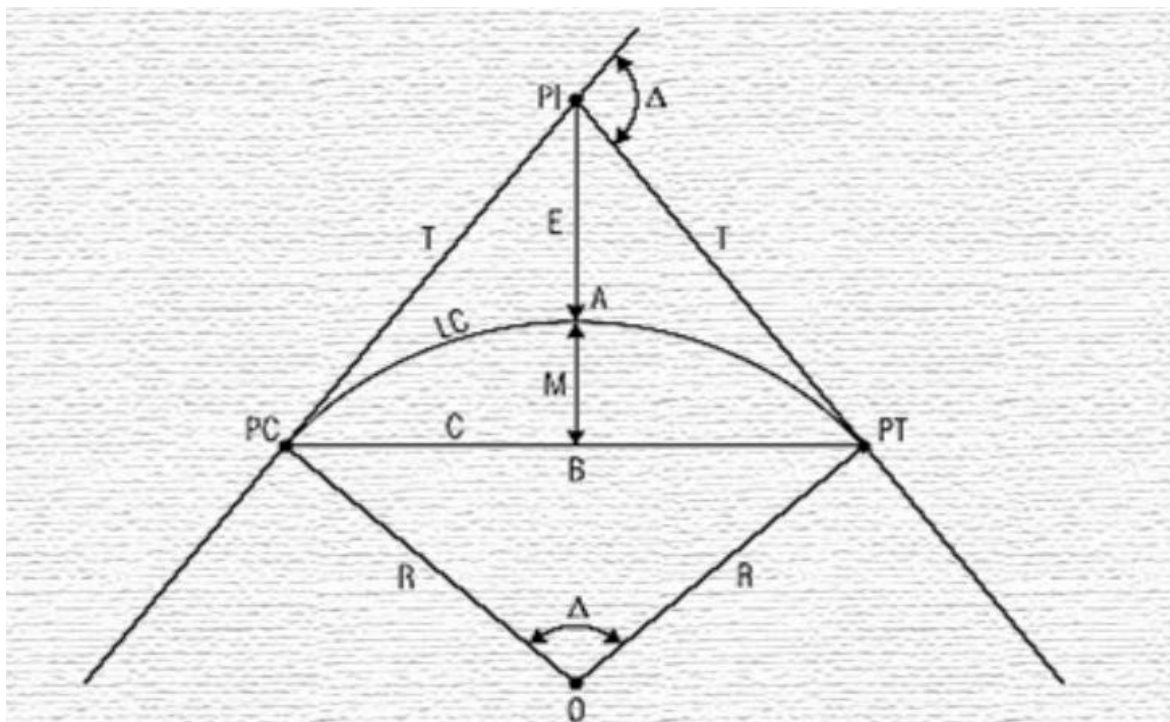
وتنقسم المنحنيات الأفقية الى الأنواع التالية :

- 1- **منحنيات دائرية بسيطة** : مكونة من قوس دائري واحد يربط الخطين المستقيمين .
- 2- **منحنيات دائرية مركبة** : مؤلفة من منحنيين دائريين في اتجاه واحد وبأنصاف أقطار مختلفة ولا يفصل بينهما أي خط مستقيم وهو أكثر أمانا وانسيابا من ذي الظهر المكسور ونستعمله عندما يصعب إنشاء منحنى دائري واحد عند التقاطعات على زاوية حادة وعندما تتطلب طوبوغرافية الأرض ذلك ويتناسب المنحنى معها ويجب استعمال منحنيات انتقالية بين المنحنيين الدائريين خاصة عندما تزيد النسبة بين أنصاف الأقطار عن (1 إلى 1.5) .
- 3- **منحنيات دائرية معكوسة** : يتألف من منحنيين دائريين باتجاه معاكس، يبدأ الثاني حيث ينتهي الأول، وإذا أردنا الأمان للسائق فيجب فصل المنحنيات المعكوسة بمسافة كافية حتى يتمكن السائق من التكيف بعد أن يخرج من المنحنى الأول وقبل البدء بالثاني .
- 4- **المنحنى مكسور الظهر** : وهو مؤلف من منحنيين دائريين في اتجاه واحد يفصل بينهما خط مستقيم طوله أقل من (300) متر وينتج عن ذلك منظر غير جميل وغير ملائم للسائق كما في الشكل (1-3) :



شكل (1-3)

✓ عناصر المنحنى الدائري البسيط :



شكل (2-3)

- 1- نصف قطر المنحنى $R = \text{radius of curve}$
- 2 - الزاوية المركزية للمنحنى DELTA
- 3- نقطه بداية المنحنى $PC = \text{point of curve}$
- 4- نقطه نهاية المنحنى $PT = \text{point of tangent}$ المماس يكون عمودي على نصف القطر.
- 5- مماس $T = \text{tangent}$
- 6- نقطه تقاطع المستقيمين $PI = \text{point of intersection}$
- 7- طول وتر المنحنى $C = \text{chord length}$
- 8- طول المنحنى $LC = \text{length of curvature}$
- 9- السهم الخارجي للمنحنى $E = \text{external distance}$
- 10- السهم الداخلي للمنحنى $M = \text{middle ordinate}$

✓ المنحنى الانتقالي :

هي منحنيات تستخدم لربط الأجزاء المستقيمة من الطريق بالأجزاء المنحنية الدائرية لضمان الانتقال التدريجي بينهما حيث أن الجزء المستقيم لا يتطلب ارتفاع الحافة الخارجية للرصف والجزء الدائري يتطلب ارتفاع كامل لظهر المنحنى ، وهذا المنحنى الانتقالي يضمن سلامة وسلاسة مسير العربات وخاصة عند السرعات العالية، وتبدأ منحنيات الانتقال عند المماس المستقيم بنصف قطر لا نهائي ثم يقل تدريجياً إلى أن يتساوى مع نصف قطر الجزء الدائري من المنحنى وبذلك تبدأ القوة الطاردة المركزية صغيرة، ثم تزداد تدريجياً إلى أن تصل إلى نهايتها العظمى عند بداية المنحنى الدائري، فالمقصود من المنحنى الانتقالي إذاً هو إدخال القوة الطاردة المركزية في مسار السيارات بشكل تدريجي فلا يحدث منها تأثير مفاجئ على السيارات.

تستعمل المنحنيات الانتقالية في :

- 1- إزالة الميلان المستعرض والانتقال التدريجي من ميل مستعرض إلى ميلان سطح الطريق عند المنعطف حيث الانتقال المفاجئ يعرض السيارة للخطر ويزعج الركاب فيتم تغير الميلان ضمن طول المنحنى أو المسافة الانتقالية.
- 2- يشكل المنحنى الانتقالي ممراً مناسباً للسائق للدخول والخروج من المنحنى الدائري وإذا لم يكن المنحنى الانتقالي موجود فإن السائق سيأخذ اتجاهها انتقالياً يجعله يتجاوز مساره إلى المسارات المجاورة.
- 3- نستفيد من المنحنى الانتقالي في إدخال ميلان تدريجي على سطح الطريق يتناسب مع قوة الطرد المركزية بدلاً من إدخاله بشكل فجائي وعندما يكون التغير في قوة الطرد تدريجياً تبقى السرعة منتظمة وتحقق أماناً للسائق.
- 4- أن المنحنى الانتقالي يساعدنا على القيام بعملية تعريض الطريق عند المنحنيات الأفقية الحادة.
- 5- أن الطريق يظهر مشوهاً إذا انتقل فجأة من ميلان الخط المستقيم إلى ميلان المنحنى الدائري وحتى نتجنب التشويه فإننا ندخل المنحنى الانتقالي .

✓ التوسعة widening :

هي زيادة الرصف عند المنحنيات حتى يهيئ ظروف قيادة مشابهة للطريق المستقيم، ويضمن ثبات واستقرار المركبات ويسهل عملية التجاوز بأمان .

وينفذ الاتساع في حالة وجود منحنيات انتقال على أساس جعل الزيادة من الداخل أو جعل نصفها من الداخل والنصف الآخر من الخارج، وفي حالة عدم تنفيذ منحنيات انتقال تتم زيادة في اتساع الرصف من الداخل فقط، ويجب أن تستمر الزيادة بكامل طول المنحنى الدائري، ويبدأ الزيادة من بداية منحنى الانتقال بقيمة صفر وتترايد حتى تصل إلى أقصى قيمة لها عند نهاية منحنى الانتقال وبداية المنحنى الدائري، وبغض النظر عن كيفية تنفيذ اتساع الرصف يجب أن يحدد محور الطريق على أساس منتصف المسافة بين حافتي الرصف .

يمكن إرجاع الأسباب الرئيسية في استخدام التوسعة إلى عاملين هما :

1- العامل الميكانيكي :

يرجع السبب استخدام التوسعة إلى عدم إتباع العجلات الخلفية لمسار العجلات الأمامية في المنحنيات، وبالتالي ونتيجة لهذا فإنه لزم استخدام توسعة وذلك لتفادي وقوع حوادث .

2- العامل النفسي :

نتيجة لأن السائق يحاول الخروج قليلا من الطريق وذلك للحفاظ على مسافة كبيرة بين عربته وبين العربات القادمة مما يؤدي إلى وقوع حوادث خطيرة لذا كان لا بد من عمل توسعة .

✓ التعلية (Super Elevation) :

تعرف أيضا بعملية (ارتفاع الظهر عن الباطن) ، ويقصد بهذه العملية هو رفع أحد جوانب الطريق عن منسوبه السابق وإبقاء الجانب الآخر على منسوبه وهذه تستخدم في المنحنيات الأفقية فقط، وفي الحالة التي يكون فيها السرعة عالية أو يكون نصف القطر للمنحنى صغير، وسبب استخدامنا لهذه العملية هو مقاومة انزلاق العربات بمعنى أنه في حالة حركة السيارة على طريق منحنى أفقيا يتم عمل رفع جانبي للطريق بدرجة كافية لإيجاد مركبة قوة جانبية لتعادل مركبة القوة الطاردة المركزية الناتجة من الحركة على منحنى، ولكي نستطيع التغلب على هذه القوى و العزوم يتم عمل التعلية .

✓ ملاحظات عامة عن التخطيط الأفقي :

بالإضافة إلى عناصر التصميم المحددة في التخطيط الأفقي ، فقد عرفت بعض القواعد العامة الحاكمة ، وهذه القواعد ليست خاضعة لمعادلات ولكنها ذات أهمية في الحصول على طرق مأمونة سهلة الانسياب فالانحناء الزائد ، وكذلك سوء الترابط بين المنحنيات المختلفة ، يقلل السعة ويترتب عليه خسائر اقتصادية بسبب الزيادة في زمن الرحلة ونفقات التشغيل ويسئ إلى جمال المنظر.

ولكي نتلافى تلك المظاهر السيئة في أعمال التصميم ، يجب اتباع القواعد العامة التالية :

1. يجب أن يكون التخطيط اتجاهياً بقدر الإمكان أي موجهاً للسير في نفس الاتجاه ، ولكن متمشياً مع تضاريس المنطقة فالتخطيط الانسيابي الذي يتمشى بوجه عام مع التضاريس الطبيعية أفضل من حيث الجمال الفني من تخطيط ذي مماسات طويلة يشق خلال أرض متموجة أو جبلية . كما أن مثل هذا التصميم مرغوب من الوجهة الإنشائية والصيانة . كذلك يجب أن يكون عدد المنحنيات القصيرة أقل ما يمكن وذلك لأنه عادة يكون سبباً في اختلال السير وفي نفس الوقت الذي نذكر فيه أهمية الخصائص الجمالية للمنحنيات الأفقية ، فإن مسافة الرؤية اللازمة للتخطي في الطرق ذات الحارتين تتطلب مماسات طويلة مستقيمة كما يجب أن يهيأ التجاوز على أكبر نسبة من أجزاء هذه الطرق .

2. في حالة مسار ذي سرعة تصميمية محددة يجب تلافي المنحنيات ذات الانحناءات القصوى كلما أمكن ذلك ، مع محاولة استخدام منحنيات منبسطة وترك المنحنيات القصوى للحالات الحرجة. كذلك يجب أن تكون زاوية المنحنى المركزية أقل ما تسمح به ظروف الموقع من أجل أن يكون الطريق اتجاهي قدر الإمكان.

3. الهدف دوماً هو إيجاد تخطيط متناسق . فيجب ألا تعمل انحناءات شديدة في نهاية مماسات طويلة ، ولا يعمل تغيير فجائي من انحناءات منبسطة إلى انحناءات شديدة . وعندما يستلزم الأمر إدخال منحنى شديد ، فيكون الدخول عليه إذا أمكن ذلك بواسطة منحنيات متتالية تبدأ من الانحناء المنبسط ثم تزداد شدة بالتدرج .

4. في زوايا الانحراف الصغيرة ، يجب أن تكون المنحنيات ذات طول كاف يمنع ظهور التخطيط بشكل كسرات بحيث لا يقل طول المنحنى عن 150 متراً لزاوية مركزية

مقدارها 5 درجات ويزداد هذا الطول الأدنى بمقدار 30متراً مقابل كل درجة تنقص من الزاوية المركزية .

5. المنحنيات المنبسطة هي فقط التي يلزم استخدامها في مناطق الردم العالية الطويلة. وفي حالة عدم وجود أشجار أو ميول حفر أو ما شابه ذلك في مستوى أعلى من الطريق فإنه يكون من الصعب على السائقين ملاحظة مدى الانحناء وضبط حركة سياراتهم تبعاً للحالة كما أن أي سيارة تفلت قيادتها فوق ردم عال يكون موقفها في غاية الخطورة ولتخفيف حدة ذلك الخطر فإنه يلزم استخدام أعمدة واقية جيدة التصميم ، أو على الأقل توضع علامات كافية لإظهار المنحنى ، مع المحافظة على وضوحها بدرجة عالية .

6. يجب مراعاة الحذر عند استخدام منحنيات دائرية مركبة والأفضل أن يتجنب استخدامها وفي حالة الاضطرار إلى استخدامها يجب أن يكون الفرق صغيراً بين أنصاف الأقطار بحيث لا يزيد نصف قطر المنحنى المنبسط عن 1.5 نصف قطر المنحنى الحاد.

7. يجب اجتناب أي تغيير عكسي مفاجئ في التخطيط ، لأن مثل هذا التغيير يجعل من الصعب على السائق أن يلتزم حارة المرور الخاصة به ، كما أنه من الصعب عمل رفع كاف جانبي للطريق في كلا الانحناءين وقد ينتج عن ذلك حركات خاطئة وخطيرة ويمكن تصميم انحناء عكسي مناسب في التخطيط بعمل مماس ذي طول كاف بين الانحناءين للانتقال التدريجي في رفع جانب الطريق ولا يقل الطول عن 60متراً .

8. يجب اجتناب عمل منحنيات ذات شكل منكسر (أي انحناءين متتاليين في نفس الاتجاه بينهما مماس قصير) لأن مثل هذا التخطيط فيه خطورة وتنتج هذه الخطورة من أن معظم السائقين لا يتوقعون أن تكون المنحنيات المتتالية لها نفس الاتجاه أما الحالة السائدة وهي انعكاس الاتجاه في منحنيين متتاليين فهي تولد في السائقين العادة على اتباعها بطريقة تكاد تكون لا شعورية ، أضف إلى ذلك أن الانحناء المنكسر لا يسر في مظهره ، وعادة لا يطلق هذا الاصطلاح المسمى انحناء منكسر على الحالة التي يكون فيها المماس الواصل بين المنحنيين المتتاليين طويلاً أي 500متر مثلاً أو أكثر . ولكن حتى في هذه الحالة فإن التخطيط لا يكون مقبول المنظر عندما يكون كلا المنحنيين مرئيين بوضوح من مسافة بعيدة . وإذا كان طول المماس أقل من 250متراً فيعمل منحنى واحد .

9. يجب مراعاة الترابط بين التخطيط الأفقي والقطاع الطولي اجتناباً لظهور أي اعوجاج مخل بالتناسق ، وهذا الترابط بين التخطيطين الأفقي والرأسي ضرورة حتمية كي نحصل في النهاية على تصميم جيد التوازن .

7-3 التخطيط الرأسي : Vertical Alignment

والتخطيط الرأسي يعني وضع مسارات رأسية جديدة تكون عبارة عن خطوط انحدار تهبط وتصعد، وتغير انحداراتها وتتقاطع مع بعضها في نقاط تقاطع (تشبه المسارات الأفقية).

كما يعني التخطيط الرأسي تحديد انحدار خطوط التصميم الرأسي وتصميم منحنيات رأسية بينها مع تحديد أطوال هذه المنحنيات، بالإضافة إلى تحديد أنواعها وتصميمها وحساباتها، مع الأخذ بعين الاعتبار تأمين مسافة الرؤية اللازمة .

وبتحديد المحور الرأسي للطريق تتحدد ارتفاعات الأرض الطبيعية وارتفاعات (مناسيب) الطريق الترابي النهائي عند محورها وليس عند أطرافها، ويلاحظ أن تكاليف الإنشاء تتوقف إلى حد كبير على الاختيار الصحيح للقطاع الطولي والذي يكون مرتبطاً بطبيعة المنطقة .

وعناصر التخطيط الرأسي هي :

1- الميل الطولية .

2- المنحنيات الرأسية .

✓ الميل الطولية Longitudinal Gradients :

الميل هو معدل الصعود أو الهبوط على طول الطريق بالنسبة للأفق و يعبر عنها كنسبة $\{ (1) \text{ رأسي، } (X) \text{ أفقي} \}$ ، وأحيانا يعبر عنها كنسبة مئوية بالفرق الجبري للميل (A) تساوي الفرق الجبري بين الميلين $(G1, G2)$ ، حيث تم الاصطلاح على إشارة الميل فالخط الذي يعلو جهة اليمين يكون موجب والذي ينحدر عن جهة اليمين إلى أسفل يكون سالب .

يعتمد اختيار الميل على:

1. تصميم المنحنى الرأسي.
2. التكلفة الإنشائية.
3. المشاكل العملية الممكن مواجهتها في موقع الإنشاء.
4. السرعة التصميمية للطريق المدروسة.
5. طبوغرافية الأرض التي يخترقها الطريق.
6. طول الجزء الخاضع للميل الرأسي (يجب ألا يتجاوز طول الجزء الخاضع للميل الرأسي الحد الذي تضطر معها شاحنة نموذجية مختارة تخفيض سرعتها بمقدار يزيد عن أو يساوي (25) كيلومتر في الساعة تقريبا من سرعتها الاعتيادية على جزء منبسط قبيل صعودها هذا الجزء هو الميل المعتبر للطريق).
7. توازن كميات الحفر والردم.
8. جمال المنظر.
9. أن لا يقل انحدار الخطوط عن (0.5%) لتصريف المياه السطحية .

■ مواصفات الميول الطولية :

في المناطق المستوية يتحكم نظام صرف الأمطار في المناسيب وفي المناطق التي يكون فيها مستوى المياه في نفس مستوى الأرض الطبيعية فإن السطح السفلي للرصف يجب أن يكون أعلى من مستوى المياه بحوالي (0.5) متر على الأقل وفي المناطق الصخرية ينفذ المنسوب التصميمي بحيث يكون الحافة السفلية لكتف الطريق أعلى من منسوب الصخر بـ (0.3) متر على الأقل وهذا يؤدي إلى تجنب الحفر الصخري، وللمحافظة على الشكل الجمالي فإن من المهم جدا أن يكون طول المنحنى الرأسي أطول من المسافة المطلوبة للتوقف .

■ العوامل التي تتحكم في الميول القصوى المسموح بها :

1. طبيعة المنطقة .
2. نوع المركبات المارة .
3. السرعة التصميمية .

✓ المنحنيات الرأسية Vertical Curves :

يتم عمل المنحنيات الرأسية من أجل إحداث تغير متدرج بين الأجزاء المستقيمة المنحدرة، وقد تكون هذه المنحنيات إما منحنيات رأسية محدبة أو منحنيات رأسية مقعرة ويجب أن تتوفر في المنحنى الرأسي البساطة في التنفيذ، وأن يكون آمن ومريح عند تشغيله، وأن يكون مظهره العام جميل، وأن يكون ذات كفاءة عالية للتصريف، والعامل الأساسي الذي يتوقف عليه التشغيل الآمن في المنحنيات المحدبة هو توفر مسافة رؤية كافية للسرعة التصميمية المستخدمة، ومن الضروري أن تصمم جميع المنحنيات الرأسية بحيث توفر على الأقل مسافة الرؤية للتوقف ومن أجل راحة الراكب فإن معدل التغير في الانحدار يجب أن يكون في الحدود المقبولة، وهذا الأمر مهم جداً في المنحنيات الرأسية المقعرة وذلك لأن قوة الجاذبية والقوة الطاردة المركزية تعمل في نفس الاتجاه.

أيضاً المظهر العام يجب أن يؤخذ في الاعتبار عند تصميم المنحنيات الرأسية، فالمنحنى الطويل له مظهر جمالي أفضل من المنحنى القصير والمنحنى الرأسي يسبب تدرج مفاجئ في المنحنى المقطع الطولي . وحتى نتحكم بالتصريف في الطرق ذات الأرصفة (الحضرية) في المنحنيات الرأسية المقعرة ، لا بد من أن نحرص عند تصميم القطاع الرأسي ألا يقل الانحدار عن (0.5%) وفي بعض الحالات عن (0.3%) وذلك في الحافة الخارجية للطريق، وقد تكون الانحدارات الأصغر مناسبة في بعض الحالات لكنها ليست مرغوبة .

■ عناصر المنحنى الرأسي :

لتعيين العناصر اللازمة لتصميم وتوقيع المنحنيات الرأسية يجب توفير المعلومات التالية:

1. ميل الخطوط الرأسية المتتالي (G2 ,G1) .
2. منسوب نقطة تقاطع تماس متقابلتين (Elevation PVI) .
3. نقطة التقاطع لكل خطين متتالين (Station of the PVI) .
4. نقطتي بداية ونهاية المنحنى الرأسي (PVT ,PVC) .
5. طول المنحنى الرأسي (L) : هو عبارة عن المسافة الأفقية بين نقطتي البداية والنهاية للمنحنى.
6. معدل التغير في الانحدار (A) .

❖ العوامل المتحكممة في إيجاد طول المنحنى الرأسي:

1. مسافة الرؤية (Sight Distance) .
2. راحة الركاب (القوة الطاردة المركزية) (Passenger comfort) .
3. التصريف (Drainage) .
4. المظهر العام (General appearance) .
5. الأمان (Safety) .

✓ اعتبارات عامة في التخطيط الرأسي :

إلى جانب العوامل الخاصة في التخطيط الرأسي هناك عدة اعتبارات عامة يجب مراعاتها في التصميم وهي :

1. يجب أن يكون الهدف هو الحصول على منسوب تصميمي طولي سهل ذي تغييرات تدريجية تتمشى مع نوع الطريق أو درجته وكذا طبيعة الأرض فإن ذلك افضل من مناسيب تكثر فيها الانكسارات والأطوال الانحدارية القصيرة وحقيقة أن هناك قيماً تصميمية خاصة بالانحدارات القصوى والطول الحرج لكل انحدار ، إلا أن طريقة تطبيق ذلك وتهيئته مع طبيعة الأرض في مناسيب مستمرة هي التي تحدد صلاحية العمل المنتهي وشكله الأخير .

2. يجب اجتناب التخطيط الرأسي المتموج أو ذي الانخفاضات المحجوبة ويصادفنا هذا المنظر الطولي عادة في التخطيطات الأفقية القريبة من الاستقامة عندما تعمل المناسيب الطولية لسطح الطريق متفقة في الشكل إلى حد بعيد مع الأرض الطبيعية المتموجة . وليس ذلك سيئ المنظر فحسب ، بل إنه خطر أيضاً فالانخفاضات المحجوبة تسبب الحوادث في عمليات التجاوز ، حيث يخدع السائق المتجاوز بمظهر الطريق فيما وراء المنخفض ويظن الطريق خالياً من السيارات المضادة . بل وفي المنخفضات قليلة العمق فإن مثل هذا التموج الطولي يوجد عدم الاطمئنان عند السائق لأنه لا يمكنه الجزم بوجود أو عدم وجود مركبة مقبلة يحتمل اختباؤها خلف الجزء المرتفع . وهذا النوع من

التخطيطات الطولية يمكن تجنبه بعمل انحناء أفقي أو تغيير الانحدارات تدريجياً بمعدلات خفيفة وذلك ممكن بزيادة أعمال الحفر والردم.

3. يجب اجتناب التخطيط الطولي المنكسر الانحناء (انحناءين رأسيين في نفس الاتجاه يفصلهما مماس قصير) وخاصة في المنحنيات المقعرة التي يكون فيها المنظر الكامل للانحناءين معاً غير مقبول .

4. من المفضل في الانحدارات الطويلة أن تكون الانحدارات الشديدة في الأسفل ثم يقل الانحدار قريباً من القمة أو يتجزأ الانحدار المستمر بإدخال مسافات قصيرة تكون الميل أقل فيه بدلاً من أن يعمل انحدار كامل منتظم ، وقد لا يكون أخف من الحد الأقصى المسموح به إلا بقليل ، ويعتبر ذلك ملائماً بصفة خاصة لحالة الطرق ذات السرعة التصميمية المنخفضة .

5. عند وجود تقاطعات مستوية في أجزاء من الطرق ذات انحدار يتراوح بين متوسط وشديد فيحسن تخفيض الانحدار خلال التقاطع . هذا التعديل في الانحدار مفيد لكافة المركبات التي تقوم بالدوران ويؤدي إلى تقليل احتمالات الخطر .

6. يجب تجنب المنحنيات المقعرة في مناطق الحفر إلا في حالة توفر نظام صرف كافي .

8-3 القطاعات العرضية Cross Section :

يتكون القطاع العرضي للطريق من عناصر مختلفة يتم تصميم هذه العناصر حسب الغرض المطلوب من كل عنصر بحيث يتم استيفاء متطلبات المرور والجمهور على السواء وبحيث يراعى الحفاظ على جمال المنطقة والناحية الاقتصادية كذلك، وهذه العناصر تختلف حسب أهمية الطريق وحسب نوع الطريق فعلى سبيل المثال تزود الطرق داخل المدن بأرصفة لخدمة المشاة وعرض هذه الأرصفة يتم تحديدها على أساس حجم المشاة المتوقع كما يتم في بعض الأماكن إضافة مناطق خاصة لمستخدمي الدراجات لضمان الأمان وكذلك سهولة المرور، وفي حالات معينة يتم تخصيص حارة مرور لوسائل النقل العام عند مناطق الإشارات وذلك لإتاحة الفرصة لها لكي تتحرك فوراً مع بدء الإشارة الخضراء وذلك لتقليل زمن الرحلة حتى يمكن جذب الجمهور لاستخدام وسائل النقل العام .

ويتم تصميم الأجزاء المختلفة لقطاع الطريق تبعاً لكيفية استخدامه والاستفادة منه، فالطرق التي يمر عليها عدد كبير من العربات وبسرعات عالية يتطلب عدد كبير من حارات المرور وانحدارات طولية صغيرة ومنحنيات ذات أنصاف أقطار كبيرة نسبياً عن الطرق التي يمر عليها عدد قليل من العربات عند سرعات تصميمية صغيرة، وفي الحالة الأولى يجب الاهتمام بأكتاف الطرق المتسعة وعمل جزر فاصلة بين اتجاهي المرور مع تخصيص حارات خاصة عند مناطق الدوران.

❖ عناصر القطاع العرضي :

1- سطح الطريق المرصوف :

تتوقف طبيعة السطح المرصوف على حجم وتركيب المرور وإمكانية الحصول على مواد الرصف وخبرات شركات الرصف، هذا بالإضافة إلى إمكانيات الإنشاء وإمكانيات جهاز الصيانة.

وعندما يكون حجم المرور عالياً يتطلب الأمر سطح طريق ناعم مع خاصية منع انزلاق العربات في جميع الأجواء، ونظراً لنعومة السطح فإن الميل العرضية غالباً ما تكون عند حدها الأدنى .

وفي حالة الأسطح الخشنة يجب أن تكون الميل العرضية للقطاع عند حدها الأقصى لضمان صرف مياه الأمطار، وفي حالة الأسطح الخشنة فإن سرعة العربات تكون أقل من حالة الأسطح الناعمة كما أن الأسطح المرصوفة ذات اللون الفاتح أفضل من حالة اللون الداكن بالنسبة للرؤية وخاصة بالليل، كما أن الرصف الملون غالباً ما يستخدم للتمييز بين الأكتاف وحارات المرور وتوضيح حارات الدخول والخروج من الطريق الرئيسي وخاصة عند التقاطعات المعزولة وكذلك حارات التسارع والتناقص .

2- حارات الطريق :

الحارة هي الجزء المرصوف من الطريق والمخصصة لسير صف واحد من العربات، ولها دوراً أساسياً في تسهيل القيادة وجعلها آمنة حيث يعتمد الموقف الذي يختاره السائق عند اجتيازه العربات الأقل سرعة منه أو عند مقابلته للعربات القادمة في اتجاهه على العرض المخصص للحارة التي يسير عليها، ويتوقف تصميم عرض الحارة على أهمية الطريق وعلى السرعة التصميمية، ويلعب عرض الحارة دوراً كبيراً في سهولة القيادة ودرجة الأمان

على الطريق وطبقاً للمواصفات العالمية يجب أن لا يقل عرض الحارة عن (3) أمتار ويفضل أن يؤخذ (3.5-3.6) متر، وفي حالة الطرق السريعة يفضل أن يؤخذ عرض الحارة (3.75) متر نظراً لمرور عربات النقل ونظراً للسرعة الكبيرة للعربات بشكل عام.

وتنقسم الطرق من حيث عدد الحارات إلى عدة أقسام، فهناك طرق بحارة واحدة مثل الطرق القروية التي تستوعب عدد محدد من المركبات، وهناك طرق من حارتين واحدة للذهاب والأخرى للإياب وهي تشكل أغلب أنواع الطرق وتتطلب مسافة رؤية واضحة تمكن السائق من التجاوز بأمان، وهناك طرق بأكثر من حارتين تستخدم في حالة السير المكثف والسرعات العالية للعربات .

3- الميول العرضية للرصف :

في الطرق الحضرية الشريانية يتم تنفيذ ميل عرضي في مناطق المماسات والمنحنيات الأفقية المنبسطة وذلك بعمل تاج في منتصف الطريق وإجراء ميل في كلا الاتجاهين في الطريق الحارتين وذلك بهدف صرف المياه إلى جانبي الطريق . وبصفة عامة يتم عمل ميل عرضي للرصف بحيث يكون اتجاه الميل إلى أماكن تجمع وتصريف مياه الأمطار. والميول الجانبية الحادة غير مرغوبة في أماكن المماسات في التخطيط الأفقي لما يمكن أن تسببه من تأثير على المركبة وإمكانية انسياقها إلى الحافة الهابطة للطريق . والميل العرضي حتى 1.5% مقبول حيث لا يلاحظه السائق ولا يؤثر على المركبة .

4- مواصفات الحارات المساعدة :

أ - حارة المواقف :

على الرغم من أن حركة المركبات هي الوظيفة الرئيسية لشبكة الطرق إلا إنها أيضاً تخدم مواقف السيارات نتيجة لاستعمالات الأراضي. ويفضل في المناطق الحضرية عمل مواقف موازية للطريق ولا يسمح بالوقوف الزاوي كلما أمكن ذلك بسبب الاختلافات الواضحة في طول المركبات مثل شاحنات صغيرة أو ما شابه ذلك من الحافلات التي تتطلب طول إضافي مما يسبب ارتباك كبير في حركة السيارات على الطريق . وحارة المواقف تصمم لجميع الطرق المحلية والمجمعة وفي الدرجات الأخرى للطرق ويعمل كتف الطريق (Shoulder) بمثابة حارة موقف أو كمسافة متاحة للوقوف في حالات الطوارئ .

وعرض الموقف 2.5 متر من حافة حارة المرور إلى حافة البردوره والطول النموذجي للموقف 6.5 متر .

ب - حارة الدوران :

أقل عرض لحارة الدوران إلى اليمين أو اليسار 3 متر ، ويستخدم في الطرق السريعة ذات السرعة التصميمية الأعلى عرض أكبر وفي الأماكن التي يتوقع وجود أعداد كبيرة من الشاحنات الثقيلة .

5- الطرق الجانبية Frontage Roads :

الطريق الجانبي هو الطريق الملاصق للطريق السريع المحكوم الدخول إليه وهو المصمم لتجميع وتوزيع الحركة المرورية عند الحاجة إلى استخدام الطريق السريع المتحكم في الدخول إليه أو الخروج منه وكذلك لتسيير الوصول إلى الممتلكات المجاورة .

1- مكان الطرق الجانبية Location Of Frontage Road :

غالباً تكون موازية للطريق الرئيسي ربما تكون مستمرة بطول الطريق وأحياناً تكون على جانب من الطريق أو على الجانبين معاً . من ناحية الأمان في التشغيل لابد من أن يكون خط الخدمة ذا اتجاه واحد .

2- الفاصل الخارجي Outer Separation :

هي المساحة الموجودة بين الطريق الرئيسي والطريق الجانبي ومن أهم وظائف هذا الفاصل ترك مسافة للمداخل أو المخارج إلى ومن الطريق الرئيسي. وكلما زاد عرض الفاصل كلما قل تأثير المرور الرئيسي على الطريق الجانبي.

3- النهايات Terminals :

يتم إنهاء طرق الخدمة عند التقاطعات بالطرق الرئيسية أو المخارج المتفرعة أو مع تقاطع مع طريق محلي .

6- أكتاف الطريق :

في غالب المناطق الحضرية الأكتاف غير ضرورية لإعطاء دعم إنشائي للرصف حيث وجود البردورة وقنوات الصرف، وتعطي حارة وقوف السيارات نفس المميزات التي تعطيها الأكتاف ولإيجاز عروض الأكتاف في الطرق الحضرية .

7- الأرصفة :

تعتبر أرصفة المشاة جزءاً مكماً لتصميم الشوارع في المدن ولكنها قلما تعتبر ضرورية في المناطق الخلوية ومع ذلك فإنه في بعض المناطق الخلوية قد يتطلب الأمر عمل أرصفة كافية ومع السرعات العالية للعربات تصبح هذه الطرق غير آمنة بالنسبة للمشاة، والحاجة تصبح ماسة لمثل هذه الأرصفة في الطرق الخلوية والمارة بالقرب من الضواحي عند مناطق المدارس والمصانع والأسواق وأي منطقة بالقرب من الطريق يتطلب الأمر وجود مشاة بها.

ويجب ألا يقل عرض الرصيف عن (1.5) متر ويعمل من مواد تعطي سطحاً ناعماً ومستوياً وسليماً، ويجب أن يكون سطح الرصيف الذي يسير عليه المشاة مساوياً في الجودة أو أحسن حالة من سطح الرصف المخصص للمركبات كي يغري المشاة بالسير عليه.

وعندما يكون رصيف المشاة قريباً من حافة الجزء المرصوف لمرور المركبات، يجب حمايته ببر دورات حاجزة وعند عدم استعمال بردورات يجب أن تكون أرصفة المشاة بعيدة عن حافة الرصف المخصص للمركبات بثلاثة أمتار على الأقل .