دليل التصميم الهندسي للطرق

تقديم

انطلاقاً من التوجيهات السامية الكريمة الرامية إلى تطوير مسيرة التنمية الشاملة ، فإن هذه الوزارة تولي الاهتمام الكبير لتحسين مستوى الخدمات البلدية من خلال تطوير أساليب العمل ، وحيث تمثل الأعمال الفنية جانباً مهماً من العمل البلدي ، ونظراً لاتساع نطاق الأعمال في هذا القطاع الحيوي ، قامت هذه الوزارة بإعداد أدلة عمل إجرائية تمكن موظفي البلديات من أداء أعمالهم بأساليب منهجية بعيدة كل البعد عن الاجتهادات.

ويأتي من ضمن هذه الأدلة دليل التصميم الهندسي للطرق الذي يتضمن معايير ومحددات التصميم الهندسي للطرق الحضرية وذلك لتوحيد مواصفات الطرق في جميع مدن المملكة . وإن الوزارة عندما قامت بإعداد هذا الدليل ليحدوها الأمل في تحقيق الغرض الذي أعد من أجله لتكون المحصلة النهائية مشاريع ذات طابع مميز وتتوفر فيها جميع المتطلبات الفنية والبيئية ، وتأمل الوزارة أن تتلقى أية مرئيات أو اقتراحات يمكن الأخذ بها عند تحديث هذا الدليل .

نأمل أن تتحقق الفائدة المرجوة من ذلك .

والله ولى التوفيق ،،

وزير الشئون البلدية والقروية

د . / محمد بن إبراهيم الجار الله

تمهيد

شهدت مدن المملكة ولا تزال معدلات عالية من التنمية والتطور في كافة المجالات ومنها التنمية العمرانية حيث تم تنفيذ العديد من المشاريع العامة والخاصة وما واكبها من جهود كبيرة قامت بها أجهزة البلديات في مجال الإشراف ومتابعة المشاريع في كافة المدن والقرى كجزء من مهامها ومسئولياتها ، وقد صاحب ذلك ظهور مشاريع عمرانية جديدة لمواجهة احتياجات المجتمع ، الأمر الذي دعا وكالة الوزارة للشئون الفنية للقيام بإعداد هذا الدليل بهدف مسايرة التطور الذي تشهده المملكة وتوحيداً للإجراءات .

ويتناول هذا الدليل المعايير التصميمية للطرق الحضرية بهدف توحيد المواصفات الهندسية للطرق على مستوى جميع البلديات والحصول على طرق ذات جودة عالية تحقق الأمان في التشغيل والاقتصاد في عملية الإنشاء .

والله من وراء القصد ،،

وكيل الوزارة للشئون الفنية
عبد الرحمن بن محمد الدهمش

مقدمة :

يعرف التصميم الهندسي للطريق على أنه عملية إيجاد الأبعاد الهندسية لكل طريق وترتيب العناصر المرئية للطريق مثل المسار ومسافات الرؤية والعروض والانحدارات ..الخ . وبادئ ذي بدء 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 تأتى مرحلة تفاصيل الأبعاد الهندسية للتقاطعات ذات المستوى الواحد أو المستويات المتعددة ولطرق الخدمة ولغيرها 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 تتمشى مع توقعات السائقين بتجنب التغيرات المفاجئة في مواصفات التصميم . ويهدف هذا الدليل إلى تحديد المعايير التصميميه الرئيسية للطرق الحضرية لمساعدة المهندس المصمم والمهندس المراجع لتحديد توافق التصميم الهندسي للطريق مع المتطلبات الهندسية المطلوبة. ويحتوي هذا الدليل في المرحلة الأولى على التصنيف الوظيفي والمجموعات التصميمية للطرق الحضرية ، ومواصفات ومحددات التصميم ، ويستعرض التخطيط الأفقي للطريق ويشمل الرفع الجانبي للطريق Superelevation والتوسيع Widening والمنحنيات الانتقالية، أما المرحلة التالية فتستهدف التخطيط الرأسي للطريق والمنحنيات الرأسية ثم تأتي المرحلة الأخيرة تصميم القطاعات العرضية وتحديد عروض الرصف و الأكتاف والبردورات وأرصفة المشاة والجزر الوسطية وتصميم الدوار والتصميم الإنشائي للطريق.

1 ـ 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 تأتى أهمية التصنيف الوظيفي الذي يتم عن طريقه تحديد الدور الذي يؤديه كل طريق لخدمة حركة المرور والنقل . تتبع جميع الطرق الحضرية بالمملكة وزارة الشئون البلدية والقروية وفروعها من حيث المسئولية الفنية والإدارية لتلك الطرق 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 بوكالة تخطيط المدن (وزارة الشئون البلدية والقروية)

أ ـ طرق حضرية رئيسية .

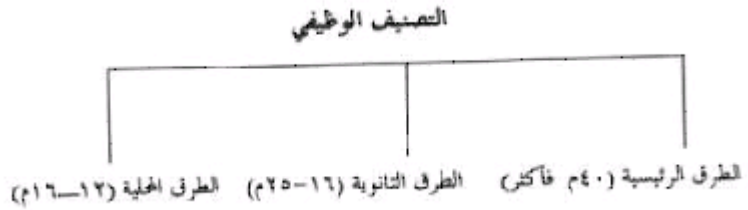
تربط هذه الطرق مراكز الأنشطة الرئيسية في المناطق الحضرية وترتبط بالشبكة الإقليمية وتتحمل أكبر حمل مروري خلال المنطقة الحضرية وعروض هذه الطرق حوالي (40 متراً فأكثر) .

ب ـ طرق حضرية ثانوية .

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

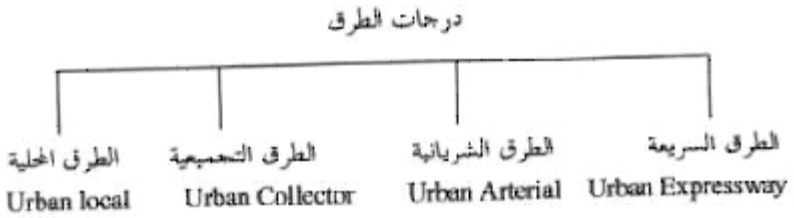
جـ ـ طرق حضرية من الدرجة الثالثة (محلية) .

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



1 ـ 1 درجات الطرق التصميميه Design Classes

تعتبر درجات الطرق التصميمية عبارة عن تجميع لعدد من الطرق الرئيسية لأغراض التصميم الهندسى حسب مستوى خدمة المرور التي توفرها لمستخدمي الطرق و توجد أربعة مجموعات تصميمية للطرق الحضرية كل مجموعة من هذه المجموعات تعتمد على توفيرها خدمات مرورية وخدمات المنطقة التي تمر بها وكل المواصفات والخصائص الهندسية للطريق تتناسب مع هذه الظروف.



ويستعرض شكل رقم (1) تفصيل لجزء من شبكة طرق حضرية موضحاً بها التصنيف الوظيفي للطرق.

2- السرعة

2 - 1 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.

2 - 2 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) .

2 - 3 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 (2) العلاقة بين السرعة التصميميه 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

2 - 4 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 (3) السرعة التصميمية للطرق الحضرية

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

3 - سعة الطرق ومستوى الخدمة

Highway Capacity & Level of Service

3 - 1 سعة الطريق

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

3 - 2 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 ملاءمة الطريق وتكاليف التشغيل بالنسبة للخدمة التي يوفرها الطريق لمستخدميه ويوضح جدول رقم (4) خصائص مستوى الخدمة تبعاً لنوع الطريق .

جدول رقم (4) خصائص مستوى الخدمة تبعاً لنوع الطريق

مستوى الخدمة	طريق حارتين Two Lanes	شرياني حضري
أ	- متوسط سرعة السير 93كم/ساعة أو أكبر - معظم العبور في المناورات تتم بدون تأخير - في الحالة المثالية حجم المرور 420مركبة/ساعة للاتجاهين .	متوسط سرعة السير حوالي 90٪ من سرعة التدفق الحر والتأخير في التقاطعات المحكومة بإشارات ضوئية أقل ما يمكن .
ب	متوسط سرعة السير 88 كم / ساعة أو أكثر . ومعامل الحمل قد يصل إلى 0.27 . الحجم المروري 750سيارة / ساعة للاتجاهين .	متوسط سرعة السير تتناقص بسبب التأخير في التقاطعات وتأثير المركبات على بعضها وتكون حوالي 70 ٪ من سرعة السير الحر ومعامل الحمل عند التقاطعات 0.10 ومعامل ساعة الذروة 0.80 .
ج	متوسط سرعة السير 84 كم/ ساعة أو أكثر – معدل التدفق في الحالة المثالية حوالي 43٪ من السعة. مع وجود مسافة رؤية للمرور مستمرة و معدل التدفق في الظروف المثالية 1200 سيارة /ساعة في الاتجاهين	سرعة سفر حوالي 50 ٪ من سرعة التدفق الحر. تشغيل متزن. الصفوف الطويلة عند الإشارات الضوئية محتملة.
د	متوسط سرعة السير 80كم/ساعة . معدل التدفق حوالي 64٪ من السعة مع وجود استمرارية في فرص التجاوز والتدفق حوالي 1800سيارة / الساعة للاتجاهين .	متوسط سرعة السير 40٪ من سرعة التدفق الحر معدل التدفق غير متزن والتأخير في التقاطعات ربما يكون شاملاً.
هـ	متوسط سرعة السير حوالي 72كم/ساعة معدل التدفق في الظروف المثالية 2800 سيارة /الساعة مستوى (هـ) ربما لا يمكن الوصول إليه حيث يتحول التشغيل من مستوى خدمة (د) إلى مستوى خدمة (و) مباشرة .	متوسط سرعة السير 33 ٪ من سرعة التدفق الحر الحجم عند السعة والتدفق غير متزن. معامل الحمل عند التقاطعات (0.70-1.00) معامل ساعة الذورة 0.95 .
و	سرعة التشغيل أقل من 72 كم/ساعة والمرور متزاحم ومقيد مع خصائص غير متوقعة والحجم أقل من 2000 مركبة في الساعة في الاتجاهين .	متوسط سرعة السير بين 25٪ إلى 33٪ من سرعة التدفق الحر وأزمنة التأخير عالية عند أفرع التقاطعات

		المحكومة بإشارات ضوئية .

حيث إن :
أ ـ تدفق حر – حجم مرور قليل وسرعة عالية .
ب ـ تدفق ثابت والسرعة تتغير تبعاً لتغير ظروف المرور .
جـ ـ تدفق غير ثابت معظم السائقين مقيدين في حرية اختيار سرعتهم .
د ـ تدفق غير ثابت والسائقين لديهم حرية قليلة للمناورة .
هـ ـ تدفق غير ثابت وربما تحدث توقفات في مسافات صغيرة .
و ـ أقصى تزاحم وأزمنة تأخير كبيرة للمرور.

جدول رقم (5) اختيار مستوى خدمة الطرق للتصميم

نوعيـة الطريق	مستوى الخدمة في الطرق الحضرية
رئيسي	C (ج)
ثانـوي	C (ج)
محلي	D (د)

4 ـ مواصفات ومحددات التصميم

4 - 1 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 .

4 - 1 - 1 مسافة الرؤية للتوقف (Stopping Sight Distance)

مسافة الرؤية للتوقف عبارة عن المسافة المطلوبة للسائق للسير بسرعة محددة والسماح للمركبة بالتوقف عند حدوث أي طارئ وهي تساوي مجموع المسافات أثناء الإبصار والتفكير ومسافة الكبح ويوضح جدول رقم (6) العلاقة بين مسافة الرؤية للتوقف والسرعة التصميمية (أنظر شكل رقم 2) .

4 - 1 - 2 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 . انظر شكل رقم (2) . ويوضح جدول رقم (6) العلاقة بين السرعة التصميمية ومسافة الرؤية للتجاوز

جدول رقم (7) تأثير الميول على مسافة الرؤية للتوقف

السرعة التصميمة كم/ساعة	زيادة مسافة الرؤية للتوقف في حالة الميول لأسفل (م)		
	٪ 3	٪ 6	٪ 9
40	2	4	6
50	3	6	10
60	5	10	18
70	7	15	26
80	9	21	*
90	12	29	*
100	16	38	*

* حسب ظروف التصميم

مثال : طريق تجميعي سرعته التصميمية 50 كم/ساعة أوجد مسافة الرؤية للتوقف في حالة وجود ميل رأسي مقداره - 3 ٪ ؟

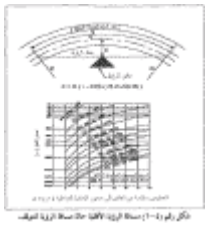
(الحل) : من خلال جدول رقم (6) نجد أن مسافة الرؤية للتوقف 65 متراً ولكن في حالة الميل لأسفل يتم إضافة زيادة للمسافة طبقاً لجدول رقم (7) لتصبح مسافة التوقف المطلوبة = 65 + 3 = 68 متراً .

مثال : طريق شرياني سرعته التصميمية 60 كم/ساعة أوجد مسافة الرؤية اللازمة للتجاوز ؟ .

(الحل) : باستخدام المنحنيات في شكل رقم (3) يمكن حساب مسافة الرؤية للتجاوز بالدخول للمنحنى بالسرعة التصميمية رأسياً ليتقاطع مع الخط المائل ثم نرسم خطاً أفقياً من نقطة التقاطع لإيجاد مسافة الرؤية للتجاوز فتجد أنها حوالي 420 متراً . أو باستعمال جدول رقم (6) بدلالة السرعة التصميمية نجد أنها حوالي 420 متراً .

4 - 1 - 2 مسافة الرؤية الأفقية

عندما يوجد جسم مجاور للرصف كدعامة جسر أوكتف 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 أنظر شكل رقم (4-1) . كما يتم استخدام المنحنيات في شكل رقم (4-2) في حالة مسافة الرؤية للتجاوز . ولإيجاد نصف القطر الذي يحقق الخلوص الأفقي المطلوب مقاساً من الحارة الداخلية للطريق يتم استخدام المنحنيات في الشكلين السابق ذكرهما بمعلومية الخلوص الأفقي والسرعة التصميمية .



4 - 1 - 4 استخدام مسافات الوقوف والتجاوز لإيجاد طول المنحنى الرأسي

يتعين أقل طول للمنحنيات الرأسية تبعاً لاحتياجات مسافة الرؤية لكي تكون مقبولة بوجه عام من ناحية الأمان والراحة والمنظر . ولتعيين أقل انحناء لمنحنى فيتم اعتبار أن ارتفاع عين السائق 1.07م من سطح الرصف على أن يكون ارتفاع الجسم المرئي حوالي 15سم في حالة مسافة الرؤية للوقوف و 1.30 م في حالة مسافة الرؤية للتجاوز .

4 - 1 - 4 - 1 مسافة الرؤية لمنحنى رأسي محدب (Crest Curve)
يتم تحديد أقل طول لمنحنى رأسي محدب من خلال المعادلة (1)

1 ... ... L = Kc X A

حيث إن
طول المنحنى الرأسي المحدب بالمتر = L
ثابت يتم تحديده من جدول رقم (8) =Kc
الفرق الجبري بين الميلين كنسبة مئوية =A

جدول رقم (8) قيمة K c حسب السرعة التصميمية

السرعة التصميمية (كم/ ساعة)	قيمة المعامل (Kc)	
	حالة التوقف	حالة التجاوز
40	5	90
50	15	130
60	18	180
70	31	250
80	49	310
90	71	390
100	105	480
110	151	570
120	202	670

(مثال) : طريق ذو سرعة تصميمية 40كم / ساعة يوجد به ميلين + 3٪ ، - 4٪ على التوالي احسب طول المنحنى الرأسي في حالة مسافة الرؤية للوقوف ؟
من جدول رقم (8) قيمة Kc المقابلة للسرعة التصميميه 40 كم/ ساعة حالة مسافة الرؤية للتوقف هى 5.

A = | (3) - (- 4)| = 7

L = 5 x 7 = 35 m

ملاحظة يجبر الناتج لأقرب أعلى 10متر ليصبح أقل طول للمنحنى الرأسي 40 متراً .

4 - 1 - 4 - 2 مسافة الرؤية لمنحنى رأسي مقعر (Sag Curve)
يتم تحديد أقل طول لمنحنى رأسي مقعر من المعادلة (2)

2..... L = Ks x A

حيث إن
طول المنحنى الرأسي المقعر بالمتر = L
ثابت يتم تحديده من الجدول رقم (9) = Ks
الفرق الجبري بين الميلين كنسبة مئوية = A

السرعة التصميمية	قيمة المعامل (Ks)
40	8
50	12
60	18
70	25
80	32
90	40
100	51

110	62
120	73

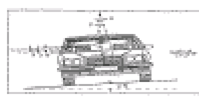
(مثال) : طريق سرعته التصميمية 40كم/ ساعة ويراد تصميم منحنى رأسي حسب الميول - 3٪ و+ 3٪ على التوالي .
من جدول رقم (9) قيمة K s المقابلة للسرعة التصميمية 40 كم/ ساعة هي 8
A = | (-3) - (3) | = 6
m L = 6 x 8 = 48
أقل طول منحنى مقعر في هذه الحالة 50 متراً .

5 - التخطيط الأفقي

Horizontal Alignment

5 - 1 الرفع الجانبي للطريق Superelevation

في حالة حركة السيارة على طريق منحنى أفقياً يتم عمل رفع جانبي للطريق Superelevation بدرجة كافية لإيجاد مركبة قوة جانبية لتعادل مركبة القوة الطاردة المركزية الناتجة من الحركة على منحنى ولإيجاد أقل نصف قطر لمنحنى أفقي تستخدم المعادلة رقم (3) .



$$R = \frac{V^2}{127(e+f)} \qquad (3)$$

حيث أن :
أقل نصف قطر للمنحنى الدائري بالمتر = R
سرعة المركبة بالكم/ساعة = V
معامل الاحتكاك الجانبي = f
أقصى معدل رفع جانبي بالمتر/المتر = e

(مثال) طريق شرياني سرعته التصميميه 100 كم/ ساعة وأقصى قيمة رفع جانبي 4 ٪ ويراد إيجاد أقل نصف قطر منحنى للطريق ؟
من خلال جدول رقم (11) لإيجاد قيمة الاحتكاك الجانبي بدلالة السرعة التصميميه حوالي 0.12 والتعويض في معادلة رقم (3)
نجد أن نصف القطر 492 متر يتم جبره لأقرب أعلى 10 متر ليكون نصف القطر 500 متر .

جدول رقم (10) أقصى قيمة رفع جانبي

درجة الطريق	أقصى قيمة رفع جانبي للطريق مرغوبة (متر/ متر)	أقصى قيمة رفع جانبي مطلقة (متر/ متر)
طريق سريع	0.08	0.10
طريق شرياني	0.08	0.10
طريق تجميعي	0.08	0.12
طريق محلي	0.10	0.12

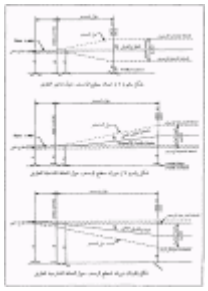
جدول رقم (11) أقل نصف قطر للمنحنى بدلالة السرعة التصميميه ودرجة الرفع الجانبي للطريق

السرعة التصميمية كم / ساعة	الاحتكاك الجانبي	أقصى قيمة رفع جانبي للطريق			
		0.06	0.08	0.10	0.12
40	0.17	55	50	45	45
50	0.16	90	85	75	70
60	0.15	135	125	115	105
70	0.14	195	175	160	150
80	0.14	250	230	210	195
90	0.13	335	305	275	255
100	0.12	440	395	360	330
110	0.11	560	500	455	415
120	0.09	755	655	595	540
130	0.09	885	785	700	635
140	0.08	1100	965	860	770

5 - 1 - 1 محور الدوران لإيجاد الرفع الجانبي للطريق

أ ـ للطريق الغير مقسم يكون محور الدوران لتحقيق الرفع الجانبي للطريق عند خط محور الطريق (انظر شكل رقم (6)) .

ب ـ للطريق المقسم يكون محور الدوران هو الجزيرة الوسطية لكلٍّ من الاتجاهين (انظر شكل رقم (7) و(8))



A= الميل الطبيعي

B= النصف الخارجي مستوٍ , النصف الداخلي الميل الطبيعي

C= ميل سطح الطريق هو الميل الطبيعي

D= ميل سطح الطريق مساوٍ لميل الرفع الجانبي

5 - 1 - 2 تحقيق الرفع الجانبي للطريق Superelevation Development

يتم الرفع الجانبي للطريق لتحقيق أمان للحركة مع متطلبات راحة المستخدم للطريق . وفي حالة استخدام المنحنى الانتقالي Transition Curve يتم وضع مسافة المنحدر فوق المنحنى الانتقالي . وفي حالة المنحنى الدائري بدون منحنى انتقالي يتم وضع ثلثي طول المنحدر فوق المماس وذلك على أن يكون طول المنحدر كافياً ويحقق الميل الموضح بجدول رقم (12).

5 - 1 - 3 مسار الرفع الجانبي للطريق

في الأجزاء المماسية (أو المستقيمة) من الطريق يكون الميل العرضي عادياً ، والأجزاء المنحنية يتم عمل رفع جانبي لها ، ولابد من عمل التغيير بشكل تدريجي من ميل لآخر. ويتضمن ذلك عادة المحافظة على وضع خط محور كل طريق بشكل منفرد عند خط مناسيب القطاع الطولي مع رفع الحافة الخارجية وخفض الحافة الداخلية لينتج الرفع الجانبي للطريق. والطريقة المتبعة هي أن يتم أولا رفع الحافة الخارجية من الرصف بالنسبة لخط محور الطريق حتى يصبح النصف الخارجي من القطاع العرضي مستويا أفقياً وبعد ذلك يتم رفع الحافة الخارجية أكثر حتى يصبح النصف الخارجي من القطاع العرضي مستويا وبعد ذلك يتم رفع الحافة الخارجية أكثر حتى

يصبح القطاع العرضي كله مستقيماً ثم يدار القطاع العرضي بأكمله كوحدة واحدة حتى يتم الحصول على كامل الرفع الجانبي للطريق .

جدول رقم (12) ميل المنحدر حسب السرعة التصميمية

السرعة التصميمية (كم / ساعة)	نسبة ميل المنحدر (٪)
40	0.74
50	0.66
60	0.59
70	0.54
80	0.50
90	0.47
100	0.44
110	0.41
120	0.38
130	0.36
140	0.34

ويتم حساب أقل طول المنحدر من خلال معادلة رقم (4)

$$L = \frac{50ew}{r} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (4)$$

أقل طول منحدر بالمتر = L
معدل الرفع الجانبي (متر/ متر) =e
عرض الرصف بالمتر = w
نسبة ميل المنحدر (جدول رقم 12) = r
(مثال) طريق حارتين بسرعة تصميميه 80 كم / ساعة وعرض الرصف 7.30 متر ومعدل الرفع الجانبي للطريق 0.10متر / متر المطلوب حساب طول المنحدر؟
بالتطبيق في المعادلة رقم (4) نجد أن أقل طول للمنحدر 73 متراً .
(ملاحظة) للطريق السريع أو الطريق الشرياني أقل طول للمنحدر هو 50 متراً أما للطريق التجميعي والمحلي أقل طول للمنحدر 30 متراً .

5 - 2 المنحنيات الانتقالية Transition Curves

يستخدم المنحنى الانتقالي في جميع المنحنيات الأفقية وتأتي أهمية المنحنى الانتقالي من (اللولبية) بين المماس والمنحنى الدائري لنقل المركبة من طريق مستقيم إلى طريق منحنى وفي المنحنى الانتقالي تتناسب درجة المنحنى مع طول اللولب وتزداد من صفر عند المماس لدرجة المنحنى الدائري عند النهاية . وعلى هذا فمن المستحسن عمل منحنيات انتقالية حتى يمكن للسائق أن يسير في حارته المرورية. فضلاً عن أن المنحنى الانتقالي يعطي للمصمم المجال لتطبيق التوسيع والرفع التدريجي للحافه الخارجية للرصف بمقدار الرفع المطلوب.
ويتم حساب طول المنحنى الانتقالي من خلال المعادلة التالية:

$$L = 0.0702\ V3 / (RXC)$$

L =	أقل طول للمنحنى الانتقالي
V =	السرعة التصميمية (كم/ ساعة)
R =	نصف قطر المنحنى الدائري (م)
C =	معدل زيادة العجلة المركزية (م/ث 3)(1-3)

5 - 3 عناصر المنحنى الأفقي

يوضح شكل رقم (9، 10) عناصر المنحنى الدائـري والمنحنى الانتـقالي على أن تكون جميـع القياسـات الطوليـــة بالمتر والقياسات الدائرية معبراً عنها بالتقدير الدائري (radians).

5 - 4 توسيع المنحنيات Curve Widening

يتم عمل التوسيع في المنحنيات بسبب عدم اتباع العجلات الخلفية لمسار العجلات الأمامية في المنحنيات . ويوضح جدول رقم (14) قيم التوسيع المطلوبة في المنحنيات حسب السرعة التصميمية وحسب نصف القطر . والتوسيع يتم وضعة من بداية المنحدر ثم بالطول الداخلي الكامل للمنحنى انظر شكل رقم (11) .

5 - 7 ملاحظات عـامة عن التخطيط الأفقـي

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 مأمونه 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 موجها 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 سببا 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 تصميمة محددة يجب تلافي المنحنيات ذوات 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 بالتدريج .
4. في زوايا الانحراف الصغيرة ، يجب أن تكون المنحنيات ذات طول كاف يمنع ظهور التخطيط بشكل كسرات بحيث لا يقل طول المنحنى عن 150متراً 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 تبعا للحالة كما أن أي سيارة تفلت قيادتها فوق ردم عال يكون موقفها في غاية الخطورة ولتخفيف حدة ذلك الخطر فانه 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 1.5نصف 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 الانحنائين وقد ينتج عن ذلك حركات خاطئة وخطيرة ويمكن تصميم انحناء عكسي مناسب في التخطيط بعمل مماس ذي طول كاف بين الانحنائين للانتقال التدريجي في رفع جانب الطريق ولا يقل الطول عن 60متراً .
8. يجب اجتناب عمل منحنيات ذات شكل منكسر (أي انحنائين 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 250مترا فيعمل منحنى واحد .

9. يجب مراعاة الترابط بين التخطيط الأفقي والقطاع الطولي اجتنابا لظهور أي اعوجاج مخل بالتناسق . وهذا الترابط بين التخطيطين الأفقي والرأسي ضرورة حتمية كي نحصل في النهاية على تصميم جيد التوازن .
10. في الأماكن المسطحة من المملكة مثل المنطقة الوسطي مثلاً يفضل ألا يقل نصف قطر المنحنى الأفقي في الطرق الرئيسية عن 500متر و 1000 متر مفضل أو حسب السرعة التصميمية للطريق .

6 ـ التخطيط الرأسي للطرق

يتكون التخطيط الرأسي للطرق من سلسلة من الميول الطولية متصلة مع بعضها بمنحنيات رأسية. ويتحكم في التخطيط الرأسي عوامل الأمان و التضاريس ودرجة الطريق والسرعة التصميمية والتخطيط الأفقي وتكلفة الإنشاء وخصائص المركبات وصرف الأمطار . ويجب أن يكون مدى الرؤية في جميع أجزاء القطاع الطولي مستوفيا لأقل مسافة لازمة للتوقف (ليس التجاوز) حسب السرعة التصميمية الموافقة لدرجة الطريق .

وعند المفاضلة بين تخطيطات طولية مترادفة يجب مقارنتها معاً من الناحية الاقتصادية وتحقيق الخدمة المطلوبة وسلامة الحركة المرورية وقد وضعت حدود قصوى للانحدارات تحقيقاً للاقتصاد والكفاءة في تشغيل المركبات على الطرق وفي نفس الوقت فإن تكاليف إنشائها تكون في الحدود المناسبة .

6 ـ 1 مواصفات الميول الطولية

في المناطق المستوية يتحكم نظام صرف الأمطار في المناسيب وفي المناطق التي يكون فيها مستوى المياه في نفس مستوى الأرض الطبيعي فإن السطح السفلي للرصف يجب أن يكون أعلى من مستوى المياه بحوالي 0.5 متر على الأقل. وفي المناطق الصخرية يقام المنسوب التصميمي بحيث يكون الحافة السفلية لكتف الطريق أعلى من منسوب الصخر بـ 0.3 متر على الأقل وهذا يؤدي إلى تجنب الحفر الصخري الغير ضروري . وللمحافظة على الشكل الجمالي فإن من المهم جداً أن يكون طول المنحنى الرأسي أطول من المسافة المطلوبة للتوقف . ويوضح الجدول رقم (15) أقصى ميل طولي للطرق حسب درجة الطريق ويتم اعتبار أقل ميل طولي لجميع الطرق وقنوات الصرف موضح في جدول رقم (16) .

6 ـ 2 موقع الخط التصميمي بالنسبة للقطاع العرضي

أ ـ للطرق غير المقسمة .

ينطبق الخط التصميمي على خط محور الطريق .

ب ـ الطرق المقسمة .

يمكن وضع الخط التصميمي في محور الطريق أو عند حافة الجزيرة الوسطى للطريق كما يتم تحديد منسوب الرصف والجسر والخصائص الأخرى من خلال الخط التصميمي .

7 ـ المنحنيات الرأسية

Vertical Curves

يجب أن تكون المنحنيات الرأسية سهلة الاستخدام وتهيئ تصميماً مأموناً ومريحاً في التشغيل ومقبولاً في الشكل كافياً في تصريف المياه . وأهم مطلب في المنحنيات الرأسية المحدبة هو أن تعطينا مسافات رؤية كافية للسرعة التصميمية وفي جميع الحالات يجب أن تتوفر مسافة رؤية للتوقف تكون مساوية للحد الأدنى أو أكبر منها . ويستخدم القطع المكافئ في المنحنيات الرأسية لسهولة حساباته وبساطة توقيعه في الطبيعة واستيفائه للمطالب السالفة .

7 - 1 التصميم في حالة الميول الشديدة Heavy Grades

ماعدا المناطق المستوية ليس من الضروري عمل خط تصميمي (Profile) يسمح بالتشغيل المنتظم لكل أنواع المركبات (حافلات ، شاحنات ،.... الخ) وعند تصميم معظم الطرق الحضرية يتم اعتبار السيارة الخاصة ((passenger car هي المركبة التصميمية ولتشغيل الحافلات يستحسن كسر الميول الطولية من الطريق بجزء مستوى أفقياً على فترات وتجنب الميول الطولية الطويلة وخصوصاً الصاعدة .

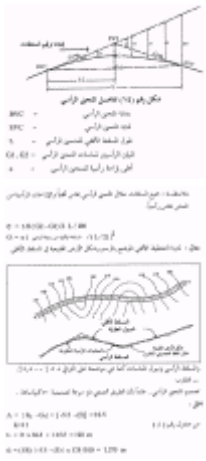
7 - 2 التصميم المستقل لكل اتجاه

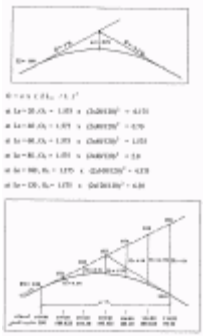
في حالة الطريق المقسم بجزيرة عرضها 10 متر أو أكثر من الأنسب عمل تصميم رأسي (Profile) لكل اتجاه من الاتجاهين على حده .

7 - 3 الخط التصميمي في أماكن المنشآت

في حالة تقاطعات الطرق مع بعض المنشآت كالكباري مثلاً يتم إيجاد خلوص رأسي لايقل عن 5.5 متر بالإضافة إلى 10 سم تحسب لعمل طبقة تغطية مستقبلية للرصف .

7 - 4 حسابات المنحنيات الرأسية المتماثلة





7 - 5 المنحنيات الرأسية غير المتماثلة

في بعض الحالات من الممكن للمنحنى غير المتماثل أن يكون أكثر ملاءمة من المنحنى المتماثل وخصوصاً حالة أن يكون المسافة الأفقية المطلوب عمل منحنى رأسي لها صغيرة أو في حالات التضاريس الجبلية . ويوضح شكل رقم (15) نموذج لمنحنى رأسي غير متماثل .

7 - 6 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 أيضا 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 فان 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 تدريجيا بمعدلات خفيفة وذلك ممكن بزيادة أعمال الحفر والردم.
3. يجب اجتناب التخطيط الطولي المنكسر الانحناء (انحنائين رأسيين في نفس الاتجاه يفصلهما مماس قصير) وخاصة في المنحنيات المقعرة التي يكون فيها المنظر الكامل للانحنائين 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 الميول 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 - الجمع بين التخطيط الأفقي والرأسي .

يجب ألا يكون التصميم في كل من الاتجاه الأفقي والرأسي مستقلاً عن الآخر فكلٌ منهما يتمم الآخر . ولو أسيء الجمع بين التخطيط الأفقي والرأسي فإن ذلك يضر بالمزايا الموجودة فيهما ويزيد ما بهما من عيوب . ونظراً لأن التخطيط الأفقي والرأسي هما من أهم العناصر الدائمة في تصميم الطرق فيجب دراستها دراسة كاملة . إذ أن البراعة في تصميمها والجمع بينهما يزيد الفائدة والأمان ويدعو إلى انتظام السرعة ويحسن النظر ويتحقق كل ذلك في غالب الأحيان دون زيادة في التكاليف .

8 - 1 ضوابط عامة في التصميم .

إن من الصعب مناقشة كل من التخطيط الأفقي والرأسي معاً مجتمعين دون الرجوع إلى الموضوع الأهم وهو اختيار خط سير الطريق . وكلا الموضوعين يرتبط بالآخر وما يمكن أن يقال عن أحدهما ينطبق عادة على الآخر وعلى ذلك فمن المهم أن يكون المهندسون الموكول إليهم اختيار مسار الطريق ذوى دراية كاملة بعناصر التصميم الجيد وقد افترضنا هنا أنه قد تحدد خط السير العام وأن المسألة أصبحت منحصرة في التصميم التفصيلي والتوافق بين التخطيط الرأسي والأفقي بحيث يكون الطريق اقتصادياً و حسن المنظر ، وآمناً عند السير عليه . ومن العوامل الطبيعية أو المؤثرات التي تعمل فرادى أو مجتمعة على تحديد نوع التخطيط هي : خصائص الطريق التي تفرضها حركة المرور ، وطبوغرافية المنطقة ، وحالة التربة التحتية ، والطرق الحالية ، والتوسع العمراني والنمو المرتقب في المستقبل وموقع نهايات الطريق والمنشآت القائمة ومجاري الأودية . ومع أن السرعة التصميمية تؤخذ في الحسبان عند تحديد خط السير العام ولكن عندما يتعمق التصميم في تفاصيل التخطيط الأفقي والرأسي تزداد أهميتها حيث أن تلك السرعة المختارة للتصميم هي التي تعمل على حفظ التوازن بين جميع عناصر التصميم والسرعة التصميمية هي التي تقرر حدود القيم لكثير من العناصر كالانحناء ومسافة الرؤية ، كما أن لها تأثيراً على عناصر أخرى مثيرة كالعرض ومسافات الخلوص والحد الأقصى للميل .

والتوافق الجيد بين التخطيط الأفقي والرأسي يمكن الحصول عليه بالدراسة الهندسية ومراعاة الاعتبارات العامة التالية :

1. يجب أن يكون هناك توازن جيد بين المنحنيات الأفقية والانحدارات الطولية، فالتخطيط الأفقي المستقيم أو المنحنيات الأفقية المنبسطة التي مع وجود انحدارات حادة أو طويلة – وكذا عمل انحناء حاد للاحتفاظ بانحدار منبسط كلاهما تصميم رديء وينقصه التوازن ، أما التصميم المعقول فهو توفيق بين الحالتين بما يعطي أكبر أمان وأعظم سعة مع سهولة السير وانتظامه وحسن المنظر في الحدود العملية لطبيعة الأرض والمنطقة التي يجتازها الطريق.
2. نحصل عادة على منظر حسن عند اجتماع منحنى رأسي مع منحنى أفقي ولكن ينبغي دراسة تأثير ذلك على حركة المرور . ويلاحظ أن وجود تغييرات متتالية في القطاع الرأسي للطريق دون اقترانها بانحناء أفقي قد يؤدي إلى ظهور سلسلة من قمم المنحنيات تبدو لنظر السائق من بعيد ، مما يشكل حالة غير مرغوب فيها كما سبق بيانه.
3. يجب ألا يعمل منحنى أفقي حاد عند قمة أو قريباً من قمة منحنى رأسي بارز ووجه الخطورة في ذلك أن السائق لا يمكنه إدراك التغيير الأفقي في التخطيط وخاصة في الليل عندما تلقى أشعة الضوء الأمامية مباشرة نحو الفضاء الأمامي ويتلاشى هذا الوضع الخطر إذا كان الانحناء الأفقي قبل الرأسي أي إذا كان طول المنحنى الأفقي أكبر من المنحنى الرأسي ويمكن أيضاً عمل تصميم مناسب باستخدام مقادير تصميمية أكبر من الحد الأدنى الذي توجبه السرعة التصميمية.

4.وهناك حالة أخرى قريبة الشبه من السابقة وهي أنه يجب ألا يبدأ منحنى أفقي عند قاع منحنى رأسي مقعر حاد . ذلك لأن الطريق أمام السائق يبدو أقصر طولاً من الحقيقة . وأي انحناء أفقي غير منبسط يعطي منظراً ملتوياً غير مقبول . وإلى جانب ذلك فإن سرعات المركبات وخاصة الشاحنات غالباً ما تكون عالية عند قاع المنحدرات وقد تحدث أخطاء في القيادة ولا سيما أثناء الليل.

5.في الطرق ذات الحارتين ، يحتاج الأمر إلى مسافات مأمونة للتجاوز في أطوال كثيرة وأن يتوفر ذلك على نسبة مئوية كبيرة من طول الطريق ، وتلك الضرورة غالباً ما تفوق الاستحسان الشائع من جمع الانحناء الرأسي مع انحناء أفقي وعلى ذلك يلزم في تلك الحالات العمل على إيجاد مسافات طويلة مستقيمة تكفي لتواجد مسافة رؤيا للتجاوز في التصميم .

6.في تقاطعات الطرق حيث تكون مسافة الرؤية على كلا الطريقين لها أهميتها وقد تضطر المركبات إلى التهدئة أو التوقف لذلك يجب أن يعمل التخطيط الأفقي والرأسي عندها منبسطاً بقدر الإمكان .

8 - 2 تنسيق أعمال التخطيط عند التصميم

يجب ألا يترك تنسيق التخطيط الأفقي والرأسي للصدف ، بل يجب أن يبدأ ذلك في مرحلة التصميمات الأولية ، حيث يسهل في هذه المرحلة إجراء أي تعديلات.
ويجب على المصمم أن يجعل رسوماته بحجم ومقياس رسم ونظام بحيث يمكنه دراسة مسافات طويلة مستمرة من الطريق في كل من المسقط الأفقي والقطاع الطولي ويتصور شكل الطريق في أبعاده الثلاثة ويجب أن يكون مقياس الرسم المستعمل صغيراً بالدرجة الكافية ، وعادة يكون في حدود 1000:1 ، 2000 :1، 2500 مع رسم القطاع الطولي والمسقط الأفقي معاً في نفس اللوحة . ويحسن وضع القطاع الطولي في أسفل المسقط الأفقي مباشرة ويرسم بنفس مقياس الرسم الأفقي ، أما المقياس الرأسي فيعمل عشرة أضعاف الأفقي .
ولإجراء هذا العمل يحسن جداً استخدام لفة متصلة من ورق المربعات المخصصة للقطاعات الطولية والمخصصة لرسم مساقط أفقية مع قطاعات طولية .
بعد فحص المسقط الأفقي والقطاع الطولي في مرحلتهما الأولى فإنه يمكن إجراء التعديلات اللازمة في أحدهما أو كليهما مع مراعاة الترابط بينهما لتحقيق التناسق المرغوب وفي تلك المرحلة لا يتحتم على المصمم أن يشتغل بأي حسابات تخطيطية سوى ما هو لازم من الضوابط الرئيسية المعروفة بل إن معظم هذه الدراسة يجرى على أساس تحليل تخطيطي ولذلك فإن الأدوات المناسبة لرسم مساقط التخطيط الأفقي والرأسي هي القطع مرنة الانحناء ، مجموعة رسم منحنيات الطرق ، تشكيلة المنحنيات الغير منتظمة ، المساطر المستقيمة ، أما الخيط الأسود الثقيل والدبابيس المدببة فتستخدم في توقيع خطوط الانحدار ولا سيما في الأجزاء التي يكون الانحدار فيها مستمراً لمسافة طويلة بغير انكسار ومن الضروري أخذ عناصر التصميم ومحدداته في الاعتبار فبالنسبة للسرعة التصميمية المختارة يجب تحديد القيم الحاكمة للانحناء والانحدار ومسافة الرؤية والطول الانتقالي للرفع الجانبي ، وما إلى ذلك مع تحقيق كل هذا على الرسم . وأثناء تلك الخطوات قد يتطلب الأمر تعديل السرعة التصميمية للطريق في بعض الأجزاء كي تطابق ما يحتمل من تغييرات في سرعات تشغيل السيارات حيث قد تقع بعض التغييرات الملحوظة في خصائص التخطيط . إضافة إلى هذا يجب مراعاة اعتبارات التصميم العامة التي سبق شرحها في التخطيط الأفقي والرأسي كل على حدة واجتماع التخطيطين معاً . وعموماً فإنه ينبغي مراعاة جميع عوامل طبيعة الأرض ، وتشغيل المركبات والمنظر النهائي ، وتعمل التعديلات اللازمة في المسقط الأفقي والقطاع الطولي ويجري التنسيق بينهما قبل إجراء الحسابات التي تستنفذ وقتاً وجهداً كبيرًا وقبل البدء في تجهيز رسومات التنفيذ ذات المقياس الكبير . ويمكن عادة تحقيق التناسق بين التخطيط الأفقي والرأسي من ناحية المنظر بإلقاء نظرة استعراضية على الرسومات الأولية التفصيلية وغالباً ما يؤدي هذا الإجراء إلى نتيجة طيبة إذا ما قام به مصمم طويل الخبرة . ويمكن تعزيز هذه الطريقة التحليلية بعمل نماذج أو رسومات منظورية للمواقع التي يكون الرأي فيها مختلفاً عن تأثير بعض التخطيطات الأفقية والرأسية المجتمعة معاً .

9 - القطاعات العرضية للطرق

9 - 1 عرض الرصف والحارة المرورية

يتحدد عرض الرصف عن طريق عدد حارات المرور وعروضها ولا يوجد بين عناصر الطريق ما هو أكثر أثراً على الأمان وراحة السير من عرض الطريق وحالة سطحه . والحاجة ظاهرة إلى طرق ذات أسطح ناعمة غير زلقة وتلائم جميع الحالات . وتقل السعة الفعلية للطريق حينما توجد عوائق متاخمة للطريق مثل الحوائط

الساندة أو سيارة متوقفة ولذا يجب المحافظة على الخلوص الأفقي بين حارات المرور وأي عائق جانبي حتى لا تؤثر بصورة كبيرة على سعة الطريق وبالتالي تؤثر على زيادة الحوادث وتقليل راحة المستخدم . ويعتبر عرض الحارة 3.65متر مرغوباً و 3.35 مقبولاً في المناطق الحضرية ومن الضروري استخدام حارة مرور إضافية عند التقاطعات وعند التقاطعات الحرة لتسهيل حركة المرور .

9 - 2 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 تجميع 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٪ مقبولٌ حيث لا يلاحظه السائق ولا يؤثر على المركبة .

9 - 3 مواصفات الحارات المساعدة

أ ـ 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 2.50متر من حافة حارة المرور إلى حافة البردوره والطول النموذجي للموقف 6.50متر .

ب ـ حارة الدوران

أقل عرض لحارة الدوران إلى اليمين أو اليسار 3.00متر ، ويستخدم في الطرق السريعة ذات السرعة التصميمية الأعلى عرض أكبر وفي الأماكن التي يتوقع وجود أعداد كبيرة من الشاحنات الثقيلة .

9 - 4 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 اليه أو الخروج منه وكذلك لتسيير الوصول إلى الممتلكات المجاورة .

9 - 4 - 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 .

9 - 4 - 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.

9 - 4 - 3 النهايات Terminals

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

9 - 5 مواصفات 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 أنظر جدول رقم (17).كما يوضح جدول رقم (18) عرض الموقف وعرض حارة المرور

جدول رقم (17) عروض أكتاف الطرق .

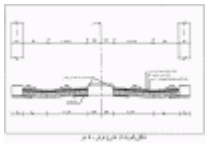
درجة الطريق	الحد الأدنى	مرغوبة

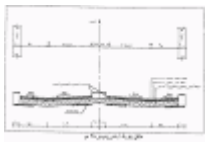
طريق حضري سريع	لا تنطبق	الكتف الداخلي 2 متر الكتف الخارجي 3 متر
طريق حضري شرياني	الكتف الداخلي لا ينطبق الكتف الخارجي 2.50متر	الكتف الداخلي 2 متر الكتف الخارجي 3 متر
طريق حضري تجميعي	1.25 متر	2.00 متر
طريق حضري محلي	لا تنطبق .. فقط حارة المواقف مطلوبة	

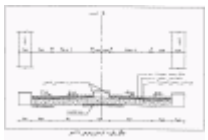
جدول رقم (18) حارات المواقف وحارة المرور

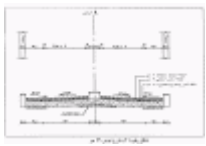
درجة الطريق	عرض الموقف (م)	حارة المرور (م)
محلي	2.50	3.25
تجميعي	2.50	3.65
شرياني	2.00	3.65

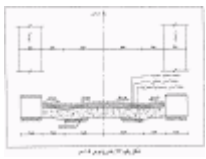
وتوضح الأشكال أرقام (18 –22) القطاعات العرضية الإرشادية حسب عرض الطريق











9 - 6 الميول الجانبية للحفر والردم Side Slope

يتم تصميم الميول الجانبية لضمان اتزان وثبات الطريق ولإعطاء الفرصة لتأمين السيارات الخارجة عن السيطرة . ويوضح جدول رقم (19) العلاقة بين نوع الطبوغرافية وارتفاع الحفر أو الردم والميل العرضي الأقصى والمرغوب في الطرق ولميول الحفر أقل من أو تساوي (2: 1) يعتمد على تحليل التربة .

الميول الجانبية(الأفقي إلى الرأسي) لأنواع التضاريس ماعدا في الصخر							
الارتفاع (م)		مستوية		متموجة		جبلية	
		مرغوب	أقصى ميل	مرغوب	أقصى ميل	مرغوب	أقصى ميل
1 – 0	حفر	1:6	1:4	1:6	1:3	1:6	1:3
	ردم	1:6	1: 6	1: 4	1: 4	1: 4	1: 4
1-3	حفر	1:4	1:3	1:3	1:2	1:3	1:2
	ردم	1: 4	1: 4	1: 4	1: 4	1: 3	1: 3
5 – 3	حفر	1:3	1:2	1:3	1:2	1:3	1:2
	ردم	1: 4	1: 3	1: 4	1: 3	1: 3	1 : 1.5
5	حفر	1:2	1:2	1:2	1:2	1:2	1:2
	ردم	1: 3	1:2	1:3	1:2	1:2	1 : 1.5

10 - البردورات

يتأثر السائقون كثيراً بنوع البردورات ومواقعها . وبالتالي فإن ذلك يؤثر على أمان الطريق والانتفاع به وتستخدم البردورات في تنظيم صرف المياه . ولمنع السيارات من الخروج عن الرصف في النقط الخطرة ، وهي تحدد حافة الرصف وتحسن الشكل النهائي للطريق ، كما أنها عامل في تجميل جوانب الطرق . وتقوم البردورة غالباً بغرض أو أكثر من هذه الأغراض . وتتميز البردورة في العرف بأنها بروز ظاهر أو حافة قائمة وتبدو الحاجة إليها كثيراً في الطرق المارة بالمناطق السكنية كما أن هناك مواقع بعض الحالات في الطرق الخلوية يلائمها بل ويجب أن يعمل لها البردورة . وهناك نوعان رئيسيان من البردورات . كل منهما له عدة أشكال وتفصيلات تصميمية .

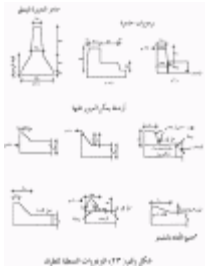
10 - 1 البردورات الحاجزة :

هي ذات وجه جانبي حاد الميل ومرتفع نسبياً وهي مصممة لمنع السيارات أو على الأقل صرفها عن محاولة الخروج عن الرصف ويختلف ارتفاعها بين 15، 22.5سم تقريبا ويستحب أن يكون الوجه مائلا ولكن على ألا يزيد ميل الوجه في الغالب عن حوالي 1 سم لكل 3سم من الارتفاع وتعمل استدارة للركن العلوي بنصف قطر من 2 إلى 8 سم وتستخدم البردورات الحاجزة فوق الكباري وتعمل وقاية حول الدعامات وأمام الحوائط أو بجوار الأشياء الأخرى لمنع اصطدام المركبات بها والبردورات التي تستعمل عادة في الشوارع هي من النوع الحاجز وإذا كان من المتوقع أن تقف المركبات بموازاة البردورة فيجب ألا يزيد ارتفاعها عن عشرين سنتيمتراً حتى لا تحدث احتكاك برفارف المركبات وأبوابها . والقاعدة العامة أن تبعد البردورات الحاجزة مسافة 50إلى 60سم إلى خارج الحد الخارجي لطريق السير .

10 - 2 البردورات الغاطسة .

وهي مصممة بحيث يسهل على المركبات اجتيازها دون ارتجاج عنيف أو اختلال في القيادة ويختلف ارتفاع هذه البردورات من 10إلى 15سم وميل الوجه فيها 1:1 أو 1:2 وأغلب استعمال البردورات سهلة العبور هو في الجزيرة الوسطي وفي الحافة الداخلة في الاكتاف كما تستعمل في تحديد الشكل الخارجي لجزر التقسيم القنواتي في التقاطعات ويمكن أن تنشأ هذه البردورات ملاصقة بحافة الطريق المخصص للمركبات أو تبعد عنها قليلاً .

ويوضح الشكل رقم (23) البردورات النمطية في الطرق .



11 - أرصفة المشاة .

تعتبر أرصفة المشاة جزءاً مكملاً لتصميم الشوارع في المدن ولكنها قلما تعتبر ضرورية في المناطق الخلوية . ويجب ألا يقل عرض الرصيف عن 1.5متر 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 ببردورات حاجزة وعند عدم استعمال بردورات يجب أن تكون أرصفة المشاة بعيدة عن حافة الرصف المخصص للمركبات بثلاثة أمتار على الأقل .

12 - السياجات والحوائط الواقية والقوائم المرشدة .

تنشأ الحواجز الوقائية في الأماكن التي يتوقع أن تتعرض فيها المركبات لخطر كبير لو خرجت عن الطريق كما هو الحال عادة في مناطق الردم التي يكون فيها الانحدارات الجانبية شديدة سواء في الأجزاء المستقيمة أو ذات الانحناء الشديد ويمكننا من لوحات المساقط الأفقية أن نرى بوضوح أكثر المواقع خطورة في الطريق .ولكن الأنسب لتحديد مجموع ما نحتاجه من السياجات والحوائط الواقية ، هو معاينة الطريق على الطبيعة عندما يقترب اكتمال مناسيب الطريق ويجب أن يتم إنشاء تلك الأعمال الوقائية قبل فتح الطريق للمرور .
ويرجع اختيار نوع الوقاية اللازمة في غالب الأمر إلى شدة الخطورة المتوقعة. أما المفاضلة بين السياجات والحوائط الواقية فهي في العادة مسألة اقتصادية . وتصمم السياجات والحوائط الواقية بحيث تقاوم الاصطدام عن طريق تحريف اتجاه المركبة بحيث تستمر في سيرها على طول السياج أو الحائط بسرعة منخفضة . ويلاحظ أن الإيقاف الفجائي للسيارة خطأ ، ولذلك فإن أي قائم إرشادي أو سياج أو حائط بارز يتسبب في إيقاف السيارة المتحركة دفعة واحدة ليس مستحباً . بل إن الإيقاف الفجائي قد يكون أشد خطراً من الاستمرار في الحركة على ميول الردم .
إن القوائم المرشدة لا يقصد منها في الغالب مقاومة الاصطدام غير أنه إذا ما كان إنشاؤها قوياً بدرجة كافية فإنها تمنع السيارات من الخروج عن الطريق وهي أقل في التكاليف من السياجات الواقية والحوائط الواقية . ولكنها أقل فاعلية منها فيما إذا كان المقصود من تصميمها هو مقاومة الاصطدام. ولما كان هناك كثير من المواقع التي يصعب فيها على السائق أن يتبين اتجاه الطريق لا سيما أثناء الليل لذا تستخدم عادة القوائم المرشدة في مثل تلك الأماكن .
وإذا كان خروج السيارة عن الطريق لا يسبب لها خطراً جسيماً فيمكن جعل القوائم المرشدة ضعيفة بحيث تكون التلفيات الناتجة عن الاصطدام بها ضئيلة . والمنحنيات الأفقية بوجه عام يمكن إظهارها بدرجة كافيه بوضع القوائم المرشدة في جانبها الخارجي فقط ويجب أن يوضع بعض منها في الجزء المستقيم عند نهايتي المنحنى . وفي جميع الحالات عدا مواقع تحويلات جانب الطريق يجب أن توضع السياجات والحوائط الواقية والقوائم المرشدة على مسافات ثابتة من حافة الرصيف حتى لا يكون هناك احتمال لعدم التمكن من استبانة مواقعها في الأجواء الرديئة ، ويجب أن يكون وضعها بعيداً بعض الشيء إلى خارج الحد اللازم للانتفاع بالكتف ، وتكون جميعها بارتفاع واحد تقريبا وعادة فإنه يجب توسيع عرض الكتف بمقدار حوالي 50 سم عندما تستعمل السياجات الواقية أو الحوائط الواقية . ويستحسن فتح سياج الحائط إلى الخارج في مسافة قصيرة في نهايته المواجهة للمرور القادم وذلك كي تخفض وطأة أي اصطدام مباشر يحتمل حدوثه مع تلك المقدمة ولكي يبدو المنظر كاملاً أمام السائق . ولتحقيق الفائدة الكاملة يجب أن تكون السياجات والحوائط الواقية والقوائم المرشدة واضحة تماما ، ومما يلائم ذلك استخدام التركيبات المدهونة باللون الأبيض المجهزة بأزرار أو مواد عاكسة للضوء مع المحافظة عليها جيداً بالصيانة . إن

وضوح منظر الطريق أمام السائقين ينبههم إلى مواطن الخطر فيه ويزيد من راحتهم وسهولة سيرهم عليه . وفي بعض الحالات يكون هذا الاعتبار وحده كافياً لإجازة إنشاء الحواجز و حتى لو كان ارتفاع الردم قليلاً فإننا نشعر بالحاجة إلى إنشاء تلك الأعمال عليها فيما يجاور المجاري المائية كالترع والمصارف والجسور الطولية المستمرة لمسافة طويلة وكذا الطرق المجاورة لجرف وما شابه ذلك من المواقع .

13 - تصميمات الجزيرة الوسطى .

إن الخبرة الطويلة في استعمال الجزر الوسطى وفوائدها قد جعلتنا نقرر أن فصل الحارات المتضادة هو عامل هام في الأمان في الطرق متعددة الحارات .
وفي جميع الطرق الحديثة تقريباً المصممة بأربع حارات أو أكثر تستخدم الجزر الوسطى وتكون الجزر الوسطى ذات اتساع كاف يحقق ما نبغيه من عدم تداخل حركات المرور المتضادة ويقلل وهج الأنوار الأمامية ويوفر الفضاء اللازم لسلامة تشغيل المركبات التي يجرى عبورها ودورانها عند التقاطعات في نفس المستوى كما تتخذ مأمناً يلجأ إليه في حالة الضرورة . إضافة إلى ذلك تأمين عرض كافي في حالة الحاجة إلى توسيع عرض حارات السير .

13 - 1 عرض الجزيرة الوسطى

هو المسافة بين الحافتين الداخليتين للرصف وهو يتراوح بين 3 و 12 متراً أو أكثر حسب نوع الطريق وطبيعة الأرض ومقدار نزع الملكية وغير ذلك من الاعتبارات ولكن من ناحية المرور المستمر (Through Traffic) إذا أردنا تحقيق سهولة تشغيل المركبات وحريتها الكافية عن طريق عزلها طبيعياً ومعنوياً عن الاتجاه المضاد فإنه يلزم أن يكون عرض الجزيرة الوسطى حوالي ثمانية أمتار أو أكثر وعند ذلك يمكن أن يقال حقاً أن الطريق مقسم حيث يضعف تأثير الضوضاء وضغط الهواء الناتج من المرور المضاد كما يتلاشى كثيراً تأثير وهج الأنوار الأمامية في الليل وإذا ما بلغ عرض الجزيرة الوسطى 12متراً أو أكثر فإنه يمكن تجميلها بشكل بديع كما لو كانت جزءاً من المنتزهات . وعلى أي حال فإن أي نوع فصل للاتجاهات المتضادة فيه فائدة ملحوظة ويزداد ما نحصل عليه من فوائد كلما زاد عرض الجزيرة الوسطى ، وتحقيقاً لهذا يجب أن تستخدم الجزر الوسطى العريضة كلما تيسر ذلك عملياً حيث يمكن الاستفادة من ذلك العرض مستقبلاً في حالة الرغبة في توسيع عرض طريق السير.
والمقترح ألا يقل عرض الجزيرة الوسطى عن ثلاثة أمتار ولكن ينبغي أن يفهم جيداً أن هذه القيمة هي حد أدنى ولهذا يفضل زيادة العرض عن ذلك ،ويستثنى من هذه القاعدة حالة الأراضي الجبلية والمواقع الأخرى التي يمكن أن تخفض تكاليف الإنشاء فيها كثيراً باستخدام الجزر الوسطى الضيقة . وفي مثل هذه الظروف يمكن جعل عرض الجزيرة الوسطى 3 أمتار .

13 - 2 الميول العرضية للجزيرة الوسطية

في حالة عدم رصف الجزيرة الوسطى نجعل جوانبها مائلة نحو محور الجزيرة لتعطي شكل مجرى منخفض في الوسط ، وإذا كان عرض الجزيرة الوسطى 7 أمتار أو أقل تكون ميولها الجانبية 4٪ ويستدار قاع الجزء الأوسط المنخفض بمنحنى رأسي طوله متر واحد . أما إذا كان عرض الجزيرة الوسطى 7 أمتار فيعمل كتف بالعرض والميل العادي وقد يحسن زيادة الميل من 4٪ إلى حد أعلى قدره 8٪ فيما بين نهاية الكتف ومحور الجزيرة الوسطى ويستدار قاع المجرى المنخفض في وسط الجزيرة بمنحنى رأسي طوله متران .
فيما يختص بالجزر الوسطى المرصوفة فإنها تعمل بميل من محور الجزيرة (وهو أعلى نقطة) إلى الطريق المرصوف على الجانبين ومقدار هذا الميل في الجزر الضيقة التي بعرض 3 أمتار أو أقل هو 1٪ وفي الجزر العريضة التي يزيد عرضها عن 3 أمتار يكون مقدار الميل من 1 ٪ إلى 2٪ وذلك حسب نوع الرصف والظروف المحلية .

13 - 3 المغايرة أو التباين

بالنسبة لقيادة السيارات يجب أن يكون هناك تباين ظاهر بين الطريق المرصوف والجزيرة الوسطى من حيث اللون وخشونة السطح وفي كل من حالتي الرطوبة والجفاف سواء في الليل أو النهار .
والجزر الوسطى الغير مرصوفة سواء أكانت مزروعة أم لا فانها تتباين بقدر كاف عن الطريق المرصوف أما الجزر الوسطى المرصوفة فيجب أن يستخدم في طبقتها السطحية رصف يختلف عن الطريق المرصوف .

13 - 4 بردورة الجزيرة الوسطى

تعتبر بردورة الجزيرة الوسطية هامة جداً في الطرق الحضرية ذات الجزر الوسطية الضيقة العرض . بردوره الجزر الوسطى يمكن أن تكون من النوع الحاجزة أو الغاطسه وقد تفضل البردورات الحاجزة في بعض الحالات ، ففي الجزر الوسطى الضيقة التي بعرض ثلاثة أمتار أو أقل في المناطق السكنية إذا استعملت البردورة الغاطسة

فإنه يصعب تنفيذ تعليمات المرور التي تمنع الدوران إلى اليسار وإلى الخلف لأن السائقين يجدون أنه من المستطاع اجتياز تلك البردورات الغاطسة .
ويلاحظ أن عيوب تلك الحالات هو أن البردورة المرتفعة تسبب نقص العرض المنتفع به (أي تستوجب زيادة في توسيع الرصف) وتمنع السيارات التي يلزم عبورها في حالات الضرورة عند ارتباك المرور ومن أمثلة المركبات التي يلزم عبورها مركبات الدفاع المدني والإسعاف والمرور وما شابه ذلك . ويلاحظ أنه لو عمل أي نوع من الفتحات لإمكان إجراء تلك الحركات الاضطرارية فإنه قد يؤدي ذلك إلى حدوث تحركات دورانية للخلف خطرة .
وقد يحسن استخدام البردورات الغاطسة في الجزر الوسطى الضيقة عندما تقل أو تنعدم الأسباب التي تدعو السائقين إلى الدوران يسار أو للخلف كما هو الحال في الطرق المصممة بوضع قيود كاملة على مداخلها . واستعمال البردورات الغاطسه في الجزر الوسطى التي بعرض 5 أمتار أو أكثر له ميزة أن السائقين الذين يضطرهم الأمر إلى ترك طريق سيرهم بسبب حادثة أو تفاديها أو نتيجة لخلل مفاجئ قد يتمكنون من استعادة سيطرتهم على مركباتهم في حيز الجزيرة الوسطى ، والجزر التي بهذا العرض يمكن زراعتها وإنشاؤها بمنخفض في وسطها كي يمنع أي عبور خاطئ .
وقد توضع البردورة الغاطسه ملاصقة في مسار المركبات لأن السائقين لا يتأثرون بها كعائق فهم لا يخشون الاقتراب منها . ولكن من الممنوع بتاتاً إنشاؤها في طريق سير المركبات – أي داخل حدود العرض التصميمي لحارة المرور – لأن ذلك يقلل عرض الحارة وسعتها ويجب إزالة البردورات الحاجزة عن طريق سير المركبات (الحد العادي للحارة التصميمية) مسافة 0.50 إلى 0.60 متراً لأن رد الفعل الذي يخص السائق عندما يصادفه عائق بهذا الارتفاع هو الابتعاد عنه .

14 - التصميم الهندسي للدوار

GEOMETRIC DESIGN OF ROUNDABOUT

يتم تصميم الدوار في الحالات التي تتوافر فيها مساحة الأرض اللازمة للدوار ويفضل أن تكون الأفرع المتقاطعة أربعة أو أكثر. ويعتبر الدوار أفضل من الإشارات المرورية حتى حجم مروري معين وخاصة إذا كانت أحجام المرور في الأفرع متساوية ويجب الأخذ في الاعتبار أن يزيد القطر الإجمالي الخارجي للدوار عن عرض أكبر طريق متقاطع (مثلاً طريق عرض 60 م متقاطع مع طريق عرض 40 م لا يقل القطر الخارجي للدوار عن 60 م) .

14 - 1 توسيع المداخل عند الدوار FLARE DESIGN AT ENTRY

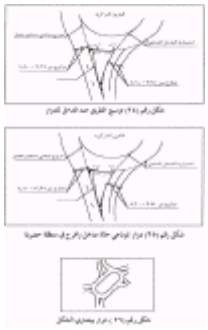
يتم توسيع مدخل الدوار لزيادة سعته بحيث لا تزيد عدد حارات الدخول إلى الدوار (Approach Lanes) عن الحارات داخل الدوار والطول الذي يجرى فيه التوسيع في حدود من 30 متراً إلى 95 متراً . أنظر شكل رقم (24) .

14 - 2 عرض المدخل ENTRY WIDTH

يختلف عرض المدخل حسب المركبة التصميمية وعرض الطرق الداخلة إلى الدوار وعموماً يتراوح عرض المدخل بين 3.65 متراً إلى 4.60 متراً لكل حارة من حارات المدخل . ويعتبر عرض المدخل أقل من أو يساوي عرض حارات الدوار . والمنحنى المؤدي إلى الدوار يكون بنفس نصف القطر أو أقل من نصف قطر المسار الذي يتوقع أن تسير المركبة فيه ويصمم المنحنى بحيث يكون مماساً للجزيرة المركزية . انظر شكل رقم (25).

14 - 3 عرض المسار الدائري CIRCULATING WIDTH

يتراوح عرض المسار الدائري للدوار بين مرة إلى مرتين ضعف أكبر عرض مدخل ويجب أن يكون العرض الدائري ثابت . ومسار الدوار عموماً دائريٌ ولكن الدوار ذا الشكل البيضاوي مقبول ومفضل في حالة الجزيرة الكبيرة أو التصميم الغير معتاد (أنظر شكل رقم (26)) . والتصميم الجيد هو الذي يتجنب المنحنيات العكسية القصيرة بين المدخل والمخرج . ويستحسن أن تكون الطرق الدورانية (ROUNDABOUT) دائرية كلما أمكن ذلك وبالنسبة للعرض يجب ألا يزيد عن 15 متراً وفي الدوار الصغير لا يزيد القطر عن 28 متراً ويفضل أن يكون عرض الطريق داخل الدوار ثابتاً .



14 - 4 القطر الداخلي للدوار INSCRIBED CIRCLE DIAMETER

يتراوح حجم الدوران بين عمق صغير لدرجة كافية لعمل انعطاف كافي وبين تنفيذه بحجم كبير لدرجة استيعاب المركبات التصميمية . وقد وجد أن أقل نصف قطر داخلي حوالي 30.5 متر معتمدة على مركبة تصميمية - WB 50 وربما يقل القطر الداخلي للدوار حسب أكبر مركبة تصميمية يتوقع أن تستخدم الطريق وفي جميع الحالات يتم استخدام نماذج صغيرة تطبق على التصميم (انظر شكل رقم (27)) نماذج انعطاف حسب السيارة التصميمية .

14 - 5 المخـارج EXITS

المخارج من الدوار لابد أن تكون سهلة كلما أمكن . وكما أن المداخل مصممة لإبطاء سرعة المركبات الداخلة للدوار فإن المخرج يصمم بحيث يزيد من سرعة المركبة الخارجة من الدوار ومن ثم يكون نصف قطر المخرج أكبر من نصف قطر المدخل .

14 - 6 جزر الفصل SPLITTER ISLANDS

يتم عمل جزر فصل في الدوار . وهي تمثل دليل للمرور الداخل والخارج للدوار وكملجأ للمشاة في المناطق ذات السرعات العالية وتستخدم جزر الفصل بطول كافي لإعطاء تحذير مبكر . انظر شكل رقم (28) .

14 - 7 الانعطاف داخل الدوار DEFLECTION

الانعطاف الكافي للمركبات الداخلة إلى الدوار من أهم العوامل المؤثرة في أمان تشغيل الدوار . ويتم تصميم الدوار بحيث تكون السرعة لجميع المركبات أقل من 45 كم / ساعة . وهذه تنفذ بواسطة ضبط هندسية المدخل وضمان مسار المركبات المارة طولياً وتنعطف السيارات طبقاً لأحد العوامل التالية :

- تخطيط المدخل والشكل والحجم والمكان الخاص بجزر الفصل للأفرع .
- تأمين الجزيرة الوسطية ذات الحجم والمكان المناسب .
- إدخال تخطيط غير متوازي بين أي مدخل ومخرج . انظر شكل رقم (29)

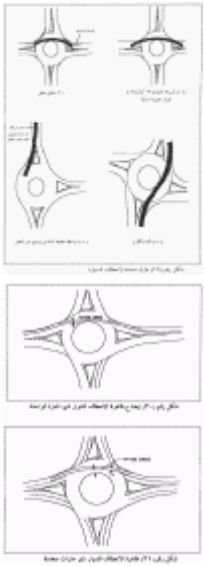
الانعطاف في الدوار ذي الحارة الواحدة . أقصى سرعة مرغوبة يتم الحصول عليها في حالة عدم وجود مسار مركبة (يفترض بعرض تصميمي 2.15 م) وله نصف القطر أكبر من 131 متراً . يقابل نصف القطر هذا سرعة مركبة تقريباً 48 كم/ساعة والإنعطاف المطلوب للدوار ذي الحارة الواحدة . انظر شكل رقم (30)

الانعطاف للدوار ذي حارتين أو ثلاث حارات .

للدوار المتعدد الحارات (حارتين أو ثلاث) عموماً من الصعب الحصول على انعطاف كامل كما في حالة الدوار ذي الحارة الواحدة . لذا من المقبول قياس الانعطاف باستخدام مسار المركبة كما في شكل رقم (31) .

14 - 8 الانعطاف في الدوار لمختلف السرعات التصميمية :

لمعظم الحالات العملية في الطرق يصمم الدوار لانعطاف بسرعة 40 - 48 كم / ساعة مع الأخذ في الاعتبار حالات الطرق ذات الدرجات الأقل والطرق المحلية . يوضح الجدول رقم (20) أنصاف أقطار منحنيات الانعطاف لحالات السرعات التصميمية المختلفة للدوارات.

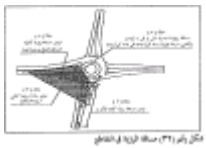


جدول رقم (20) نصف قطر الانعطاف حسب السرعة التصميمية للدوار

السرعة التصميمية (كم/ساعة)	نصف قطر منحنى الانعطاف (متر)
20.00	18.50
24.00	30.50
32.00	55.00
40.00	88.50
48.00	131.00

14 - 9 مسافة الرؤية SIGHT DISTANCE

يتم تطبيق مسافة الرؤية للحالات المختلفة لجميع المنحنيات الرأسية والأفقية عند الدوار . وهذه الحالات تؤثر تأثيراً فعالاً على أمان التشغيل للدوار وعلى أماكن وضع العلامات وتنسيق الموقع أنظر شكل رقم (32) .
حالة (1) : تخطيط الأفرع بحيث يتوفر للسائق منظر كامل للجزيرة المركزية وجزيرة الفصل ، ويجب أن يتوفر مسافة رؤية كافية للتوقف في الأفرع .



حالة (2) : توقف السائق عند خط الـ (YIELD) مع وجود خط رؤية واضح للمرور الموجود بالأفرع والداخل إلى الدوار .
حالة (3) : من المرغوب أن يرى السائق القادم من أحد الأفرع السيارات الداخلة إلى الدوار قبل الوصول إلى خط الـ YIELD جيداً.

14 - 10 القطر الإجمالي للدوار INSCRIBED CIRCLE DIAMETER

هناك متطلبات للمساحة المطلوبة لأهم المركبات التصميمية ويتراوح قطر الدوار من 29 م إلى 91.4 متراً . والحافلة التصميمية (BUS) يمكن أن تسير في دوار قطره يبدأ من 29 متراً ويجب الأخذ في الاعتبار صعوبة إن لم يكن مستحيلاً تحقيق الانعطاف الكافي داخل الدوار ذو قطر أقل من 40 متراً و في هذه الحالة يجب وضع جزيرة مركزية منخفضة الارتفاع حوالي 50 مليمتر كحد أقصى وبذلك يمكنها السماح للمركبات الطويلة

(المقطورات ... الخ) أن تمر عجلاتها الخلفية عليها . ويوضح شكل رقم(33) تفاصيل العروض الدورانية المطلوبة في الدوارات .

شكل رقم (٣٣) تفاصيل عناصر الدوار

حيث إن :
أ ـ الجزيرة المركزية المرتفعة .
ب ـ جزيرة غاطسة .
جـ ـ عرض الطريق الدوراني (1 ـ 2) عرض أكبر مدخل .
د ـ المركبة التصميمية .
هـ ـ أقل خلوص 1 متر .
ق ـ قطر الدوار الكلي .
ع ـ العرض بين البردورة الخارجية والداخلية .

جدول رقم (21) علاقة قطر الدوار (متر) مع العرض المطلوب للدوار حسب المركبة التصميمية

قطر الدوار (متر)	المركبة التصميمية	
	حافلة أقل (ع)	مقطورة أقل (ع)
91.4	5.20	6.60
85.3	5.20	6.60
79.2	5.20	6.90
73.2	5.30	7.00
67.1	5.30	7.30
61.0	5.50	7.60
57.9	5.50	7.80
54.9	5.60	8.10
51.8	5.80	8.40
48.8	5.90	8.70
45.7	6.10	9.10
42.7	6.20	9.60
39.6	6.4	10.20
36.6	6.70	11.1
33.5	7.00	12.3
30.5	7.00	*
29.0	7.20	*

*** (المركبة التصميمية تحتاج لقطر دوار أكبر)**

15 ـ التصميم الإنشائي للطريق

تعتبر عملية التصميم الإنشائي للطريق عبارة عن إيجاد سماكات طبقات الرصف لتتمكن من تحمل الأحمال المحورية للمركبات التي تسير على هذه الطرق ، والأنواع الرئيسية للرصف نوعان الأول هو الرصف الصلب وهو عبارة عن بلاطات خرسانية مسلحة توضع فوق سطح القاعدة الترابية أو طبقة تحت الأساس .
والنوع الثاني الأكثر شيوعاً هو الرصف المرن ويتكون من عدة طبقات هي تحت الأساس والأساس الحجري أو الحصوي ثم طبقات الرصف الأسفلتية وسوف نستعرض طريقة تصميم الرصف المرن .

15 - 1 تصميم الرصف المرن للطرق Flexible Pavement

15 – 1 –1 الأحمال التصميمية :

عند تصميم أي طريق يجب أن تكون بيانات أحجام وأحمال المرور المتوقعة متوفرة لعملية التصميم الإنشائي للطريق .

15 - 1 - 1 - 1 الحمل المكافئ لمحور مفرد :

يعرف الحمل المكافئ لمحور مفرد على أنه حمل قياسي على محور مفرد يسبب أثراً في الرصف عند موضع محدد فيه مساوياً لما يسببه حمل المحور المعني في نفس الموضع المحدد .

15 - 1 - 1 - 2 معامل حمل المحور المكافئ :

المعامل المكافئ لحمل المحور لمركبة ما هو نسبة التأثير لكل مرة تمر فيها المركبة على رصف معين إلى التأثير الذي يحدثه مرور الحمل المحوري المفرد القياسي على نفس الرصف . ويتم التعبير عن عدد مرات تكرار الحمل الذي يؤدي إلى وصول الرصف لنهايته المقبولة بصلابة طبقة الرصف .

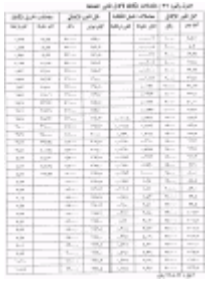
ويتم التعبير عن صلابة طبقات الرصف بالرقم الإنشائي SN ويكون مستوي الخدمة النهائي PT للطرق الرئيسية (ذات المرورالثقيل) = 2.5 ، وللطرق المحلية والثانوية (ذات المرور المتوسط) =2.00 .

أما المحور القياسي فمقـداره 18000رطل (80000 كيلو نيوتن) ويوضح جـدول (22) قيم المعاملات المكافئة لأحمال المحاور المختلفة .
وباستخدام قيم المعاملات المكافئة لأحمال المحاور التي تمر على الطريق خلال الفترة التصميمية وتبعاً لمعامل النمو وحجم المرور اليومي مصنفاً حسب نوع المركبات ونسبة مركبات النقل في الحارة التصميمية يتم حساب قيمة الحمل التصميمي المكافئ على الطريق من العلاقة التالية :

إجمالي الأحمال المكافئة = 365x (LF x ٪A) x T x GF x ADT

حيث :

ADT = متوسط حجم المرور اليومي .
٪ A = النسبة المئوية للحمل المحوري (س) .
GF = معامل النمو في أحجام المرور .
T = نسب مركبات النقل في الحارة التصميمية .
LF = معامل الحمل المكافئ للحمل المحوري (س)
جدول (22) .



15 - 1 - 1 - 3 نسبة تحمل كاليفورنيا C B R

من العوامل المهمة في طرق تصميم الرصف المرن ، خاصة عند استخدام طريقة آشتو قدرة تحمل التربة أو الطبقة الترابية للحمولة ، وغالباً ما يستخدم اختبار نسبة قوة تحمل كاليفورنيا (CBR) لذلك الغرض ويجرى هذا الاختبار بقراءة مدى اختراق مكبس قياسي مساحة مقطعة 3 بوصات مربعة داخل عينة مدكوكة بطريقة قياسية على نسبة رطوبة مقررة في قالب قياسي ثم تحسب نسبة الأحـمال التي تعطي اختراقاً قدره 0.10 بوصة إلى الأحمال التي تعطي الاختراق نفسه ولكن داخل عينة من كسر الأحجار المسحوقة العالية النوعية (والتي لها قيمة CBR= 100) وهذه النسبة هي نسبة قوة تحمل كاليفورنيا (CBR) للمادة التي يجري اختبارها.

15 - 1 - 1 - 4 توزيع الحركة على الحارات المختلفة بالطريق .

يتم تصميم الطريق على أساس حجم المرور المتوقع على الحارة الواحدة من الطريق ويختلف هذا الحجم تبعاً لعدد الحارات بالطريق وكذلك النسب الخاصة بالنوعيات المختلفة من المركبات وفي حالة الطرق التي تزيد عن حارتين في الاتجاهين تتميز الحارات الخارجية (جهة الأكتاف) بزيادة الحركة عليها خصوصاً في الأوقات التي يقل بها المرور وعموماً يمكن الاسترشاد بالنسب التالية للتوزيع في حالة عدم توفر بيانات عن ذلك.

جدول رقم (23) نسبة مركبات النقل في الحارة التصميمية

عدد حارات الطريق (في الاتجاهين)	نسبة مركبات النقل في الحارة التصميمية (من حجم مركبات النقل الكلي)
2	50٪
4	45٪
6 أو أكثر	٪ 40

15 - 1 - 1 - 5 الفترة التصميمية .

وهي الفترة الزمنية بالسنين من تاريخ افتتاح الطريق للمرور حتى تاريخ احتياجه إلى صيانة جسيمة وعادة ما تكون بين 10و 30 سنة وتؤخذ الفترة التصميمية 15 سنة للرصف المرن للطرق ويمكن اختيار أي فترة زمنية أخرى بما يتناسب وظروف الإنشاء ودرجة أهمية الطريق .

15 - 1 - 1 - 6 معدلات الزيادة السنوية .

وتقدر معدلات الزيادة السنوية في أحجام المرور بمعرفة متوسط حجم المرور اليومي على الطريق لعدة سنوات ومنه يمكن حساب معدل الزيادة السنوية في حجم المرور على هذا الطريق وفي حالة عدم توفر بيانات كافية لتقدير هذه النسبة فإنه يمكن استخدام نسبة زيادة سنوية في حجم المرور تتراوح بين 2 ، 4٪ طبقاً للمنطقة التي يتم إنشاء الطريق بها ولمعاملات النمو حسب الفترة التصميمية . انظر جدول رقم (24) .

15 - 1 - 1 - 7 تأثير العوامل البيئية

تؤثر العوامل البيئية تأثيراً كبيراً على أداء مواد إنشاء الطريق ومن ثم على حالته الإنشائية خلال العمر الافتراضي له ولذلك يلزم التعرف على هذه العوامل حتى يمكن أخذها في الاعتبار عند التصميم .ومن أهم العوامل المناخية المؤثرة درجة الحرارة التي تؤثر بدرجة كبيرة على أداء طبقات الرصف الأسفلتية وكذلك الأمطار والمياه الجوفية والصقيع وأثرها على تشبع طبقات الرصف المختلفة ابتداء من تربة التأسيس وما فوقها من طبقات تحت أساس وأساس ولذلك فإنه يلزم تحديد تأثير كل من هذه العوامل على القطاع الإنشائي الذي سيتم تصميمه حسب الظروف البيئية بالمنطقة الواقع بها الطريق .

15 - 2 طريقة التصميم :

يجب تحديد الخصائص التالية عند تصميم الرصف المرن طبقاً للطريقة الواردة في هذا الدليل والمأخوذة عن طريقة اتحاد مسئولي النقل والطرق الأمريكي (AASHTO) .

15 - 2 - 1 معامل الرجوعية (Mr)

يعتبر معامل الرجوعية مقياساً لمقاومة أي طبقة من طبقات القطاع الإنشائي للرصف والتي يمكن تحديدها بدءاً من طبقات تربة التأسيس فالأساس المساعد ثم الأساس فطبقات الرصف الأسفلتية ويتم إيجاد قيمة هذا المعامل عن طريق إجراء التجارب المعملية المناسبة لكل طبقة وحسب نوع المواد المستخدمة في هذه الطبقات . وعموماً في حالة عدم التمكن من إجراء مثل هذه التجارب يمكن تقدير قيمة تقديرية لهذه المعاملات بناء على نتائج اختبارات نسبة تحمل كاليفورنيا (CBR) والتي تعتبر من التجارب الشائعة في معظم معامل الطرق ، فبالنسبة لتربة التأسيس تكون العلاقة بين معامل الرجوعية (Mr) ونسبة تحمل كاليفورنيا (CBR) كالآتي :

Mr = 1500 x CBR PSI

ومما يجب التنبيه له أن هذه العلاقة قابلة للتطبيق للتربة التي تقل نسبة تحمل كاليفورنيا عن 10٪ وفي حالة كون CBR 10٪ فأكثر فيمكن تحديدها بدقة عن طريق إجراء تجربة معامل الرجوعية وبالنسبة لطبقات تحت الأساس والأساس من المواد الحصوية فيمكن استخدام قيم معامل الرجوعية المقابلة لنسب تحمل كاليفورنيا المقابلة لها والمبينة بجدول رقم (27) .

وبالنسبة لطبقات الرصف السطحية المكونه من الخلطات الأسفلتية يقدر معامل الرجوعية لها بناء على قيم الثبات لتجربة مارشال (Marshall) أو قيم التماسك في اختبار فييم (Hveem) لهذه الطبقات حسب ما هو مبين في جدول رقم (25) .

15 - 2 - 2 القيمة النهائية والابتدائية لدليل مستوى حالة سطح الرصف:

القيمة النهائية هي أقل مستوى حالة يسمح به في نهاية فترة التحليل وذلك قبل اللجوء لعمل أي نوع من أنواع الصيانة الجسيمة كالتغطية أو إعادة الإنشاء . وعادة فإن القيمة النهائية لدليل مستوى الحالة تؤخذ 2.5 للطرق الرئيسية وتؤخذ 2.0 للطرق المحلية والثانوية . بينما القيمة الابتدائية لدليل مستوى حالة الرصف بعد الانتهاء من تنفيذ الرصف مباشرة تتراوح قيمتها بين 4.2إلى 4.5تبعاً لجودة التنفيذ .

جدول رقم (25) : معامل طبقة الخلطة الأسفلتية (a1) المقابل لمعامل مرونة الطبقة الأسفلتية عند درجة حرارة ˚20 م

معامل المرونة (رطل / بوصة 2)	ثبات مارشال (رطل)	معامل قوة الطبقة الأسفلتية	التماسك Hveem
125.000	500	0.22	80
150000	750	0.25	95
200000	975	0.30	120
250000	1200	0.33	130
300000	1400	0.36	155
350000	1600	0.39	175
400000	1900	0.42	190

جدول رقم (26) قيم المعاملات m2 , m3 للقدرة على التصريف من طبقتي تحت الأساس والأساس .

كفاءة التصريف	مناطق صحراوية	المناطق الزراعية
جيدة	1.25 – 1.15	1.0
ضعيفة	1.05 – 0.80	0.60

جدول رقم (27) معامل الطبقة لكل من طبقتي تحت الأساس (a3) والأساس الحصوية (a2) المقابل لمقدار نسبة تحمل كاليفورنيا للطبقة وكذلك معاملات الرجوعية (Mr)

نسبة تحمل كاليفورنيا (CBR)	معامل قوة تحت الأساس (a3)	Mr رطل / بوصة	2 معامل قوة الأساس (a2)	Mr رطل / بوصة 2
20	0.095	13000	-	-
25	0.100	13500	-	-
30	0.11	14500	-	-
40	0.120	16000	0.105	21000
55	0.125	17500	0.120	25000
70	-	-	0.130	27000
100	-	-	0.140	30000

15 - 2 - 3 الرقم الإنشائي (SN).

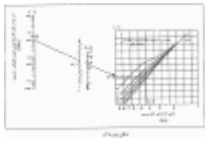
وهو عبارة عن رقم دليلي ناتج من تحليل المرور وتربة التأسيس والقدرة على تصريف المياه من الطبقات والذي يمكن تحويله إلى سمك الطبقات المختلفة لطبقات الرصف المرن عن طريق استخدام معاملات الطبقات والتي تعتمد على أنواع المواد المستخدمة في طبقات الرصف المختلفة ومعامل الطبقة يعرف برمز a1 , a2 , a3 لطبقات السطح والأساس وتحت الأساس على الترتيب وهو عبارة عن العلاقة بين الرقم الإنشائي للرصف وسمك الطبقة بالبوصة وهو يمثل القدرة النسبية للمادة المستخدمة في كل طبقة من طبقات الرصف والتي تشارك في القوة الإنشائية لقطاع الرصف ككل ويتم توزيع الرقم الإنشائي (SN) كالآتي :

$$SN = a1\ t1 + a2\ m2\ t2 + a3\ m3\ t3$$

حيث t1, t2 , t3 هي سمك الطبقات المختلفة بينما m2 , m3 تمثل معاملات تصريف الأمطار من طبقتي الأساس و تحت الأساس على الترتيب ومعامل الطبقة لكل من طبقتي الأساس (a2) و تحت الأساس (a3) يمكن ربطهما مباشرة بنتائج اختبارات تحمل كاليفورنيا (CBR) والتي يتم إجراؤها تحت أسوأ الظروف المتوقعة في الموقع ويعتبر الغمر لمدة أربعة أيام لعينات هذه الاختبارات الممثل لظروف الطرق وذلك كما سبق ذكره في جدول رقم (27) حيث يوضح قيم هذه المعاملات المقابلة لمقدار نسبة تحمل كاليفورنيا لكل من الطبقتين أما معامل الطبقة السطحية الأسفلتية فيتم ربطه بمقدار معامل الرجوعية لها عند درجة حرارة 20° مئوية . يبين جدول (25) قيم هذا المعامل المقابل لقيم مختلفة من معامل المرونة أما المعاملات m2 , m3 والتي تعكس مقدرة طبقتي الأساس وتحت الأساس على تصريف الأمطار فيتم تقديرها على أساس سرعة تصريف المياه من الطبقة وعموماً يمكن القول إن درجة التصريف جيدة إذا تم التخلص من المياه خلال 24 ساعة أما إذا احتفظت الطبقة بالمياه لمدة شهر فتعتبر درجة التصريف ضعيفة وبناء على ذلك تكون قيم m2 , m3 لظروف التشغيل كما هو مبين بجدول رقم (26)

15 - 3 تحديد سمك طبقات الرصف .

الهدف من طريقة التصميم المستخدمة هو إيجاد طبقات رصف لها رقم إنشائي (SN) كافي لتحمل الأحمال التي يتعرض لها الطريق ويوضح الشكل رقم (34) المنحنيات المستخدمة في تصميم الرصف المرن وقد تم الحصول عليها من طريقة اتحاد مسئولي النقل والطرق الأمريكي AASHTO وذلك لقيمة معامل ثقة 95٪ وانحراف معياري 0.45 وتكون خطوات استخدام المنحنيات كالتالي :



1. يتم توقيع عدد مرات التكرار القياسية المفردة المكافئة على المحور (أ) ـ نقطة (1).
2. يتم توقيع معامل مرونة التربة التأسيسيه (Mr)على المحور (ب) (نقطة 2) ويتم توصيل النقطة (2) مع النقطة (1) حتى يتقاطع الخط الواصل بينهما مع محور (جـ) في نقطة (3).
3. يتم حساب الفرق بين مستوي الخدمة الابتدائي والنهائي (PSI) ومنه يتم تحديد المنحنى الذي يستخدم في التصميم (د) .
4. يتم رسم خط أفقي من نقطة (3) حتى يتقاطع مع المنحنى الذي له فرق مستوى الخدمة المحدد (PSI) المطلوبة في نقطة (4) .
5. من نقطة (د) يتم رسم خط رأسي يتقاطع مع المحور الأفقي للمنحني عند نقطة (5) التي تحدد قيمة الرقم الإنشائي لطبقات الرصف (SN3) .
6. يتم تكرار نفس الخطوات السابقة (من 1 إلى 5) باستخدام معامل المرونة الرجوعي لطبقة الأساس المساعد ويتم الحصول على الرقم الإنشائي (SN 2) .
7. يتم تكرار الخطوات السابقة (من 1 إلى 5) باستخدام معامل المرونة الرجوعي للأساس ويتم الحصول على الرقم الإنشائي (SN1) .
8. يتم استخدام العلاقات التالية للحصول على سمك طبقات الرصف المختلفة .

$$t1 = \frac{SN1}{\text{سمك الطبقة السطحية (بالبوصة) =}}$$

$$\text{سمك طبقة الأساس (بالبوصة)} = t = \frac{SN2 - a1\ t1}{a2\ m2}$$

$$\text{سمك طبقة تحت الأساس (بالبوصة)} = t\ 3 = \frac{SN3 - a1\ t1 - a2\ t2\ m2}{a3\ m3}$$

(ملحوظة : يقرب سمك الطبقة إلى أقرب 1سم لأعلى قبل حساب السمك التالي)

15 - 3 - 1 أقل سمك لطبقات الرصف .

يبين جدول (28) أقل سمك مقترح لطبقات الرصف المختلفة المقابل لإجمالي عدد أحمال محورية قياسية مكافئة خلال العمر التصميمي للطريق .

جدول رقم (28) أقل سمك للقطاعات النمطية المقترحة لدرجات الطرق المختلفة

نوع طبقة التأسيس	القطاعات النموذجية للطرق المحلية	القطاعات النموذجية للطرق التجميعية الحضرية والطرق الفرعية الثانوية المحلية الخلوية	القطاعات النموذجية للطرق الشريانية والخلوية الرئيسية
طبقة التأسيس ممتازة (نسبة تحمل كاليفورنيا > 9٪)	5 سم طبقة سطحية 15 سم طبقة أساس	5 سم طبقة سطحية 5 سم طبقة أساس أسفلتي 20 سم طبقة أساس	5 سم طبقة سطحية 5 سم طبقة أساس أسفلتي 25 سم طبقة أساس
طبقة التأسيس متوسطة (نسبة تحمل كاليفورنيا 5-9٪)	5 سم طبقة سطحية 15 سم طبقة أساس	5 سم طبقة سطحية 5 سم طبقة أساس أسفلتي 25 سم طبقة أساس	5 سم طبقة سطحية 5 سم طبقة أساس أسفلتي 30 سم طبقة أساس
طبقة التأسيس ضعيفة (نسبة تحمل كاليفورنيا 2-5 ٪)	5 سم طبقة سطحية 30 سم طبقة أساس	5 سم طبقة سطحية 5 سم طبقة أساس أسفلتي 30 سم طبقة أساس	5 سم طبقة سطحية 7 سم طبقة أساس أسفلتي 35 سم طبقة أساس

15 - 4 مثال لتصميم الرصف المرن :

طريق رئيسي حضري مكون من 3 حارات والفترة التصميمة 15 سنة ، متوسط حجم المرور اليومي 2000 مركبة / يوم ومعامل النمو السنوي 2٪ . نسبة مركبات النقل على الطريق موزعة حسب الجدول التالي :

م	نوع المركبة	عدد المحاور	أحمال المحاور (طن)				النسبة
			محور 1	محور 2	محور 3	محور 4	
1	نقل خفيف	2	2 (مفرد)	4 (مفرد)	-	-	20٪

وذلك في حالة الطريق يقع في منطقة ساحلية نسبة تحمل كاليفورنيا لطبقة التأسيس 4 ٪ مع الأخذ في الاعتبار أن نوعية المواد التي يمكن استخدامها في إنشاء هذا الطريق هي :

1.طبقة أساس مساعد من الأحجار الجيرية نسبة تحمل كاليفورنيا 55 ٪

2.طبقة أساس من الأحجار الجيرية نسبة تحمل كاليفورنيا 70 ٪ .
3.معامل الرجوعية للطبقة الأسفلتية = 400000 رطل / بوصة مربعة .

تصميم الطريق :

1 ـ باستخدام الجدول رقم (22) الخاص بمعاملات الحمل المكافئ نجد أن المعاملات للمحاور المستخدمة كالآتي :

المحور (طن)	2 (مفرد)	4 (مفرد)
معامل الحمل المكافئ	0.0033	0.052

تحسب الأحمال المكافئة لأنواع السيارات المختلفة بمعلومية حجم المرور ونسبة المركبات ومعامل الحمل المكافئ كالآتي :

$$\text{الأحمال المكافئة للنقل الخفيف} = \frac{20 \times 2000}{100} \left(\frac{}{(0.052 + 0.0033)} \right) = 22$$

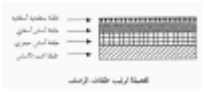
المتوسط اليومي للأحمال المكافئة = 22
بمعلومية الفترة التصميمة 15 سنة ومعامل النمو السنوي 2٪
من جدول رقم (24) نجد أن معامل النمو 17.95 كما أن نسبة مركبات النقل في الحارة التصميمية لعدد 4 حارات هي 45٪ (جدول رقم (23)) .
وبذلك يمكن حساب إجمالي الأحمال المكافئة = 22 × 17.95×0.45×365
= 64862.325
2 – معاملات الطبقات .
أ ـ الطبقة السطحية .
باستخدام جدول رقم (25) بمعلومية معامل الرجوعية للطبقة الأسفلتية
a1 = 0.42
ب ـ طبقة تحت الأساس
باستخدام جدول رقم (27) نسبة تحمل كاليفورنيا = 55 ٪ .
a3 = 0.125 معامل الرجوعية Mr = 17500 رطل / بوصة 2
جـ ـ طبقة الأساس
باستخدام جدول رقم (27) نسبة تحمل كاليفورنيا = 70 ٪ .
a2 = 0.130 معامل الرجوعية Mr = 27000 رطل / بوصة 2
3 ـ تصميم طبقات الرصف في حالة الطريق يقع بمنطقة ساحلية
معامل الرجوعية للتربة التأسيسية = CBR × 1500
= 1500 × 4 = 6000 رطل / بوصة 2باستخدام الشكل رقم (31) وبمعلومية دليل مستوي الخدمة الابتدائي 2.5 والنهائي 4.5نجد أن :
SN3 = للتربة التأسيسيه = 2.70
SN2 = لطبقة تحت الأساس = 2.00
SN1 = لطبقة الأساس الحجري = 1.75
ويكون تصميم الأسماك كالتالي :

$$\text{سمك الطبقة الأسفلتية } t1 = \frac{1.75}{0.42} = 4.16'' = 10.57\text{سم} = 11 \text{ سم}$$

$$\text{سمك الطبقة الأساس } t2 = \frac{(4.16 \times 0.42) - 2}{0.13} = 1.4'' \text{الحد الأدنى } 4'' = 10\text{سم}$$

سمك الطبقة تحت الأساس t3 = $\frac{2.7-(4\times0.130\times1)-0.42}{4.16} \times 0.125$ =3.46= 4˝ =10سم

يمكن استخدام 5 سم طبقة سطحية أسفلتية 7 سم طبقة أساس أسفلتي و 10سم أساس حجري و 10 سم طبقة تحت الأساس.

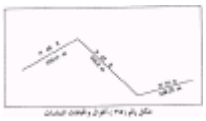


الملحق:

مثال عملي لتصميم طريق

طريق تجميعي سرعته التصميمية 60 كم / ساعة وعرض الطريق الكلي 20 متراً وموضح في شكل رقم (35) أطوال واتجاهات المماسات والمطلوب ما يلي:

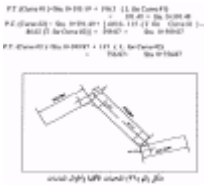
أ ـ إيجاد أنصاف أقطار المنحنيات الأفقية.
ب ـ تحديد النقاط الرئيسية للمنحنيات الأفقية.
جـ ـ تحديد أرقام المحطات
د ـ إيجـاد أطـوال المنحنيات الرأسيــة .
هـ ـ عمل القطـاع الطولي والقطاعـات العرضيـة للطريـق .



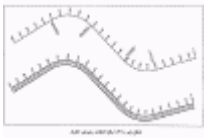
بالتعويض في المعادلة رقم (3) عن طريق سرعة تصميمية 60 كم/ساعة والمعامل e حوالي 4 % والمعامل f حوالي 0.15ينتج اقل طول منحنى أفقي 149.19 م . فيكون نصف القطر حوالي 150 متراً .

حساب النقاط الرئيسية للمنحنيات

P.C. (Curve # 1) 310.19	115.00
طول المماس	ـــــــــ
	-
Sta. 0+195.19	195.19



ويوضح شكل رقم (37) مسار الطريق والمحطات المطلوبة.



المنحنيات الرأسية للطريق

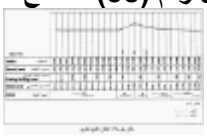
يتم حساب المنحنيات الرأسية حسب الفرق المطلق بين الميول الطولية عند المحطة (0+400) (+4%) والمحطة (0+520) وهو (- 3 %) ويتم إيجاد طول المنحنى الرأسي وتستخدم المعادلة رقم (1)

L = Kc x A

من جدول رقم (8) بدلالة السرعة التصميمية 60 كم /ساعة ينتج قيمة c K = 18

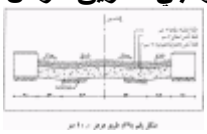
طول المنحنى = 18 126 = {(-3) - (+4) } X متر . تعطي الجداول غالبا أقل قيمة لذا يفضل أخذ قيم أكبر في حالة إتاحة الفرصة لذلك وفي هذه الحالة يتم أخذ منحنى رأسي طوله 160 متراً .

يوضح شكل رقم (38) القطاع الطولي للطريق .

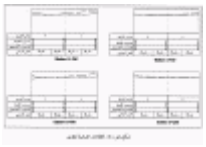


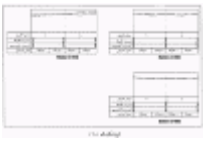
القطاعات العرضية للطريق

(1) القطاع العرضي النموذجي للطريق عرض 20 متر انظر شكل رقم (39)



(2) القطاعات العرضية التصميمية للطريق كل 100 متر (أنظر شكل رقم (40))





المراجع :

1. دليل تصميم الطرق ـ كتاب تصميم الطرق 1-2 ، 2-2 (وزارة المواصلات)
2. التصميم الهندسي للطرق (الهيئة العامة للطرق والكباري ـ وزارة النقل)
3. هندسة الطرق (ترجمة للطبعة الثالثة الإنجليزية) كلاركسن هـ أوجلسي
4. A POLICY ON GEOMETRIC DESIGN OF HIGHWAYS AND STREETS 1994 (AASHTO)

ملحوظة

لتكبير الصور الرجاء النقر عليها