# الفصل الثالث

# العوامل المؤثرة على مسار الطريق والتصميم الهندسي للطريق

## ١- اختيار مسار الطريق والعوامل التي تتحكم في تخطيطه

ان عملية اختيار مسار الطريق High way alignment يجب ان تتم بدقة وعناية لان ذلك سوف ينعكس على تكلفة الانشاء والصيانة وكلفة تشغيل المركبات المارة عليه، وبمجرد انشاء الطريق يصعب ادخال اية تعديلات عليه نظرا لارتفاع قيمة الارض المجاورة وكذلك ارتفاع قيمة التعويضات اللازمة للمنشآت المقامة على جانبيه. ونظرا لان اختيار مسار الطريق يعتبر من اهم مراحل التصميم لذا وجب اخذ النقاط التالية بنظر الاعتبار عند المقارنة بين المسارات المقترحة للطريق المنوي انشائه :-

**أ- قصير وبسيط** **Short and Easy**

يجب ان يكون الطريق قصيرا وباقل انحدار ممكن حتى تكون كلفة انشاء الطريق وتشغيله قليلة فضلا عن انسيابية المرور في اقل وقت ويعتبر الخط المستقيم بين نقطتين من اقصر الطرق ولكن نتيجة لبعض الاعتبارات العملية يصبح من غير الممكن تحقق هذا المبدأ لذا وجب التفكير بتحقيقه كلما امكن ذلك.

**ب- امين** **Safe**

يجب ان يكون مسار الطريق امين بحيث يتجنب وقوع أي حادثة مرورية ممكن حدوثها بسبب الناحية التصميمية للطريق وهذا يتم من خلال تحديد العرض المناسب للطريق ونوعية الأكتاف وعرضها والسيطرة على المداخل والارشادات المرورية والوضوح في المسار بحيث يستطيع السائق ان يتخذ قرارا واحدا عند التقاطعات والمفترقات وغيرها.

**ج- اقتصادي** **Economical**

يجب ان يكون كلفة الإنشاء الأساسي بضمنها الاستملاكات والصيانة وتشغيل المركبات وبمجموعها في ادنى حد.

## ٢- العوامل الرئيسية التي تتحكم في تخطيط الطريق

## Main Factors Affecting Road Planning

هناك جملة تتحكم في تخطيط الطريق وهي :-

أ- النقاط الحاكمة Obligation Points

ب- حجم وتركيب المرور Volume and Character of Traffic

ج- التصميم الهندسي للطريق Geometric Design of road Way

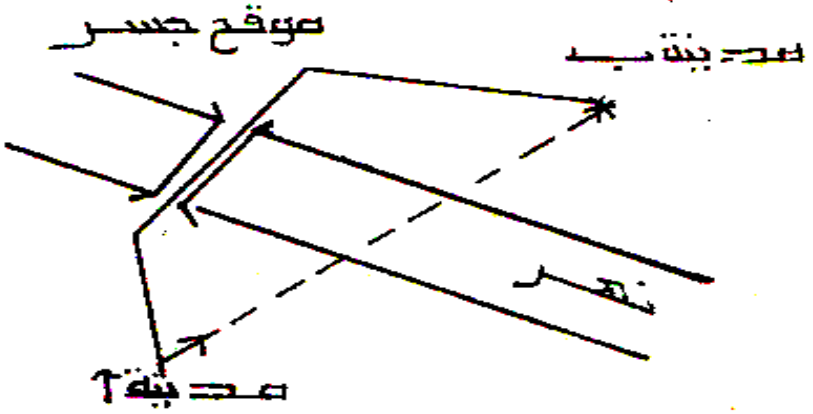
د- الجدوى الاقتصادية Benefit Cost Ratio

ه- عوامل اخرى Other considerations

**أ- النقاط الحاكمة**

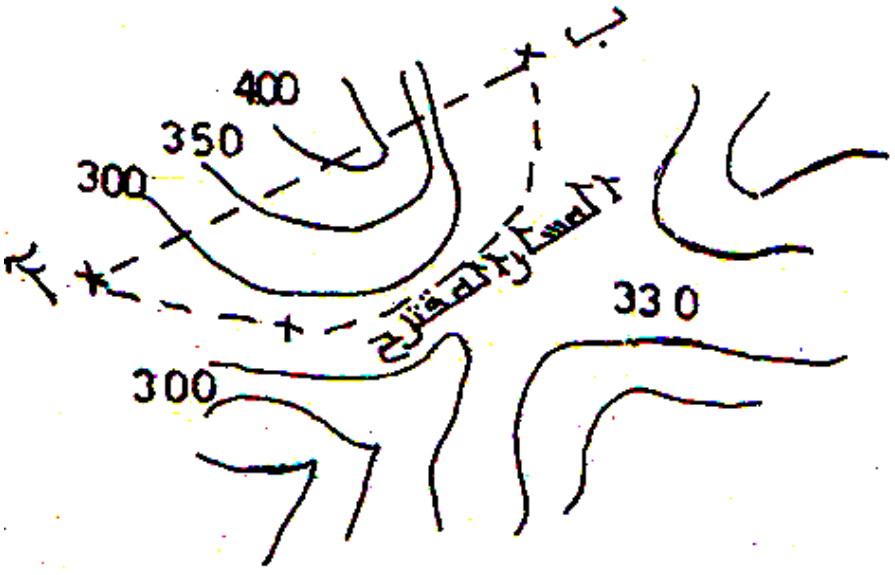
وهي النقاط الاساسية التي تتحكم بمسار الطريق اضطراريا وتقسم الى قسمين:-

**اولا** :- نقاط يجب المرور بها :- وتتمثل هذه النقاط بوجود مواقع جسور وانفاق او ممرات جبلية او مدن وسطية، فعند اقتراح المسار يجب الاستفادة من هذه المواقع والتي قد تسبب في ازدياد طول الطريق لكنها ستؤدي الى الاقتصاد في كلفة الانشاء والشكل (٣-١) يوضح ضرورة تغيير مسار الطريق من خط مستقيم الى اجزاء مستقيمة تربطها منحنيات افقية لإمكانية عبور الجسر في الموقع المناسب.




الشكل (٣- ١) تغيير مسار طريق بسبب النقاط الحاكمة

ان لطبوغرافية المنطقة ومتطلبات المسار اهمية في تحديد المسارات المقترحة والشكل (٣-٢) يوضح كيفية الالتفاف حول الهضبة لكي نتجنب عمل انفاق او كميات قطع كبيرة.




**ثانيا** :- نقاط يجب عدم المرور بها :- وتمثل المواقع التي قد يضطر الى تغيير المسار عندها بحيث لا يتقاطع معها، ومن هذه المواقع الاراضي الخاصة للمنشآت الضخمة العالية الكلفة، الارض غير الملائمة كالأهوار والجبال ومناطق العبادة وغيرها، وفي حالة الالتزام بالمسار المار بمثل هذه المناطق فان الامر يتطلب عمل جسور او انفاق مما يضيف الكثير الى كلفة الانشاء.

**ب- حجم وتركيب المرور**

يجب ان يلبي المسار المقترح متطلبات المرور المتوقع الحالي والمستقبلي بحيث يلبي متطلبات مستخدمي الطريق مع معرفة اتجاهات حركة المرور المتوقعة، فضلا عن تحديد حركة السابلة ونوعية المركبات المتوقع استخدامها على الطريق من شاحنات وباصات وسيارات خاصة وغيرها.

**ج- التصميم الهندسي للطريق**

يتحكم التصميم الهندسي للطريق والذي يشمل الاجزاء المستقيمة والمنحنيات الافقية والراسية وجميع تفاصيل المقاطع العرضية والتقاطعات في الاختيار النهائي للمسار، فمثلا قد لا يمكن تنفيذ المسار الاقصر بسبب تجاوز الانحدارات المقترحة للمسار الطولي (الحد الاعلى المسموح به)، وعليه يمكن القول بان المسار المقترح يجب ان يلبي مواصفات التصميم الهندسي بما يضمن سلامة انتقال مستخدمي الطريق وبشكل كفوء.

**د- الجدوى الاقتصادية**

بعد ان تؤخذ العوامل السابقة في نظر الاعتبار يجب ان يكون اختيار المسار النهائي متوقفا على دراسة الجدوى الاقتصادية وهذه تشمل كلفة الانشاء والصيانة وكلفة تشغيل المركبات ويمكن جعل كلفة الانشاء قليلة في حالة تجنب الانحدارات الشديدة مع محاولة اختيار مسار تتفادى فيه كميات الحفر والردم بقدر الامكان.

**هـ - عوامل اخرى**

هناك عوامل تتحكم في تخطيط الطريق منها عمليات تصريف المياه ورتابة المسار وعوامل سياسية، فعند التخطيط الراسي للمسار يجب ان يؤخذ في الاعتبار التصريف السطحي لمياه الامطار وكيفية التخلص منها بالإضافة الى تحديد منسوب المياه الجوفية ومنسوب مياه الفيضان.

وفي المناطق المسطحة ولكون الطريق افقي ومستقيم لمسافات طويلة فانه قد يبعث الملل للسائق مما يجعل السائق عرضة للنوم او عدم الانتباه ولذلك يجب بعد عدة كيلومترات عمل انحراف قليل في المسار حتى ينتبه السائق.

**٣- الاعمال المساحية لمسار الطرق**

قبل تحديد المسار النهائي لطريق على الخرائط اخذين بالاعتبار النقاط السابقة, هناك اربعة مراحل مهمة للأعمال المساحية وهي :-

أ- مرحلة دراسة الخرائط Map study

ب- مرحلة المساحة الاستطلاعية Reconnaissance Surveys

ج- مرحلة المسح الابتدائي Preliminary Surveys

د- مرحلة المساحة التفصيلية Detailed Surveys

**أ- دراسة الخرائط**

المقصود بالخرائط هنا الخرائط الطوبوغرافية المتوفرة عن المنطقة، حيث يمكن من خلال دراسة الخرائط اختيار عدد من المسارات البديلة للخط مع ضرورة الاخذ بالاعتبار النقاط الاتية :-

- تجنب عبور الوديان او البحيرات او البرك قدر الامكان.
- لتحديد موقع عبور نهر او وادي حاكم، يجب ان يؤخذ بالاعتبار ان يكون الجسر على جزء مستقيم من النهر وبحيث يجعل الطريق عموديا على المجرى المائي قدر الامكان.
- عدما يتطلب صعود الطريق الى اعلى تل او هضبة، يجب ان لا يتعدى انحدار الخط على الحدود المقبولة بموجب المواصفات حيث قد يتطلب الامر الزيادة في طول المسار لكي نقلل من درجة الانحدار.

ان دراسة الخرائط يمكن ان تتيح للمهندس تحديد مسارات بديلة ممكنة بالإضافة الى انها تعطي فكرة وافية عن المنطقة التي يحتاجها اثناء العمل.

**ب – المسح الاستطلاعي**

وهنا يتطلب ان يقوم المهندس بنفسه بالمرور واستطلاع المنطقة شخصيا لما لذلك من فرصة في امكانية اجراء بعض التعديلات على المكان المقترح لأنه ومهما كانت الخرائط المتوفرة عن المنطقة جيدة ودقيقة الا انها قد تغفل بعض المعلومات الضرورية عن الموقع.

والمعلومات الواجب جمعها وملاحظتها من خلال الاستطلاع هي :-

- جمع العوائق غير الظاهرة وملاحظتها على الخرائط السابقة.
- الانحدار وطوله وانصاف اقطار المنحنيات للمسارات البديلة.
- نوع وطبيعة التربة للموقع.
- عدد ونوع المنشآت اللازمة لصرف المياه السطحية ومناسيب فيضان المناطق القريبة من المسار ومنسوب المياه الجوفية وسواها.
- العوائق الثانوية على المسار وانواعها كالأبنية او الاشجار وسواها ومن خلال المسح الاستطلاعي قد يتم تعديل التخطيط الاولي للمسار وينظر الى البديل الافضل عنه.

**ج – المسح الابتدائي**

ان الغرض من هذا المسح هو :-

- عمل مسح مبدئي للمسارات المختارة بعد عملية الاستطلاع وذلك للحصول على جميع البيانات اللازمة والمناسبة لطوبوغرافية الارض ومتطلبات تصريف المياه وغيرها.

- تحديد ودراسة نوع التربة لتساعد على تقرير نوع الرصف الممكن وكذلك دراسة اتجاه الرياح في المنطقة وشدتها كي لا يتضايق المرور منها اذا كانت باتجاه الطريق.
- مقارنة البدائل ثم عمل دراسة اقتصادية لكل مسار على حدة.
- من واقع الخطوات السابقة يمكن اختيار المسار النهائي.

ومن المسح الابتدائي يمكن الحصول على جميع البيانات اللازمة للمباشرة بالتخطيط النهائي للطريق وعادة ما تعتمد فيه عمليات المسح الجوي بأخذ الصور الجوية وقراءتها للحصول على خرائط شاملة لطوبوغرافية المنطقة وطبيعة التربة بالإضافة الى تكلفة المعلومات الاساسية للمناسيب بالاستعانة بفرق المساحة الحقلية التقليدية ومن خلال اجهزة المسح والتسوية Levels & Theodolites.

**د- المساحة التفصيلية**

بعد اعمال فرق المسح الاولية السابقة يمكن اختيار المسار النهائي المنتخب، حيث يتم توضيح محور هذا المسار على الارض ثم تتم جمع عمليات المساحة التفصيلية اللازمة لتوقيع وتخطيط هذا الطريق بوضع اوتاد على المحور المقترح، ثم تستأنف عمليات المسح الارضي او الجوي ولكن بدقة اكبر وتعمل قطاعات عرضية متقاربة كل ٣٠ مترا تقريبا وخاصة في مناطق المنحنيات او الانحدارات وفي جميع الحالات تحدد مواقع المجاري المائية والوديان وبتفاصيل كاملة ولمسافة كبيرة على جانبي المسار وتجمع المعلومات والبيانات عن المنطقة ويتم رسم الخرائط التفصيلية كاملة.

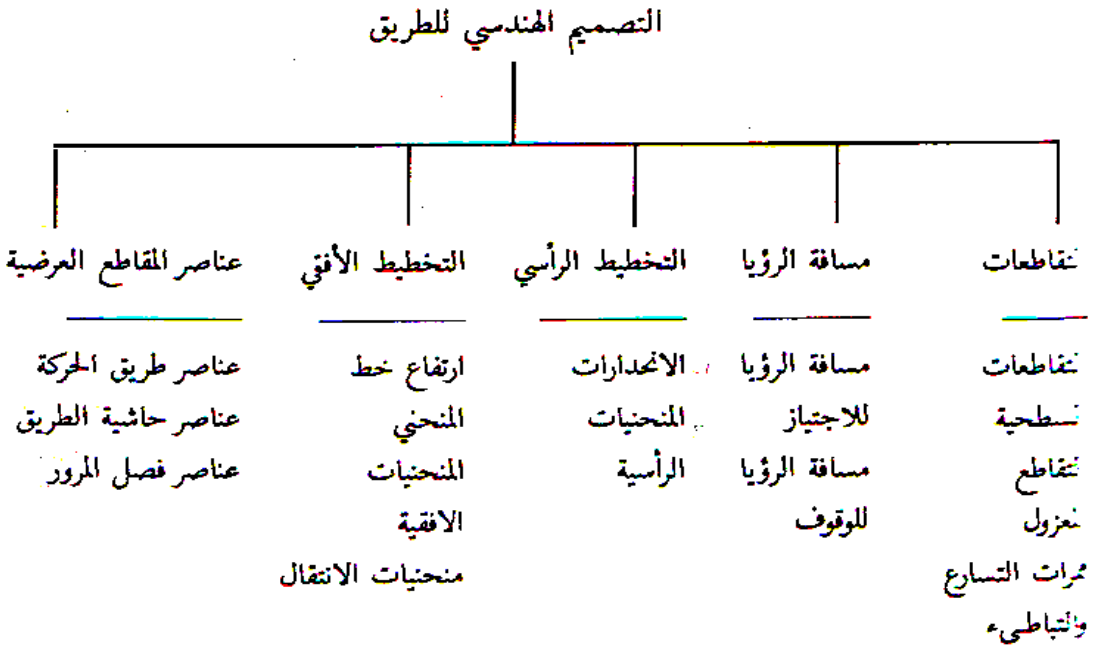
كما يتطلب ايضا ان يكون لدى المهندس المعلومات الوافية ودراسات عن فحوصات التربة على طول جانبي المسار وذلك بأخذ عينات مختلفة منها وعلى اعماق تعتمد على نوعية التربة والمنشآت المراد تنفيذها عليها.

بقي من الضروري ان نتعرف على الخرائط المطلوبة في الاعمال المساحية للطرق فهي :-

- خارطة المفتاح Key map ويوضح عليها الطريق المقترح او الطرق المقامة فعلا في المنطقة والمناطق الرئيسية (المدن) المراد التوصيل بينها.
- خارطة المسح الابتدائي وتشمل تفاصيل التخطيط الخاصة بالمسارات البديلة.
- الخرائط التفصيلية للمساقط الافقية والقطاعات الطولية والعرضية للطريق.
- الخرائط التفصيلية للمساقط الأفقية والقطاعات الطولية والعرضية للأبنية والمنشآت اللازمة والمكملة لمشروع الطريق.
- خرائط أخرى يوضح فيها مثلا مواقع المقالع القريبة لتحديد إمكانية نقل متطلبات الطريق من مواد الإنشاء وغيرها.

## ٤- التصميم الهندسي للطريق

يشمل التصميم الهندسي للطريق التخطيط الافقي للمسار المتمثل بالأجزاء المستقيمة والمنحنيات (منحنيات افقية، منحنيات انتقال) والتخطيط الراسي الذي يشمل الانحدارات الراسية فضلا عن مسافة الرؤيا والتقاطعات وجميع تفاصيل المقاطع العرضية والتقاطعات، لاحظ المخطط (٣-١).




المخطط (٣- ١) مكونات التصميم الهندسي للطريق

يجب ان يكون التصميم امينا وكفؤا واقتصاديا اخذا في الاعتبار امكانية استخدام الطريق وحالة المركبة المارة في الفترة التصميمية بحيث يستطيع ان يلبي متطلبات حجم المرور الحالي والمستقبلي ويعطي انطباعا للسائق بالأمان فضلا عن تجنب تغييرات مفاجئة كالانتقال الفجائي الى المنحنيات الافقية او الانحدارات الراسية مع عدم وجود مدى رؤية مناسب وكما يجب ان يزود بجميع الوسائل الضرورية للتحكم في المرور مثل العلامات الارشادية وتخطيط الممرات والاضاءة المناسبة.

### أ- اسس التصميم الهندسي للمرور

تتوقف اسس التصميم الهندسي على عوامل كثيرة وهي :-

**اولا :- حجم المرور** **Traffic Volume**

يعد حجم المرور الحالي والمستقبلي من العوامل الاساسية التي يجب ان تؤخذ في التصميم والذي يعبر عن متوسط حجم المرور اليومي ADT الحالي والتصميمي و حجم المرور الساعي التصميمي DHV وفي الاتجاهين وتحديد نسبة حجم المرور لكل اتجاه خلال ساعة الذروة "D.D" (راجع الفقرة ٣ سابقا من الفصل الثاني) اخذين في الاعتبار جميع انواع المركبات المستخدمة (اللوريات والباصات والسيارات الخاصة) او عن طريق تحويل حجم المرور الى وحدات مرور مكافئة للمركبات الخاصة " Equivalent Passenger Car"، ان حجم المرور يؤدي الى تحديد عدد الممرات الواجب تنفيذها بحيث يستطيع ان ينهض بالمرور بشكل كفوء.

**ثانيا :- تركيب المرور** **Character of Traffic**

ويقصد به تحليل نسبة كل نوع من المركبات بالنسبة لحجم المرور الساعي التصميمي.

**ثالثا :- السرعة التصميمية** **Design Speed**

السرعة التصميمية تمثل العنصر الاساسي في كل احكام التصميم فهي تؤثر بشكل مباشر على المنحنيات الافقية، مسافة الرؤيا والانحدارات وبشكل غير مباشر على عرض الطريق والاكتاف والسيطرة على المداخل وغيرها من عناصر التصميم. ان السرعة التصميمية تؤشر لنا مع الحجم المرور الساعي التصميمي على طبيعة الحركة المتوقعة.

**رابعا :- السيطرة على المداخل** **Control of Access**

ان لطبيعة السيطرة المطلوبة على حركة المرور (كاملة، جزئية، معدومة) تأثير على عناصر تصميم الطريق فمثلا الطرق الحرة تمثل نموذجا للسيطرة الكاملة على حركة المرور حيث لا يلتقي الطريق مع الحركة العامة للناس الا في منطقة محدودة.

**خامسا :- مركبات التصميم** **Design Vehicle**

على الاغلب تمر على الطرق كلا من اللوريات Trucks والمركبات الصغيرة (السيارات الخصوصي والتاكسي) لذا فان معرفة خصائص هذه المركبات وابعادها من (طول وارتفاع ووزن وقدرة) ضروري وله تأثير على تصميم الطريق.

**ب- عناصر المقاطع العرضية للطريق**

## Highway Cross – Sections Elements

ان تصميم الاجزاء المختلفة لقطاع الطريق يتوقف على طبيعة الاستخدام المطلوب للطريق، فالطرق التي يمر عليها حجم مروري كبير وبسرعات عالية تتطلب عددا اكبر من الممرات المرورية وانحدارات طولية صغيرة ومنحنيات افقية ذات انصاف اقطار كبيرة نسبيا عن الطرق التي يمر عليها عدد قليل من المركبات وبسرعات تصميمية واطئة فان الحالة الاولى تتطلب الاهتمام بتوسيع اكتاف الطرق وعمل الجزرات الوسطية وتخصيص ممرات تباطؤ وتسارع وغيرها، ويمكن تقسيم عناصر مقاطع الطريق الى ثلاثة عناصر اساسية :-

**اولا :-** طريق الحركة Travelling - Way

ويشمل :-

- سطح الطريق Pavement surface
- عرض الممرات Lane width

- الميول العرضية Cross – slope (camber)

**ثانيا :-** حاشية الطريق Road Margins

ويشمل :-

- الاكتاف Shoulders
- الارصفة Side walks
- حجر حافة الطريق Curb stone
- الميول الجانبية Side slopes
- محرمات الطريق Right of way
- الحواجز الجانبية Guard rail

**ثالثا :-** فصل المرور ويشمل :- Traffic Separation

- الجزرات الوسطية Medians

**- سطح الطريق** **Pavement Surface**

تتوقف نوعية السطح المرصوف (عالي، متوسط، واطئ) على حجم وتركيب المرور وتوفر مواد الرصف فضلا عن تكلفة الانشاء والصيانة، وعندما يكون حجم المرور عاليا يتطلب سطحا ناعما مع مراعاة وجود احتكاك يؤدي الى عدم انزلاق المركبات في جميع الاجزاء مع تحديد كلفة الصيانة الى اقل قدر ممكن وخلال المدة التصميمية للرصف وكما ان الميل العرضي المطلوب لتصريف المياه في مثل هذا الرصف غالبا ما يكون في حده الادنى، وبالعكس في السطوح الخشنة (رصف قليل التكلفة) يكون الميل العرضي في الحد الاقصى لضمان تصريف المياه، فضلا عن ان سرعة المركبات تكون اقل مما هي عليه في السطوح الناعمة.

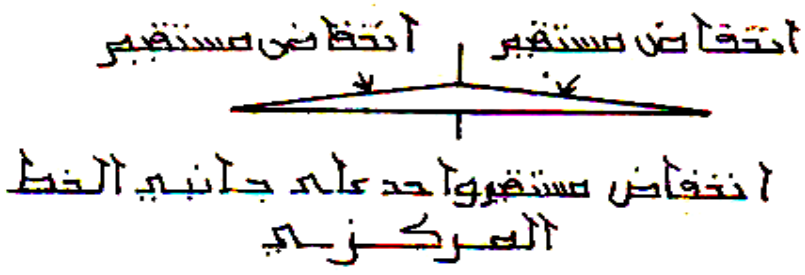
ان للون الرصف تأثيرا مباشرا على حركة المرور فاللون الفاتح افضل من اللون الداكن بالنسبة للرؤيا وخاصة بالليل نتيجة لمقدار الانعكاس الحاصل وكما ان لون الرصف غالبا ما يستخدم للتمييز بين الاكتاف وممرات المرور ولبيان ممرات الدخول او الخروج من الطريق الرئيسي.

**- عرض الممر** **Lane Width**

ان لعرض ممر المرور دورا كبيرا في سهولة القيادة ودرجة الامان على الطريق فالممرات الضيقة تؤدي الى زيادة المخاطر وتقليل سعة المرور باي حال لا يجب ان يقل عرض الممر عن ٣م ومن خلال التجارب وجد ان عرض الممر البالغ ٣.٦٠ يعد مثاليا ويفضل ان يكون ٣.٧٥ م في الطرق ذات السرعات العالية والطرق ذات السرعات الواطئة مع نسبة عالية من اللوريات وحسب المواصفات الامريكية AASHTO.

**- الميول العرضية** **Cross – Slopes Camber**

لتسهيل عملية تصريف مياه الامطار يجب تزويد الطرق بميول عرضية عن طريق تخفيض حافات الطريق بالنسبة لمحوره وقد يكون هذا الميل منتظما او منحنيا على هيئة تحدب، وفي حالة وجود جزرة وسطية فان كل اتجاه يعمل به ميل خاص والشكل (٣-٤) يبين الحالات المختلفة للميول العرضية.




شكل (٣– ٤) الحالات المختلفة للميول العرضية

ويمكن تقسيم الميول العرضية الى :-

أ – تحدب بسيط.

ب- انخفاض مستقيم واحد على جانبي الخط المركزي.

ج- ربط التحدب في وسط المركز والخطوط المستقيمة على الجانبيين.

د- خطين مستقيمين على كل جانب من الخط المركزي.

ان قيمة الميول العرضية تعد من العناصر المهمة في تصميم المقاطع العرضية حيث يجب ان يكون من الناحية العملية اقل ما يمكن لتسهيل حركة المركبات مع مراعاة تصريف مياه الامطار وتتوقف قيمة الميول العرضية على نوع الرصف وكمية الامطار في الطريق الترابي تتراوح بين ٢٠:١ – ٢٥:١ وفي الرصف الاسفلتي ٤٨:١ – ٦٠:١.

**- الأكتاف** **Shoulders**

تزود الطرق الخدمية بأكتاف جانبية لإيواء المركبات المتوقفة ولاستخدامها في حالة الطوارئ والاسناد الجانبي لأسطح الطرق. والحاجة الى الاكتاف تتوقف على نوع الطريق وحجم وتركيب المرور وسرعة المركبات وطبيعة المنطقة المار بها الطريق. ويتراوح عرض الاكتاف بين ١.٢٥ م كحد ادنى و ٣.٦٠ م كحد اقصى للطرق السريعة تنتهي بممرات توقف.

ويجب ان تزود الاكتاف بميول عرضية كافية لتصريف المياه عن الطريق وتتراوح بموجب المواصفات الامريكية بين (٠.٧٥ -١) انج/قدم وتعتمد على نوع مادة رصف الاكتاف ولكن يجب ان لا تزيد عن الحد الذي يسبب خطورة على المركبات المتوقفة.

**- الأرصفة** **Side Walk**

في داخل المدن تعد الارصفة جزءا مكملا للشوارع مع ذلك فانه في بعض مناطق الضواحي قد يتطلب عمل ارصفة للطرق نظرا للسرعات العالية للمركبات وعدم وجود اضاءة كافية فتصبح هذه الطرق غير امنة بالنسبة للمشاة والحاجة تصبح ماسة لمثل هذه الارصفة في الطرق الخلوية والمارة بالقرب من الضواحي عند مناطق المدارس والمصانع والاسواق واي منطقة بالقرب من الطريق يتطلب الامر وجود مشاة بها.

**- حجر حافة الطريق Curb Stone**

يحدد حجر حافة الطريق عرض الرصف وبذلك يساعد السائق على القيادة الامنة والغرض منه هو:-

أ – التحكم في عمليات الرصف السطحي.

ب- منع المركبات من الخروج عن الطريق المرصوف وخاصة عند المناطق الخطرة.

ج- تحديد حافتي الرصف وتحديدها وخاصة في حالة الطرق الخلوية غير المرصوفة اكتافها.

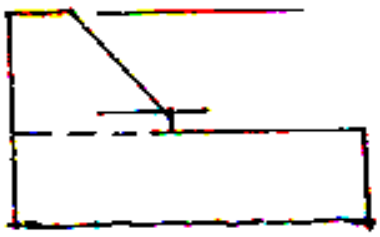
وعموما فان استخدام حجر حافة الطريق ضروري في حالة الطرق الحضرية واستخدامها ثانوي في حالة الطرق الخلوية.

وهناك نوعان رئيسيان في حجر حافة الطريق، النوع الاول يكون كالحاجز "Barrier carb" وهو مرتفع عن منسوب الرصف بصورة تمنع المركبات من الخروج عن حدود الرصف والصعود الى اعلى حجر الحافة ومنها الى الرصف ويتراوح ارتفاع هذا النوع بين (١٥-٥٠ سم) وقد يكون له قطاع من درجتين، لاحظ الشكل (٣-٥).

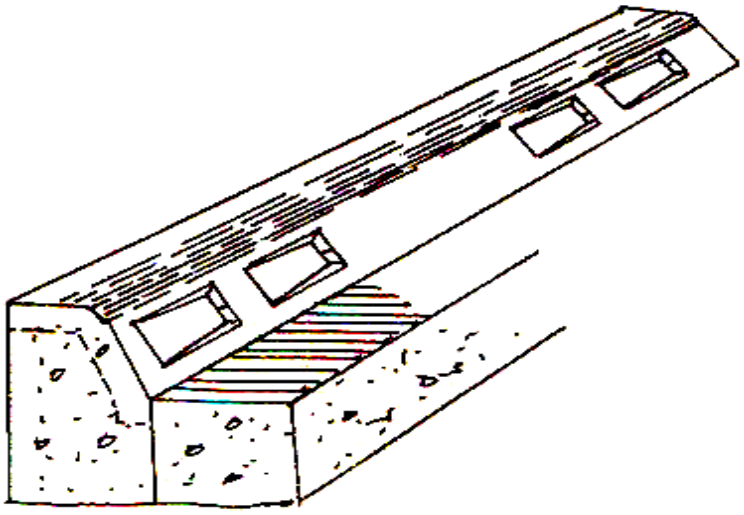
ويستخدم هذا النوع من حجر حافة الطريق في حالة الجسور وأرصفة المشاة والجزرات الفاصلة للطرق والشوارع الرئيسية.

والنوع الثاني من حجر حافة الطريق يكون سطح "Sub waged" حيث لا يرتفع منسوبه عن منسوب الرصف (كالبلوك) او يرتفع في أضيق الحدود Mountable curbs في هذه الحالة يكون سطح حجر الحافة مائلا للانتقال التدريجي عن سطح الطريق الى مداخل الكراجات على سبيل المثال ويستخدم هذا النوع من حجر الحافة اساسا في حالة الجزرات الفاصلة وفي حالة الطرق الخلوية لعمل فاصل بين الطريق المرصوف والاكتاف التي قد لا تكون مرصوفة او مرصوفة رصفا طفيفا.

ولغرض زيادة الرؤيا لحجر الحافة في الليل وفي الايام الممطرة وحالات الضباب غالبا ما تصبغ بالألوان العاكسة كالأبيض او تزود بفسفورات عاكسة وكما في الشكل (٣-٦), الا انه يعد مكلفا ويحتاج الى تنظيف مستمر وبالتالي تحدد مواقع استخدامه.



الشكل (٣– ٥) انواع حجر حافات الطريق




الشكل (٣ – ٦) انواع حجر الحافة مزودة بالفسفوريات والالوان العاكسة

- **الميول الجانبية** **Side Slopes**

تعمل الميول الجانبية في حالة القطع او الردم بحيث تكون مناسبة لطبيعة التربة وكلما كان الميل واطئا كانت كلفة الصيانة والتثبيت والتآكل اقل والجدول (٣-١) يوضح مقدار الميل الجانبي تبعا الى ارتفاع الردم او الحفر وبموجب المواصفات الامريكية "AASHTO".

- **محرمات الطريق** **Right of Way**

يجب ان يكون عرض محرم الطريق واسعا بما فيه الكفاية لشمل جميع اجزاء المقطع العرضي بالإضافة الى عرض اضافي، يستخدم لمسار المشاة ووضع العلامات المرورية والارشادية والاعلانات مع تزويد الطريق بشريحة خضراء فضلا الى عرض يستخدم للتوسيع المستقبلي حيث ان استملاك هذه الارض عند انشاء الطريق افضل من نزع ملكيتها مستقبلا توفيرا للتعويضات وارتفاع ثمن الارض. والجدول (٣-٢) يوضح الابعاد المقترحة لمحرمات الطرق المختلفة من قبل "AASHTO".

**الجدول رقم (٣–١)**

**جدول يوضح الميل الجانبي المقترح لاغراض تصميم الطرق**

| ارتفاع القطع او الردم/ متر | ميل التربة المطلوب تبعا الى طبيعة المنطقة افقي : عمودي | | |
|---|---|---|---|
| | مسطحة او هضبية | Moderatly steep منطقة تلال | وعرة |
| صفر– ١ م | ١ : ٦ | ١ : ٤ | ١ : ٤ |
| ١ – ٣ م | ١ : ٤ | ١ : ٣ | ١ : ٢ |
| ٣ – ٥ م | ١ : ٣ | ١ ١/٢ : ٢ | ١ : ٣ ١/٤ |
| ٥ – ٧ م | ١ : ٢ | ٢ : ١ | ١ : ١ ١/٢ * |
| اكثر من ٧ م | ١ : ٢ | ١ ١/٢ : ١ | ١ : ١ ١/٢ * |

* في التربة الطينية او الغرينية ولايجوز زيادة الميل عن ٢ : ١ .

جدول (٣-٢) الابعاد المقترحة لمحرمات الطرق.

| نوع الطريق | حدود محرم الطريق(متر) |
|---|---|
| طريق من ممرين | ٣٦-٢٢ |
| طريق من ثلاثة ممرات | ٤٢-٣٠ |
| او اكثر (الحد الادنى للطرق الفرعية) | ٩٣-٢٧ |

**- الحواجز والاعمدة الاسترشادية Guard Rail and Guide Posts**

تستخدم الحواجز والأعمدة في المناطق الخطرة والتي يخشى عندها خروج المركبات عن مسارها المحدد، هذه المناطق تتمثل فيما يلي :-

أ- جسور ذات انحدارات شديدة او على منحنيات حادة.

ب- الطرق الجبلية وخاصة من جهة المنحدر او في حالة حدوث ردم اكثر من ٣ أمتار.

ج- التغير ألمفاجئ في عرض الكتف وفي حالة الاقتراب من المنشآت.

وتصمم الحواجز على اساس منع المركبات من الخروج عن الطريق في حالة الاصطدام بها بحيث تمتص الصدمة وتوجه المركبة بمحاذات الحاجز وبسرعة قليلة وتكمن الخطورة عند توقف المركبة تماما لحظة الاصطدام حيث ان الحواجز غير مصممة للصدمات المباشرة ولكن لامتصاص جزء من الصدمة مع توجيه المركبة لتقف بعد فترة من توجيها بمحاذاة الحاجز بدلا من اندفاعها عن الطريق.

**- الجزرات الوسطية Medians**

تستخدم الجزرات الوسطية لفصل حركة المرور المعاكسة وجميع الطرق الحديثة مزودة بجزرات فاصلة وخاصة اذا كانت من اربعة ممرات او اكثر.

ومن المفروض ان يكون عرض هذه الجزرات كافيا لتأدية الغرض الذي من اجله انشئت وخاصة لتقليل تأثير الاضواء الساطعة الصادرة من المرور المعاكس ليلا هذا بالإضافة الى حماية المركبات المعاكسة من التصادم ولإمكان التحكم في المناطق المسموح فيها بالدوران في حالة التقاطعات السطحية ويتراوح عرض هذه الجزرات بين ١.٢٥ م -١٨ م او اكثر، وبالطبع ليس هنالك ضرورة لان يكون هذا العرض ثابتا بطول الطريق فهو يتغير حسب الحالة وكما ان منسوب الطريق في الاتجاهين قد يكون مختلفاً. وقد يستخدم حجر حافة الطريق لغرض فصل المرور بين الممرات بالاتجاهين.

**٥- التخطيط الافقي للمسار Horizontal Alignment**

يمثل المسار الافقي للطريق على المساقط الافقية للخرائط مجموعة من المماسات والمنحنيات حيث ان المماسات هي تلك الاجزاء المستقيمة من الطريق والمنحنيات الافقية تمثل الجزء المحني الذي يربط بين مماسين، ومن المناسب ان يتجنب التخطيط الانتقال المفاجئ من جزء مستقيم لمسافة طويلة الى منحني حاد أو من منحنيات ذات انصاف اقطار كبيرة الى منحنيات ذات انصاف اقطار صغيرة اذ يجب ربطها بوساطة منحنيات انتقال Transition Curves وذلك لتقليل اخطار الطريق الى الحد الادنى، ان المنحنيات الطويلة ذات انصاف اقطار كبيرة و درجة المنحني الصغيرة مفضلة في كل الاحوال لما لها من شكل هندسي مريح فضلا عن كونها مرغوبة لاحتمالات التوسع في المستقبل.

ولكي نحصل على تصميم متزن للطريق يجب ان نأخذ في الاعتبار أسس التصميم التي تعطي مسارا امينا ومستمرا للمرور عند السرعة التصميمية، مع مراعاة العلاقة بين السرعة التصميمية وانصاف اقطار المنحنيات وارتفاع الحافة الخارجية عن الحافة الداخلية Super Elevation.

**اولا :- المنحنيات الافقية** **Horizontal Curves**

وهي المنحنيات التي عن طريقها يتغير اتجاه المحور المركزي للمسار وتعرف اما بنصف القطر (R) او بدرجة المنحني "Degree of Curve "D والتي تمثل الزاوية المركزية المقابلة لـ ٣٠ متر من طول المنحني، وتتناسب درجة المنحني عكسيا مع نصف القطر وفقا للعلاقة :-

$$D = \frac{1720}{R}$$

حيث R = نصف قطر المنحني بالمتر

D = درجة المنحني

من الضروري اختيار نصف القطر بحيث يتماشى مع السرعة التصميمية للطريق ومعدل ارتفاع ظهر المنحني واقل قيمة لنصف القطر يمكن ايجادها من العلاقة الاتية :-

$$R_{min} = \frac{v^{٢}}{٢٧.٥}$$

Where: v = km / hr

فضلا ان يكون نصف القطر الحاكم Ruling radius اكبر من الحد الادنى المطلق لذا يضاف الى السرعة ١٦ كم / ساعة في حالة الطرق بالمناطق المنبسطة و ٨ كم/ ساعة في حالة الطرق الجبلية وهذا يسمح للزيادة بالسرعة التصميمية مستقبلا.

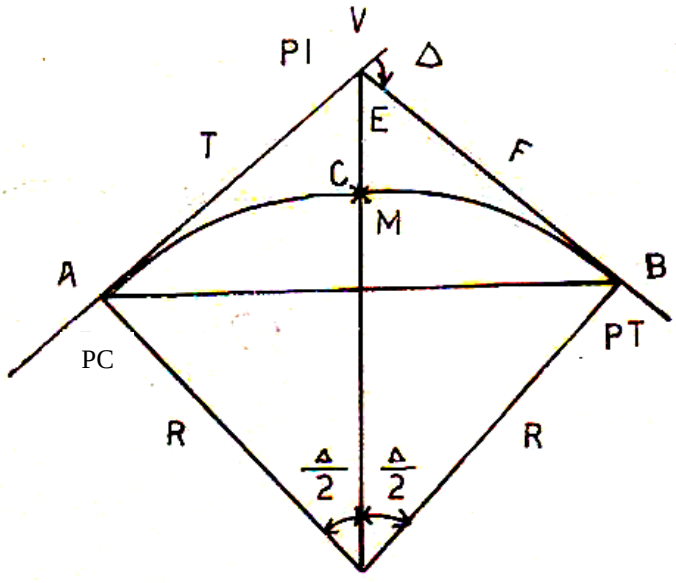
مناطق منبسطة $$R_{rulling} = \frac{(v+16)^2}{27.5}$$

مناطق جبلية $$R_{rulling} = \frac{(v+8)^2}{27.5}$$

والجدول (٣-٣) يبين القيم المختلفة للحد الادنى المطلق والحاكم لإنصاف الاقطار بالنسبة للسرعات التصميمية المختلفة. والشكل (٣-٩) يوضح اجزاء المنحني الافقي الدائري البسيط والعلاقات الخاصة باستخراج كل منها.

**جدول (٣– ٣) القيم المختلفة للحد الادنى المطلق والحاكم لانصاف الاقطار**

| السرعة التصميمية كم / الساعة | اقل نصف قطر مسموح به (متر) | |
|---|---|---|
| | الحاكم | الادنى المطلق |
| **مناطق منبسطة** | | |
| ٨٠ | ٣٣٥ | ٢٤٤ |
| ٦٤ | ٢٤٤ | ١٥٢ |
| ٤٨ | ١٥٢ | ٩١ |
| ٣٢ | ٩١ | ٤٦ |
| **مناطق جبلية** | | |
| ٤٨ | ١٢٢ | ٩١ |
| ٤٠ | ٩١ | ٦١ |
| ٣٢ | ٦١ | ٤٦ |
| ٢٤ | ٤٦ | ××٣٠ |




الشكل (٣– ٩)

Where:

نقطة تقاطع المماسين PI =

نقطة بداية المنحني PC =

نقطة نهاية المنحني PT =

زاوية تقاطع المماسين الخارجية والزاوية المركزية $\Delta$ =

طول المماس T =

$$T = R \, Tan \frac{\Delta}{٢}$$

المسافة من نقطة تقاطع المماسين الى وسط المنحني E =

$$E = T \times Tan \frac{\Delta}{٢}$$

طول الاحداثي من منتصف الوتر الطويل الى منتصف المنحني M =

$$M = R(١ - Cos \frac{\Delta}{٢})$$

درجة المنحني D =

طول المنحني الافقي L =

$$L = ١٠٠ \frac{\Delta}{D}$$

**مثال** : اوجد نصف قطر المنحني الافقي المطلق والحاكم والسرعة التصميمية قدرها ١٠٠ كم/ ساعة علما بان المنطقة مسطحة.

$$R_{\min} = \frac{v^2}{27.5} = \frac{(100)^2}{27.5} = 363m$$

$$R_{rulling} = \frac{(100+16)^2}{27.5} = 490\,m$$

**ثانيا :- ارتفاع ظهر المنحني Super Elevation (e)**

عند مرور المركبات على طريق منحني تتعرض لقوة طاردة مركزية مقدارها يساوي :

$$F = \frac{WV^2}{gr}$$

حيث ان القوة الطاردة المركزية (كغم) F =

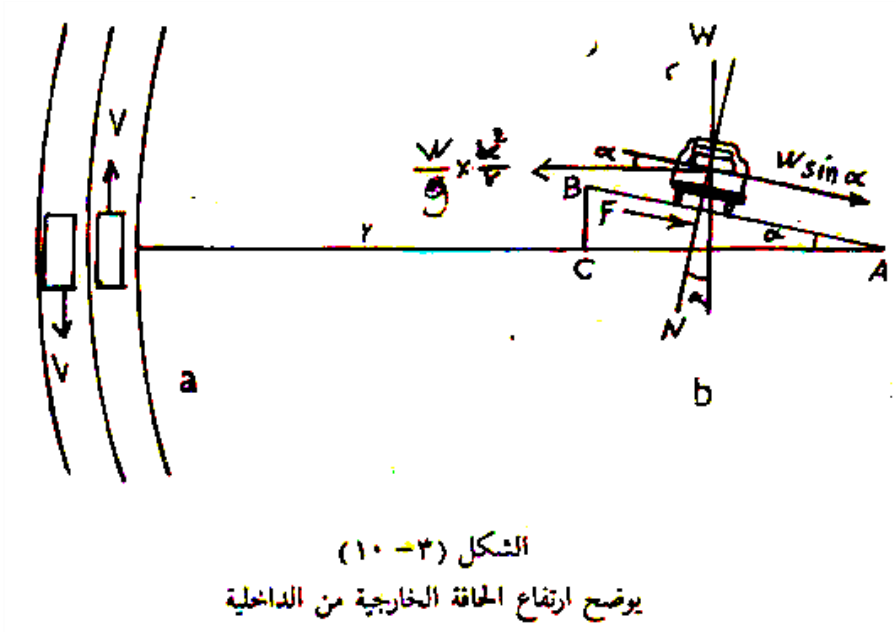
سرعة المركبة م/ ثا = V

نصف قطر المنحني (متر) = r

التعجيل الارضي (٩.٨ متر / ثا) = g

ان القوة الطاردة المركزية تسبب انزلاق المركبات وقد تنقلب بعيدا عن المركز في حالة السرعة العالية، اذ تعمل القوة الطاردة التي تؤثر عند مركز ثقل المركبة عزم انقلاب حول نقطة التماس بين العجلات الخارجية والرصف ولمقاومة هذه القوة ترفع الحافة الخارجية عن الحافة الداخلية حيث يتولد عزم ثابت من وزن العربة يقاوم عزم الانقلاب (مع اهمال قوة الاحتكاك).

وفي حالة المنحنيات المسطحة فان القوة الوحيدة المقاومة للانزلاق هي قوة احتكاك سطح الرصف بإطارات المركبات ومن الشكل (٣-١٠) نجد ان :-




الشكل (٣- ١٠)
يوضح ارتفاع الحافة الخارجية من الداخلية

$$W\ \sin\alpha + F = \frac{WV^{2}}{gr}.\cos\alpha \qquad ....(1)$$

ولكن $$F = fN = f\ .W\ \cos\alpha$$

حيث f تمثل معامل الاحتكاك الجانبي

وبالتعويض في المعادلة (١):

$$W\ \sin\alpha + f\ W\ .\cos\alpha = \frac{WV^{2}}{gr}.\cos\alpha$$

وبالقسمة على $W\ .\cos\alpha$ ينتج :-

$$\tan\alpha = \frac{V^{2}}{gr} - f$$

ولكن ارتفاع ظهر المنحني $\tan\alpha = e$ فاذا :

$$e = \frac{V^2}{gr} - f$$

وبتحويل V من متر/ثا الى كم/ساعة نجد ان :

$$e = \frac{V^2}{127R} - f$$

ان معامل الاحتكاك الجانبي f يعتمد على عدد من العوامل ولعل اهمها سرعة المركبات ونوع وطبيعة سطح الاطارات ومن التجارب العملية وجد ان اعلى معامل احتكاك لطريق جاف ذي سطح كونكريتي يتراوح بين(٠.٥) في السرعات الواطئة الى حوالي (٠.٣٥) في السرعات العالية ولكن يفضل الأخذ بالقيم المعطاة من التجارب التي قامت بها "AASHTO" للسرعات المختلفة والموضحة بالجدل رقم ( ٣- ٤).

جدول (٣-٤) اعلى معامل احتكاك جانبي (عندما e = ٠.١٢)

| السرعة التصميمية كم/ساعة | ٤٨ | ٦٤ | ٨٠ | ٩٦ | ١١٢ | ١٢٨ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| F | ٠.١٦ | ٠.١٥ | ٠.١٤ | ٠.١٣ | ٠.١٢ | ٠.١١ |

ومن الناحية العملية لا يستخدم ارتفاع الظهر عن البطن النظري لأنه عند سير المركبات بسرعات اقل من السرعة التصميمية تتعرض المركبات الى انزلاق الى اسفل منحدر ارتفاع الظهر عن البطن نتيجة لتولد قوة طاردة مركزية صغيرة مقارنة بمركبة وزن المركبة وعندما تتوقف العربة على منحدر ارتفاع الظهر عن البطن تنعدم القوة الطاردة المركزية ولذلك يجب ان يتساوى ارتفاع الظهر عن البطن بمعامل الاحتكاك حتى لا تنزلق العربة الى اسفل المنحدر.

ان الطرق تستخدم على مدار السنة لذا فان اقصى ارتفاع ظهر عن بطن يجب ان لا يتعدى اقل مقدار لمعامل الاحتكاك الجانبي وفي اصعب الظروف الجوية، لذا فان اقصى ارتفاع ظهر عن بطن حدده الـ (AASHTO) يساوي ٠.١٢ قدم /قدم وفي حالة الثلوج فان الحد الاقصى يصبح ٠.٠٨ قدم / قدم وفي حالة حدوث انجماد يصبح معامل الاحتكاك ٠.٠٥ او اقل، في بعض المناطق قد لا يكون من المفضل رفع ظهر المنحني نتيجة لصعوبات العملية كما في حالة التقاطعات حيث تغير قيمة (e=٠) وتصبح العلاقة :

$$f = \frac{V^2}{127R}$$

وهذا يعني ان قوة الاحتكاك يجب ان تقاوم القوة الطاردة المركزية مع تحديد سرعة المركبات على هذه التقاطعات وفق هذا الاساس.

والحد الاقصى لمعدل ارتفاع ظهر المنحني في حالة المرور المختلط يؤخذ ٠.٠٦٧ متر لكل متر، كما ان الحد الادنى يجب ان لا يقل عن الميل العرضي اللازم لتصريف مياه الامطار وفي حالة التقاطع

المعزول فانه كثيرا ما يستخدم مقدار ارتفاع ظهر عن بطن يصل الى ٠.١٦ متر لكل متر للمطالع والمنازل.

ان جميع الطرق تقريبا يمر عليها مرور مختلط حيث السرعات متفاوتة ففي حالة تنفيذ اقصى ارتفاع ظهر للتغلب على القوة الطاردة المركزية فان اهمال الاحتكاك الجانبي ملائم بالنسبة للمركبات السريعة اما في حالة المركبات البطيئة فان هذا الغرض غير ملائم والعكس بالنسبة لتنفيذ الحد الادنى لارتفاع ظهر المنحني ولذلك فمن الناحية العملية تحسب القوة الطاردة المركزية على اساس ٧٥% من السرعة التصميمية مع اهمال الاحتكاك الجانبي على ان لا يتعدى معدل ارتفاع ظهر المنحني ٠.٠٦٧ ويمكن تلخيص خطوات حساب معدل ارتفاع الظهر العملي كما ياتي :-

١- تحسب (e) عند ٧٥% من السرعة التصميمية مع اهمال الاحتكاك الجانبي:-

$$e = \frac{(٠.٧٥\,V)^{٢}}{١٢٧R}$$

٢- اذا كانت قيمة (e) اقل من ٠.٠٦٧ فانه يمكن تنفيذها، اما اذا كانت اكبر من ٠.٠٦٧ فنفرض قيمة (e) تساوي ٠.٠٦٧ (متر/متر) مع تطبيق الخطوات رقم (٣) او (٤) الآتية :-

٣- التحقيق من قيمة معامل الاحتكاك للقيمة القصوى لمعدل ارتفاع ظهر المنحني :-

$$f = \left( \frac{V^{2}}{127R} - 0.067 \right)$$

اذا كانت قيمة (f) اقل من ٠.١٥ (او قيمة f حسب السرعة) فان معدل ارتفاع ظهر المنحني مناسب، اما اذا كانت اكبر من ذلك تحسب السرعة المسموح بها من الخطوة الاتية :-

٤- تطبق المعادلة:

$$e + f = ٠.٠٦٧ + ٠.١٥ = \frac{V^{٢}}{١٢٧R}$$

فاذا كانت السرعة المسموح بها اكبر من السرعة التصميمية فان التصميم مناسب وتؤخذ e = ٠.٠٦٧ اما اذا كانت السرعة المسموح بها اقل من السرعة التصميمية فيجب تحديد السرعة على اساسها مع وضع علامات مرورية توضح ذلك.

**ثالثا :- تنفيذ ارتفاع ظهر المنحني**

ان الميول العرضية للطريق المستقيم يجب ان تتغير تدريجيا خلال منحني الانتقال حتى تصل الى الميل المطلوب لارتفاع الحافة الخارجية للرصف عند بداية المنحني الدائري مباشرة وكما في الشكل (٣-١١).

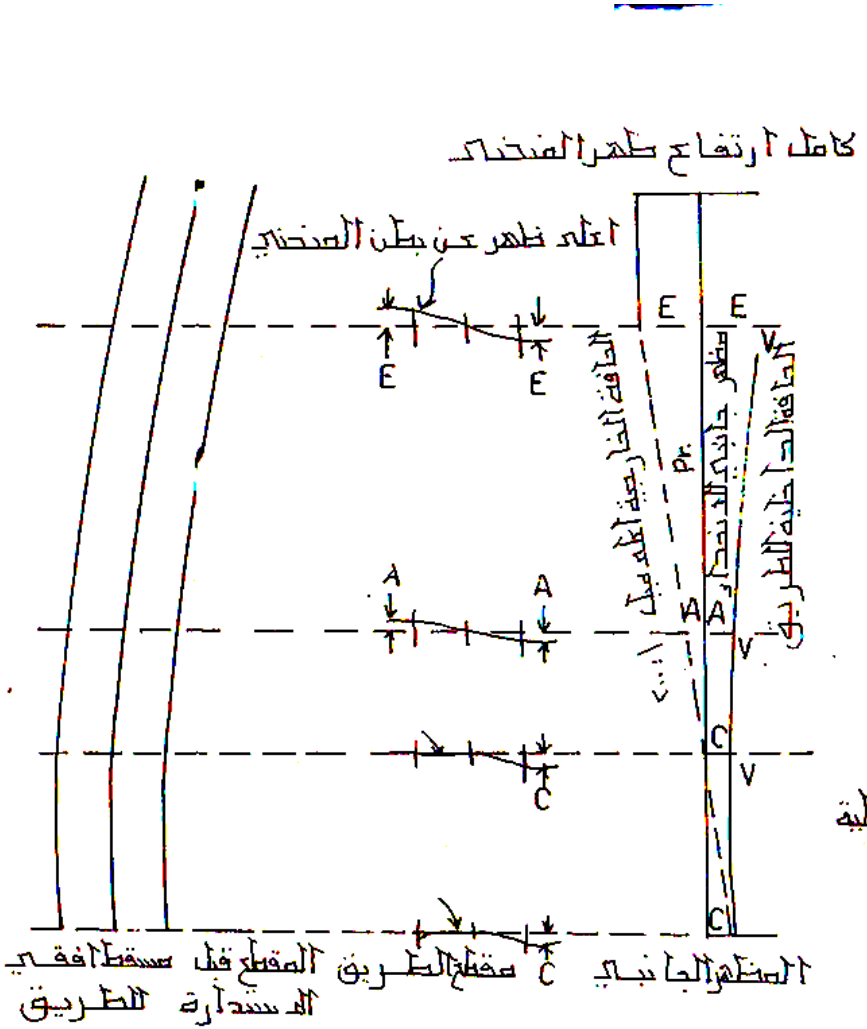
ولتنفيذ منحدر ارتفاع ظهر المنحني يتم على خطوتين :-

١- الغاء الميل العرضي المتماثل حول المحور : - يتم هذا بدوران الميل العرضي للجزء الخارجي من الطريق حول محور الطريق حتى يصبح الميل لهذا الجزء منطبقا تماما على الميل العرضي للجزء الداخلي من مقطع الطريق.

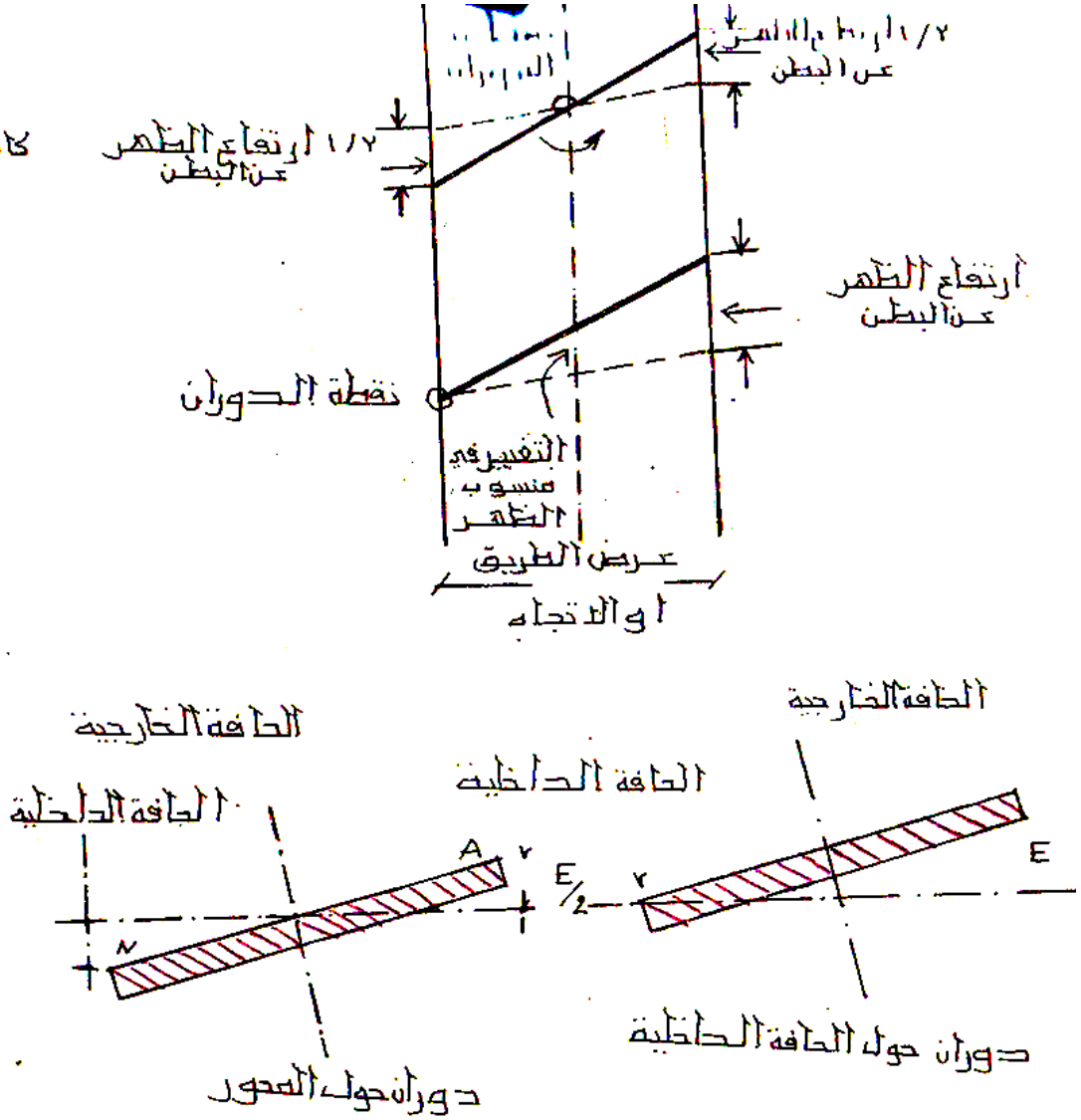
٢- دوران مقطع الرصف : هناك طريقتان للوصول الى الميل المطلوب :-

أ- دوران مقطع الطريق حول المحور ليرتفع بمقدار نصف قيمة الرفع.

ب- دوران قطاع الطريق حول الحافة الداخلية للطريق ليرتفع بكامل قيمة الرفع، لاحظ الشكل (٣-١٢).




الشكل (٣-١١)
يوضح كيفية تنفيذ ارتفاع ظهر عن بطن المنحني بطريقة الغاء الميل المتماثل




الشكل (٣- ١٢)
كيفية تنفيذ ارتفاع ظهر المنحني بطريقة دوران مقطع الرصيف

في الحالة الاولى يبقى محور الطريق ثابتا وبدون رفع وبذلك يصبح الحفر مساويا للردم ولكن يعيب هذه الطرق تولد مشاكل بالنسبة لعمليات التصريف السطحي نتيجة لخفض الحافة الداخلية عن منسوب الارض وخاصة في حالة الارض المنبسطة وحالة القطع والطريقة الثانية مفضلة ولكن يعيبها متطلبات الردم لكامل مقطع الرصف بالإضافة الى الكتف الخارجي كما ان منسوب محور الطريق سيرتفع مما يتسبب في تغير الميول الطولية ويؤخذ الميل الطولي لمنحدر ارتفاع ظهر المنحني بالمعدلات الاتية :-

١:١٥٠ في المناطق المنبسطة.

١:١٠٠ في المناطق السكنية.

١/٦٠ في المناطق الجبلية.

**ملاحظة:**

ارتفاع الحافة الخارجية للرصف بالنسبة لمحور الطريق= $\frac{e}{٢}$ × عرض الطريق

ارتفاع الحافة الخارجية للرصف بالنسبة للحافة الداخلية الطريق= $e$ × عرض الطريق

**مثال (١)** :- طريق من ممرين يقع على منحني افقي بنصف قطر ٤٨٠ م فاذا كانت السرعة التصميمية ٨٠ كم/ساعة، اوجد معدل ارتفاع ظهر المنحني العملي للمرور المختلط ؟ ما هو ارتفاع الحافة الخارجية للرصف بالنسبة لمحور الطريق في حالة دوران الرصف حول المحور الطولي للطريق اذا علمت ان عرض الرصف = ٧امتار ؟

$$e = \frac{(٠.٧٥\,V)^{٢}}{١٢٧R} = \frac{(٠.٧٥ \times ٨٠)^{٢}}{١٢٧ \times ٤٨٠} = ٠.٠٥٩ < ٠.٠٦٧$$

ارتفاع الحافة الخارجية للرصف بالنسبة لمحور الطريق= $\frac{e}{٢}$ × عرض الطريق

ارتفاع الحافة الخارجية للرصف بالنسبة لمحور الطريق = $\frac{٠.٠٥٩}{٢} \times ٧ = ٠.٢٠٦$ متر

**مثال (٢)** : - احسب معدل ارتفاع ظهر المنحني اذا علمت ان نصف قطره ٥٠٠ م والسرعة التصميمية ١٠٠ كم/ساعة والمرور مختلط ؟

$$e = \frac{(٠.٧٥\,V)^{٢}}{١٢٧R} = \frac{(٠.٧٥\times١٠٠)^{٢}}{١٢٧\times٥٠٠} = ٠.٠٨٨٥ > ٠.٠٦٧ \qquad \text{Not OK}$$

Take $e = ٠.٠٦٧$ and check f

$$f = \frac{V^{٢}}{١٢٧R} - ٠.٠٦٧$$

$$f = \frac{١٠٠^{٢}}{١٢٧ \times ٥٠٠} - ٠.٠٦٧ = ٠.٠٩ < ٠.١٥ \quad \text{OK for speed } ١٠٠ \text{ km/hr}$$

$e = ٠.٠٦٧$ design OK

**مثال(٣)** :- اذا علم ان السرعة التصميمية لطريق ٨٠ كم/ساعة ويقع عليه المنحني بنصف قطر ٢٠٠ م اوجد ارتفاع الظهر لإمكانية السير بالسرعة التصميمية وفي حالة التقيد بالمعدل الاقصى لارتفاع الظهر (٠.٠٦٧) احسب أقصى سرعة يسمح بها للسير على هذا المنحني ؟

$$e=\frac{(0.75v)^2}{127R}=\frac{(0.75\times80)^2}{127\times200}=0.143=1:7$$

اما اقصى سرعة يسمح بها للمسير فتساوي :

$$e+f=\frac{V^{٢}}{١٢٧R}$$

$$٠.٠٦٧+٠.١٥=\frac{V^{٢}}{١٢٧\times٢٠٠}$$

$$V^{٢}=٠.٢١٧\times٢٥٤٠٠=٥٥١١.٨$$

$$V=٧٤\ km/hr$$

**مثال (٤)** :- طريق أسفلتي مرن يقع عليه منحني نصف قطره ٩٩٠ م فاذا كانت السرعة التصميمية ٦٠ كم/ الساعة. اوجد معدل رفع ظهر المنحني ؟

$$e=\frac{(٠.٧٥\times٦٠)^{٢}}{١٢٧\times٩٩٠}=٠.٠١٦١=١:٦٢$$

وهذه القيمة اقل من الميل العرضي المسموح به للطرق المرصوفة بالإسفلت ولذلك يجب ان لا يقل الحد الادنى للميل عن ١:٦٠.

## رابعا :- منحنيات الانتقال Transition Curves

تستخدم منحنيات الانتقال لربط الاجزاء المستقيمة من الطريق بالأجزاء المنحنية الدائرية لضمان الانتقال التدريجي بينها حيث ان الجزء المستقيم لا يتطلب ارتفاع الحافة الخارجية للتبليط والجزء الدائري يتطلب ارتفاع كامل لظهر المنحني وهذا المنحني الانتقالي يضمن راحة الركاب في الانتقال بدون اية صدمة كما ان التغير التدريجي يكون نافعا لإطارات المركبات الثقيلة فضلا عن كونه يسمح بالسرعة العالية عند المنحنيات.

وتبدأ منحنيات الانتقال عند المماس المستقيم بنصف قطر ما لا نهائي ثم يقل تدريجيا الى ان يتساوى مع نصف قطر الجزء الدائري من المنحني، لذا تبدأ القوة الطاردة المركزية صغيرة ثم تزداد تدريجيا الى ان تصل الى نهايتها العظمى عند بداية المنحني المقصود من المنحني الانتقالي اذن هو ادخال القوة الطاردة المركزية في سير المركبات بشكل تدريجي فلا يحدث منها تأثير مفاجئ على المركبات.

## - طوال منحني الانتقال Length Transition Curves

ان طول منحني الانتقال يعتمد على اعتبارين هما :-

- معدل تغير العجلة الطاردة المركزية.
- معدل تغير ارتفاع ظهر المنحني بالاتجاه الطولي.

**ـ معدل تغير العجلة الطاردة المركزية**

عند نهاية المماس تكون العجلة الطاردة المركزية ($\frac{V^2}{R}$) تساوي صفرا لكون R ما لا نهاية (لاحظ الشكل ٣-١٣) وفي نهاية منحني الانتقال يصل نصف القطر الى حده الادنى (نصف قطر المنحني الدائري) ولذلك فان العجلة الطاردة المركزية موزعة على طول المنحني الانتقالي "LS".

$$LS = \frac{V^3}{٤٦.٥\ C\ R}$$

حيث LS = طول منحني الانتقال بالمتر.

R = نصف قطر المنحني الدائري بالمتر.

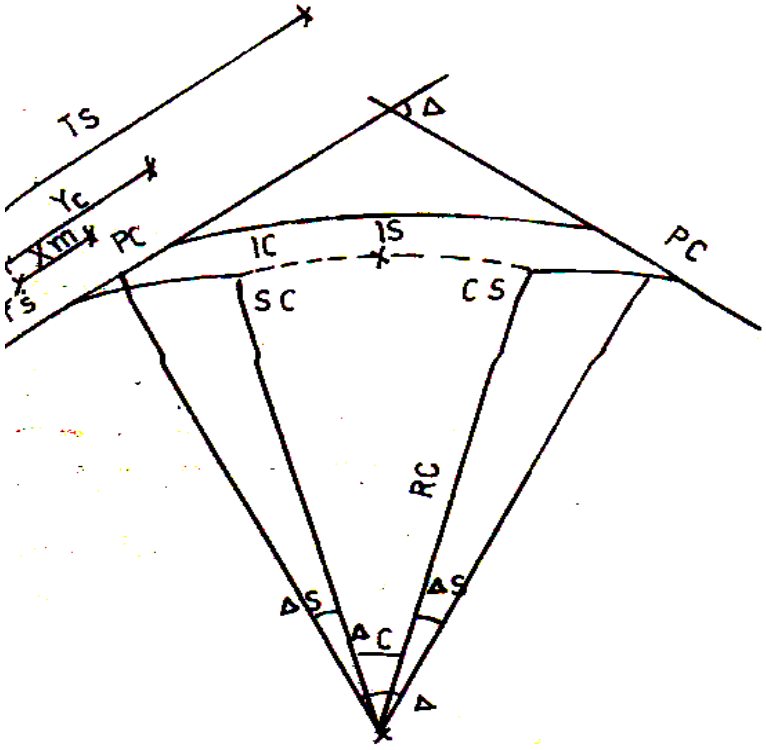
C = معدل التغير المسموح به للعجلة الطاردة المركزية.

= ٠.٧٦ متر/ ثا$^3$ لسرعات حتى ٣٢ كم/ساعة.

= ٠.٤٦ متر/ ثا$^3$ لسرعات اكبر من ٩٦ كم/ساعة.

= $\frac{73}{v + 64}$ متر/ ثا$^3$ لسرعات بين (٣٢-٩٦) كم/ساعة.

V = السرعة كم/السرعة.




الشكل (٣-١٣) اجزاء المنحني الانتقالي

$$\Delta s = \frac{Ls}{2R_c} . \frac{180}{\pi}$$

$$S = \frac{(Ls)^2}{24R_2}$$

$\Delta s$ = زاوية المنحني الانتقالي (بالدرجة)

S = الزحزحة

- **معدل تغير ارتفاع ظهر المنحني بالاتجاه الطولي**

يبدأ ارتفاع ظهر المنحني في الزيادة من بداية منحني الانتقال الى ان يصل الى قيمته القصوى عند بداية المنحني الدائري :

$E_m = e\ (w + w_c)$

حيث e = معدل ارتفاع ظهر المنحني

W= عرض الطريق عند المماس

$w_c$= الزيادة في اتساع الطريق على المنحني الدائري

$E_m$= القيمة القصوى لارتفاع ظهر المنحني

$LS = E_m . N$

يفرض ان N معدل ميل منحدر ارتفاع الظهر في الاتجاه الطولي وفي حالة دوران مقطع الطريق حول الحافة الداخلية للتبليط $Ls = e\ N\ (w + w_c)$ وفي حالة دوران مقطع الطريق حول المحور $Ls = \frac{eN}{2}(W + w_c)$ وعموما عند تصميم طول منحني الانتقال يؤخذ الطول الاكبر المحسوب من الحالتين أ و ب على ان لا يقل عن الاطوال المذكورة في الجدول (٣-٤) وحسب ما ورد في المواصفات الامريكية "AASHTO" ومن الجدير بالذكر بانه غالبا لا تنفذ منحنيات الانتقال في المنحنيات التي تقل درجة انحنائها عن درجة واحدة او يزيد نصف قطرها عن ٢٧٠ مترا.

$$Ts = (R_c + S)\tan\frac{\Delta}{2} + \frac{Ls}{2}$$

$$\Delta = \Delta_c + 2\Delta_c$$

حيث ان Ts: طول المماس, Ls: طول منحني الانتقال

**خامسا :- زيادة اتساع التبليط عند المنحنيات**

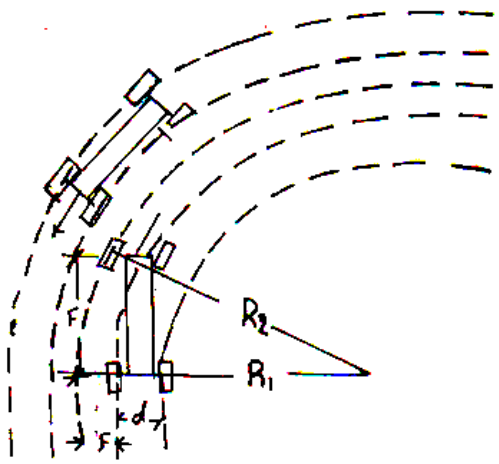
**Extra Widening On Curves**

يتم زيادة اتساع التبليط عند المنحنيات بجعل ظروف تشغيل المركبات على المنحني مشابهة لتلك التي على الطريق المستقيم، عند مرور المركبة على المنحني فان الاطار الخلفي يعبر المنحني على نصف قطر اقل من ذلك للاطار الامامي (لاحظ الشكل ٣-١٤) ولذلك تشغل المركبة حيزا اكبر من حالة الطريق

المستقيم وعندما يكون نصف قطر المنحني صغيرا والمركبة طويلة فان زيادة اتساع الطريق تكون ملموسة، وعموما فان في حالة الطريق بممرين فان الزيادة في الاتساع تتراوح بين (صفر- ٢) م. كما ان زيادة العرض يزيد من امكانية رؤية السيارات القادمة بسهولة مع امكانية الاجتياز بأمان وخاصة من الناحية النفسية. ويجب مراعاة النقاط الاتية في التصميم وعلى ان تطبق على نهايتي المنحنيات:

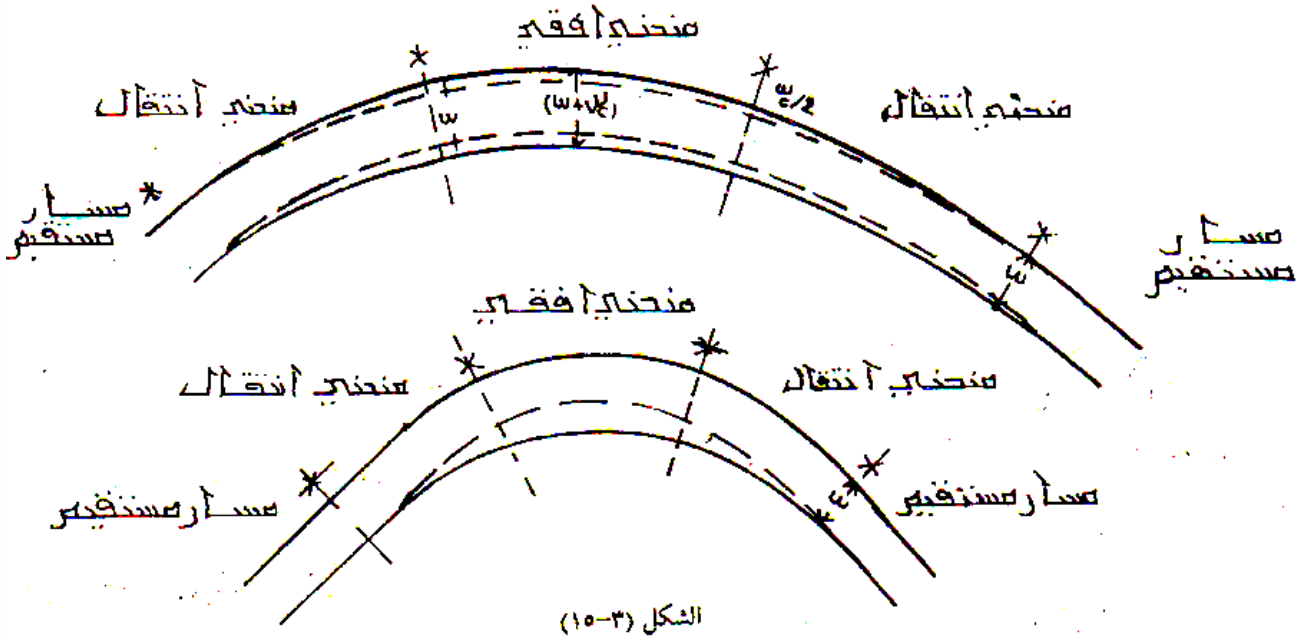
**اولا :-** في المنحنيات البسيطة فان التوسع يطبق او ينفذ عند الحافة الداخلية فقط ولكن في حالة وجود منحنيات انتقال فان التوسع ينفذ الى الداخل او يقسم بالتساوي على حافتي المنحني الداخلية، لاحظ الشكل (٣-١٥).

**ثانيا :-** يجب ان تبدأ الزيادة بشكل تدريجي وتبدأ من منحني الانتقال بقيمة صفر حتى تصل الى اقصى قيمة لها عند بداية المنحني الدائري وبغض النظر عن كيفية تنفيذ التوسع يجب ان يحدد محور الطريق على اساس منتصف المسافة بين حافتي التبليط.




الشكل (٣-١٤)

يوضح حركة المركبة على المنحنيات الافقية




الشكل (٣-١٥)

توسع الطريق عند المنحنيات الافقية

ويمكن حساب مقدار الزيادة على اساسين وهما :-

١- زيادة في الاتساع نتيجة لعدم تتبع الاطارات الخلفية للإطارات الامامية ويطلق عليه التوسع الميكانيكي (Mechanical widening $w_m$)

$$W_m = \frac{nl^2}{2R_c}$$

حيث :

$W_m$ = التوسع الميكانيكي بالمتر.

n = عدد الممرات في الطريق

R = نصف قطر المنحني بالمتر

l = المسافة بين مركز الاطارات الامامية والخلفية ولأطوال المركبة ويؤخذ عادة ٦.١ مترا.

٢- زيادة الاتساع نتيجة للعامل النفسي Psychological widening وتتوقف هذه الزيادة على السرعة التصميمية ونصف قطر المنحني وبموجب العلاقة الاتية :-

$$W_{ps} = \frac{v}{9.5\sqrt{R}}$$

ولذلك فان التوسع الكلي للطريق $W_c$ يساوي :-

$$W_c = \frac{nl^{٢}}{٢\,R} + \frac{v}{٩.٥\,\sqrt{R}}$$

والجدول ادناه يعطي قيم الزيادة في اتساع الطريق حسب نصف قطر المنحني.

الجدول (٣-٥) قيم الزيادة في اتساع الطريق عند المنحنيات

| نصف قطر المنحني متر | حتى ٦٠ | ٦١-١٥٠ | ١٥١-٣٠٠ | ٣٠١-٩٠٠ | اكبر من ٩٠٠ |
|---|---|---|---|---|---|
| الزيادة/متر | ١.٢ | ٠.٩ | ٠.٦ | ٠.٣ | - |

**سادسا :- امثلة على المنحنيات الافقية**

**س١**/ اذا كان نصف قطر منحني افقي يساوي ١٠٠ متر والسرعة التصميمية ٥٠ كم/ساعة ومعامل الاحتكاك الجانبي يساوي ٠.١٥ اوجد قيمة e ؟

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

$$e = \frac{v^2}{127\,R} - f$$

$$e = \frac{(50)^2}{127 \times 100} - 0.15$$

$$e = 0.197 - 0.15 = 0.047 \text{ or } (1 \text{ in } 21)$$

**س٢**/ اذا كان نصف قطر منحني يساوي ٦٤ متر لطريق ذي ثلاث ممرات عرضه ١٠ امتار, اوجد مقدار الاتساع الواجب اضافته الى المنحني اذا علمت ان السرعة التصميمية = ٣٠ كم/ ساعة وطول المسافة بين الاطارات الامامية والخلفية = ٨ امتار.

$$W_c = \frac{nl^2}{2\,R} + \frac{v}{9.5\sqrt{R}}$$

$$= \frac{3 \times 8^2}{2 \times 64} + \frac{30}{9.5\sqrt{64}} = 1.9 \text{ m}$$

**س٣**/ اذا كان نصف قطر منحني ضمن طريق دولي يمر في منطقة معمورة (N = ١:١٠٠) يساوي ٤٠٠ متر والسرعة التصميمية للطريق ٨٠ كم/ساعة وطول المسافة بين الاطارات الامامية والخلفية لأكبر المركبات يساوي ٦.١ مترا علما بان عرض الطريق يساوي ١٠.٥ امتار وعرض الممر الواحد يساوي ٣.٥ متر، فجد ما يأتي:-

أ- ارتفاع ظهر المنحني.

ب- اتساع المنحني.

ج- طول المنحني الانتقالي حول محور الطريق.

الحل:

أ-

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

$$e = \frac{(0.75 \times 80)^2}{127 \times 400} = 0.0708$$

$$e = 0.0708 > 0.067 \text{ or } 1:15$$

لذا سنأخذ (e) = ٠.٠٦٧ ونجيك (f)

$$f = \frac{v^{٢}}{١٢٧R} - ٠.٠٦٧$$

$$= \frac{٨٠^{٢}}{١٢٧ \times ٤٠٠} - ٠.٠٦٧ = ٠.٠٥٩$$

وهي اصغر من ٠.١٤ للسرعة ٨٠ كم/ساعة (*O.K.*)

ب-

$$W = \frac{nl^{٢}}{٢\,R} + \frac{v}{٩.٥\sqrt{R}}$$

$$W = \frac{٣ \times (٦.١)^{٢}}{٢ \times ٤٠٠} + \frac{٨٠}{٩.٥\sqrt{٤٠٠}}$$

$$= ٠.٥٦\ m$$

عرض الطريق = ١٠.٥ امتار

اذن عدد الممرات = ٣

ج- بواسطة معدل تغير العجلة الطاردة المركزية

$$LS = \frac{V^{٣}}{٤٦.٥\,C\,R}$$

$$C = \frac{٧٣}{v + ٦٤} = \frac{٧٣}{٨٠ + ٦٤} = ٠.٥\ m/sec^{٣}$$

$$LS = \frac{(٨٠)^{٣}}{٤٦.٥ \times ٠.٥ \times ٤٠٠} = ٥٥\ m$$

بوساطة معدل تغير ارتفاع ظهر المنحني بالاتجاه الطولي :

$$E_m = e\,(w + w_c)$$

$$= ٠.٠٦٧(١٠.٥+٠.٥٦)$$

$$= ٠.٧٤$$

وبما ان الطريق يمر عبر مناطق سكنية = N = ١٠٠:١

نفرض ان دوران مقطع الطريق حول المحور

$$LS = \frac{E_m}{٢} \times N$$

$$LS = \frac{٠.٧٤}{٢} \times ١٠٠ = ٣٧m$$

$LS = ٥٥m$ طول منحني الانتقال (اخترنا الاكبر)

**- التخطيط الراسي للمسار Vertical Alignment**

ان المقطع الطولي لمحور الطريق يتكون عادة من أجزاء مستقيمة (مماسات) متصلة ببعضها بمنحنيات عمودية، وعند تحديد المقطع الطولي للطريق يجب ان يأخذ المصمم في الاعتبار كون كلفة الاعمال الترابية في حدها الادنى وذلك بتساوي كميات الحفر والردم مع عدم اهمال المتطلبات التصميمية الاخرى كمسافة الرؤيا وانتظام وتشغيل المركبات دون مشاكل.

ولضمان الانتقال التدريجي من منحدرين متتاليين زاد الفرق بينها عن $\frac{1}{2}\%$ فيجب عمل منحني عمودي (يقصد بالمنحدر معدل الارتفاع او الانخفاض على طول الطريق).

**اولا :- الانحدارات والطول الاقصى للانحدار**

تتوقف نسبة الانحدارات المسموح بها على ما يأتي :-

- طبيعة المنطقة.
- نوع المركبة وقدرتها.
- السرعة التي تصعد بها المركبات الانحدار.

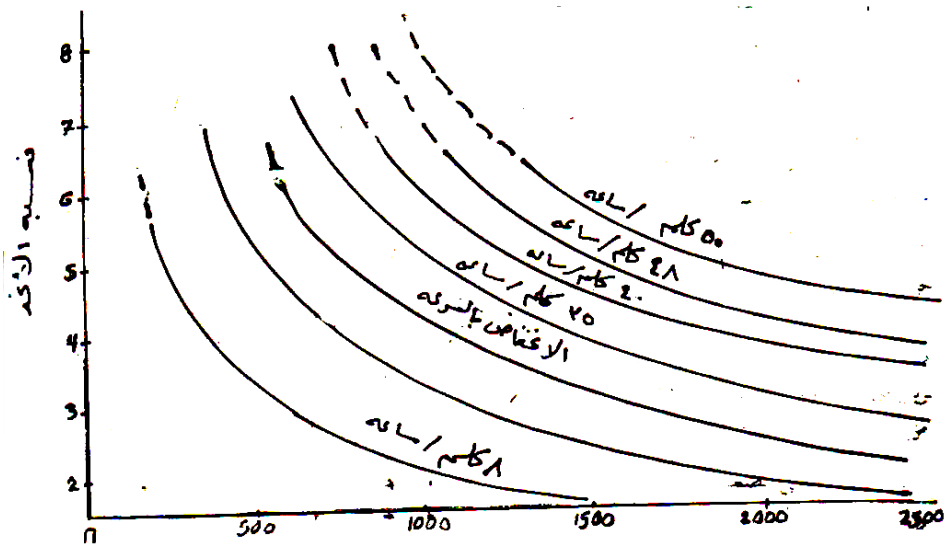
لقد وجد من الدراسات العملية ان تأثير الانحدارات التي تقل عن ٣% محدود على سرعة المركبات الصغيرة ولكن في الانحدارات الاكبر من ذلك تتأثر السرعة تأثيرا ملموسا ويظهر هذا بوضوح اكبر في حالة مركبات النقل عنه في حالة المركبات الخاصة حيث تتوقف السرعة القصوى لمركبات النقل الصاعدة على طول الانحدار ومقداره وعلى النسبة بين الوزن والقدرة، وقد حددت الانحدارات القصوى على اساس السرعة التصميمية للطرق الرئيسية وبموجب مواصفات الـ (AASHTO) كما هو وارد في الجدول (٣-٦).

جدول (٣-٦) نسبة الانحدارات على ضوء السرعات التصميمية

| نوعيـــة المنطقة | السرعة التصميمية كلم / ساعة | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | ٤٨ | ٦٤ | ٨٠ | ٩٦ | ١١٢ | ١٢٨ |
| منبسطة | ٦ | ٥ | ٤ | ٣ | ٣ | ٣ |
| هضبية | ٧ | ٦ | ٥ | ٤ | ٤ | ٤ |
| جبلية | ٩ | ٨ | ٧ | ٦ | ٥ | - |

في حالة الطرق الثانوية فان الانحدارات القصوى يمكن زيادتها بنسبة ١.٢-١.٥ مرة بقدر القيم المعطاة في الجدول السابق، وفي المناطق المسطحة يؤخذ الانحدار مقارب لانحدار الارض الطبيعية بحيث يسهل عليه التصريف السطحي للمياه والامطار ولكن نسبة الانحدار يجب ان لا تقل عن ٠.٥ % ويمكن ان تكون النسبة (٠.٣٥%) في حالة كون سطح التبليط ذي نوعية عالية.

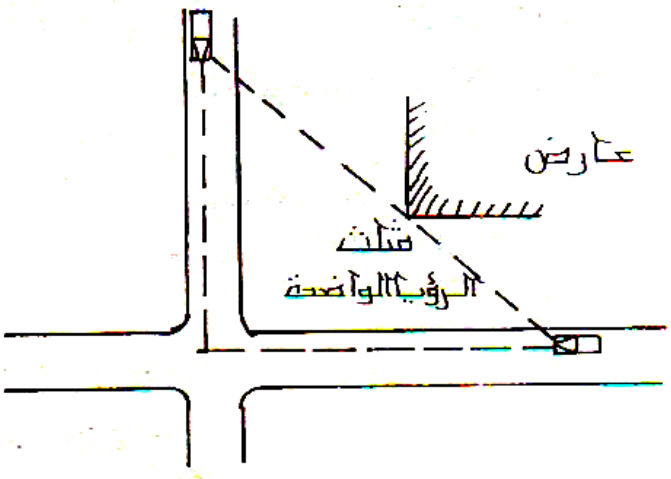
بالإضافة الى الانحدار الاقصى الذي يجب ان لا يتعدى التصميم هناك عامل اخر واجب اخذه في الاعتبار متمثل في اقصى طول للانحدار (الطول الحرج) وهو الطول الذي تستطيع عربة صعوده بدون تخفيض كبير في السرعة وان المواصفات الامريكية "AASHTO" حددت مقدار الانخفاض في السرعة البالغ (١٤) كم/ساعة من السرعة المتوسطة كأساس في التصميم وعلى اساسه سيتحدد الطول التصميمي للمنحدر، لاحظ الشكل (٣-١٦).




الشكل (٣- ١٦) اطوال الانحدار الحرج للمركبات الثقيلة، ٤٠٠ با/ حصان

## ثانيا :- مسافة الرؤيا Sight Distance

اطول مسافة يستطيع السائق الرؤيا فيها تسمى مسافة الرؤيا، فان عوائق الرؤيا هي المنحنيات الافقية واي عوائق تقع عليها من الجهة الداخلية واي عائق يمنع امتداد النظر بالنسبة للمنحنيات الراسية عند تقاطع الشوارع، لاحظ الشكل (٣-١٧).



شكل (٣-١٧) مسافة الرؤيا عند التقاطعات والمنحنيات

عندما تكون مسافة الرؤيا قصيرة فان هذا يؤدي الى ان السائق لا يرى الاخطار الممكن حدوثها مما يفقده المناورة واتخاذ اللازم مما يسبب في تقليل فرص الامان. لذا فان مسافة الرؤيا عامل مطلوب من الناحية التصميمية والتنظيمية للطريق.

وتعتمد مسافة الرؤيا على السواق والمركبات متمثلا بزمن الارتداد العصبي اللازم للرؤيا واتخاذ القرار وتنفيذه والزمن اللازم للتباطؤ او التسارع او الاستدارة فضلا عن سرعة المركبات وكما سيأتي شرحه لاحقا.

يجب ان تكون مسافة الرؤيا بموجب التصميم كافية لتحقيق ما يأتي :-

أ- امكانية الوقوف بأمان.

ب- امكانية اجتياز مركبة سرعة اخرى بأمان.

ج- امكانية الدخول والخروج من التقاطعات بأمان.

**- مسافة الرؤيا الامنة للوقوف "SSSD" Safe Stopping Sight Distance**

وتتألف من جزئين :-

أ- المسافة التي تسيرها المركبة (بزمن الارتداد العصبي) من لحظة رؤية العائق واتخاذ قرار التوقف بذهن السائق حتى الضغط على دواسة الكابح Break وقد اجريت عدة تجارب لحساب زمن الارتداد العصبي وقد وجد انه يتأثر بسرعة المركبات، فالمركبات التي سرعتها ٨٠ كم/ساعة زمن الارتداد العصبي ٢.٥ ثانية وبسرعة ٦٥ كم/ساعة ٢.٧٥ ثانية وبسرعة ٥٠ كم/ساعة او اقل ٣ ثانية الا ان الـ AASHTO اعتبر زمن ٢.٥ ثانية كأساس لحساب زمن الارتداد العصبي.

ب- المسافة التي تسيرها المركبة من لحظة عمل الكابح حتى الوقوف التام وهي بالاحتكاك الحاصل بين الاطارات وسطح الطريق وسرعة المركبات وكفاءة البريك، لذا فمن الناحية النظرية فان مسافة الوقوف الامن تنتج من جمع المسافتين أ و ب ولكن من الناحية العملية لمهارة السائق تأثيرا كبيرا على مسافة الوقوف كمدى قوة الضغط المسلط على الدواسة.

ويمكن حساب مسافة الوقوف اللازم لطريق مستو ومنحدر وفقا لما يأتي :-

- طريق مستو :

مسافة الوقوف SSD = مسافة الارتداد + مسافة البريك

$$SSD = vt + \frac{v^2}{2gf}$$

SSD = مسافة الوقوف بالمتر

V= السرعة التصميمية ميل / ساعة

f = معامل الاحتكاك ويعتمد على سطح الطرق وحالته

t = زمن الارتداد العصبي ٢.٥ ثانية

في حال تم اعتبار قيمة f مساوية الى ٠.٤ فان المعادلة اعلاه ستصبح على النحو التالي:

$$SSD = ٠.٢٨\ vt + ٠.٠١\ v^{٢} \quad \text{if } v = km / h$$

**- طريق منحدر**

عندما يكون الطريق منحدر فان مسافة الوقوف تصبح :-

$$SSD = ٠.٢٨vt + \frac{(٠.٢٨\ v)^{٢}}{٢ \times ٩.٨\ (f \pm G)}$$

حيث ان G في المعادلة اعلاه تكتب كما هي (مثلا الرقم ٣% سيكتب ٠.٠٣). اما في المعادلة التالية التي تم اعتبار f فيها مساويا الى ٠.٤ فان G تساوي نسبة الانحدار مضروبة × ١٠٠ (مثلا الرقم ٣% سيكتب ٣).

$$SSD = ٠.٢٨vt + \frac{v^{٢}}{(١٠٠ \pm ٢.٥G)}$$

ان مسافة الوقوف في المنحدر الى الاعلى تكون اقل من تلك المسافة في المنحدر الاسفل.

ملاحظة: ان الاشارة (±) تكون موجبة في حالة الصعود وسالبة في حالة النزول.

ملاحظة: اذا لم يذكر في السؤال نوع الطريق مستوي ام منحدر فيعتبر مستوي, واذا لم تعط قيمة f في السؤال فتؤخذ ٠.٤.

**مثال (١)** : احسب مسافة الرؤيا للوقوف SSD الى الحالتين :-

مرور بالاتجاهين من ممرين ؟

مرور بالاتجاهين لطريق ممر واحد ؟

علما بان السرعة التصميمية تساوي ٥٠ كم /ساعة ومعامل الاحتكاك بين سطح الطريق والاطارات =٠.٤

على فرض ان زمن الارتداد العصبي يساوي ٣ ثواني والطريق مستو.

$$S.S.D = ٠.٢٨\ vt + ٠.٠١\ v^{٢}$$

$$= ٠.٢٨ \times ٥٠ \times ٣ + ٠.٠١ \times ٥٠^{٢} = ٦٧\ m$$

في حالة المرور بالاتجاهين من ممرين فان مسافة المرور الامن = ٦٧ متر

في حالة المرور بالاتجاهين لطريق ممر واحد فان مسافة المرور الامن = ٢×٦٧ = ١٣٤ متر

**مثال (٢)** : احسب اقل مسافة وقوف لطريق ذي انحدار قيمته ٦% علما بان السرعة التصميمية تساوي ٨٠ كم / ساعة وزمن الارتداد العصبي ٢.٥ ثانية ومعامل الاحتكاك بين الاطارات وسطح الطريق يساوي ٠.٤؟

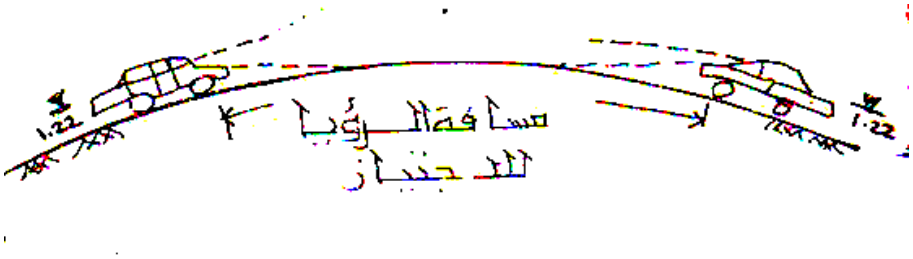
$$SSD = ٠.٢٨vt + \frac{v^{٢}}{(١٠٠ \pm ٢.٥G)}$$

$$SSD = ٠.٢٨ \times ٨٠ \times ٢.٥ + \frac{٨٠^{٢}}{(١٠٠ - ٢.٥ \times ٦)}$$

$$= ٥٦ + ٧٥.٣ = ١٣١.٣ \approx ١٣٢ \ m$$

## مسافة الرؤيا الأمنة للاجتياز Safe Passing Sight Distance

ان مسافة الرؤيا للاجتياز تطبق فقط على الطرق التي تتألف من ممرين او ثلاثة ممرات وحركة المرور عليها باتجاهين وبالنظر لمرور مركبات مختلفة على شبكة الطرق فانه غالبا ما يتطلب الامر اجتياز مركبة سريعة لأخرى بطيئة واذا لم يحدث الاجتياز فان سعة الطريق تقل كما ان درجة الامان على هذه الطرق تقل ايضا، وتقاس مسافة الاجتياز على محور الطريق حيث يمكن للسائق (ارتفاع محور البصر ١.٢٢ م عن سطح الارض) ان يرى أي عائق اخر على ارتفاع ١.٢٢ متر، لاحظ الشكل (٣-١٨).

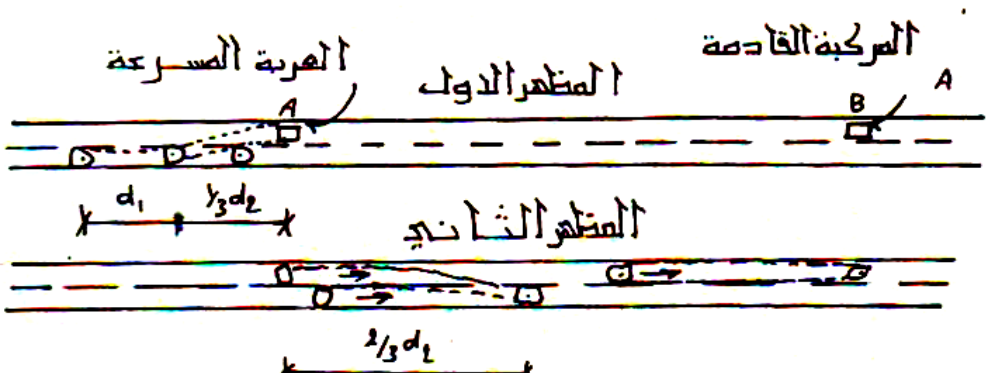



شكل (٣– ١٨) قياس مسافة الرؤيا للاجتياز

ان اقل مسافة لازمة لإتمام الاجتياز تسمى بالحد الادنى لمسافة الاجتياز وهي تتأثر بعدة متغيرات منها سرعة المركبات وعدد المركبات التي تم اجتيازها في المحاولة الواحدة وكذلك زمن الارتداد العصبي ومهارة السائق ومعدل التعجيل وغيرها.

كما ان مسافة الرؤيا تتأثر بطبيعة المنطقة ووقت الاجتياز، ففي الليل تكون مسافة الرؤيا اللازمة اكبر بسبب الاضواء.

ويمكن حساب مسافة الاجتياز اللازمة وحسب موصفات AASHTO وفقا لما يأتي لاحظ الشكل (٣-١٩).



$d_1$ = المسافة التي تقطعها المركبة من بداية الاستعداد للاجتياز واحتلال الممر الاخر او هي المسافة التي تقطع خلال فترة الاستعداد ورد الفعل العصبي.

$d_2$ = المسافة الافقية المقطوعة بالمركبة المسرعة خلال فترة الاجتياز.

$d_3$ = المسافة بين المركبة المجتازة والمركبة القادمة من الاتجاه المعاكس.

$d_4$ = المسافة المقطوعة للمركبة القادمة من الاتجاه المعاكس في ثلثي الزمن المقطوع خلال مرور المركبة المسرعة واحتلال الممر الايسر يساوي $\frac{2}{3}d_2$.

ولتسهيل حساب مسافة الاجتياز يمكن الاخذ بالافتراضات الاتية :-

١- الفرق بين السرعة التصميمية (كم/ساعة) والسرعة المفروضة للمركبة المسرعة (M)= ١٦ كم/ساعة.

٢- تعجيل المركبة المسرعة a = ٤ كم /ساعة/ ثانية.

٣- زمن الارتداد العصبي T = ٣ ثانية

$$S= (٠.٢ (v - M)+ ٦) \quad meter$$

$$t = \sqrt{\frac{٢.٧٣ \times s}{a}} \qquad seconds$$

$$d_1 = ٠.٢٨ (v – M) \times T = ٠.٨٤ (v - M)$$

$$d_2 = ٢ \times S + ٠.٢٨ (v – M) \times t$$

$$d_3 = ٠.٢٨ vt$$

$$d_4 = \frac{٢}{٣} d_2$$

والحد الادنى لمسافة الاجتياز (PSD) تساوي:

$$PSD = d_1 + d_2 + d_3 + d_4$$

$$PSD = d_1 + \frac{٥}{٣} d_2 + d_3$$

**مثال**: احسب الحد الادنى لمسافة الرؤيا للوقوف ".S.S.D" وللاجتياز "P.S.D" اذا علمت ان السرعة التصميمية ٨٠ كم/ساعة بفرض ان زمن الارتداد العصبي ٢.٥ ثانية.

$S.S.D = ٠.٢٨\ vt + ٠.٠١\ v^{٢}$

$= ٠.٢٨ \times ٨٠ \times ٢.٥ + ٠.٠١ \times ٨٠^{٢}$

$= ١٢٠$ meters

$P.S.D = ٠.٢٨\ (v - M)\ T + ٥/٣\ (٢ \times S + ٠.٢٨\ (v - M)\ t) + ٠.٢٨\ vt$

$S = (٠.٢\ (v - M) + ٦)$

$t = \sqrt{\frac{2.73s}{a}} \qquad M = 16km/hr$

$S = ٠.٢\ (٨٠-١٦) + ٦ \qquad a = ٤$ km/hr

$= ١٨.٨$ meters

$t = \sqrt{\frac{2.73 \times 18.8}{4}} = 3.6 seconds$

$P.S.D = ٠.٢٨\ (٨٠ - ١٦) \times ٢.٥ + ٥/٣\ (٢ \times ١٨.٨ + ٠.٢٨ \times ٦٤ \times ٣.٦) + ٠.٢٨ \times ٨٠ \times ٣.٦$

$= ٤٤.٨ + ٥/٣\ (٣٧.٦ + ٦٤.٥) + ٨٠.٦ = ٢٩٥.٦$ meters

ملاحظة: فرق بين t المذكورة في معادلة SSD وتلك المذكورة في معادلة PSD.

**مسافة الرؤيا في حالة المنحنيات الأفقية**

عند مرور المركبات على طريق منحني تتأثر مسافة الرؤيا عند وجود أي عائق بالقرب من الحافة الداخلية لهذا الطريق وللوصول الى درجة الامان المطلوبة فان مسافة الرؤيا يجب ان تساوي او تزيد عن مسافة الرؤيا للوقوف فان الحد الادنى لمسافة الاجتياز يكون حوالي اربع اضعاف مسافة الرؤيا للوقوف ولنفس السرعة التصميمية وعليه وجب ازالة عوائق الرؤيا المتمثلة بالأشجار او المباني وغيرها. ونتيجة لذلك فانه ليس من العملي توفير مسافة اجتياز على المنحنيات.

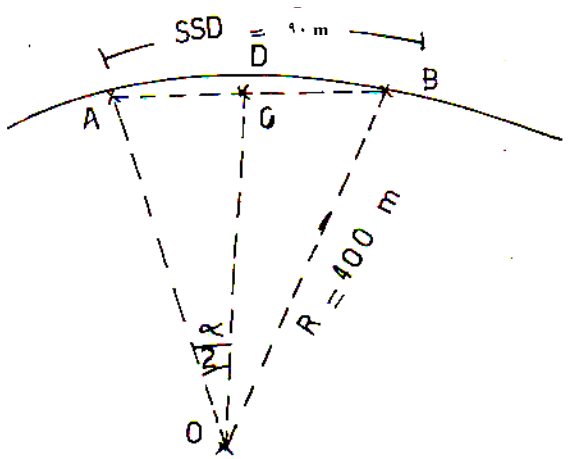
**مثال** : اذا علم ان مسافة الرؤيا للوقوف S.S.D ومسافة الاجتياز P.S.D لطريق ٩٠، ٣٠٠ متر على التوالي مع وجود منحني افقي نصف قطره ٤٠٠ متر وبطول ٢٠٠ متر، ما هي المسافة اللازمة لإزالة العوائق منها لتحقيق:

مسافة الرؤيا للوقوف ؟

مسافة الرؤيا للاجتياز ؟

الحل /

مسافة الرؤيا للوقوف = ٩٠ مترا او اقل من طول المنحني الذي يساوي ٢٠٠ متر.




أ-

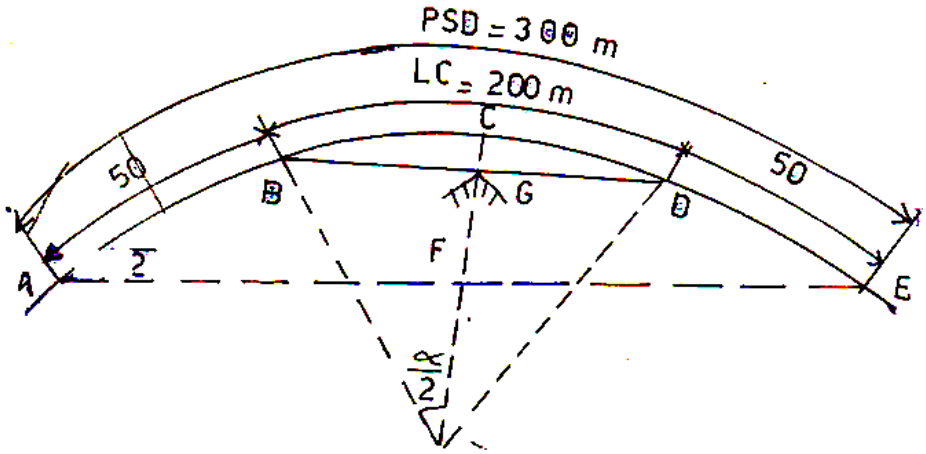
$CD = OD - OC$

$= R - R \cos \frac{\alpha}{٢} = R (١ - \cos \frac{\alpha}{٢})$

$\frac{\alpha}{٢} = \frac{١}{٢} (\frac{١٨٠ \times ٩٠}{\pi R}) = ٦.٤٥^{\circ}$

$CD = ٤٠٠ (١ - \cos ٦.٤٥) = ٢.٦ \text{ m}$

اذن المسافة الواجب ازالة العوائق منها = ٢.٦ م من المنحني.




ب-

$CF = CG + GF$

$\frac{\alpha}{٢} = \frac{١}{٢} (\frac{١٨٠ \times ٢٠٠}{\pi \times ٤٠٠}) = ١٤.٣^{\circ}$

$CG = R (١ - \cos \frac{\alpha}{٢}) = ٤٠٠ (١ - \cos ١٤.٣) = ١٢.٦٤ \text{ m}$

$GF = AB \times \sin \frac{\alpha}{٢}$

$AB = ٥٠ \text{ m}$

GF = ٥٠ Sin ١٤.٣ = ١٣.٣٩ m

CF = ١٢.٦٤ + ١٣.٣٩ = ٢٦.٠٣ m

اذن الحد الادنى لمسافة ازالة العوائق = ٢٦ م

**مسافة الرؤيا في حالة المنحنيات العمودية**

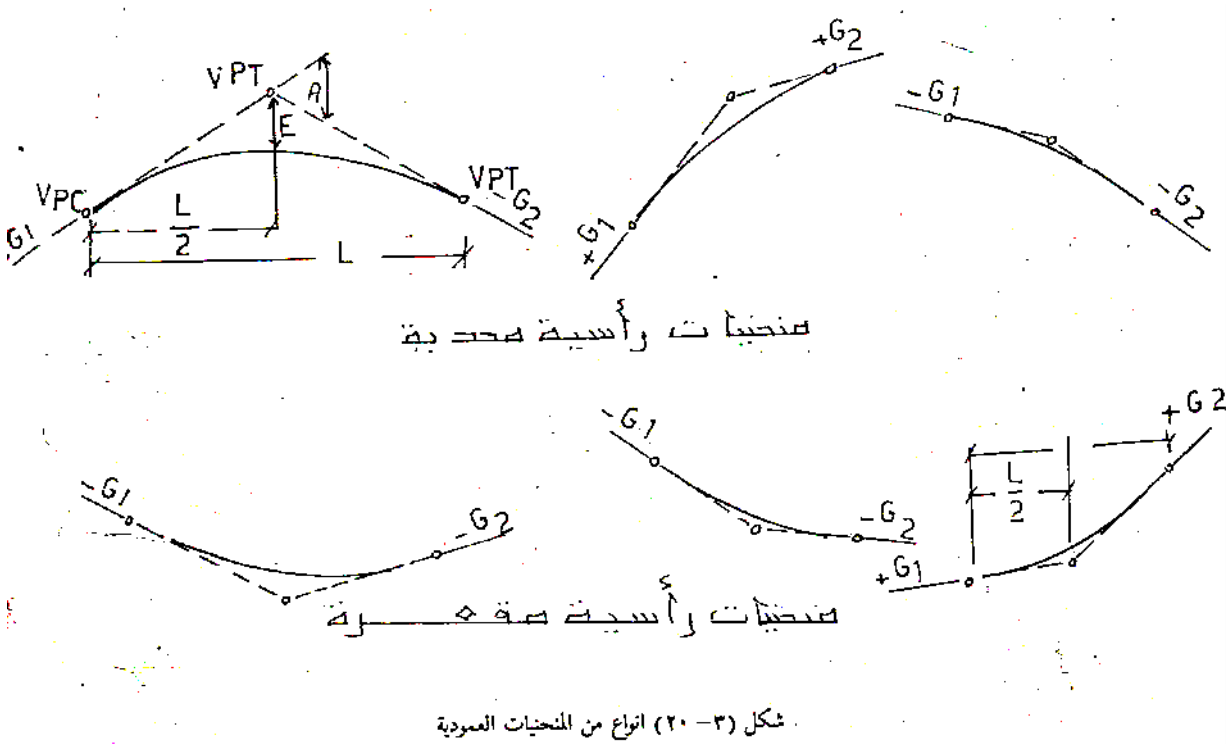
لإيجاد مسافة الرؤيا على المنحنيات العمودية فانه من الضروري تحديد قواعد هذه المسافة، فمسافة الرؤيا للوقوف تقاس من خط النظر للسائق الى أي جسم على الطريق حيث ارتفاع السائق ١.٢٢ م عن سطح التبليط وارتفاع الجسم ٠.١٠ م (٦ انج)، اما في حالة حساب مسافة الرؤيا للاجتياز في المنحنيات العمودية فان المركبة القادمة تعد كأي جسم على الطريق، لذا فان ارتفاعها البالغ ١.٣٥ م بمثابة ارتفاع الجسم عن سطح التبليط.

ان اطوال المنحنيات العمودية يجب ان تكون طويلة كلما امكن ذلك للتغلب على أي صدمة نتيجة للتغير في الانحدار وتحقيق مسافة رؤيا كافية للوقوف او للاجتياز وقد حددت المواصفات الامريكية "AASHTO" بان المنحني العمودي يجب ان لا يقل طوله عن ٣٠٠ متر (١٠٠٠ قدم) وفيهم من اقترح ان لا يقل عن حاصل فرق الانحدارين مضروبا في ١٠٠ قدم.

وتنقسم المنحدرات العمودية الى نوعين (لاحظ الشكل ٣-٢٠) :-

أ – منحني علوي محدب عند القمة Crest Vertical Curve

ب- منحني سفلي مقعر عند القاع Sag Vertical Curve




شكل (٣– ٢٠) انواع من المنحنيات العمودية

**طول المنحني لمسافة الرؤيا لعدم الاجتياز (الوقوف)**

لقد حددت المعادلات ادناه طول المنحني العلوي وفقا للاعتبارين :-

أ- طول المنحني اكبر من مسافة الرؤيا للوقوف L > SSD

ب- طول المنحني اقل من مسافة الرؤيا للوقوف L< SSD

أ- حالة L > SSD

$$L = \frac{NS^2}{(\sqrt{2H} + \sqrt{2h})^2}$$

L = طول منحني الاستدارة / متر.

S = مسافة الرؤيا SSD /متر.

N = الفرق الجبري بين الانحدارين بالتقدير الدائري او ظل زاوية الانحراف

H = ارتفاع خط نظر السائق عن سطح الارض = ١.٢٢ متر.

h = ارتفاع عائق عن سطح الارض = ٠.١ متر.

بالتعويض في المعادلة ينتج:

$$L = \frac{NS^2}{4}$$

ب- حالة L < SSD

$$L = 2S - \frac{(\sqrt{H} + \sqrt{h})^2}{N}$$

وبالتعويض $$L = 2S - \frac{4}{N}$$

وبهذا يمكن تحديد اقل طول مسموح به لمنحني الاستدارة العمودي العلوي.

**- طول منحني الاستدارة العلوي لمسافة الاجتياز PSD**

أ- حالة L > PSD

يؤخذ ارتفاع العائق في هذه الحالة مساويا لارتفاع خط البصر ١.٢٢ م ان المركبة القادمة تعد بمثابة العائق.

$$L = \frac{N\,S^{٢}}{٨\,H} = \frac{N\,S^{٢}}{٩.٧٦}$$

ب- حالة L < PSD

$$L = ٢\,S - \frac{٨H}{N}$$

$$L = ٢\,S - \frac{٩.٧٦}{N}$$

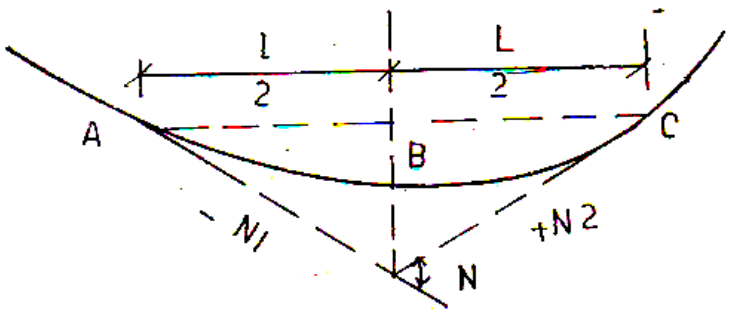
**ـ طول منحني الاستدارة السفلي**

يمكن ايجاد طول منحني الاستدارة السفلي بالاعتماد على عدد من العوامل منها :-

أ- العجلة الطاردة المركزية.

ب- طول الجزء المنار من الطريق.

١- يمكن ايجاد طول المنحني السفلي على اساس العجلة الطاردة المركزية وتساوي ٠.٦ متر/ثانية$^{٢}$، حيث ان طول المنحني عبارة عن منحني انتقال متساويين في الطول وبدون منحني افقي بينهما.




الشكل (٣– ٢١) طول منحني الاستدارة السفلي

من الشكل (٣-٢١) فان طول منحني الاستدارة السفلي ABC والذي يساوي "L" حيث AB، BC يمثل طول كل منهما انتقال $Ls = \frac{L}{2}$ حيث اقل نصف قطر "R" عند النقطة "B".

$$Ls = \frac{V^3}{CR}$$

$$R = \frac{Ls}{N} = \frac{L}{2N}$$

$$Ls^2 = \frac{NV^3}{C} \qquad L = 2Ls \qquad C = 0.6m/\sec^3$$

$$L = 0.378(NV^3)^{1/2}$$

٢- من الممكن ايجاد منحني الاستدارة السفلي بالاعتماد على مسافة الجزء المنار من الطريق حيث ان هذا الجزء يتأثر بارتفاع واتجاه شعاع ضوء المركبة وقد حددت المواصفات الامريكية "AASHTO" هذا الارتفاع بـ قدمين عن سطح التبليط مع وجود زاوية مقدارها درجة واحدة فوق مستوى المحور العمودي للمركبة.

$$S < L \qquad L = \frac{A\,S^{2}}{٤٠٠+٣.٥\,S}$$

$$S > L \qquad L = ٢\,S - \frac{٤٠٠+٣.٥\,S}{A}$$

حيث L = طول منحني الاستدارة السفلي/قدم.

S = مسافة شعاع الضوء/قدم.

A = الفرق الجبري المطلق بين الانحدارين وبالنسبة المئوية.

ان طول شعاع الضوء يجب ان لا يقل عن مسافة الوقوف الامن.

ومن الجدير بالذكر بان طول منحني الاستدارة السفلي يمكن ايجاده بالاعتماد على متطلبات تصريف المياه او راحة السواق او على اعتبارات تصميمية محددة وغيرها.

**مثال** :- اذا كانت السرعة التصميمية لطريق تساوي ٨٠ كم/ساعة، احسب اقل طول لمنحني عمودي يزود الطريق بحالة للوقوف الامن علما بان نسبة الانحدار تبلغ (٢%-) مقابل انحدار قيمته (٤%-). افرض ان زمن الارتداد العصبي ٢.٥ ثانية ومعامل الاحتكاك للطريق ٠.٣.

$$SSD = ٠.٢٨\,v\,t + \frac{(٠.٢٨\,v)^{٢}}{٢g\,(f \pm G)}$$

$t = ٢.٥\,\text{sec},\ f = ٠.٣$

$$SSD = ٠.٢٨ \times ٨٠ \times ٢.٥ + \frac{(٠.٢٨\times٨٠)^{٢}}{٢\times٩.٨(٠.٣-٠.٠٤)}$$

$$= ٥٦ + ٩٨.٤٦ \approx ١٥٥\,m$$

If $L > SSD$

$$L = \frac{N\,S^{٢}}{٤} = \frac{(-٠.٠٢ - (-٠.٠٤)) \times ١٥٥^{٢}}{٤}$$

$L = ١٢٠\,m < SSD$ NOT OK

So that $L < SSD$

$$L = ٢\,S - \frac{٤}{N} = ٢ \times ١٥٥ - \frac{٤}{٠.٠٢}$$

$L = ١١٠\ m < SSD$ OK

**مثال** :- منحني استدارة علوي الفرق الجبري بين الانحدارين يساوي ٠.٠٨، اوجد طول المنحني عندما يكون طول المنحني:

أ- اكبر من مسافة الرؤيا الامنة للوقوف التي تساوي ١٢٠ مترا ؟

ب- اقل من مسافة الرؤيا الامنة للوقوف والتي تساوي ٤٥ مترا ؟

اوجد الحد الادنى لنصف القطر وناقش النتائج على اساس ان اقل نصف قطر مسموح به هو ٤٢٠ مترا لسرعة ٦٥ كم/ساعة.

a) $L > SSD$

$$L = \frac{N S^{٢}}{٤} = \frac{٠.٠٨ \times (١٢٠)^{٢}}{٤} = ٢٢٨\ m$$

b) $L < SSD$

$$L = ٢ S - \frac{٤}{N} = ٢ \times ٤٥ - \frac{٤}{٠.٠٨} = ٤٠\ m$$

$$R = \frac{L}{N} = \frac{٤٠}{٠.٠٨} = ٥٠٠\ m$$

وبما ان قيمة (R) اكبر من الحد الادنى المسموح به والبالغ ٤٢٠ عند السرعة ٦٥ كم/ساعة فعليه يمكن السير بهذه السرعة دون أي حاجة لتقليلها.

**مثال** :- احسب طول منحني استدارة علوي ناتج من تلاقي انحدارين ٢%+ و ٣%- علما بان مسافة الرؤيا تساوي ١٢٥ مترا ومسافة الاجتياز تساوي ٤٠٠ متر مع ملاحظة ان طول منحني الاستدارة لن يتعدى الـ ٥٠٠ متر لأسباب عملية.

الحل:

$N = ٠.٠٢ - (-٠.٠٣) = +٠.٠٥$

a) $SSD = ١٢٥\ m$

$L > SSD$

$$L = \frac{N S^{٢}}{٤} = \frac{٠.٠٥ \times ١٢٥^{٢}}{٤} = ١٩٦\ m < ٥٠٠$$ OK

b) $PSD = ٤٠٠\ m$

$L < PSD$

$$L = ٢\,S - \frac{٩.٧٦}{N} = ٢ \times ٤٠٠ - \frac{٩.٧٦}{٠.٠٥}$$

$$= ٦٠٤.٨\,m > PSD$$

If $L > PSD$

$$L = \frac{N\,S^{٢}}{٩.٧٦} = \frac{٠.٠٥ \times ٤٠٠^{٢}}{٩.٧٦} = ٨٢٠\,m$$

وبما ان طول المنحني لا يتعدى ٥٠٠ متر لأسباب عملية لذا يجب منع الاجتياز على المنحني.

**مثال** :- منحني استدارة سفلي ناتج من تلاقي انحدار مقداره ٤%- واخر مقداره ٣%+، اوجد طول المنحني عن طريق العجلة الطاردة المركزية اذا علمت ان السرعة التصميمية ٨٠ كم/ ساعة.

$$N = -٠.٠٤ - ٠.٠٣$$

$$= -\,٠.٠٧$$

$$L = ٠.٣٧٨\,(N\,V^{٣})^{١/٢}$$

$$L = ٠.٣٧٨\,(٠.٠٧ \times ٨٠^{٣})^{١/٢}$$

$$L = ٧٢\,m$$