الجماهيرية العربية الليبية الشعبية الاشتراكية العظمى

اللجنة الشعبية العامة للمواصلات والنقل

مصلحة الطرق والجسور

دليل معايير التصاميم الهندسية لشبكة الطرق

(مسودة)

هانيبال 2010

العمران الهندسي للإستشارات والمساند الفني

مركز الإستشارات الهندسية
(سجدي وشركاه)

cec
Sajdi & Partners
سجـــدي وشركـــــاه

دليل معايير التصاميم الهندسية لشبكة الطرق

Road Design Manual

جدول المحتويات

الموضوع **الصفحة**

الفصل الأول – وظائف الطرق

1-1 الأنظمة والتصنيفات 1-1

1-2 مفهوم التصنيف الوظيفي 1-1

1-3 العلاقات الوظيفية 2-1

1-4 تعريف المناطق الخلوية والحضرية 4-1

1-5 التصنيف الوظيفي للطرق الخلوية 4-1

1-5-1 الطرق الخلوية الشريانية الرئيسية 5-1

1-5-2 الطرق الشريانية الثانوية 5-1

1-5-3 الطرق الخلوية التجميعية 5-1

1-5-3-1 الطرق التجميعية الرئيسية 5-1

1-5-3-2 الطرق الخلوية التجميعية الثانوية 6-1

1-5-4 الطرق الخلوية المحلية 6-1

1-5-5 نسبة أطوال مختلف أنواع الطرق الخلوية 6-1

1-6 التصنيف الوظيفي للطرق الحضرية 6-1

1-6-1 الطرق الحضرية الشريانية الرئيسية 7-1

1-6-2 الطرق الحضرية الشريانية الثانوية 7-1

1-6-3 الطرق الحضرية التجميعية 8-1

1-6-4 الطرق الحضرية المحلية 8-1

1-6-5 نسب أطوال مختلف أنواع الطرق الحضرية 8-1

1-7 استخدام التصنيف الوظيفي كأداة تصميمية 9-1

1-8 الطريق السريع (الحر) 9-1

الفصل الثاني – ضوابط ومعايير التصميم

2-1 المركبات التصميمية 1-2

2-2 أبعاد وأنصاف أقطار الدوران الدنيا للمركبات 4-2

2-3 أداء المركبات 26-2

2-4 التلوث الناجم عن حركة السيارات 27-2

2-5 سلوك السائق 28-2

2-5-1 مقدمة 28-2

2-5-2 زمن الاستقبال ورد فعل السائق 28-2

2-5-3 السائق وأخطاء السائقين 28-2

الفصل الثالث – خصائص المرور

3–1 اعتبارات عامة 3–1

3–2 حجم المرور 3–1

3–2–1 معدل حجم المرور اليومي 3–1

3–2–2 حجم المرور في ساعة الذروة 3–2

3–3 التوزيع الاتجاهي 3–6

3–4 مكونات المرور 3–7

3–5 متطلبات التنبؤ بالمرور المستقبلي..... 3–8

3–6 السرعة 3–9

3–6–1 لسرعة التشغيلية 3–9

3–6–2 سرعة الجريان 3–10

3–6–3 السرعة التصميمية 3–10

3–7 علاقات التدفق المروري 3–11

3–8 سعة الطريق..... 3–13

3–8–1 خصائص عامة 3–13

3–8–2 تطبيق 3–13

3–8–3 السعة كمعيار للتصميم 3–14

3–8–3-1 العلاقة بين معدل التدفق التخديمي التصميمي والحجم المروري..... 3–14

3–8–3-2 معايير الازدحام المروري 3–15

3–8–3-3 العلاقة بين الازدحام ومعدل التدفق المروري..... 3–16

3–8–3-4 درجات الازدحام المروري المقبولة 3–16

3–8–3-5 مبادئ اختيار درجات الازدحام المروري المقبولة 3–17

3–8–3-6 التوفيق بين مبادئ اختيار درجات الازدحام المروري المقبولة 3–19

3–8–4 العوامل الأخرى التي تؤثر على شروط التشغيل (عدا حجم المرور) 3–20

3–8–4-1 عوامل الطرق 3–20

3–8–4-2 المسار 3–21

3–8–4-3 أقسام التماوج 3–21

3–8–4-4 أطراف الرامبات 3–21

3–8–4-5 عوامل المرور 3–22

3–8–4-6 عامل ساعة الذروة 3–22

3–8–5 مستوى الخدمة 3-23

3–8–6 معدلات تدفق الخدمة التصميمي 3-24

3–8–6-1 قطاعات التماوج..... 3–24

3–8–6-2 الطرق متعددة المسارب غير مضبوطة المداخل 3–26

3–8–6-3 الشوارع الشريانية والطرق الحضرية 3–26

3-8-6-4 التقاطعات 3-26
3-9 المشاة..... 3-26
3-9-1 اعتبارات عامة 3-26
3-9-2 خصائص عامة 3-27
3-9-3 سرعات المشي 3-28
3-9-4 سعة ممرات المشاة 3-29
3-9-4-1 الأرصفة 3-29
3-9-4-2 التقاطعات 3-30
3-9-4-3 تقليل التعارضات بين المشاة والمركبات 3-30
3-10 ممرات الدراجات 3-31

الفصل الرابع – عناصر التصميم

4-1 مسافة الرؤية..... 4-1
4-1-1 اعتبارات عامة 4-1
4-1-2 مسافة الرؤية للتوقف 4-1
4-1-2-1 زمن رد فعل الفرملة 4-2
4-1-2-2 مسافة الفرملة 4-2
4-1-2-3 القيم التصميمية..... 4-3
4-1-2-4 تأثير الميل الطولي على مسافة التوقف 4-4
4-1-3 مسافة الرؤية للقرار 4-4
4-1-4 مسافة الرؤية للتجاوز على الطرق ذات مسربي مرور في الاتجاهين 4-6
4-1-4-1 القيم التصميمية 4-10
4-1-5 مسافة الرؤية للتوقف للطرق متعددة المسارب 4-11
4-1-6 معايير قياس مسافة الرؤية 4-11
4-1-6-1 ارتفاع عين السائق عن سطح الطريق..... 4-11
4-1-6-2 ارتفاع العائق (العقبة) 4-12
4-1-6-3 عوائق الرؤية 4-12
4-1-6-4 قياس وتسجيل مسافة الرؤية على المساقط 4-13
4-2 التخطيط الافقي 4-15
4-2-1 اعتبارات نظرية..... 4-15
4-2-2 اعتبارات عامة 4-16
4-2-2-1 التعلية الأفقية (الجانبية)..... 4-16
4-2-2-2 عامل الاحتكاك الجانبي..... 4-17
4-2-2-3 توزيع قيم e و f على المنحنيات 4-18
4-2-3 الاعتبارات التصميمية 4-21
4-2-3-1 القيم العظمى لمعدلات التعلية الأفقية..... 4-21

4-2-3-2 أنصاف الأقطار الدنيا 4-22
4-2-3-3 تصميم الطرق الخلوية والطرق الحضرية الحرة والشوارع الحضرية عالية السرعة 4-22
4-2-3-4 جداول التعلية الأفقية التصميمية 4-23
4-2-3-5 تأثير الميول الطولية 4-23
4-2-4 المنحنيات الانتقالية (الحلزونية) 4-31
4-2-4-1 معادلة الكلوتوئيد 4-31
4-2-4-2 معادلات حساب العناصر الأساسية للكلوتوئيد 4-32
4-2-4-3 إعتبارات عامة 4-34
4-2-4-4 حالة الانتقال من الاستقامة إلى المنحنى الدائري 4-35
4-2-4-4-1 الحد الأدنى للطول الداخلي من أجل تغيير التعلية الأفقية 4-35
4-2-4-4-2 الحد الأدنى للطول الخارجي 4-37
4-2-4-4-3 تحديد وضعية المسافة الداخلية للتعلية الأفقية في حال عدم وجود منحنى انتقالي 4-39
4-2-4-4-4 تحديد وضعية المسافة الداخلية للتعلية الأفقية في حال عدم وجود منحنى انتقالي 4-41
4-2-4-4-5 القيم القصوى للتعلية الأفقية عند استخدام منحنى وصل حلزوني 4-41
4-2-4-4-6 مزايا المنحنى الإنتقالي الحلزوني 4-41
4-2-4-4-7 طول المنحنى الحلزوني 4-43
4-2-4-4-8 نصف القطر الأقصى لاستخدام المنحنى الحلزوني 4-43
4-2-4-4-9 الطول المفضل للمنحنى الإنتقالي الحلزوني 4-44
4-2-4-4-10 طرق تحقيق التعلية الأفقية 4-44
4-2-4-4-11 محور الدوران بوجود جزيرة وسطية 4-47
4-2-4-4-12 الميل الإنتقالي الأدنى 4-47
4-2-4-5 تصميم الشوارع الحضرية ذات السرعات المنخفضة 4-48
4-2-4-6 السرعة القصوى المريحة على المنحنيات الأفقية 4-49
4-2-4-7 الطول اللازم لتغيير المقطع العرضي للطريق عند التعلية الأفقية 4-50
4-2-4-8 أنصاف الأقطار الدنيا والأطوال الدنيا لمسافة الداخلية للتعلية الافقية من أجل قيم حدية لـــ e و f. 4-52
4-2-5 مقدار الانحناء عند المنعطفات والتقاطعات ذات مستو واحد 4-52
4-2-5-1 أنصاف الأقطار الدنيا للانعطاف للسرعات التصميمية 4-52
4-2-5-2 المنحنيات الانتقالية والمنحنيات المركبة 4-55
4-2-5-3 أطوال المنحنيات الانتقالية 4-55
4-2-5-4 المنحنيات الدائرية المركبة 4-56
4-2-6 تعريض مسارب المرور عند المنحنيات الأفقية 4-57
4-2-6-1 القيم التصميمية لتعريض مسارب الطريق: 4-60
4-2-6-2 كيفية تحقيق التعريض عند المنحنيات 4-62
4-2-6-3 عرض طرق الالتفاف على التقاطعات بمستو واحد 4-62
4-2-6-4 القيم التصميمية 4-63
4-2-7 مسافة الرؤية على المنحنيات الأفقية 4-67

4-2-7-1 مسافة الرؤية للتوقف 4-67
4-2-7-2 مسافة الرؤية للتجاوز 4-69
4-2-8 اشتراطات ونصائح عامة في التخطيط الأفقي للطرق: 4-70
4-3 التخطيط الرأسي (تصميم المقطع الطولي) 4-71
4-3-1 التضاريس 4-71
4-3-2 الميول الطولية 4-71
4-3-2-1 تأثير الخواص التشغيلية للسيارات على الميول الطولية 4-71
4-3-2-2 معايير الميول الطولية الحدية في التصميم 4-75
4-3-2-3 الأطوال الحدية للميول 4-75
4-3-3 مسارب التسلق 4-79
4-3-3-1 مسارب التسلق لطريق ذو مسربي مرور في الاتجاهين 4-79
4-3-3-2 مسارب التسلق على الطرق الحرة والطرق متعددة مسارب المرور 4-84
4-3-4 المنحنيات الرأسية 4-86
4-3-4-1 اعتبارات عامة 4-86
4-3-4-2 منحنيات القمة الرأسية 4-87
4-3-4-3 منحنيات القاع الرأسية 4-92
4-4 التنسيق بين التخطيط الأفقي والرأسي 4-95
4-4-1 معايير عامة في التصميم 4-95
4-4-2 تنسيق أعمال التخطيط عند التصميم 4-97

الفصل الخامس – عناصر المقطع العرضي

5-1 عموميات 5-1
5-2 الرصفة 5-2
5-2-1 نوع طبقة سطح الرصفة 5-2
5-2-2 الميول العرضية 5-3
5-2-3 مقاومة الانزلاق 5-6
5-3 عرض المسارب 5-7
5-4 الأكتاف الجانبية 5-8
5-4-1 خواص عامة 5-8
5-4-2 عرض الأكتاف 5-10
5-4-3 المقاطع العرضية للأكتاف 5-10
5-4-4 ثبات الأكتاف 5-11
5-4-5 الأكتاف المتمايزة 5-12
5-5 المسافة الأفقية الخالية من العوائق 5-13
5-6 الأطاريف 5-13
5-6-1 اعتبارات عامة 5-13

5-6-2 أشكال الأطاريف 5-14
5-6-3 مواقع الأطاريف 5-16
5-7 خنادق (قنوات) التصريف الجانبية وميول منحدرات الطابق الترابي 5-16
5-7-1 اعتبارات عامة 5-16
5-7-2 خنادق التصريف 5-17
5-7-3 الميول الجانبية 5-18
5-8 حواجز الأمان 5-20
5-8-1 اعتبارات عامة 5-20
5-9 الجزر الوسطية 5-21
5-10 مواقف المركبات في الشوارع 5-23
5-11 أنماط المقاطع العرضية للطرق الخلوية والحضرية 5-26
5-11-1 أنماط المقاطع العرضية الخلوية 5-26
5-11-2 أنماط المقاطع العرضية الحضرية 5-32

الفصل السادس – أعمال تصريف المياه عن الطرق

6-1 المقدمة 6-1
6-2 الأمطار 6-2
6-2-1 حساب معدل الهطول فوق مساحة معينة 6-2
6-2-1-1 طريقة المتوسط الحسابي 6-2
6-2-1-2 طريقة مضلع تيسن 6-2
6-2-1-3 طريقة خطوط تساوي الهطول المطري 6-3
6-2-2 العلاقة بين الشدة المطرية –الديمومة –التكرار 6-6
6-3 الجريان 6-8
6-4 أنواع المجاري المائية 6-8
6-5 زمن التركيز 6-8
6-5-1 معادلة Manning لحساب معدل سرعة الجريان وزمن الرحلة عبر كل فرع 6-9
6-5-2 معادلة Kirpich 6-10
6-5-3 معادلة Kerby - Hathaway 6-10
6-5-4 علاقة جياندوتي 6-11
6-5-5 معادلة Soil Conservation Service (SCS) lag formula 6-11
6-5-6 معادلة Federal Aviation Agency Equation 6-11
6-5-7 طريقة السرعة 6-12
6-6 مساحة الحوض الصباب 6-13
6-7 الطرق المعتمدة في تحليل العواصف المطرية 6-13
6-7-1 الطرق المحددة 6-13
6-7-2 الطرق الإحصائية 6-14

6-8 حساب التصاريف القصوى (الأعظمية) 6-14
6-8-1 الطريقة العقلانية 6-14
6-8-2 طريقة أرقام المنحنيات (*SCS*) 6-16
6-8-3 الهيدروغراف 6-21
6-8-3-1 وحدة الهيدروغراف Unit Hydrograph 6-21
6-8-3-2 الهيدروغراف القياسي المصطنع 6-22
6-8-3-3 الهيدروغراف القياسي المصطنع لسنايدر 6-23
6-8-3-4 الهيدروغراف القياسي اللابعدي 6-26
6-9 الجريان في القنوات 6-28
6-9-1 الجريان في أنابيب تصريف مياه الأمطار 6-28
6-10 منشآت تصريف المياه عند التقاطع مع الطرق 6-29
6-10-1 مقدمة 6-29
6-10-2 تصميم العبارات 6-29
6-10-3 التحليل الهندسي 6-30
6-10-4 شروط تصميمية 6-30
6-10-5 التدفق التصميمي 6-31
6-10-5-1 عمق الماء عند مدخل العبارة 6-31
6-10-5-2 عمق الماء عند مخرج العبارة 6-32
6-10-6 سرعة الجريان ضمن العبارة 6-32
6-10-7 سرعة الجريان عند مخرج العبارة 6-32
6-10-8 أشكال الجريان في العبارة 6-33
6-10-9 الدراسة الهيدروليكية للعبارة – التحكم الأمامي 6-35
6-10-9-1 حساب عمق الماء الأمامي لحالة مقطع التحكم الأمامي 6-35
6-10-9-2 تحديد عمق الماء الأمامي 6-35
6-10-9-3 تحديد ارتفاع العبارة 6-36
6-10-9-4 تحديد التصريف 6-36
المراجع .....

الفصل الأول

وظائف الطرق HIGHWAY FUNCTIONS

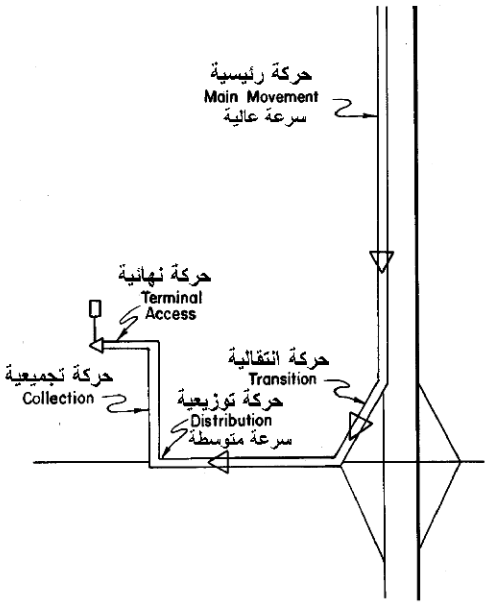
1-1 الأنظمة والتصنيفات Systems and Classifications

إن تصنيف الطرق وفق أنظمة تشغيلية ودرجات وظيفية أو نماذج هندسية ضروري جداً من أجل التواصل بين المهندسين والإداريين ومستخدمي الطرق. وقد تم اقتراح تصنيفات مختلفة من أجل أغراض متعددة لمختلف أنواع الطرق الخلوية والحضرية. إن تصنيف الطرق الذي ينطلق من نماذج تصميمية تأخذ بعين الاعتبار الميزات الهندسية الأساسية (مثلاً الطرق الحرة أو الطرق الخلوية والشوارع ضمن المدن) هي الأكثر استخداماً وفائدة. أما التصنيف حسب ترقيم الطرق، مثلاً الطرق على نطاق الدولة أو الطرق ضمن الشعبيات هي أكثر فائدة لإدارة عمليات التشغيل المرورية. أما التصنيف الإداري فتدل على درجة مسؤولية الحكومة المركزية أو اللجنة الشعبية عنها وطرق تمويلها والتسهيلات التي تتضمنها. أما التصانيف الوظيفية حسب نوع الخدمة التي يؤديها الطريق فقد تم تطويرها لأغرض تخطيط النقل، والذي يعد أساس التطوير الاقتصادي والاجتماعي، حيث يستخدم التصنيف الوظيفي كأداة تخطيطية هامة.

2-1 مفهوم التصنيف الوظيفي The Concept of Functional Classification

بُني هذا التصنيف على أساس مجموعة من حركات النقل، والتي تتضمن المراحل الست المعتادة لمعظم الرحلات: الحركة الرئيسية، الحركة التحويلية، الحركة التوزيعية، الحركة التجميعية، الحركة الفرعية، ومن ثم الحركة النهائية. ويبين الشكل (1-1) رحلة افتراضية على منظومة طرق تبدأ من الطرق الحرة (Freeway) حيث حركة المركبات عليه تسير بدون انقطاع وبسرعة عالية. وعند الوصول إلى قرب الهدف تقوم المركبات بتخفيض سرعتها على رامبات (Ramps) التقاطعات المقامة على الطرق الحرة والتي تعمل كطرق انتقالية. وبعد ذلك تدخل المركبات بسرعة متوسطة إلى طريق شرياني (Arterial) أو توزيعي (Distributor) مقتربة من جوار الهدف من الرحلة، ثم تدخل في طريق تجميعي (Collector) مخترقة الجوار وأخيراً تدخل المركبات في الطرق المحلية المؤدية إلى مكان السكن أو أي نقطة أخرى، وعند الوصول إلى الهدف يتم ركنها في موقف مناسب للسيارات.

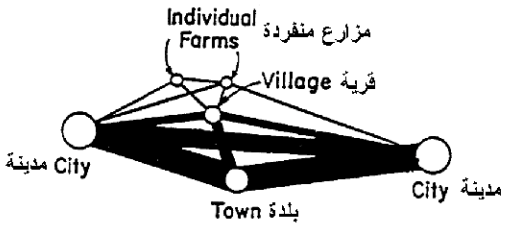
ويتم التعامل مع كل واحدة من هذه الحركات الست تصميماً بشكل يتناسب مع وظيفتها . وبما أن التسلسل الهرمي للحركة يعتمد على حجم المرور الإجمالي، ويكون أعلى حجم مروري على الطرق الحرة يليها الطرق الشريانية والتوزيعية ومن ثم الطرق التجميعية والمحلية.



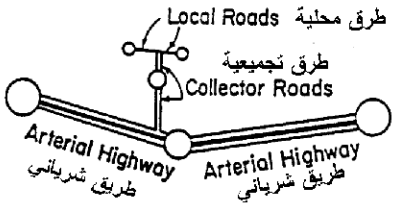
الشكل (1-1) التسلسل الهرمي للحركة

3-1 العلاقات الوظيفية Functional Relationships

يهدف التصنيف الوظيفي إلى تقسيم الطرق الخلوية والحضرية إلى مجموعات حسب نوع الخدمة التي تؤديها كل مجموعة. ويوضح الشكل (1-2) هذه الفكرة الأساسية، حيث نرى من الشكل (1-2-أ) خطوط الرحلات المرغوبة على شكل مستقيمات تصل بين مصدر (منبع) الرحلات Origin ومقاصدها (مصباتها) Destination (الممثلة على شكل دوائر). وتعبّر سماكة المستقيمات عن كثافة المرور على كل خط، كما يعبر حجم المرور عن حجم الرحلات النسبي الذي يقوم بتوليد وجذب الحركة في حين يدل حجم الدائرة على قدرة المركز على توليد الرحلات أو جذبها. وحيث أنه من غير العملي أن نقوم بإنشاء طريق مباشر لكل رحلة مطلوبة بين كافة الدوائر لذلك نلجأ إلى قنولة الرحلات بحيث نحصل على شبكة مختصرة من الطرق كما هو مبين من الشكل (1-2-ب).



(A) Desire Lines of Travel
(أ) خطوط الرحلات المرغوبة

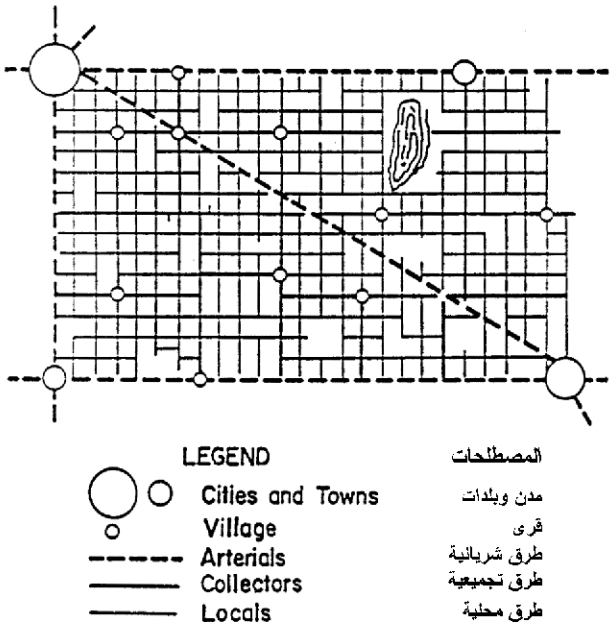


(B) Road Network Provided
(ب) شبكة الطرق الممكنة فنياً واقتصادياً

الشكل (1-2) قنولة الرحلات

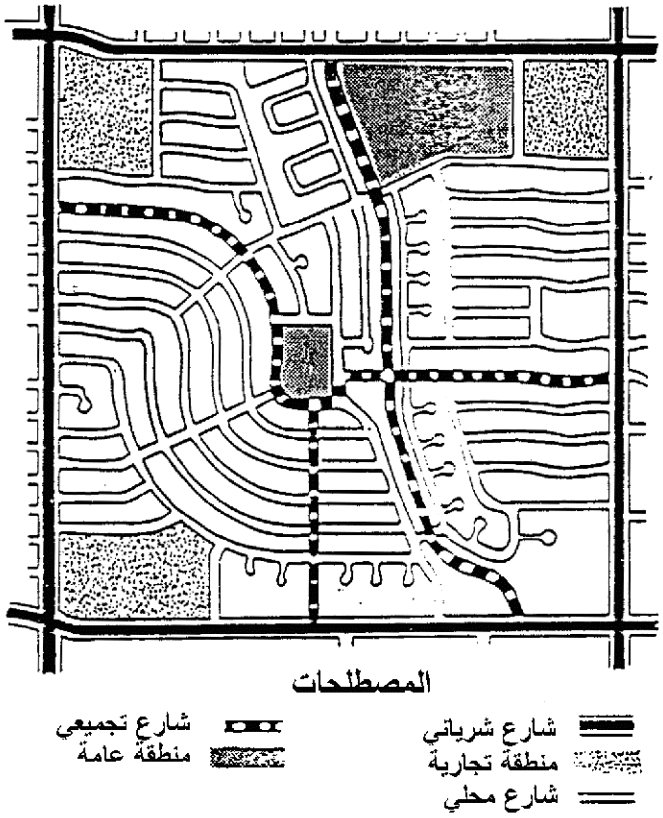
وبهذه الطريقة نقوم بتخديم حركة الرحلات الرئيسية الكثيفة بشكل مباشر، أما حركة الرحلات الثانوية والأقل كثافة فنقوم بتخديمها بشكل غير مباشر. وقد تم التعبير في الشكل (1-2) عن الطرق حسب وظيفتها (التصنيف الوظيفي) ابتداءاً من الطرق المحلية ثم التجميعية، ثم الشريانية.

ويعطي الشكل (1-3) توضيحاً أكبر لتصنيف الطرق الخلوية وظيفياً، حيث تقوم الطرق الشريانية بتخديم حركة النقل بين المدن والبلدات الكبيرة بشكل مباشر والتي تقوم عادة بتوليد وجذب الجزء الأكبر من الرحلات الطويلة نسبياً. أما الطرق المجمعة ذات الأهمية المتوسطة وظيفياً فتقوم بتخديم البلدات الصغيرة مباشرة واصلة إياها إلى شبكة الطرق الشريانية. وتجمع الطرق التجميعية المرور من الطرق المحلية التي تقوم بدورها بتخديم المزارع والقرى الصغيرة المنعزلة أو بالعكس ابتداء من الطرق الشريانية.



الشكل (1-3) مخطط توضيحي للعلاقة بين كافة أنواع الطرق الخلوية حسب تصنيفها الوظيفي

وبنفس الطريقة يمكن تطبيق المفهوم السابق لتصنيف الطرق الخلوية على تصنيف الطرق في الأماكن الحضرية ضمن المدينة (Urban) أو الضواحي (Suburban). ويوضح الشكل (1-4) التصنيف الوظيفي لشبكة طرق ضمن جزء من ضاحية سكنية.



الشكل (1-4) مخطط توضيحي لشبكة شوارع حضرية ضمن جزء من ضاحية سكنية

4-1 تعريف المناطق الخلوية والحضرية Definition of Urban and Rural Areas

تختلف المناطق الحضرية والخلوية في خصائصها بشكل جوهري فيما يتعلق بكثافة ونوع استخدامات الأراضي وكثافة شبكة الطرق في كل منهما وطبيعة الرحلات. ولذلك يتم تصميم شبكات الطرق الخلوية والحضرية كلاً على حدة.

وتعرف المناطق الحضرية بأنها الأماكن ضمن الحدود الإدارية لمدينة أو بلدة والتي تتبع إدارياً لشعبية أو منطقة ذات حكم محلي تديرها لجنة مؤتمر شعبي أساسي. وتقسم المناطق الحضرية بدورها إلى مناطق حضرية كبيرة ذات تعداد سكان أكثر من 50000 نسمة ومناطق حضرية صغيرة يتراوح عدد سكانها من 5000 – 50000 نسمة.

أما المناطق الخلوية فهي تلك المناطق التي تقع خارج الحدود الإدارية للمناطق الحضرية.

5-1 التصنيف الوظيفي للطرق الخلوية: Functional Systems for Rural Areas

تتألف الطرق الخلوية (التي تقع خارج حدود المناطق الحضرية) من الطرق الشريانية الرئيسية والطرق الشريانية الثانوية والطرق التجميعية الرئيسية والثانوية والطرق المحلية.

1-5-1 الطرق الخلوية الشريانية الرئيسية Rural Principal Arterial System

تتألف منظومة الطرق الخلوية الشريانية الرئيسية من شبكة الطرق التي تتمتع بالخواص التخديمية التالية:

1. تخديم حركة مرور ذات طول وكثافة عالية ضمن الشعبية أو بين الشعبيات.
2. تخديم الحركة بين كافة المناطق الحضرية ذات تعداد السكان الأكبر من 50000 نسمة، والعدد الأكبر من المناطق الحضرية ذات تعداد السكان من 25000–50000 نسمة.
3. تخديم الحركة الرئيسية إلى الحدود الدولية أو المدن الساحلية ذات الموانئ الهامة.

وتشمل الطرق الخلوية الشريانية الرئيسية الطرق الحرة Freeway وكافة الطرق الشريانية الأخرى.

2-5-1 الطرق الشريانية الثانوية Rural Minor Arterial System

تشكل الطرق الخلوية الشريانية الثانوية مع شبكة الطرق الخلوية الشريانية الرئيسية شبكة واحدة تتمتع بالخواص التخديمية التالية:

1. الوصل بين المدن والبلدات الكبيرة والأماكن التي ينجم عنها حركة مرور عالية (مثل المناطق الاصطيافية الكبيرة) والقادرة على جذب رحلات ذات مسافات طويلة نسبياً.
2. خدمة المرور ضمن الشعبيات أو المناطق.
3. تتواجد على مسافة مناسبة من المناطق السكنية ذات الكثافة السكانية العالية بحيث يمكن تخديم كافة المناطق الجاري تطويرها ضمن مسافة معقولة.
4. تخديم حركات المرور المشابهة لما ورد سابقاً ولكن مع رحلات ذات طول وكثافة أكبر مما تقوم به منظومة الطرق التجميعية والمحلية.

وهكذا فإن الطرق الشريانية الثانوية تشمل كافة الطرق التي يتم تصميمها لخدمة رحلات ذات سرعة عالية نسبياً وبأقل ما يمكن من التقاطعات مع المرور العابر.

3-5-1 الطرق الخلوية التجميعية Rural Collector Roads

تقوم الطرق الخلوية التجميعية بشكل عام بتخديم حركة المرور بين المناطق الإدارية ضمن الشعبية وتتألف من الطرق التي تكون فيها مسافة الرحلات أقصر مما هي للطرق الشريانية، وبالتالي تسود فيها السرعة المتوسطة (Moderate Speed). وتقسم الطرق الخلوية التجميعية إلى قسمين:

1-3-5-1 الطرق التجميعية الرئيسية Major Collector Roads

وهي الطرق التي تقوم بالوظائف التالية:

أ. تخديم المناطق غير الموجودة على أو بالقرب من الطرق الشريانية، والبلدات غير المخدمة مباشرة بشبكة طرق ذات صفة وظيفية أعلى، وكذلك المناطق التي ينجم عنها

حركة مرور مساوية بالأهمية للطرق بين المناطق ضمن الشعبية، مثل تجمع كبير للمنشآت التعليمية والمدارس ومراكز الشحن والمنتزهات القومية والمناجم والمناطق الزراعية.

ب. وصل المناطق المذكورة في الفقرة السابقة (أ) بالبلدات والمدن الكبيرة أو مع الطرق االشريانية.

ج. تخديم الرحلات الأكثر أهمية ضمن المناطق.

2-3-5-1 الطرق الخلوية التجميعية الثانوية Minor Collector Roads

وهي الطرق التي تقوم بالوظائف التالية:

أ. تقوم بتخديم الكثافات السكانية وتجميع حركة المرور من الطرق المحلية والوصول إلى كافة المناطق التنموية ضمن مسافات معقولة.

ب. تقديم الخدمات للتجمعات السكنية الأصغر حجماً.

ج. وصل المواقع والمعالم الجاذبة لحركة المرور مع شبكة الطرق.

4-5-1 الطرق الخلوية المحلية Rural Local System

تتميز الطرق الخلوية المحلية عن الطرق التجميعية والشريانية بشكل أساسي بأنها تقوم بتخديم الأراضي المجاورة مباشرة للطرق التجميعية كما تقوم بتخديم الرحلات القصيرة نسبياً. وينتمي إلى شبكة الطرق المحلية كل الطرق الخلوية غير المصنفة كطرق شريانية رئيسية أو ثانوية أو طرق تجميعية.

5-5-1 نسبة أطوال مختلف أنواع الطرق الخلوية

تختلف أطوال شبكة الطرق حسب تصنيفها الوظيفي السالف الذكر، ويبين الجدول (1-1) نموذجاً لتوزيع هذه الأطوال.

الجدول (1-1) التوزيع النموذجي لأطوال الطرق الخلوية حسب تصنيفها الوظيفي

النسبة المئوية من أطوال الشبكة الخلوية	التصنيف الوظيفي
2 – 4%	الطرق الشريانية الرئيسية
7 – 10 %	الطرق الشريانية الرئيسية والطرق الشريانية الثانوية
20 – 25%	الطرق التجميعية
65 – 75%	الطرق المحلية

6-1 التصنيف الوظيفي للطرق الحضرية Functional Highway Systems in Urbanized Areas

يتم تقسيم الطرق (الشوارع) الحضرية ضمن المناطق المأهولة إلى طرق (شوارع) حضرية شريانية رئيسية وطرق حضرية شريانية ثانوية و طرق حضرية تجميعية وطرق حضرية محلية.

1-6-1 الطرق الحضرية الشريانية الرئيسية Urban Principal Arterial System

في كل بيئة حضرية يوجد هناك مجموعة من الطرق والشوارع ذات طبيعة غير عادية من حيث حجم المرور الذي تقوم بتخديمه. إلا أنه في المدن الصغيرة التي لا يزيد عدد سكانها عن 50000 نسمة يكون حجم المرور متواضعاً في شدته. ويمكن أن تكون أهمية الطريق في هذه الحالة نابعة بشكل أساسي من تخديم المرور العابر. وتنبع أهمية الشوارع الشريانية الرئيسية من خدمتها للمرور المتجه إلى الطرق الخلوية وكذلك من خدمتها للمرور بالنسبة لحركات الدوران الرئيسية (Major Circulation Movements) ضمن المناطق الحضرية.

وتقوم الطرق الشريانية الرئيسية بتخديم كل المراكز الرئيسية للأنشطة في المناطق الحضرية وهي التي تخضع لأعلى حجم مروري وأطول مسافات للرحلات المرغوبة، كما تنقل الجزء الأكبر من الرحلات بالرغم من أنها تشكل نسبة بسيطة من الطول الكلي لشبكة الطرق. وتعتبر شبكة الطرق الشريانية الرئيسية شبكة الوصل والتكامل بين الشبكات الحضرية الأخرى وشبكة الطرق الخلوية الرئيسية.

تتمتع شبكة الطرق الحضرية الشريانية الرئيسية بالخواص التخديمية التالية:

1. تخديم معظم الرحلات التي تدخل إلى المناطق الحضرية أو تخرج منها،
2. تخديم معظم الحركات العابرة لمركز المدينة،
3. تخديم معظم الرحلات الداخلية التي تصل بين المراكز التجارية والمناطق السكنية وبين المراكز السكنية الداخلية الرئيسية والمراكز السكنية في الضواحي،
4. تخديم الجزء الأكبر من شبكة النقل الداخلية للباصات،
5. تؤمن هذه الطرق الاستمرارية لكل الطرق الخلوية الشريانية التي تصل إلى حدود المنطقة الحضرية.

وبسبب طبيعة الرحلات التي تقوم بتخديمها شبكة الطرق الشريانية الرئيسية الحضرية فإن معظم الشرايين ذات التحكم الكامل أو الجزئي تعتبر جزءاً منها. ولا يقتصر هذا النوع على الطرق ذات التحكم الكامل بالحركة، وإنما كافة الطرق ذات التحكم الجزئي بالحركة أو بدون تحكم وأيضاً الطرق الحرة.

ويعتمد التباعد بين الطرق الشريانية الرئيسية الحضرية بشكل رئيسي على كثافة مصبات الرحلات لبعض الأجزاء من المناطق الحضرية. وعلى الرغم من أنه لا توجد قاعدة عامة ثابتة كي يجري تطبيقها في معظم الحالات إلا أن المسافة بين الشرايين الرئيسية (في المناطق الحضرية الكبيرة) يمكن أن تكون أقل من 1.6 كم في المراكز التجارية عالية التطور وحتى 5 كم أو أكثر في المناطق الحضرية الأقل تطوراً والواقعة على أطراف المدينة.

2-6-1 الطرق الحضرية الشريانية الثانوية: Urban Minor Arterial Street System

تقوم الطرق الشريانية الحضرية الثانوية بالوصل ما بين الطرق الشريانية الرئيسية الحضرية. وهي تخدم الرحلات ذات الأطوال المتوسطة، بمستوى سرعة ومرونة حركية أقل نوعاً ما مما هو للطرق

الشريانية الرئيسية. وتقوم هذه الشبكة بإيصال الرحلات إلى المناطق الجغرافية ذات الحجوم الأقل مما هي للشبكة الرئيسية.

وتشمل الطرق الشريانية الحضرية الثانوية كل الطرق التي لم تصنف كشرايين رئيسية. وتؤمن هذه الشبكة استمرارية الحركة على المحاور الرئيسية للتجمعات السكنية دون أن تدخل في جوارها كما يمكن أن تتحرك عليها شبكة الباصات المحلية، وتصل هذه الشبكة مع شبكة الطرق الخلوية التجميعية. وتتراوح المسافات للطرق الشريانية الثانوية الحضرية من 0.2 –1 كم في المراكز التجارية وحتى 3–5 كم في أطراف المدينة ولكنها لا تزيد عادة عن 2 كم في المناطق عالية التطور.

3-6-1 الطرق الحضرية التجميعية: Urban Collector Street System

تقوم الطرق الحضرية التجميعية بخدمة حركة المرور الرئيسية ضمن التجمعات السكنية والتجارية والصناعية، كما تؤمن حركة الدوران ضمنها. وتختلف عن الطرق الشريانية من أنها تخترق المناطق السكنية والجوار لتوزيع الرحلات من الطرق الشريانية إلى قرب المقاصد النهائية للحركة. وعلى العكس أيضاً تقوم الطرق التجميعية بجمع الحركة من الطرق المحلية من المناطق السكنية المحيطة وصبها في الطرق الشريانية الرئيسية، ويمكن أن تستخدمها الباصات المحلية.

4-6-1 الطرق الحضرية المحلية: Urban Local Street System

ونقصد بالطرق الحضرية المحلية كل الطرق التي لا تشملها التصنيفات السابقة. وتسمح بشكل أساسي بالوصول المباشر إلى الأماكن المجاورة والوصل مع الشبكة ذات التصنيف الأعلى. وتتميز عادة بأقل مستوى من المرونة الحركية ولا تسمح بمرور باصات النقل عليها.

5-6-1 نسب أطوال مختلف أنواع الطرق الحضرية Length of Roadway and Travel on Urban Systems

يبين الجدول (1–2) التوزيع النموذجي لأطوال الطرق وحجوم الرحلات لكافة أنواع الطرق الحضرية بالنسب المئوية حسب تصنيفها الوظيفي.

الجدول (1–2) التوزيع النموذجي لأطوال الطرق الحضرية وحجوم الرحلات حسب تصنيفها الوظيفي

التصنيف الوظيفي للطرق الحضرية	المجـــــال	
	النسبة المئوية من حجوم الرحلات	النسبة المئوية من أطوال الشبكة
الطرق الشريانية الرئيسية	% 65 – 40	% 10 – 5
الطرق الشريانية الرئيسية والثانوية	% 80 – 65	% 25 – 15
الطرق التجميعية	% 10 – 5	% 10 – 5
الطرق المحلية	% 30 – 10	% 80 – 65

7-1 استخدام التصنيف الوظيفي كأداة تصميمية Functional Classification as a Design Type

يتعلق اختيار العناصر التصميمية ودرجة الخدمة بالتصنيف الوظيفي للطريق. أما حجم المرور فيأتي في الدرجة الثانية لغربلة العناصر التصميمية من أجل كل صنف وظيفي.

وحيث أن وظيفة الطرق الشريانية تأمين مستوى عالٍ للحركة للرحلات الطويلة فيجب أن تحقق سرعة تشغيلية ومستوى خدمة عاليين. وحيث أنه لا يقع ضمن وظيفتها الرئيسية خدمة المناطق المجاورة لذلك من المفضل أن يكون هناك نوع من التحكم الجزئي أو الكلي في الدخول إليها أو الخروج منها . أما الطرق التجميعية فلها هدف مزدوج وهو خدمة الرحلات الأقصر (المتوسطة) وتغذية الشرايين الرئيسية. ولذلك يجب أن تحقق المرونة الحركية وتخدم المناطق المجاورة، وأن تتميز بسرعة متوسطة ودرجة خدمة متوسطة. وتقوم الطرق المحلية سواءً كانت خلوية أم حضرية بتخديم الرحلات القصيرة نسبياً، لأن الوظيفة الرئيسية لها هي الوصول إلى الهدف من الرحلة (مكان السكن أو العمل أو التسوق أو الاستجمام أو الدراسة إلخ..)، لذلك فإن السرعة التشغيلية العالية ليست ضرورية وهو ما يعكس إقترانها بسرعة تصميمية ودرجة خدمة منخفضتين.

يعد التصنيف الوظيفي الخطوة الأولى في عملية التصميم من أجل معرفة الهدف من الطريق والخدمة التي سوف يؤديها. كما يجب تحديد درجة الخدمة اللازمة لتمرير الحجم المروري المطلوب من ناحية العدد الفعلي والمكافئ لكي نحصل على أقل كلفة للطريق (cost effective) عند اختيار السرعة التصميمية والعناصر الهندسية ضمن المجالات المتاحة للمهندس. ويؤدي استخدام التصنيف الوظيفي كنمط تصميمي إلى التكامل مع المخطط العام للنقل والطرق ضمن أي دولة.

8-1 الطريق السريع (الحر) : Freeway

يدخل الطريق السريع ضمن الأصناف التي أشرنا إليها سابقاً فهو طريق شرياني، ورئيسي شريطة أن تتخذ بحقه اجراءات محدده لجعله سريعا وهي:

1. أن تكون المنحنيات واسعة لتسمح بالسرعة العالية وتكون الانحدارات قليلة وتكون المسارب والأكتاف عريضة ومسافة الرؤية طويلة وحرم عريض للطريق (Right of way).
2. أن توضع حواجز وأسلاك على جوانبه لمنع دخول الناس والحيوانات والسيارات، إما بشكل قاسي بحيث يحدد الدخول من نقاط محددة (Very Limited Access) أو محدد الدخول والوصول بشكل جزئي (Partially Limited) أو مفتوح (Free Access).
3. أن تؤمن طرق جانبية للخدمة تتحرك عليها السيارات للوصول إلى الوجهة المقصودة حيث يتم الدخول والخروج إلى الطريق السريع من خلال مسارب تسارع ومسارب تباطؤ.
4. أن تكون أماكن الدخول والخروج غير متباعدة وغير قريبة والخروج من اليمين حتى ولو كانت الوجهة إلى اليسار.
5. إن الدخول أو الخروج من الطرق محددة الوصول يكون من خلال تقاطعات محددة ومدروسة كالتقاطعات التبادلية (Interchanges) والتقاطعات المفصولة وترتبط الطرق مع الجسور بواسطة الرامبات (Ramps) أو حارات الصعود والهبوط.
6. ان الطرق السريعة عالية التكاليف ولكن السعة الكبيرة والسرعة وقلة الحوادث تعوض ذلك.

الفصل الثاني

ضوابط ومعايير التصميم Design Controls and Criteria

1-2 المركبات التصميمية Design Vehicles

إن المعيار الأساسي في تصميم العناصر الهندسية للطريق هو الخواص الفيزيائية للمركبات الفعلية ذات الأنواع والأحجام والأشكال والأوزان المختلفة التي تستخدم الطرق. ولذلك كان من الضروري تدقيق كافة أنماط السيارات وتصنيفها ضمن فئات ذات أبعاد هندسية مميزة من أجل استخدامها في التصميم. وتمثل كل فئة من هذه الفئات سيارة نمطية تسمى بالمركبة التصميمية تتمتع بأبعاد فيزيائية وأنصاف أقطار دوران أصغرية أكبر من أي سيارة فعلية في فئتها. وتستخدم عادة المركبات التصميمية الأكبر حجماً في تصميم الطرق الحرة Freeway.

وقد تم تقسيم كافة أنواع المركبات التصميمية إلى أربع فئات هي:

1. سيارات الركوب وتشمل كافة أنواع السيارات السياحية من كافة الأحجام والسيارات الرياضية ومركبات نقل البضائع والأشخاص /النقل المشترك (القانات) الصغيرة والكبيرة وسيارات البيك آب.
2. الباصات وتشمل سيارات الباص المستخدمة ضمن المدن والباصات بين المدن وباصات المدارس والباصات المتمفصلة.
3. الشاحنات وتشمل الشاحنات الإفرادية ومجموعة القاطرات وأنصاف المقطورات وكذلك مجموعة القاطرات التي تجر ورائها أنصاف مقطورات ومقطورات.
4. سيارات الراحة والاستجمام وتشمل السيارات المنزلية والسيارات السياحية التي تجر وراءها مقطورة تخييم أو قارب أو سيارة منزلية تجر وراءها قارب. بالإضافة إلى ذلك الأخذ بعين الاعتبار الدراجة الهوائية كمركبة تصميمية عندما تكون حركتها مسموحة على الطريق.

ويبين الجدول (2-1) أبعاد 19 مركبة تصميمية تمثل كل منها فئة معينة من فئات السيارات الفعلية بالإضافة إلى أبعاد جرار زراعي نمطي مع مقطورة واحدة خلفية. وعند تصميم أي طريق يجب على المصمم أن يأخذ بعين الاعتبار أكبر مركبة يمكن أن تمر على هذا الطريق بأعداد كبيرة وكذلك المركبة التصميمية الملائمة لتقاطع معين مثلاً عند اختيار عناصر حدية كأنصاف أقطار المنحنيات الأفقية. كما يبين الجدول 2-2 أنصاف أقطار الدوران الدنيا لكافة أنواع المركبات التصميمية.

جدول (2-1) أبعاد المركبات التصميمية

نموذج المركبة التصميمي Design Vehicle Type	الرمز Symbol	Dimensions (m) الأبعاد (متر)											
		Overall الكلي			Overhang البروز		WB1	WB2	S	T	WB3	W B4	المسافة بين مركز تعليق المقطورة ومركز المحور الخلفي Typical Kingpin to Center of Rear Axle
		الارتفاع Height	العرض Width	الطول Length	الأمامي Front	الخلفي Rear							
Passenger Car سيارة ركوب صغيرة	P	1.3	2.1	5.8	0.9	1.5	3.4	–	–	–	–	–	–
Single Unit Truck شاحنة إفرادية	SU	3.4-4.1	2.4	9.2	1.2	1.8	6.1	–	–	–	–	–	–
Buses الباصات													
Inter-city Bus (Motor Coaches) باص مدينة داخلي	BUS-12	3.7	2.6	12.2	1.8	1.9	7.3	1.1	–	–	–	–	–
	BUS-14	3.7	2.6	13.7	1.8	2.6	8.1	1.2	–	–	–	–	–
City Transit Bus باص مدينة عابر	CITY-BUS	3.2	2.6	12.2	2.1	2.4	7.6	–	–	–	–	–	–
باص مدرسي تقليدي (65 راكب) Conventional School Bus	S-BUS 11	3.2	2.4	10.9	0.8	3.7	6.5	–	–	–	–	–	–
Large School Bus باص مدرسي كبير (84 راكب)	S-BUS 12	3.2	2.4	12.2	2.1	4	6.1	–	–	–	–	–	–
Articulated Bus باص متمفصل	A-BUS	3.4	2.6	18.3	2.6	3.1	6.7	5.9	1.9	4	–	–	–
Trucks الشاحنات													
Intermediate Semitrailer قاطرة ونصف مقطورة متوسطة	WB-12	4.1	2.4	13.9	0.9	0.8	3.8	8.4	–	–	–	–	8.4
Intermediate Semitrailer قاطرة ونصف مقطورة متوسطة	WB-15	4.1	2.6	16.8	0.9	0.6	4.5	10.8	–	–	–	–	11.4
Interstate Semitrailer قاطرة ونصف مقطورة كبيرة	WB-19	4.1	2.6	20.9	1.2	0.8	6.6	12.3	–	–	–	–	13
Interstate Semitrailer قاطرة ونصف مقطورة كبيرة	WB-20	4.1	2.6	22.4	1.2	1.4-0.8	6.6	13.2-13.8	–	–	–	–	13.9-14.5
قاطرة ونصف مقطورة ومقطورة Double-Bottom Semitrailer/Trailer	WB-20D	4.1	2.6	22.4	0.7	0.9	3.4	7.0	0.9	2.1	7	–	7
Triple-Semitrailer /Trailers قاطرة ونصف مقطورة ومقطورتين	WB-30T	4.1	2.6	32	0.7	0.9	3.4	6.9	0.9	2.1	7	7	7
قاطرة ونصف مقطورة ومقطورة كبيرة Turnpike Double-Semitrailer/Trailer	WB-33D	4.1	2.6	34.8	0.7	0.8	4.4	12.2	0.8	3.1	13.6	–	13
Recreational Vehicles مركبات الاستجمام													
Motor Home مركبة متزلية	MH	3.7	2.4	9.2	1.2	1.8	6.1	–	–	–	–	–	–
Car and Camper Trailer سيارة ركوب ومقطورة تخييم	P/T	3.1	2.4	14.8	0.9	3.1	3.4	–	1.5	5.8	–	–	–
Car and Boat Trailer سيارة ركوب ومقطورة قارب	P/B	–	2.4	12.8	0.9	2.4	3.4	–	1.5	4.6	–	–	–
Motor Home and Boat Trailer مركبة متزلية ومقطورة قارب	MH/B	3.7	2.4	16.2	1.2	2.4	6.1	–	1.8	4.6	–	–	–
Farm Tractor جرار زراعي	TR	3.1	2.4-3.1	4.9	–	–	3.1	2.7	0.9	2	–	–	–

WB_1 , WB_2 , WB_3 , WB_4 : المسافة بين المحور الامامي والمحور الاخير لكل جزء (وحدة) من المركبة

S: المسافة بين المحور الخلفي ومركز التعليق أو نهاية المركبة.

T: المسافة بين نهاية المركبة أو مركز التعليق وأول محور مفرد يليها أو مركز المحور المزدوج التالي.

جدول (2-2) نصف قطر الدوران الأدنى للمركبات التصميمية

نموذج المركبة التصميمية Design Vehicle Type	مركبة سياحية Passenger Car	شاحنة إفرادية Single Unit Truck	باص مدينة داخلي Inter-city Bus (Motor Coach)		باص مدينة عابر City Transit Bus	باص مدرسي تقليدي (65 راكب) Conventional School Bus	باص مدرسي كبير (84 راكب) Large School	باص متمفصل Articulated Bus	قاطرة ونصف مقطورة متوسطة Intermediate Semitrailer	قاطرة ونصف مقطورة متوسطة Intermediate Semitrailer
الرمز Symbol	P	SU	BUS-12	BUS-14	CITY-BUS	S-BUS11	S-BUS12	A-BUS	WB-12	WB-15
نصف قطر الدوران التصميمي الأدنى (م) Minimum Design Turning Radius (m)	7.3	12.8	13.7	13.7	12.8	11.9	12	12.1	12.2	13.7
نصف قطر دوران منتصف المحور (م) Centerline Turning Radius (CTR)	6.4	11.6	12.4	12.4	11.5	10.6	10.8	10.8	11	12.5
نصف قطر الدوران الداخلي الأدنى (م) Minimum Inside Radius (m)	4.4	8.6	8.4	7.8	7.5	7.3	7.7	6.5	5.9	5.2

نموذج المركبة التصميمية Design Vehicle Type	قاطرة و نصف مقطورة كبيرة Interstate Semitrailer		قاطرة ونصف مقطورة ومقطورة "Double Bottom" Combination	قاطرة ونصف مقطورة ومقطورتين Triple Semi trailer/ Trailers	قاطرة ونصف مقطورة ومقطورة كبيرة Turnpike Double-Semi trailer/Trailer	مركبة منزلية Motor Home	مركبة ومقطورة تخييم Car and Camper Trailer	مركبة ومقطورة قارب Car and Boat Trailer	مركبة منزلية ومقطورة قارب Motor Home and Boat Trailer	جرار زراعي Farm Tractor
الرمز Symbol	WB-19	WB-20	WB-20D	WB-30T	WB-33D	MH	P/T	P/B	MH/B	TR/W
نصف قطر الدوران التصميمي الأدنى (م) Minimum Design Turning Radius (m)	13.7	13.7	13.7	13.7	18.3	12.2	10.1	7.3	15.2	5.5
نصف قطر دوران منتصف المحور (م) Centerline Turning Radius (CTR)	12.5	12.5	12.5	12.5	17.1	11	9.1	6.4	14	4.3
نصف قطر الدوران الداخلي الأدنى (م) Minimum Inside Radius (m)	2.4	1.3	5.9	3	4.5	7.9	5.3	2.8	10.7	3.2

ملاحظات:

- يمكن للمصمم فرض نصف قطر الدوران عندما يكون بالإمكان قياس مسار دوران منتصف محور المركبة الأمامي، عندها يكون نصف قطر دوران منتصف المحور (CTR) يساوي تقريباً نصف قطر الدوران التصميمي الأدنى ناقص مرة ونصف عرض مقدمة المركبة.
- تصمم باصات المدارس من حيث الحجم لتستوعب 42 إلى 84 راكب وذلك يوافق مسافة بين المحورين الأمامي والأخير مساوية لـــ من 3.35 م حتى 6.02 م على التوالي ، لهذه القياسات المختلفة يتباين قياس نصف قطر الدوران التصميمي الأدنى من 8.78 م حتى 12.01 م ، و نصف القطر الداخلي الأدنى من 4.27 م حتى 7.74 م.
- أنصاف أقطار دوران الجرار الزراعي الواردة في الجدول هي لجرار بمحرك قدرته 150 – 200 حصان بخاري ويجر مقطورة خلفه طولها 5.64 م.

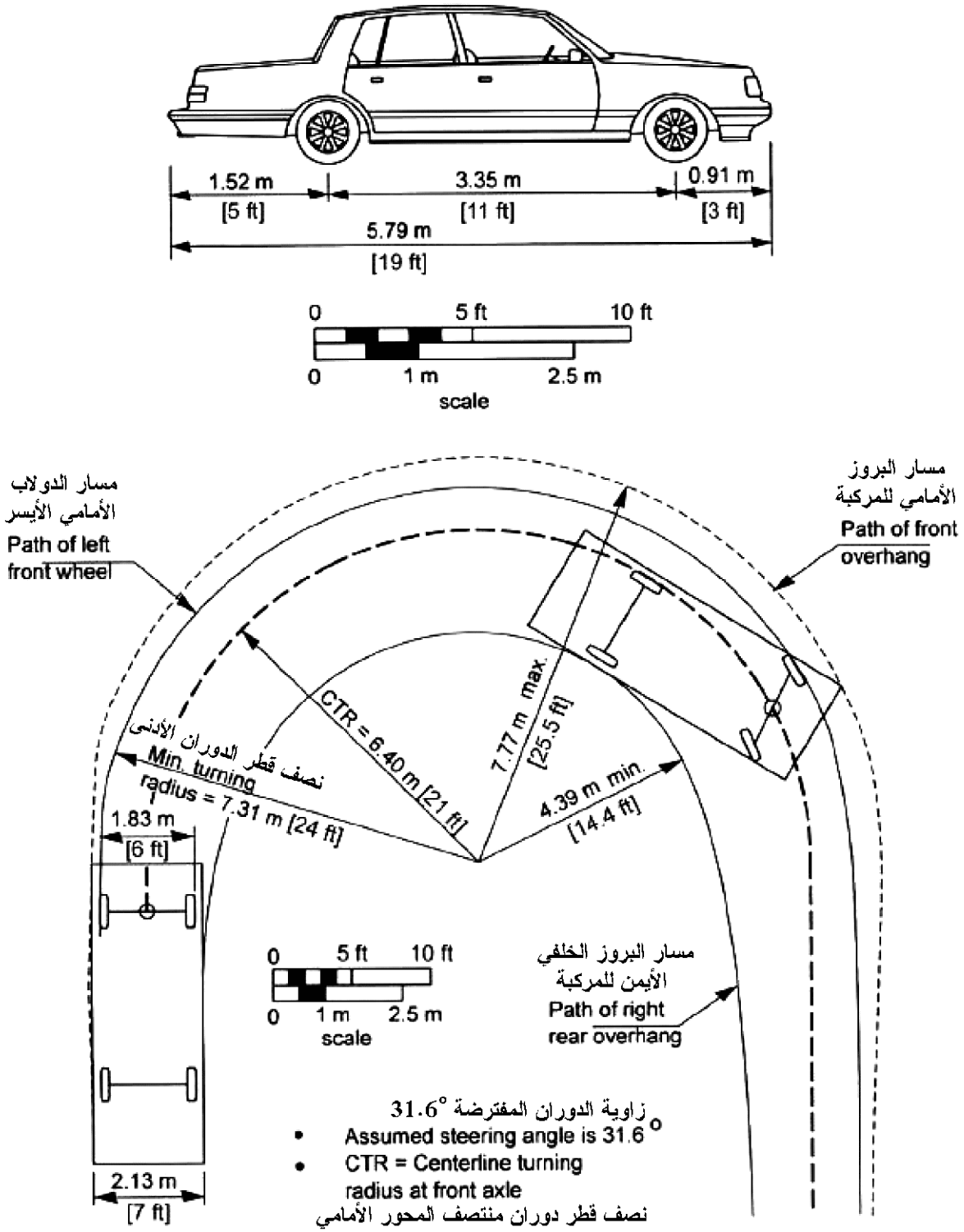
2-2 أبعاد وأنصاف أقطار الدوران الدنيا للمركبات

Dimensions and Minimum Turning Path of Design Vehicles

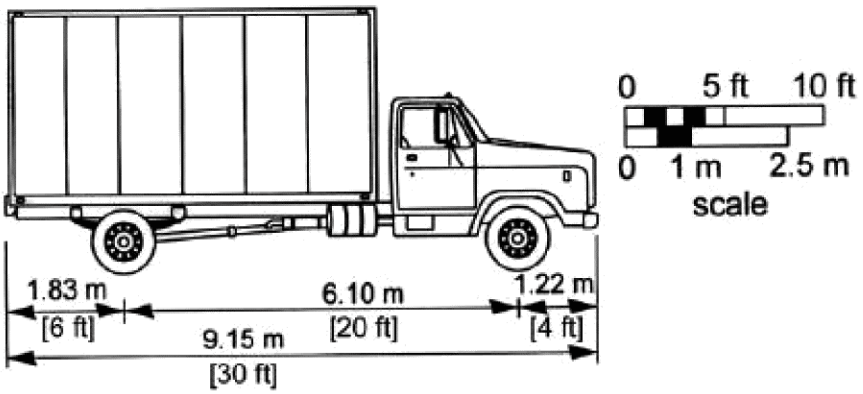
تبين الأشكال من (2-1) حتى (2-22) أنصاف أقطار الدوران الدنيا لـــ 19 مركبة تصميمية نمطية. والأبعاد الأساسية التي تؤثر على التصميم هي: نصف قطر الدوران الأدنى لمنتصف المحور الأمامي (CTR) Centerline Turning Radius والمسافة بين الآثار الداخلية والخارجية للمركبة (العرض الناجم عن المسافة بين أبعد أثر خارجي أثناء دوران المركبة وأقرب أثر داخلي)، وكذلك المسافة بين المحور الأمامي والمحور الخلفي الأخير في المركبة (WB) Wheel Base وكذلك الأثر الذي يتركه الدولاب الخلفي الداخلي. أما تأثير سلوكية السائق (مثل السرعة التي يعطيها السائق للسيارة أثناء الدوران) وزوايا الانزلاق للعجلات فيمكن الحد منها باعتبار أن سرعة المركبة الموافقة لنصف قطر الدوران الأدنى لا تزيد عن 15 كم/ساعة.

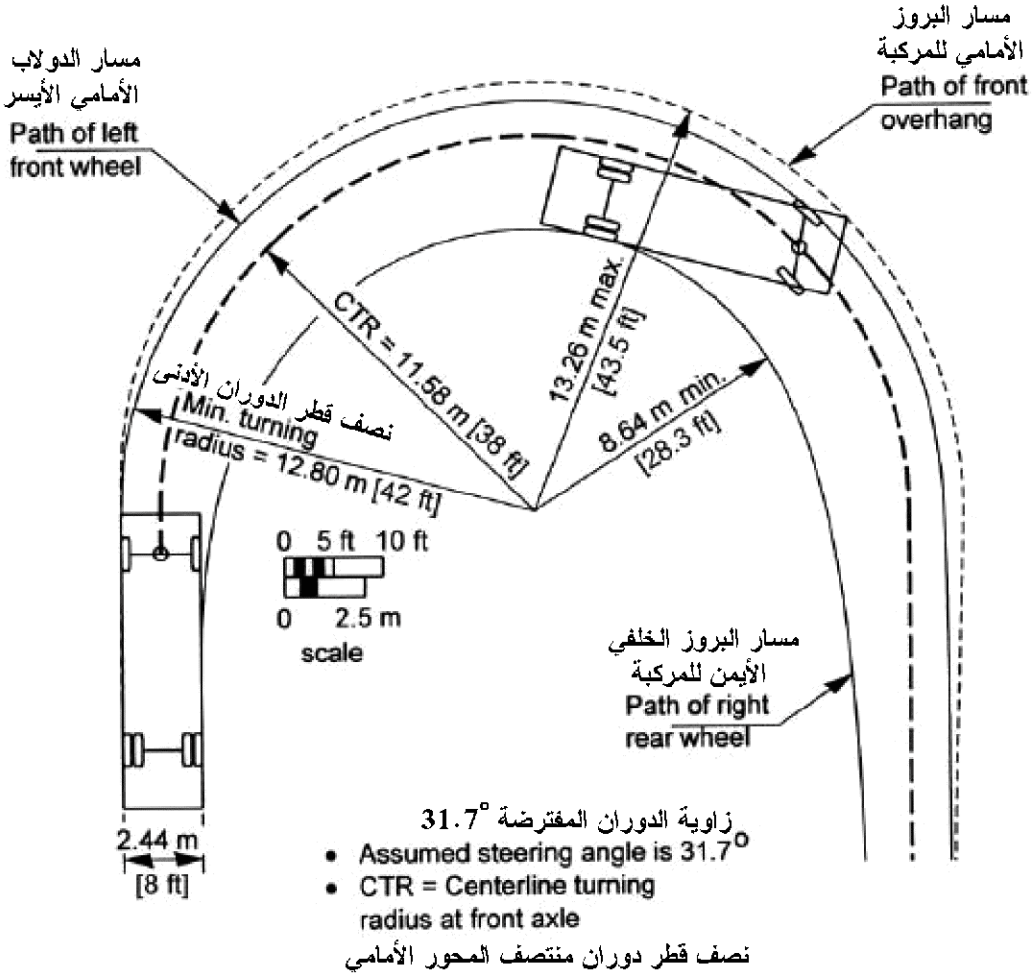
تنحصر حدود الآثار التي يتركها دوران المركبات التصميمية الموافق للحد الأدنى لنصف قطر الدوران بأثر البروز الأمامي الخارجي للمركبة وأثر الدولاب اليميني الداخلي. وتعتمد هذه الفرضية أن أثر البروز الأمامي الخارجي للمركبة يبقى موازياً وعلى مسافة محدودة من القوس الذي يرسمه نصف القطر الأدنى لمنتصف المحور الأمامي. ويبين الجدول السابق (2-2) أنصاف الأقطار الدنيا لأثر الدواليب الخلفية الخارجية والداخلية وكذلك أنصاف أقطار منتصف المحور الأمامي لكافة المركبات التصميمية.

وتتطلب الشاحنات والباصات عادة عناصر تصميمية هندسية أكبر من السيارات السياحية وهذا سببه أن الشاحنات والباصات أعرض وأطول وذات أنصاف أقطار دنيا أكبر، الأمر الذي يؤثر بشكل مباشر على التخطيط الأفقي للطريق ومقطعه العرضي. وتتمتع الشاحنات الإفرادية والباصات بأنصاف أقطار دوران دنيا أكبر من معظم الشاحنات المؤلفة من مجموعة قاطرات ومقطورات ولكن بسبب المسافة الكبيرة بين مساري الدواليب الخلفية والأمامية الداخلية فإن المجموعات الطويلة من القاطرات والمقطورات تتطلب عرضاً أكبر أثناء دورانها. ويوضح الشكل (2-9) أنصاف أقطار الدوران الدنيا لمجموعة مؤلفة من قاطرة ونصف مقطورة نمطية. أما الشكل (2-10) فيوضح أبعاد رؤووس القاطرة المستخدمة عادة في جر أنصاف المقطورات والمقطورات.

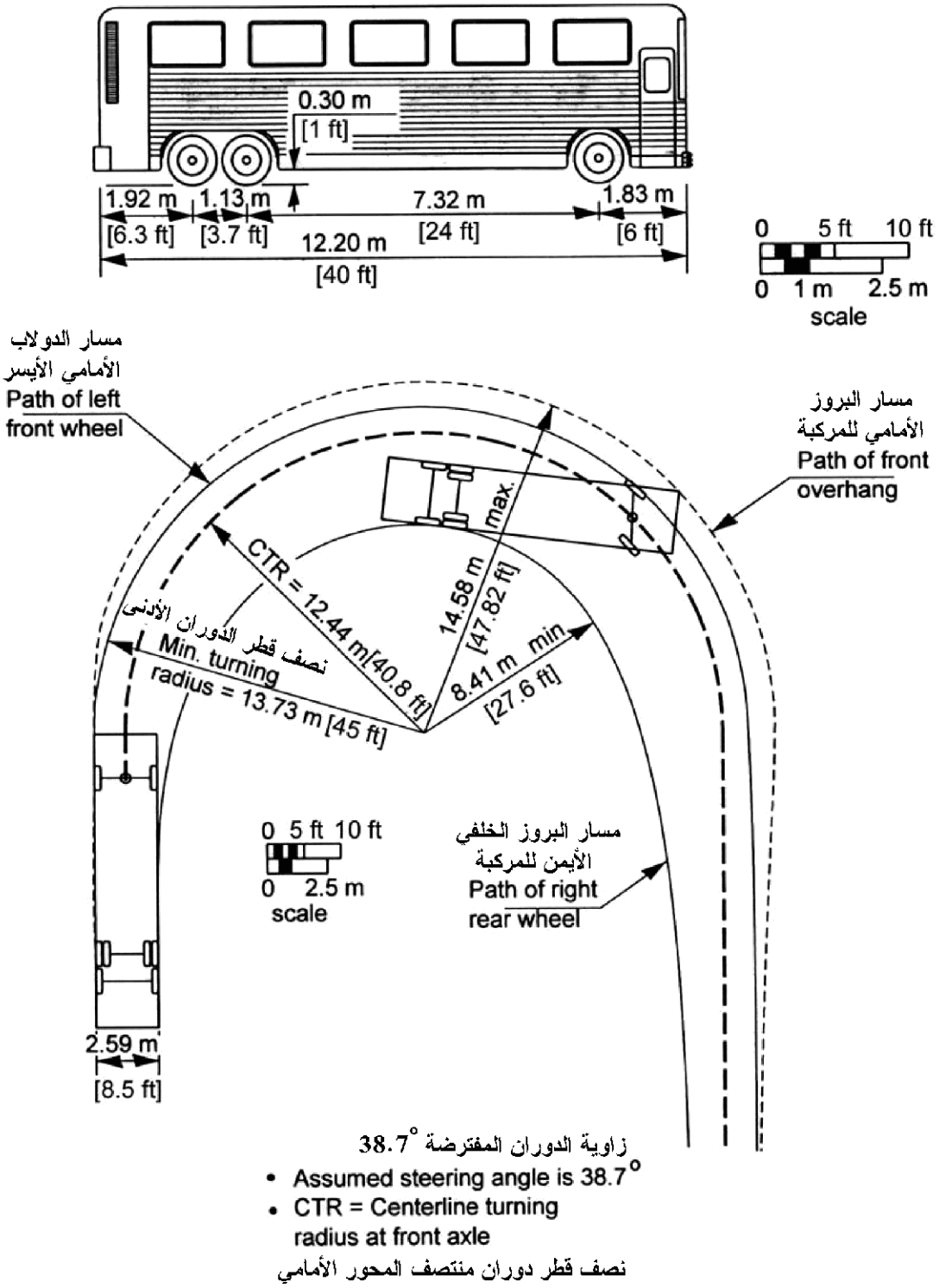


الشكل (2-1) نصف قطر الدوران الأدنى لسيارات الركوب التصميمية (P)

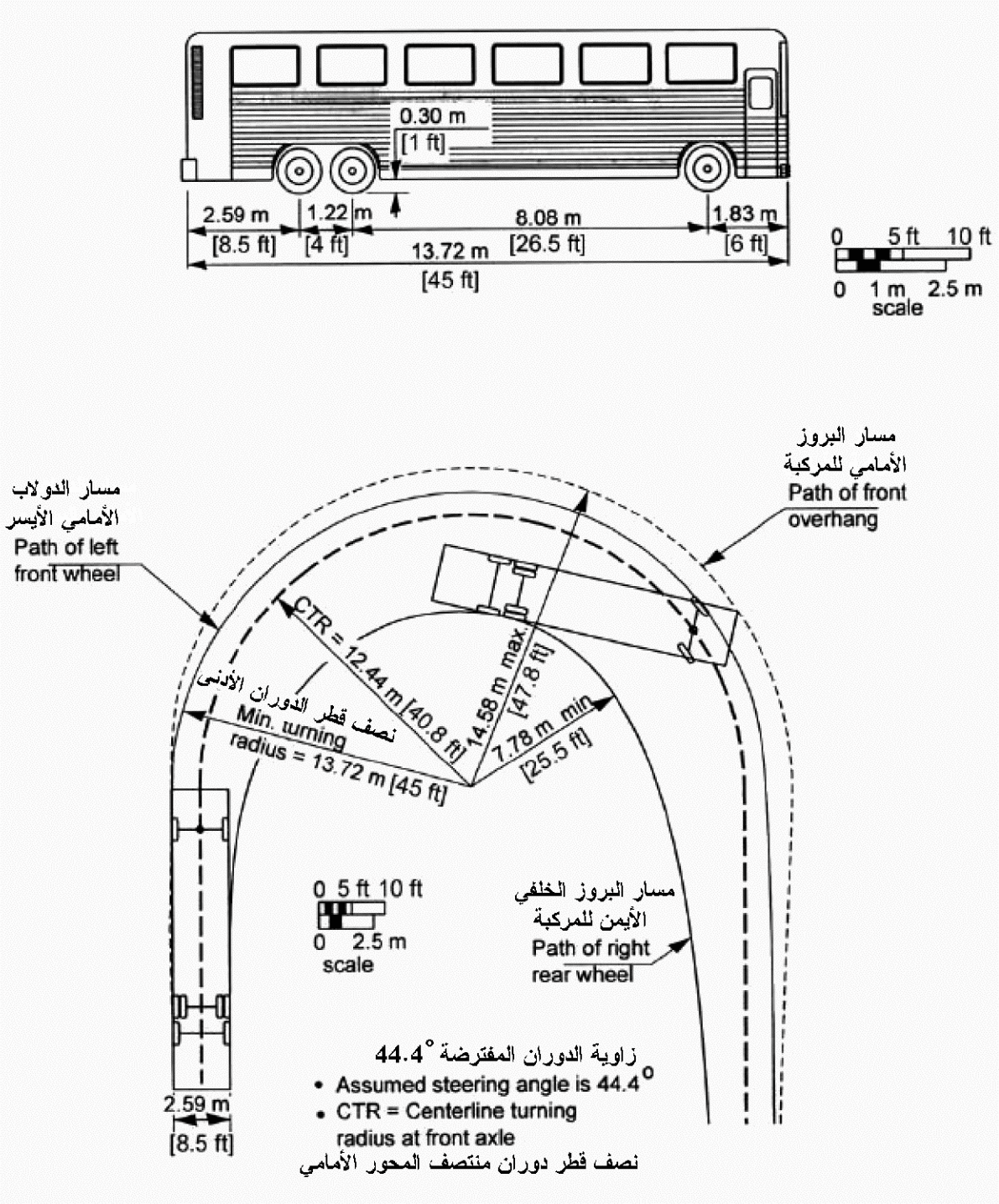




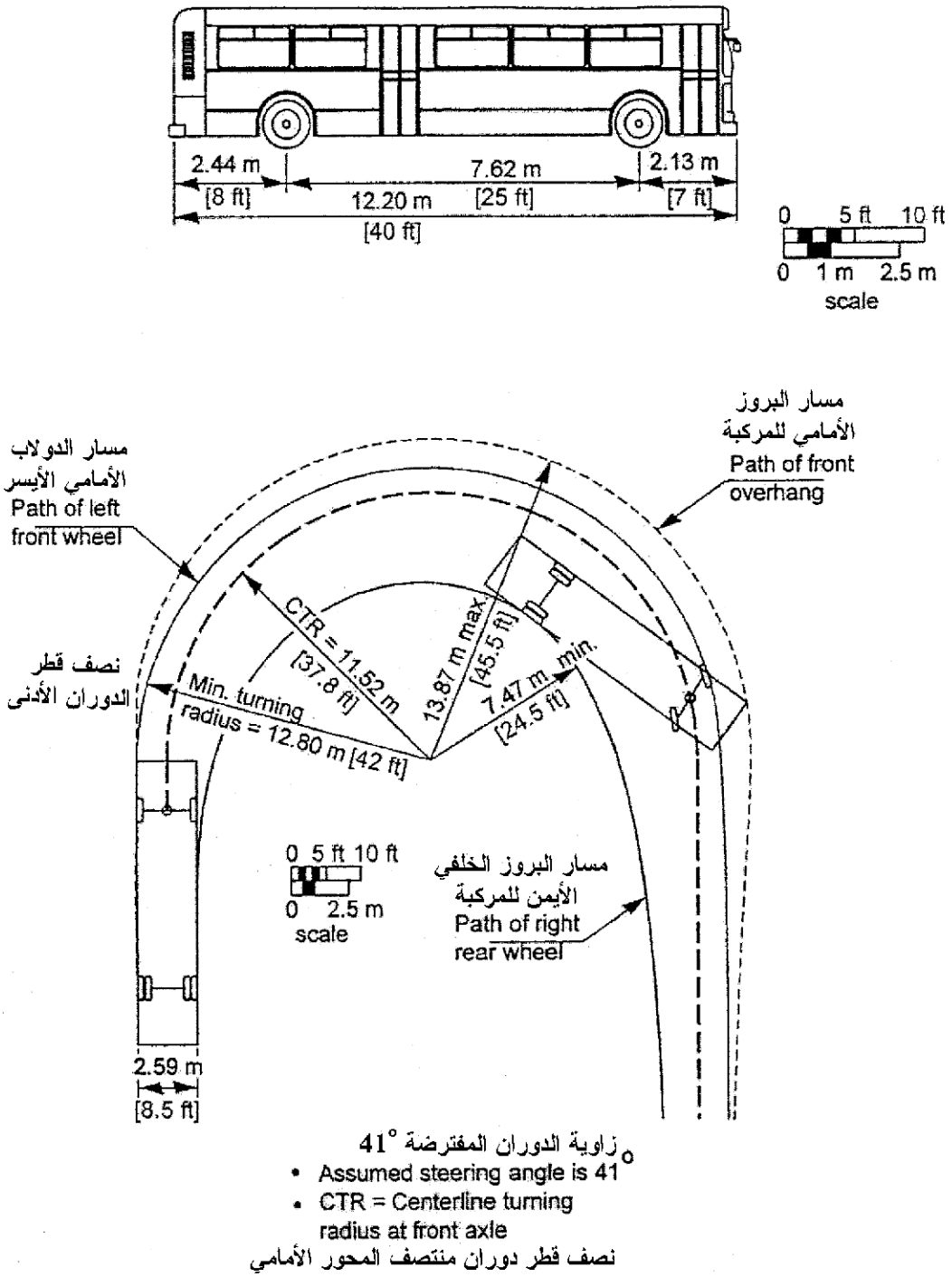
الشكل (2-2) نصف قطر الدوران الأدنى للمركبة الشاحنة الإفرادية التصميمية (SU)



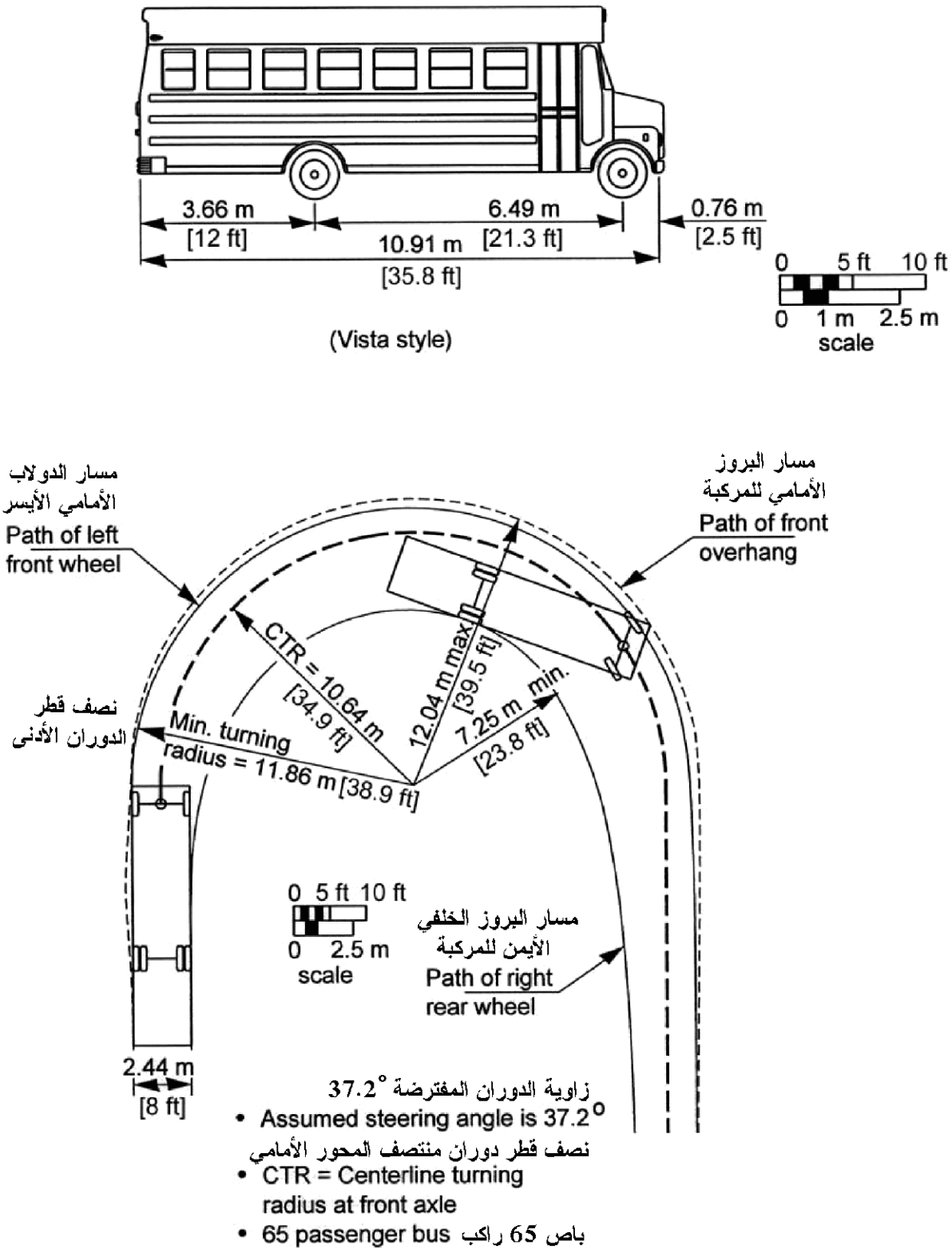
الشكل (2-3) نصف قطر الدوران الأدنى للمركبة التصميمية فئة باص مدينة داخلي (BUS-12)



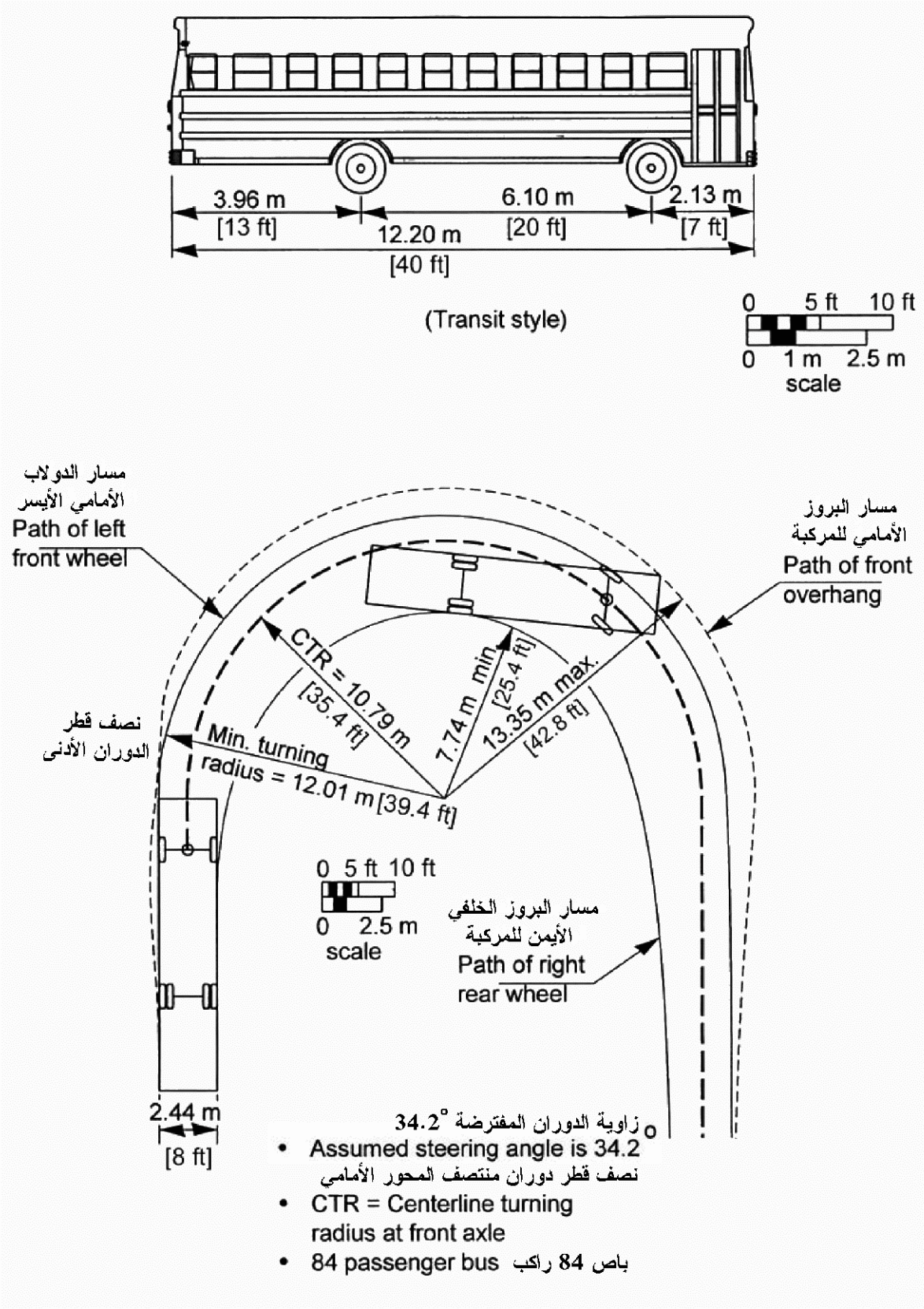
الشكل (2–4) نصف قطر الدوران الأدنى للمركبة التصميمية فئة باص مدينة داخلي (BUS-14)



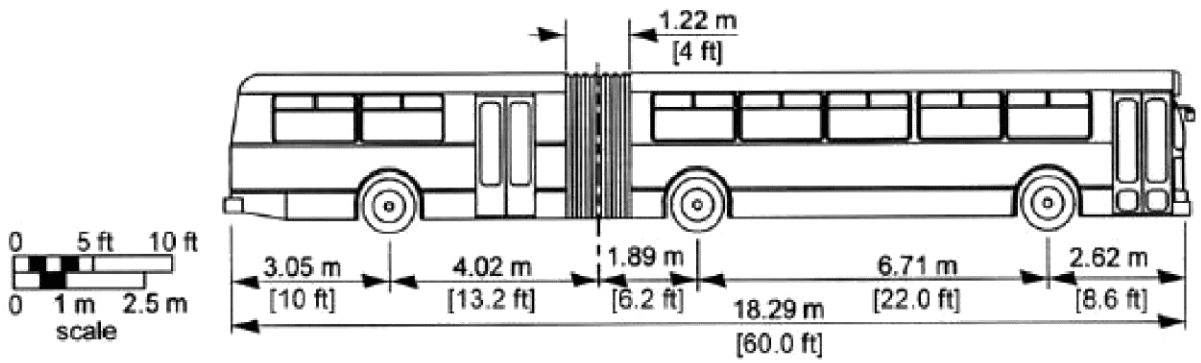
الشكل (2-5) نصف قطر الدوران الأدنى للمركبة التصميمية فئة باص مدينة عابر (CITY-BUS)

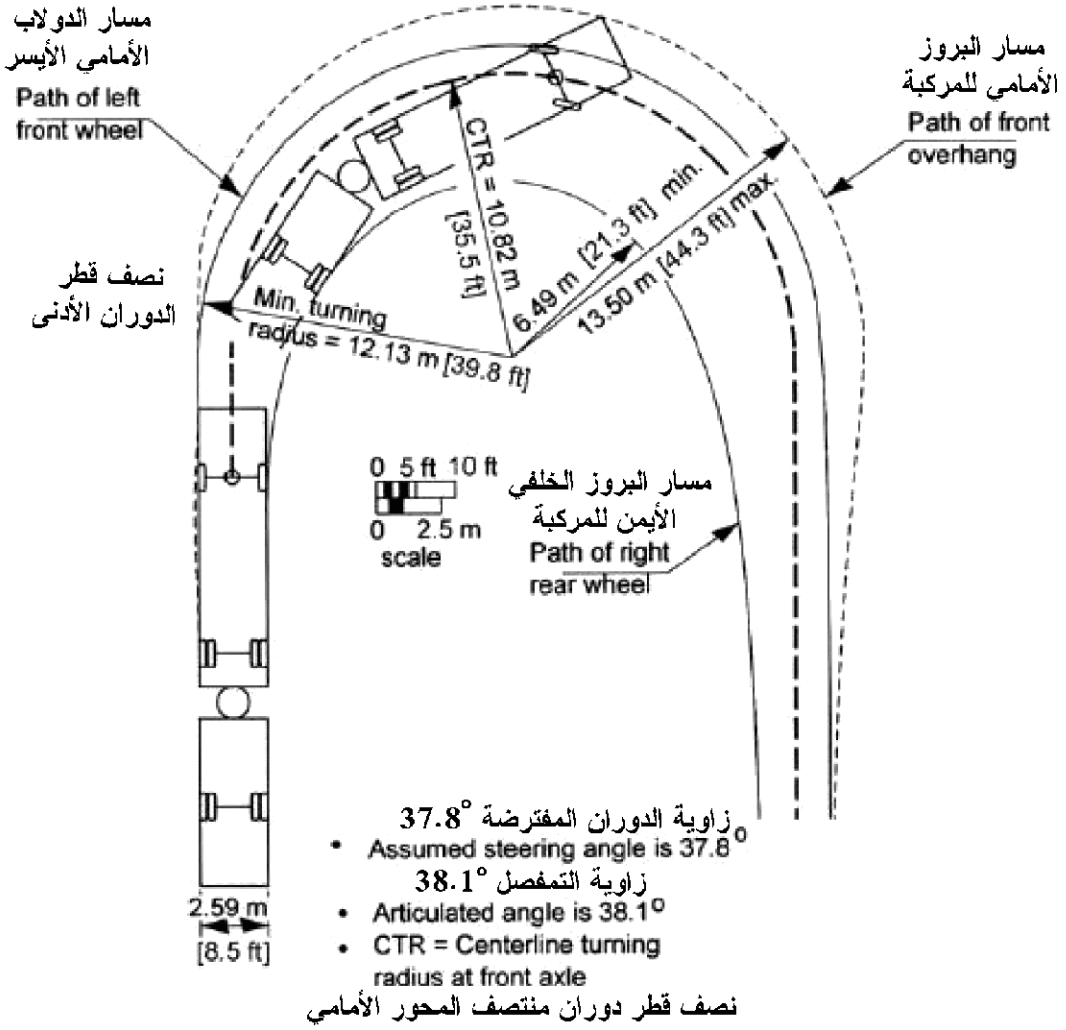


الشكل (2-6) نصف قطر الدوران الأدنى للمركبة التصميمية فئة باص مدرسة تقليدي (S-BUS-11)

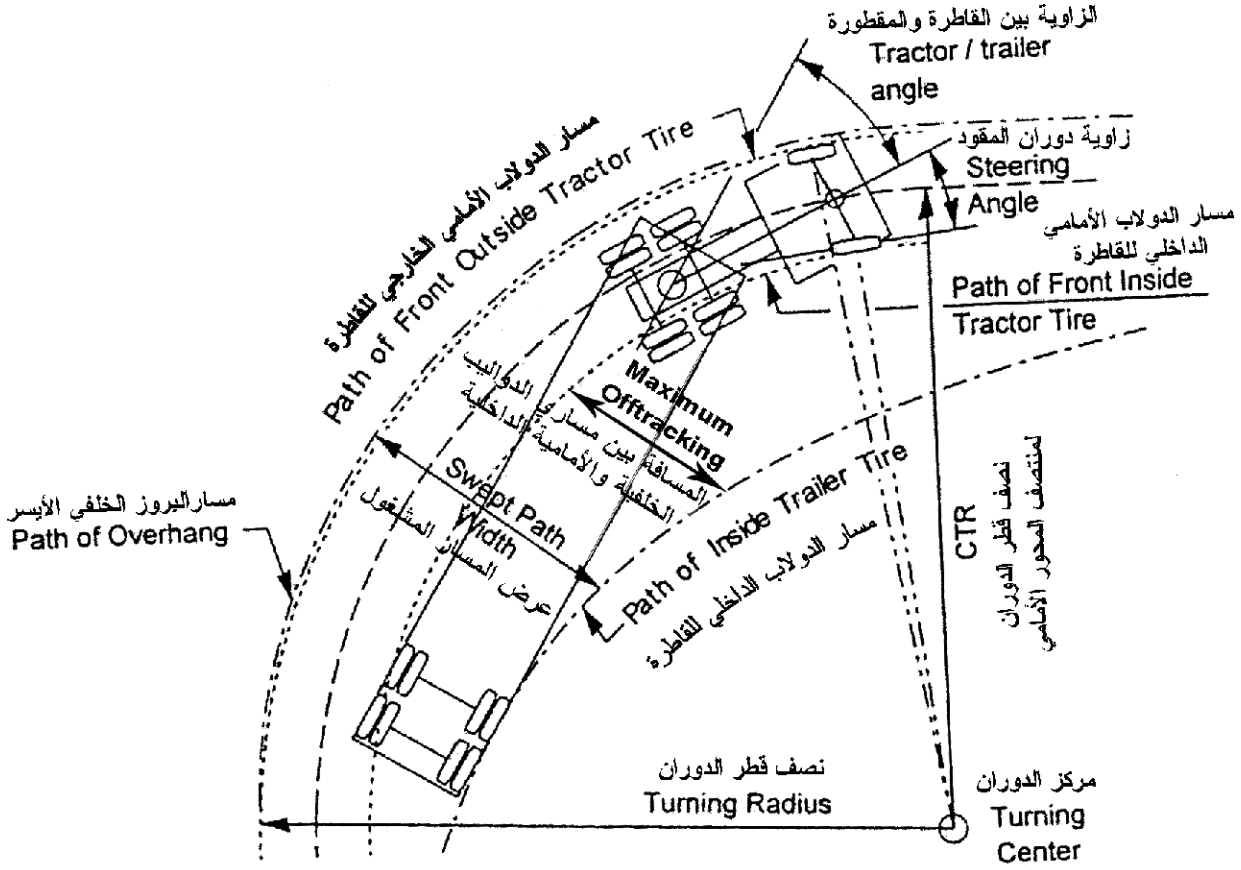


الشكل (2-7) نصف قطر الدوران الأدنى للمركبة التصميمية فئة باص مدرسة كبير (S-BUS-12)

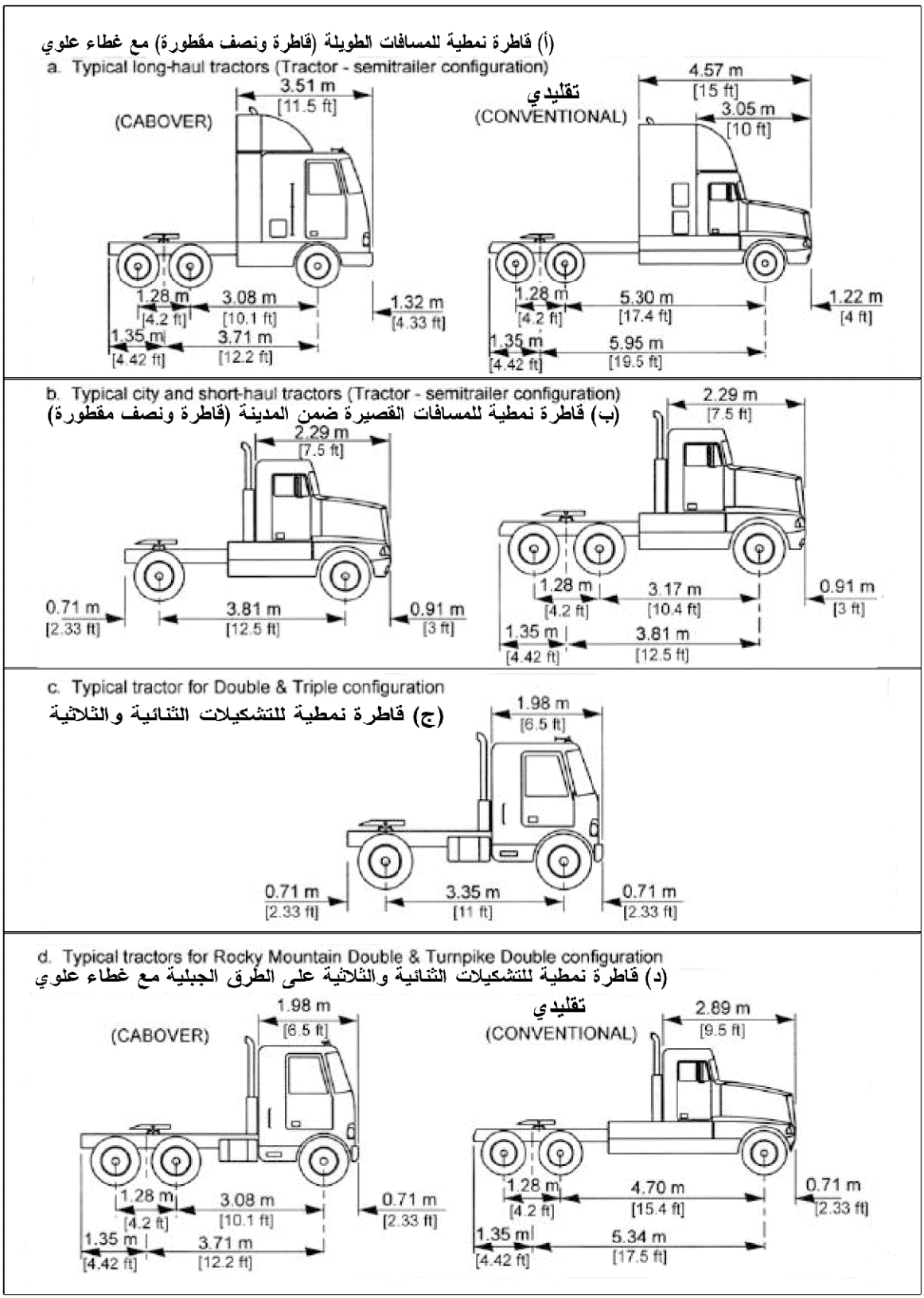




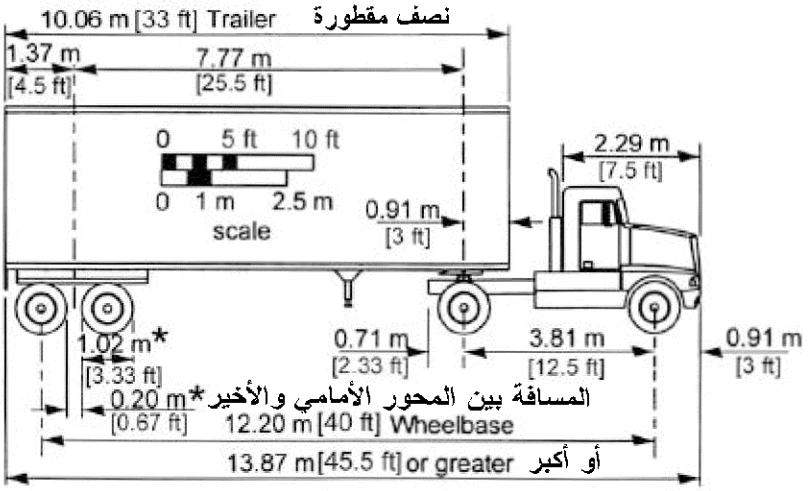
الشكل (2-8) نصف قطر الدوران الأدنى للمركبة التصميمية فئة باص متمفصل (A-BUS)



الشكل (2-9) أنصاف أقطار الدوران الأدنى لقاطرة ونصف مقطورة نمطية

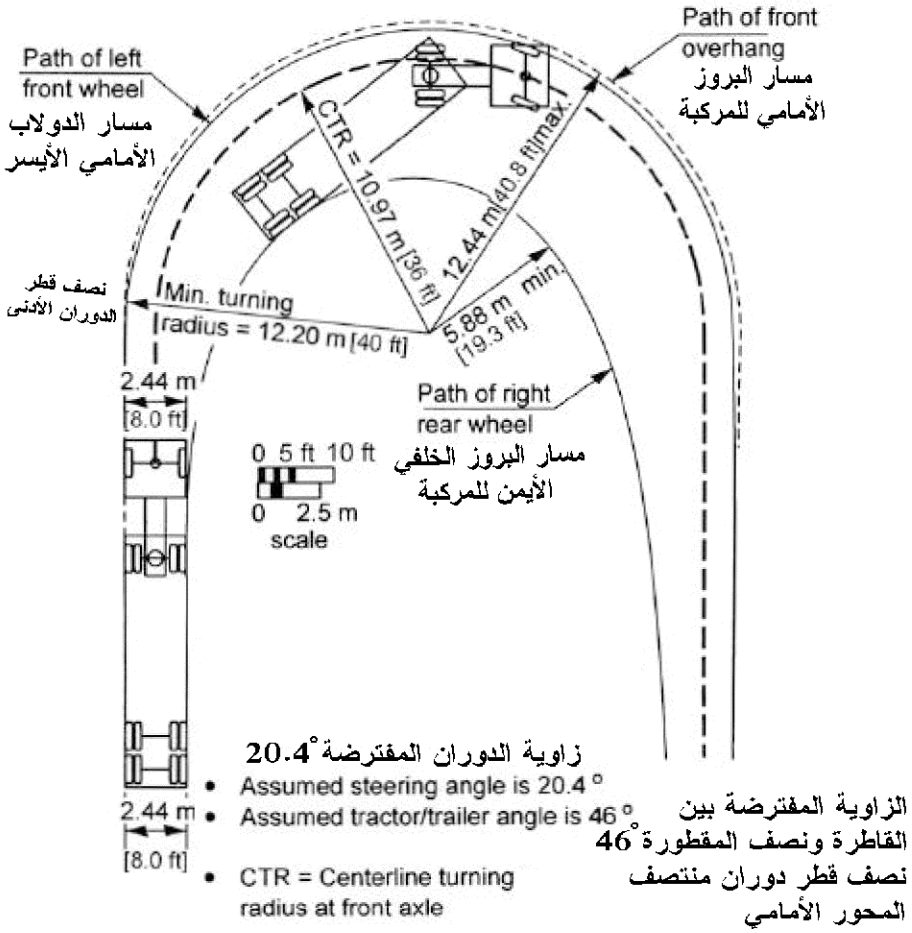


الشكل (2–10) أشكال وأطوال رؤوس القاطرة المستخدمة

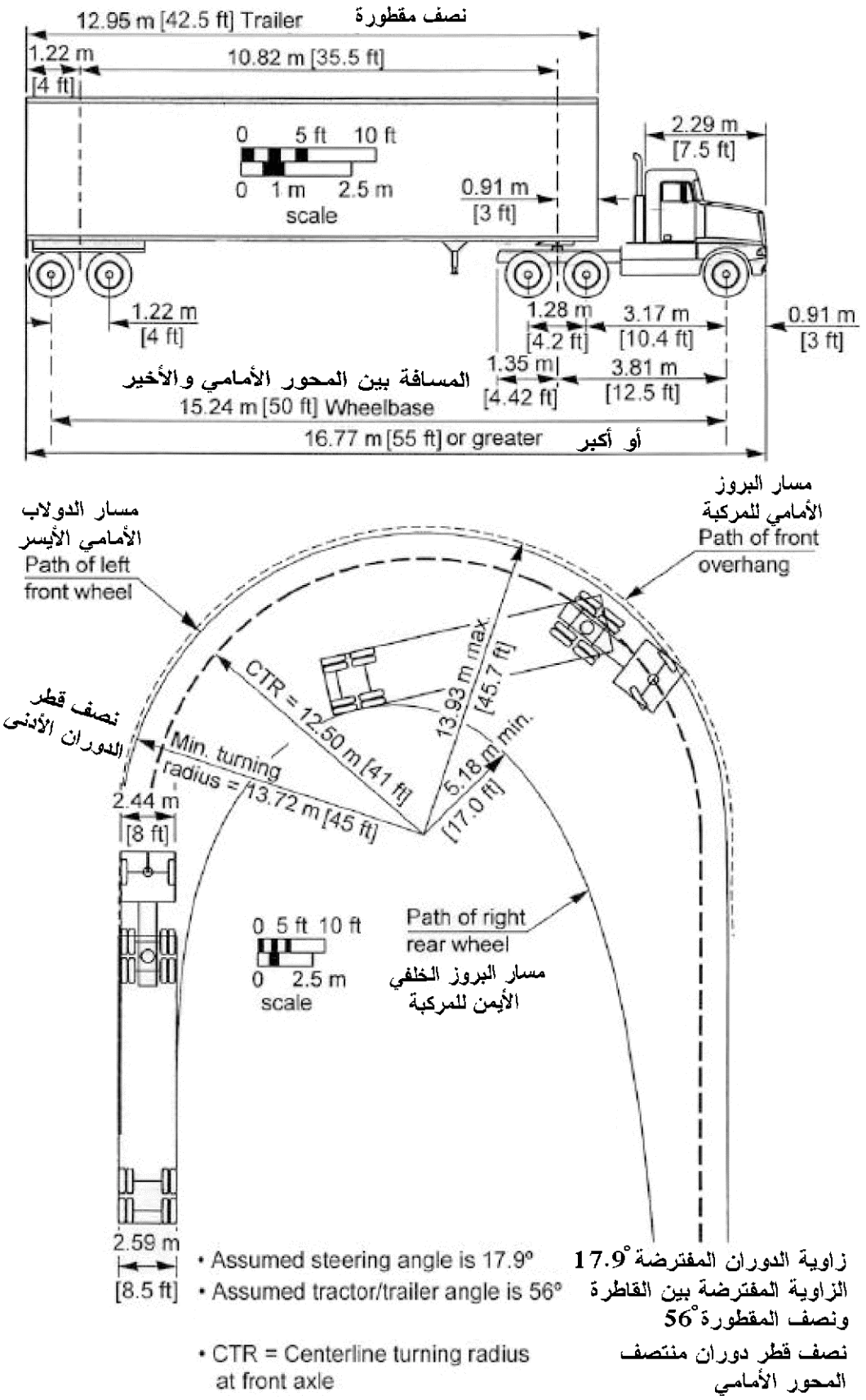


* Typical tire size and space between tires applies to all trailers.

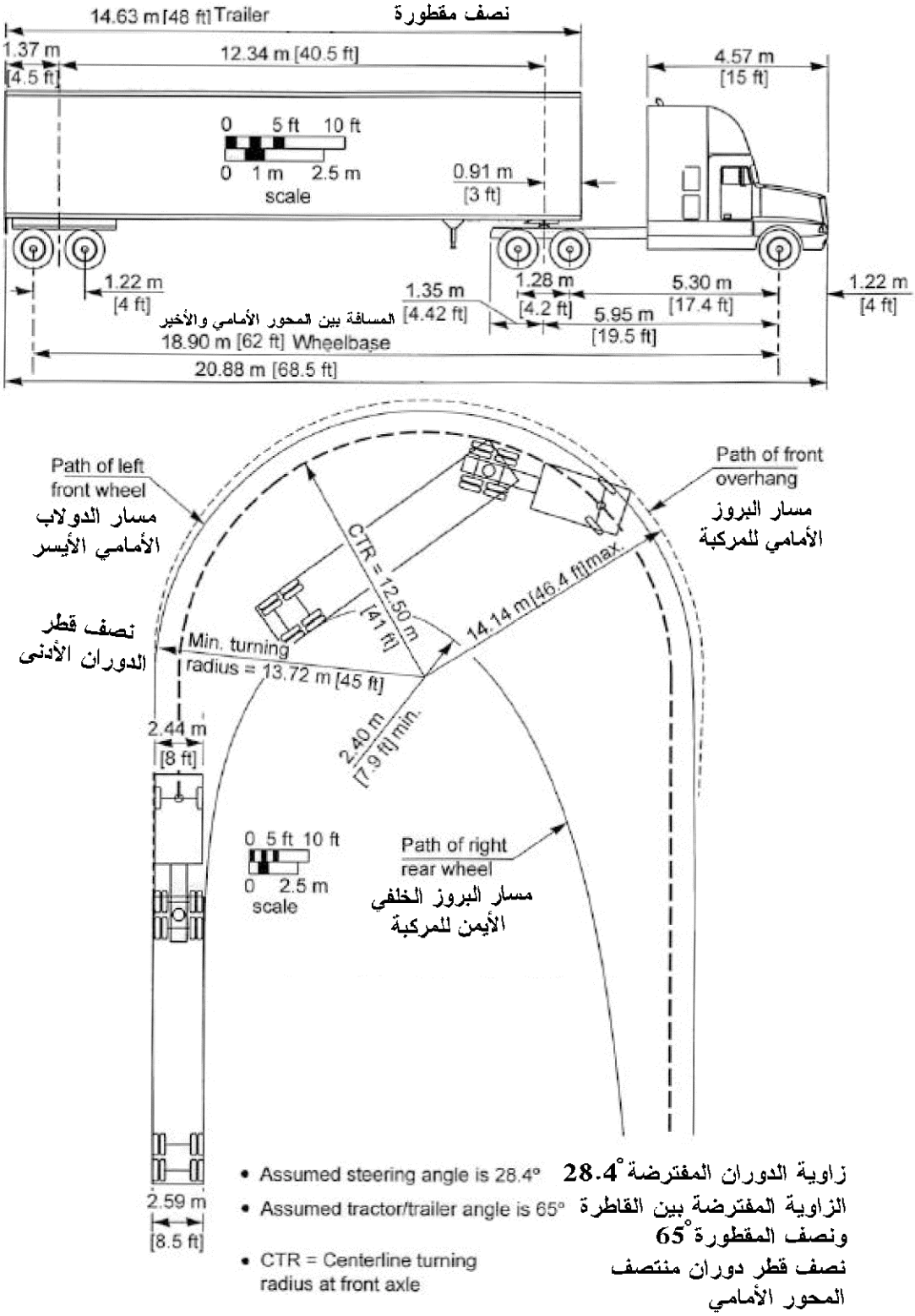
يفرض لكافة المقطورات إطار ذو قياس نموذجي وأبعاد نموذجية بين الإطارات



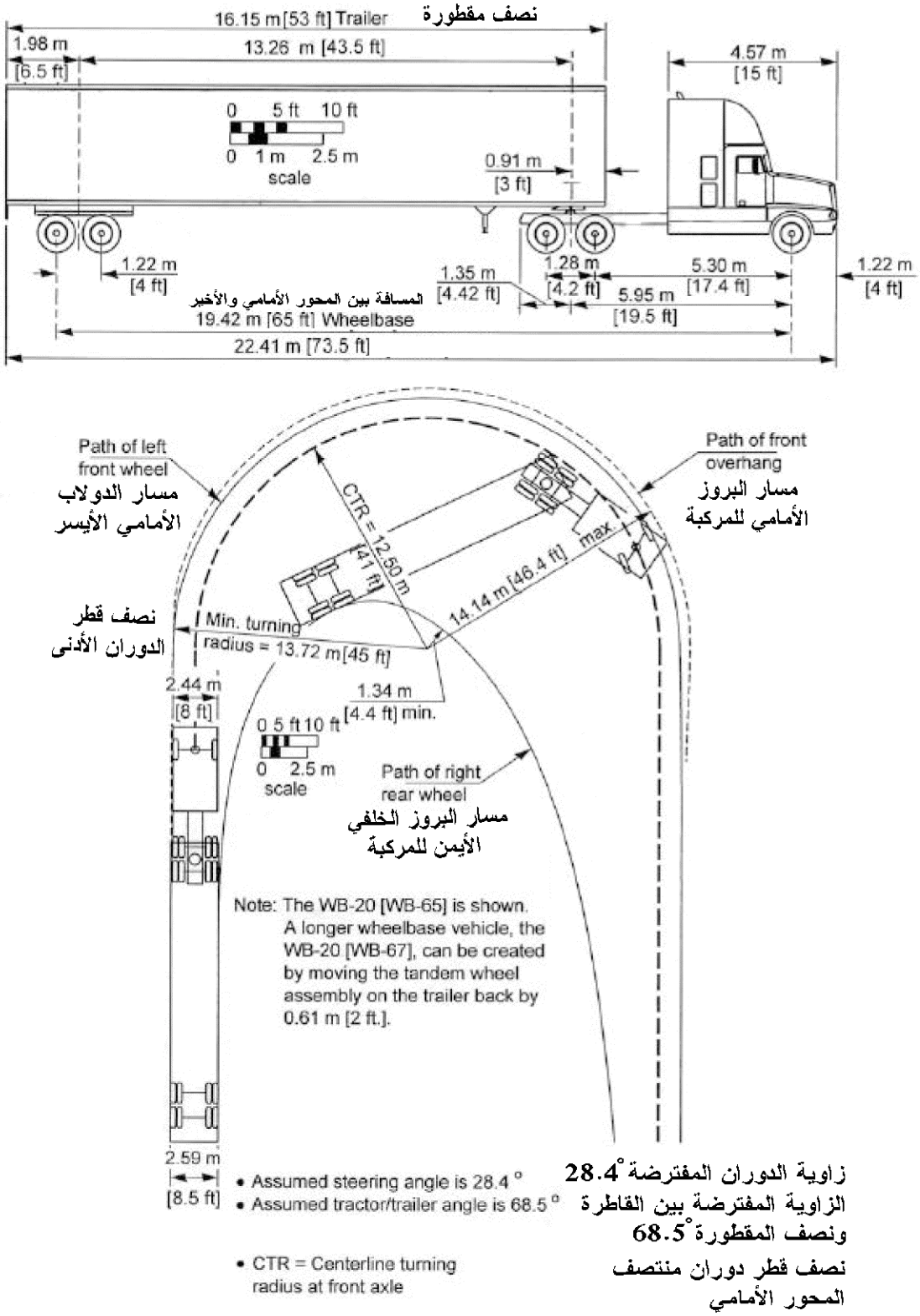
الشكل (2-11) نصف قطر الدوران الأدنى للمركبة التصميمية فئة قاطرة ونصف مقطورة متوسطة (WB-12)



الشكل (2-12) نصف قطر الدوران الأدنى للمركبة التصميمية فئة قاطرة ونصف مقطورة متوسطة (WB-15)

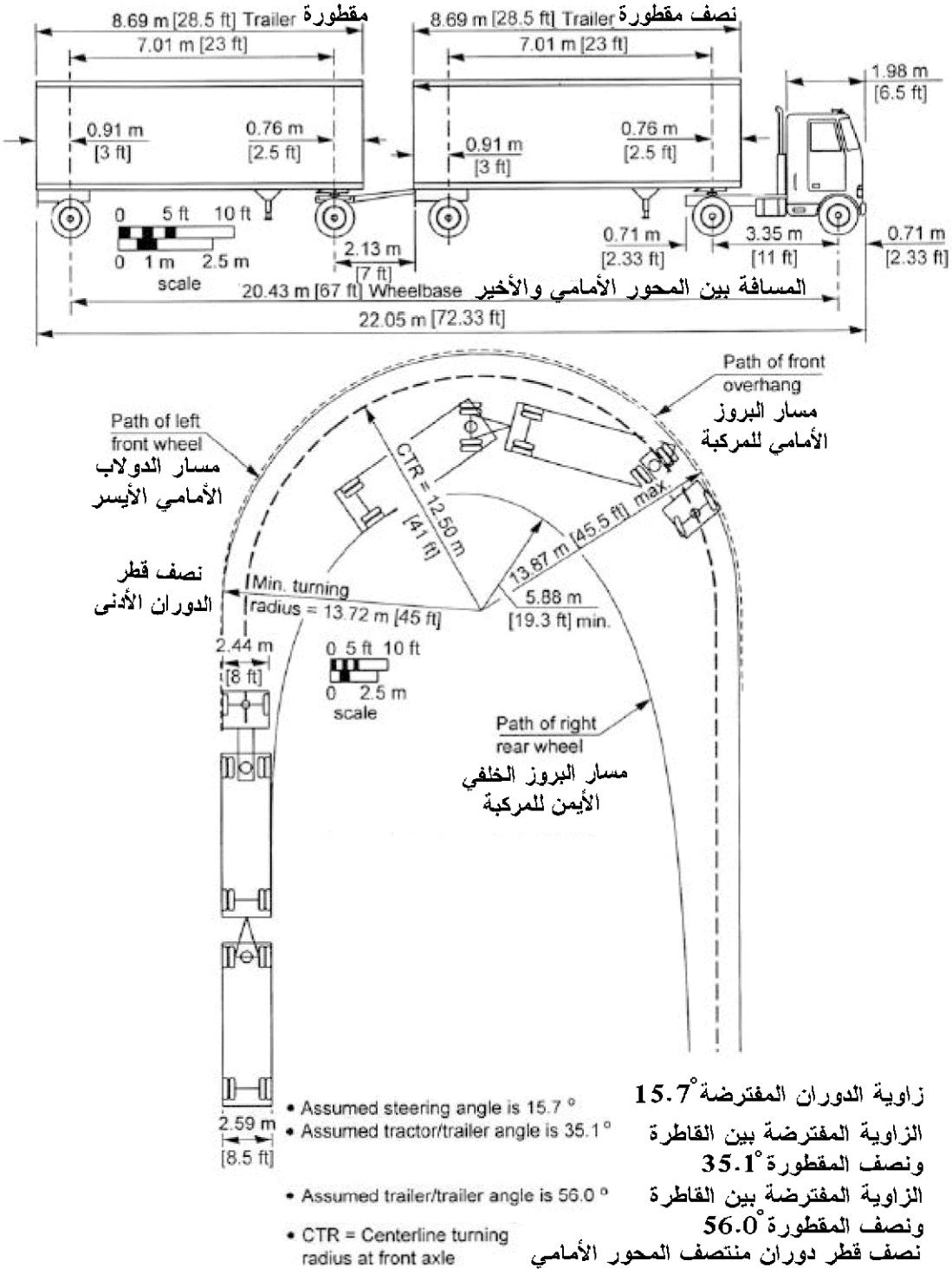


الشكل (2-13) نصف قطر الدوران الأدنى للمركبة التصميمية فئة قاطرة ونصف مقطورة (WB-19)

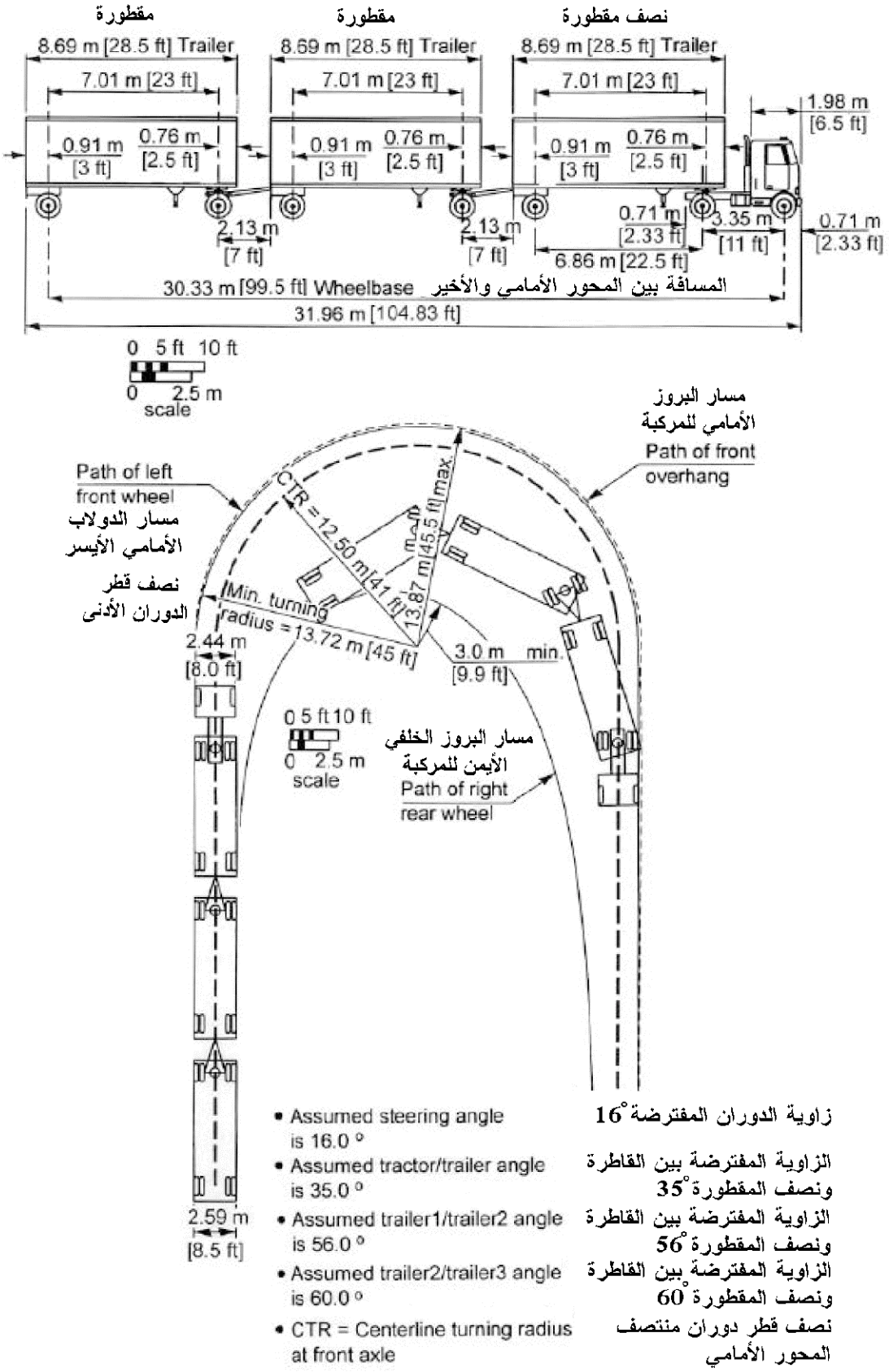


الشكل (2-14) نصف قطر الدوران الأدنى للمركبة التصميمية

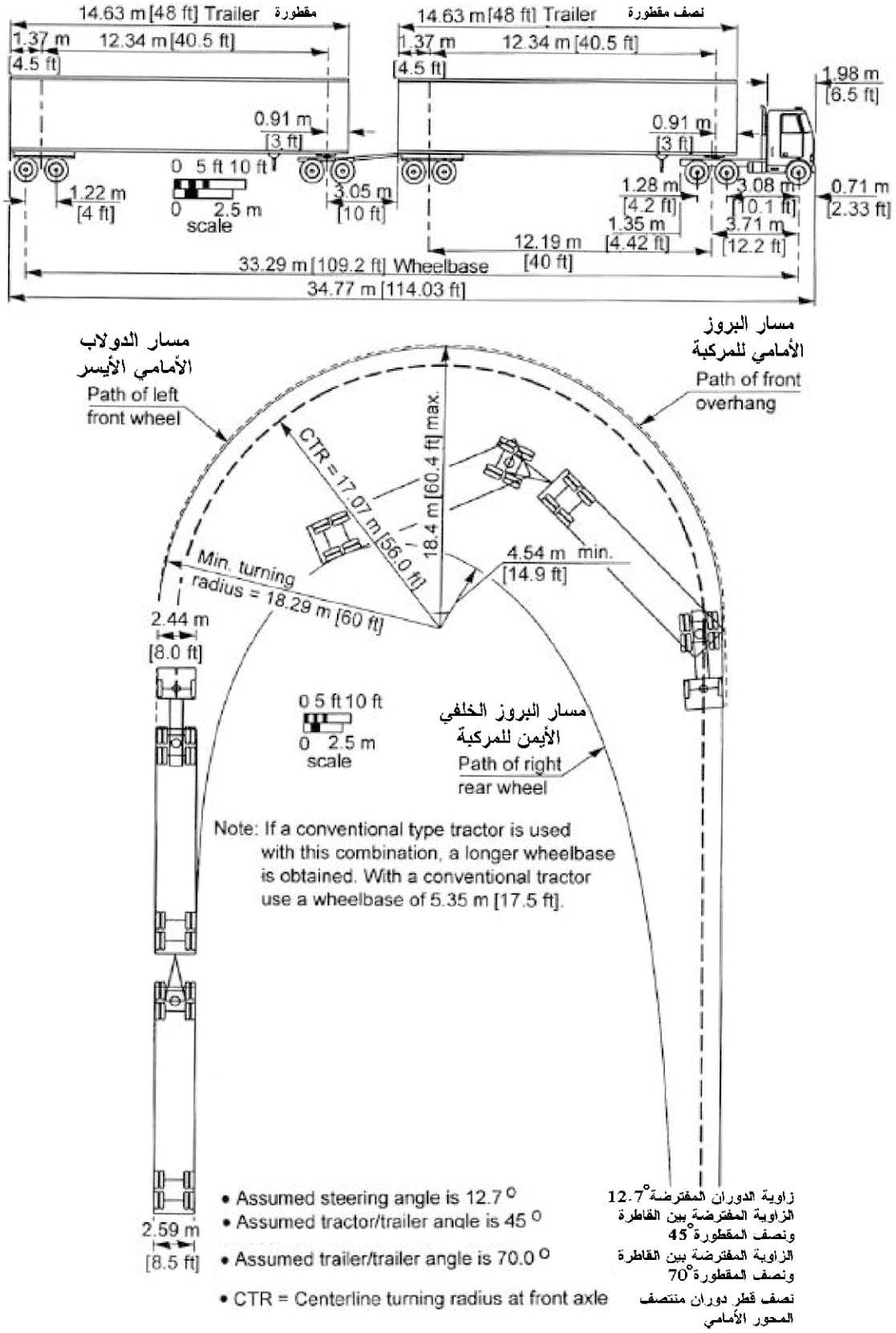
فئة قاطرة ونصف مقطورة (WB-20)



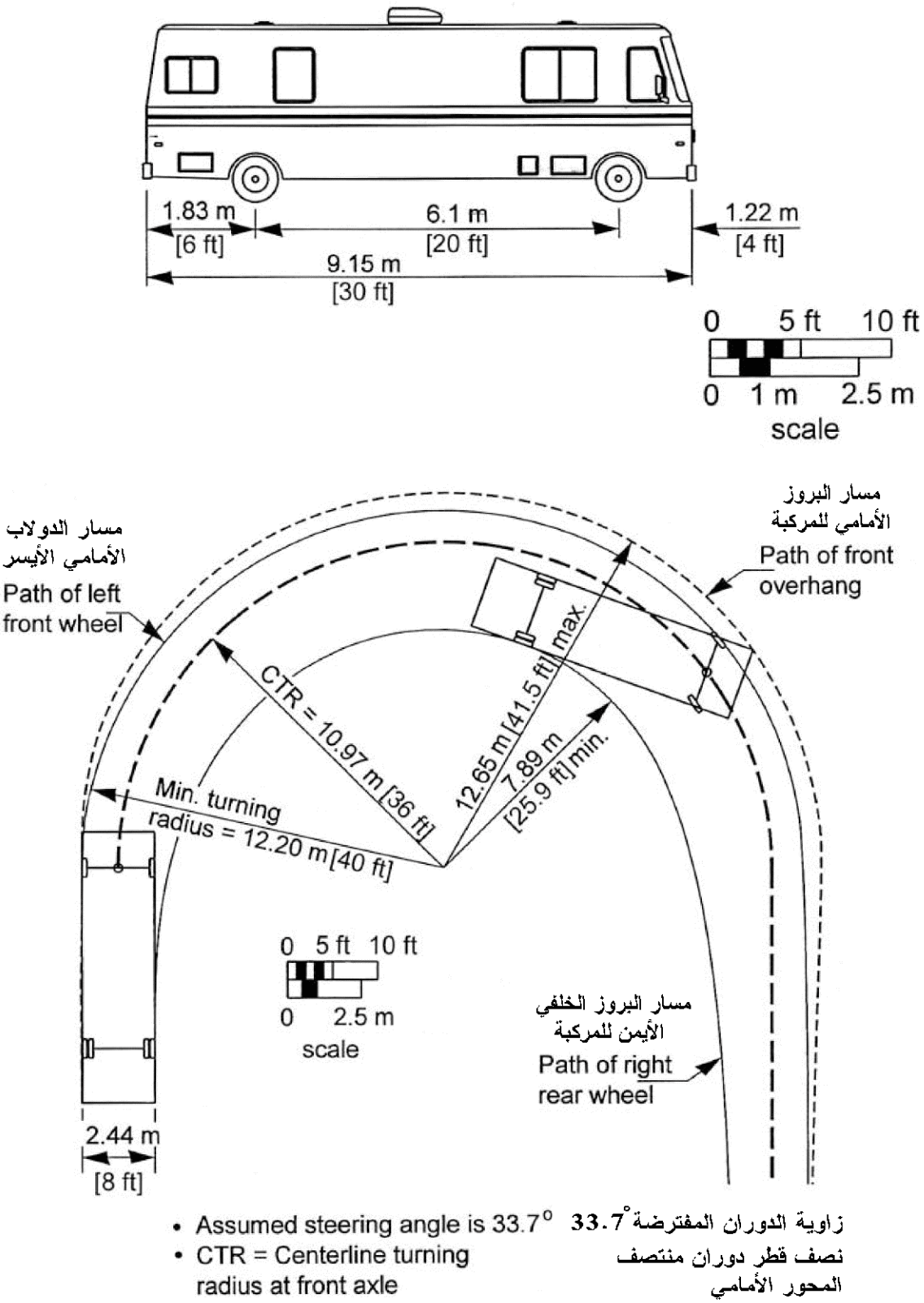
الشكل (2-15) نصف قطر الدوران الأدنى للمركبة التصميمية فئة قاطرة ونصف مقطورة ومقطورة (WB-20D)



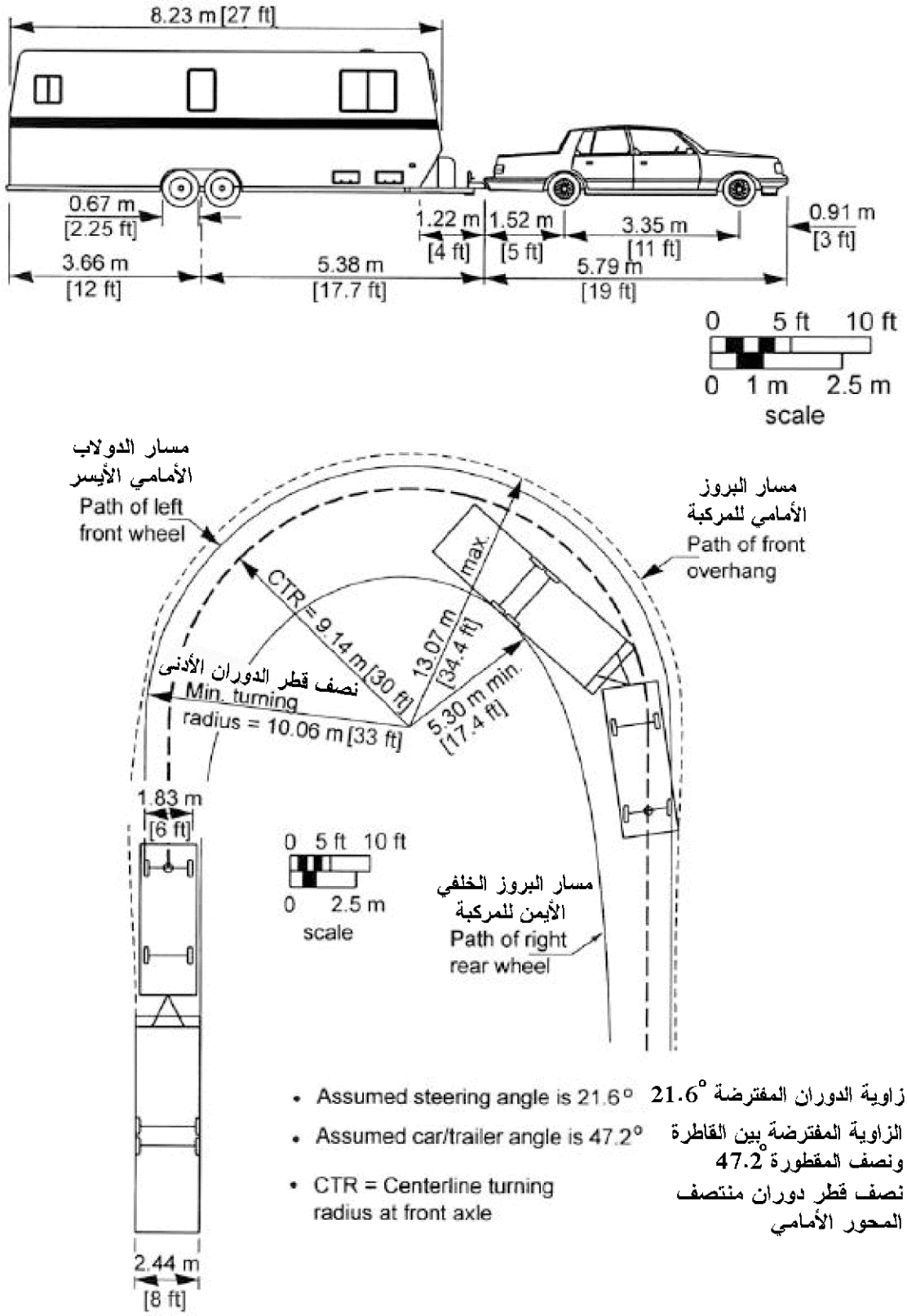
الشكل (2-16) نصف قطر الدوران الأدنى للمركبة التصميمية فئة قاطرة ونصف مقطورة ومقطورتين (WB-30T)



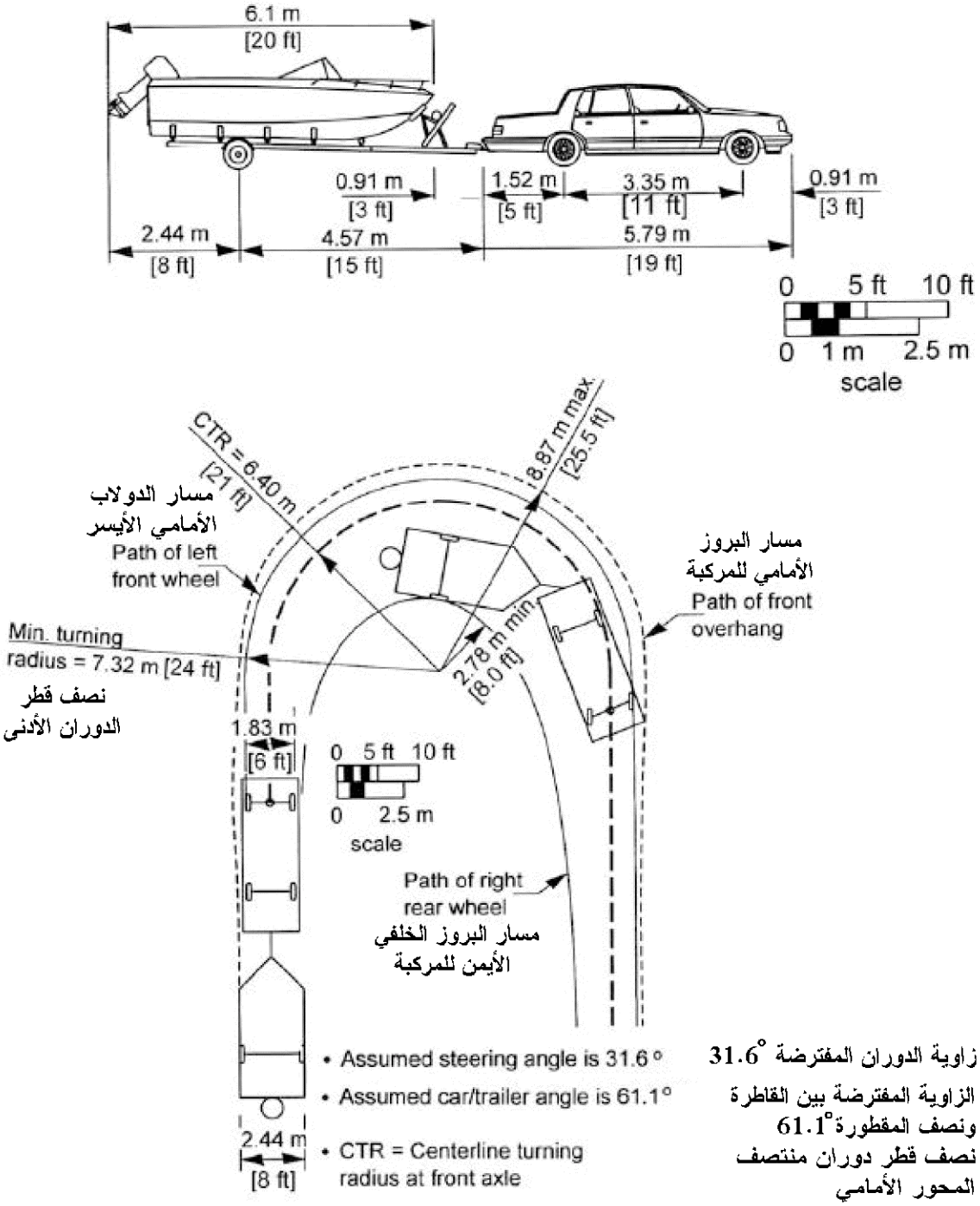
الشكل (2-17) نصف قطر الدوران الأدنى للمركبة التصميمية فئة قاطرة ونصف مقطورة ومقطورة كبيرة (WB-33D)



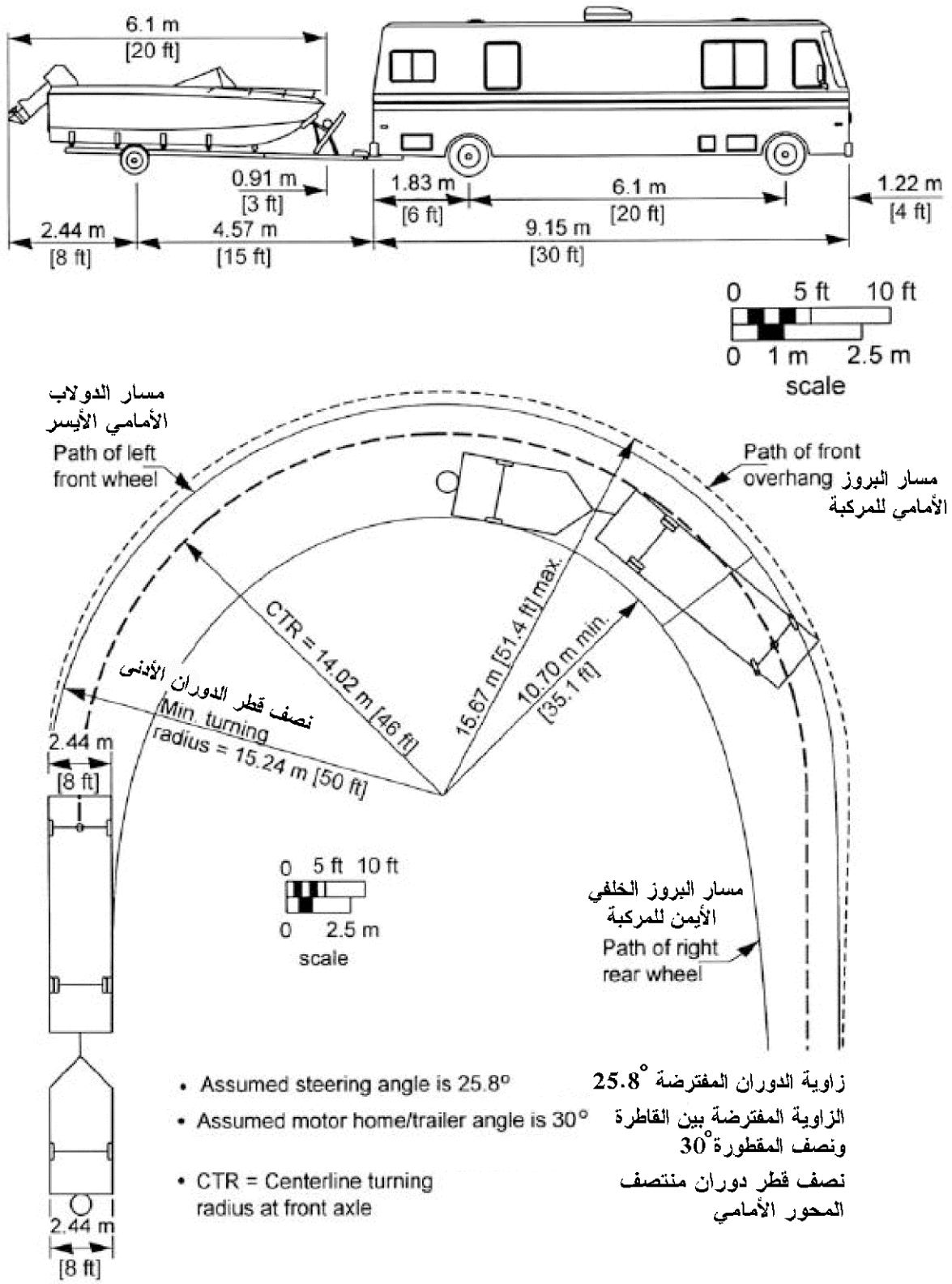
الشكل (2–18) نصف قطر الدوران الأدنى للمركبة التصميمية فئة مركبة منزلية (MH)



الشكل (2–19) نصف قطر الدوران الأدنى للمركبة التصميمية فئة مركبة ومقطورة تخييم (P/T)



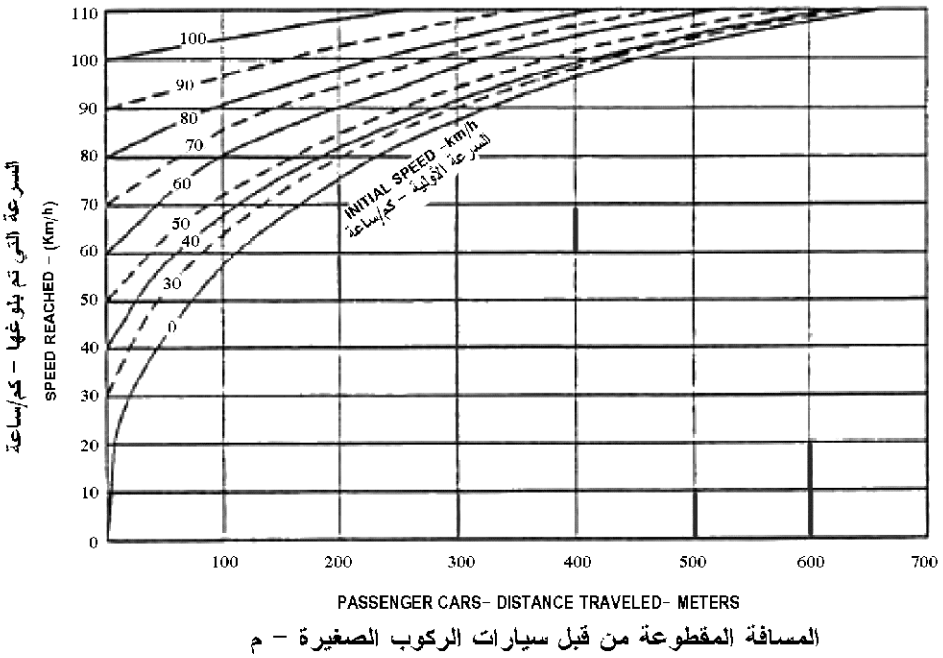
الشكل (2–20) نصف قطر الدوران الأدنى للمركبة التصميمية فئة مركبة ومقطورة قارب (P/B)



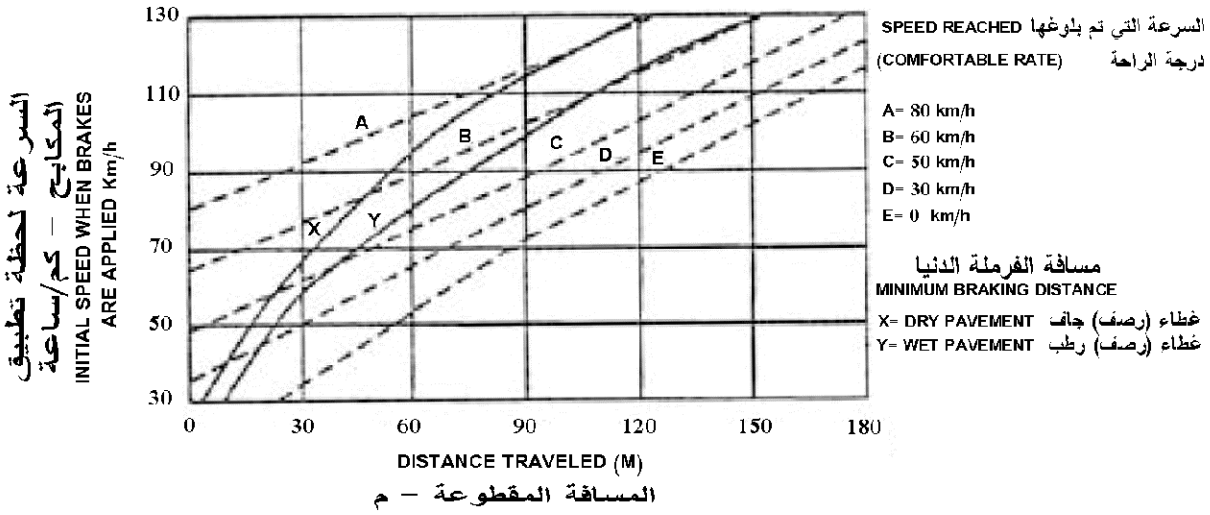
الشكل (2-21) نصف قطر الدوران الأدنى للمركبة التصميمية فئة مركبة منزلية ومقطورة قارب (MH/B)

3-2 أداء المركبات Vehicles Performance:

يعد معدل تسارع وتباطؤ المركبات من العوامل الحدية في تصميم عناصر الطريق الهندسية، وتتحكم هذه المعدلات بالأبعاد الهندسية لبعض المنشآت الطرقية كالتقاطعات والرامبات وحارات التسلق والتجاوز Climbing and Over Taking Lanes وكذلك حارات الالتفاف الكاملة (الدوران للخلف) للباصات ويوضح الشكل (2-22) تسارع سيارات الركوب الصغيرة في الحالات الحدية أما الشكل (2-23) فيوضح مسافة تباطؤ السيارات السياحية عند اقترابها من التقاطعات.



الشكل (2-22) تسارع سيارات الركوب الصغيرة



شكل 2-23 مسافة تباطؤ سيارات الركوب الصغيرة عند اقترابها من التقاطعات

4-2 التلوث الناجم عن حركة السيارات Vehicular Pollution

أن الملوثات الناجمة عن محركات السيارات وتأثيرها على استعمالات الأراضي المجاورة للطريق هي من العوامل التي تؤثر على عملية التصميم للطريق. وحين تتحرك المركبة على طول الطريق فإنها تبعث ملوثات في الجو وتنشر الضوضاء إلى المنطقة المحيطة. ومن واجب المصمم أن يعي هذه الانبعاثات وأن يقوم بتقييمها حين اختياره للحلول المختلفة. وهناك عوامل عديدة تؤثر على معدل انتشار التلوث من السيارات أهمها: تنوع وتعدد المركبات وسرعتها ودرجة حرارة الهواء المحيط وسنة الصنع.

وبالإضافة إلى تلوث الهواء على المصمم أن يأخذ بعين الاعتبار التلوث الناجم عن الضوضاء. وتعرف الضوضاء بأنها الصوت غير المرغوب (غير المستحب) والذي يتداخل مع نشاطات أخرى كالمحادثة والتفكير والقراءة والنوم. وتنشأ الضجة الناجمة عن حركة السيارات من العملية الميكانيكية لحركة المحرك وتجهيزاته والخواص الديناميكية لها وكذلك من صوت حركة الدواليب على سطح الطريق. ويضاف إلى ذلك عند حركة السيارة في المناطق المأهولة أصوات الفرملة الحادة الفجائية وأصوات العادم والزمامير وأصوات التنبيه من سيارات الطوارئ.

وتعد الشاحنات والسيارات السياحية هي السبب الأكبر للضوضاء على الطرق، كما تعد الدراجات النارية أيضاً كعامل يجب أخذه بعين الاعتبار بسبب تزايد أعدادها بسرعة في السنوات الأخيرة. وتعد السيارات السياحية الحديثة هادئة نسبياً خصوصاً عند حركتها بسرعة عادية ولكن الأعداد الكبيرة منها تقوم بتوليد ضوضاء محسوسة. وتزداد الضوضاء الناجمة عن السيارات بشكل كبير مع زيادة السرعة. وتنشأ الضوضاء المنبعثة من حركة سيارات الركوب الصغيرة بشكل أساسي من عوادم المحركات والتلامس بين الدواليب وسطح الطريق. وتشكل السيارات الشاحنة خصوصاً ذات محركات الديزل الثقيلة أكبر مشكلة تتعلق بالضجيج على الطرق. ولا تتأثر كثيراً مستويات الضوضاء الناجمة عن الشاحنات بالسرعة وإنما بتغير السرعة (التسارع والتباطؤ) وهو ما يشكل جزءاً كبيراً من مجمل الضوضاء. كما يمكن أن تشكل الميول الحادة المديدة زيادة في مستويات الضوضاء الناجمة عن حركة الشاحنات الكبيرة. وتتشكل الضوضاء الناجمة عن حركة الشاحنات من عدة مكونات مثل عوادم المحركات واحتكاك الدواليب مع سطح الطريق خصوصاً أثناء التسارع، ومآخذ سحب الهواء.....إلخ.

وتتعلق نوعية الضجيج بعدد السيارات والخواص التشغيلية لها بينما يتعلق اتجاه الضجيج وشدته بتصميم الطريق نفسه، ولذلك يجب على المهندس المصمم أن يأخذ بعين الاعتبار كيفية تأثير التصميم المقترح للطريق والضوضاء الناجمة عن الحركة على الأشخاص القاطنين أو العاملين بالقرب من ذلك الطريق، حيث تقل مستويات الضوضاء كلما ابتعد الطريق عن أماكن السكن والعمل.

5-2 سلوك السائق Driver Performance

1-5-2 مقدمة:

من الضروري جداً الأخذ بعين الاعتبار سلوك السائق للوصول إلى تصميم وتشغيل جيد للطريق. ويتعلق التصميم المناسب للطريق بمدى الفعالية والأمان التي يمكن للسائقين أن يستخدموا فيه الطريق. ولذلك يجب أن يتم تصميم الطريق بحيث يكون ملائماً لإمكانيات السائقين الجسمانية والنفسية وإلا فإن الأخطار الناجمة عن السائقين سوف تزداد مما قد ينجم عنه حوادث مؤسفة أو تشغيل غير فعال للسيارة.

2-5-2 زمن الاستقبال ورد فعل السائق Reaction time:

تأخذ المعلومات زمناً من أجل معالجتها ضمن الجهاز العصبي للسائق. ويتعلق زمن رد فعل السائق بعدة عوامل أهمها حجم المعلومات اللازم معالجتها وأخذ القرار اللازم بناء على ذلك. وكلما زاد زمن رد فعل السائق كلما كان احتمال الخطأ أكبر. وقد بينت القياسات على زمن رد فعل السائق للقيام بالفرملة نتيجة معالجة جهازه العصبي للمعلومات المتوقعة أنه يبلغ 0.6 ثانية بشكل وسطي ويصل عند قلة من السائقين إلى 2 ثانية، بينما يزداد هذا الزمن بالنسبة للأحداث غير المتوقعة بنسبة 35% . وهكذا فإن اختيار قرار بسيط ورد فعل تجاه حدث ما غير متوقع قد يتطلب من بعض السائقين زمناً يصل حتى 2.7 ثانية، أما من أجل مواجهة حدث أكثر تعقيداً مع وجود عدة احتمالات للمواجهة فقد يتطلب الأمر عدة ثواني أطول من ذلك.

وعليه يجب أن تأخذ التصاميم الهندسية بعين الاعتبار زمن رد فعل السائق وأن هذا الزمن يختلف من سائق لآخر حسب مهاراته، خبرته، سِنّه، يقظته وانتباهه. ويزداد زمن رد فعل السائق عنما يكون الحدث معقداً وغير متوقع، ولذلك يجب تأمين مسافات رؤية كافية على كافة عناصر الطريق الهندسية في المسقط الأفقي والمقطع الطولي حتى يتمكن السائق من إيقاف سيارته دون أن يتعرض لحادث مع الأخذ بعين الاعتبار زمن رد الفعل لمعظم السائقين.

3-5-2 السائق وأخطاء السائقين:

يحدث أحياناً أخطاء عديدة في قيادة السيارة بسبب قلة خبرة السائق أو تهوره أو كبره في السن، والتي يمكن أن تترافق مع تصاميم طرقية غير مناسبة أو أوضاع مرورية صعبة مما قد ينجم عنها فشل في الحكم السليم للسائق وبالتالي رد فعل غير مناسب. مثلاً في حال النقص في الخبرة والتدريب يمكن أن يؤدي بالسائق إلى الزحلقة على طريق رطب وزلق. كما يمكن أن تؤدي المخاطرة غير المناسبة عند التجاوز إلى الاصطدام مع سيارة أخرى لعدم التقدير اللازم لمسافة الأمان. كما يمكن أن يؤدي الإبهار الناجم عن مصابيح السيارات المقابلة إلى العمى المؤقت للسائقين المسنين وبالتالي عدم رؤية الطريق لفترة وجيزة، قد تكون كافية لوقوع حادث.

ويمكن أن تؤدي الحالة النفسية والجسمانية (الصحية) السيئة للسائق إلى حادث مثلاً في حالة تعاطي السائق للكحول والمخدرات. كما يؤدي الإجهاد والتعب والنعاس الناجم عن قيادة السيارة لمسافات طويلة وزمن طويل دون استراحة أو القيادة على طريق في بيئة متشابهة التضاريس (صحراوية مثلاً) أو كلاهما معاً إلى الوقوع في حادث.

وبشكل عام يؤدي التصميم الجيد لعناصر الطريق الهندسية واتخاذ التدابير المرورية الناجعة إلى الإقلال من أخطاء السائقين المبتدئين (قليلي الخبرة) والسائقين الماهرين. ويتمتع معظم السائقين بالمهارة والخبرة للقيادة بشكل جيد في بداية الرحلة عندما لا يكونون تعبين أو مخمورين أو تحت تأثير المخدرات، ولكن عندما يصبح السائق منهكاً ولم يأخذ القسط الكافي من الراحة ويقوم بالقيادة لمدة طويلة فإنه يصل إلى حالة حدية من عدم التوازن في رد فعله تجاه حالة الطريق ومتغيرات الحركة عليه.

ويشكل السائقون المتعبون (المنهكون) نسبة كبيرة من هؤلاء الذين يقومون بسفريات طويلة المدى والزمن ولذلك يجب أخذ ذلك بعين الاعتبار في تصميم الطرق الحرة. كما يشكل التقدم في العمر لمعظم المسنين تأثيراً كبيراً على الحواس والقدرات العقلية ومهارات القيادة، الأمر الذي يعتبر من أولويات القيادة الآمنة.

لذلك من المهم أن يأخذ المصمم بعين الاعتبار خصائص السائقين المسنين بعين الاعتبار أثناء تصميم الطريق. ويمكن تلخيص آخر ما توصلت إليه الأبحاث المهمة بهذا الخصوص فيما يلي:

1. عيوب السائقين المسنين:

بالمقارنة مع السائقين اليافعين والشباب، يتميز السائقون المسنون بالعيوب التالية:

- معالجة أبطأ للمعلومات.
- زمن رد فعل أبطأ.
- البطء في اتخاذ القرار.
- ضعف البصر.
- ضعف السمع.
- ضعف الإحساس بالزمن والسرعة والمسافة.
- محدودية الحركة.
- الوقوع تحت التأثيرات الجانبية للأدوية.

2. تكرار الحوادث (Crash Frequency)

يتورط السائقون المسنون بشكل عام في عدد أكبر من الحوادث ذات نسبة أعلى من المعدل وذلك بسبب فقدانهم للمهارة اللازمة. وتشمل المناورات الخاطئة التي يقوم بها السائقون المسنون والتي تؤدي إلى الحوادث ما يلي:

- الانعطاف إلى اليسار بشكل فجائي ضمن حركة المرور.
- الاندماج مع حركة مرور عالية السرعة.
- تغيير حارة المرور في الشوارع المزدحمة من أجل الانعطاف.
- عبور تقاطع مزدحم جداً بالمرور.
- سرعة الوقوف في الازدحامات المرورية (أثناء الإصطفاف المروري).
- عند ركن السيارة بالموقف.

3. الإجراءات الوقائية الواجب اتخاذها:

يمكن التقليل من نسبة الحوادث التي يقوم بها السائقون المسنون باتباع التدابير التالية:

- مراجعة الأدلة الخاصة بتصميم الطرق وإدارتها لبحث إمكانية تصميم الطرق لملائمة احتياجات ما نسبته 95% – 99% من السائقين، كلما كان ذلك مناسباً.
- زيادة مسافة الرؤيا وإزالة العقبات التي تعيق النظر خصوصاً عند التقاطعات سواء في مستو واحد أو عدة مستويات.
- تأمين مثلث رؤيا من أجل تحقيق مسافة رؤيا جانبية كافية.
- إدخال المسافة المتعلقة بزمن رد فعل السائق.
- تبسيط وإعادة تصميم العقد والتقاطعات في مستو واحد أو عدة مستويات خصوصاً تلك التي تتطلب استقبال ومعالجة متعددة للمعلومات.
- عمل حلول متعددة وانتقاء الحل الأكثر أماناً.
- التوسع في استعمال حركات اليسار المحمية.
- زيادة الزمن الأصفر عند التقاطعات المحكومة بإشارات ضوئية، بحيث لا تنعكس سلباً على سلامة المرور.
- زيادة زمن المشاة.
- استعمال خطوط دهان (علامات) أعرض وأكثر وضوحاً.
- استخدام إشارات بحجم أكبر وعاكسية أكثر وضوحاً.

- اعادة دراسة وتصميم التقاطعات التي تتطلب من السائقين زمناً طويلاً للاستقبال وردة الفعل وذلك لجعلها أبسط (أقل تعقيداً) وأكثر راحةً وأماناً لمستخدمي الطريق.
- الإكثار من المعلومات التي تعطيها الإشارات الإرشادية لأسماء الشوارع والدلالة على حركات الانعطاف أو الدوران القادمة.
- إجبار السائقين على التقيد بحدود السرعة.
- زيادة الوعي والثقيف المروري السائقين.

وانطلاقاً من الخبرة المكتسبة في تصميم الطرق فإن أكثر الأساليب نجاعة هو زيادة مسافة الرؤيا للإقلال من الحوادث التي يقوم بها السائقون المسنون وذلك عن طريق زيادة زمن رد فعل السائق.

إن الزيادة المستمرة في عدد المسنين ضمن شريحة السائقين تفرض استعمال زمن رد فعل أطول وبالتالي مسافة رؤيا أطول تتناسب مع هذه الشريحة من أجل التقليل من عدد الحوادث التي يقومون بها، على أن يترافق ذلك مع الإشارات التحذيرية أو الإرشادية المسبقة

الفصل الثالث

خصائص المرور TRAFFIC CHARACTERISTICS

1-3 اعتبارات عامة General Considerations

يجب أن يستند تصميم الطريق على تقييم دقيق لحجم المرور، إضافة إلى المعلومات الأخرى مثل التمويل وتوفر مواد الإنشاء وتكاليف الاستملاك وغيرها من العوامل التي تؤثر على التصميم. إلا أن حجم المرور يبقى العامل الأهم الذي يملي ضرورة إجراء التحسينات اللازمة ويفرض بشكل مباشر ملامح الطريق الهندسية مثل عدد حارات المرور وعرض الطريق الكلي والتخطيط الأفقي والرأسي والميول الطولية. ومن غير المجدي تصميم طريق دون معلومات مرورية، كما لو أننا سنقوم بتصميم جسر بدون أن يكون لدينا معرفة بالحمولات وعدد ونوع المركبات التي ستقوم باستخدام هذا الجسر. وتعتبر دراسة الحجوم المرورية أساسية من أجل تحديد عناصر الطريق الهندسية في المسقط الأفقي والمقطعين الطولي والعرضي وتصميم سماكات الرصف الإنشائية، ولا يمكن تصميم طريق وتحديد عرضها ومنحنياتها وانحداراتها إلا إذا استطعنا معرفة عدد ونوع المركبات التي ستستعمل الطريق طيلة عمر الطريق (ولو بصورة تقريبية).

ويمكن الحصول على المعلومات المرورية لطريق أو لجزء من طريق من خلال الدراسات الحقلية أو من الجهات المعنية في حال توفر معلومات تتضمن حجم المرور لعدة أيام في السنة وعدة ساعات في اليوم وكذلك نسبة توزيع المركبات حسب النوع والوزن. كما يمكن أن تتضمن هذه المعلومات نسبة الزيادة السنوية في عدد المركبات، الأمر الذي يساعد المصمم في تقدير حجم المرور المستقبلي.

2-3 حجم المرور Volume

يُعرّف حجم المرور بعدد المركبات التي تمر عن نقطة معينة خلال فترة من الزمن، الامر الذي يتطلب القيام بتعداد للمركبات لمعرفة ما يلي:

- عدد المركبات ساعة بساعة خلال اليوم الواحد وعلى مدار أيام السنة ان امكن.
- تحديد الساعات التي يمر بها اقصى حجم من المركبات لاختيار حجم المرور التصميمي بالساعة.
- عدد المركبات يوم بيوم وعلى مدار أيام السنة وتحديد الايام والاشهر التي يزدحم فيها المرور.

1-2-3 معدل حجم المرور اليومي Average Daily Traffic (ADT)

يعد معدل حجم المرور اليومي من أكثر القياسات الأساسية المطلوبة لغاية تصميم وتشغيل للطريق، ويعرّف بالمجموع الكلي للمركبات التي تمر عن نقطة معينة خلال فترة زمنية محددة تزيد عن يوم واحد وتقل عن سنة مقسوماً على عدد أيام هذه الفترة. ويمكن تحديد معدل حجم المرور اليومي الحالي لطريق بسهولة عندما تتوفر إمكانية إحصاء حجم المرور بشكل مستمر.

وتعد معرفة معدل حجم المرور اليومي مسأله هامة لعدة أسباب أهمها معرفة الاستخدام السنوي للطريق لتبرير تخصيص نفقات مالية لإنشاء أو صيانة الطريق، أو تصميم عناصره الإنشائية.
ولا يعتبر الاستخدام المباشر لمعدل حجم المرور اليومي ملائماً لإختيار العناصر الهندسية للطريق، حيث أنه لا يعكس تغير حجم المرور من شهر لآخر خلال السنة الواحدة ومن يوم لآخر خلال الأسبوع ومن ساعة لأخرى خلال اليوم، ويستثنى من ذلك الطرق التجميعية والمحلية ذات الكثافات (الغزارات) المرورية القليلة نسبياً. ويمكن أن يكون حجم المرور الفعلي في أيام معينة أكبر بكثير من معدل حجم المرور اليومي فمثلاً قد يكون حجم المرور على طريق خلوي في أيام معينة من السنة ضعف معدل حجم المرور اليومي، وهكذا فإن الطريق المصمم حسب معدل حجم مرور سوف يتحمل حجم أكبر من هذا الحجم التصميمي لأيام عديدة من السنة مما يستوجب اجراء تصحيح يعكس التغيرات في حجم المرور خلال الساعة واليوم والفصل على مدار السنة.

2-2-3 حجم المرور في ساعة الذروة Peak-Hour Traffic

إن إختيار حجم المرور لعدد من ساعات اليوم يعكس شروط التشغيل الواجب استخدامها للتصميم بشكلٍ أفضل. وتعد فترات ساعات الذروة المتكررة بشكل دوري ذات مدلولات هامة في هذا الصدد. وفي معظم الحالات من أجل الحصول على دقة كافية وعملية نعتبر أن وحدة الزمن هي ساعة واحدة.

يوضح نمط المرور على أي طريق تغيرات كبيرة في حجم المرور حسب ساعات اليوم والذي يختلف حسب الشهر والفصل من السنة، ويعتمد قرار التصميم الرئيسي على تحديد أي من حجوم المرور في الساعة يجب إستخدامه كأساس للتصميم. بينما سيكون من الهدر بناء التصميم على أكبر حجم مرور في الساعة يصادف خلال السنة كذلك سيقود استخدام معدل حجم مرور في الساعة إلى تصميم غير دقيق. وعليه يجب أن نختار حجم المرور التصميمي في الساعة مناسب بحيث يغطي إلى حد كبير معظم ذروات ساعات السنة، وفي الوقت نفسه لا يكون كبيراً إلى درجة يقترب فيها من ساعة الذروة القصوى خلال السنة. وأفضل ما يمكن عمله من أجل التصميم المناسب هو استخدام منحنيات تبين تغير حجوم المرور في الساعة خلال السنة كما هو مبين في الشكل (3-1) .

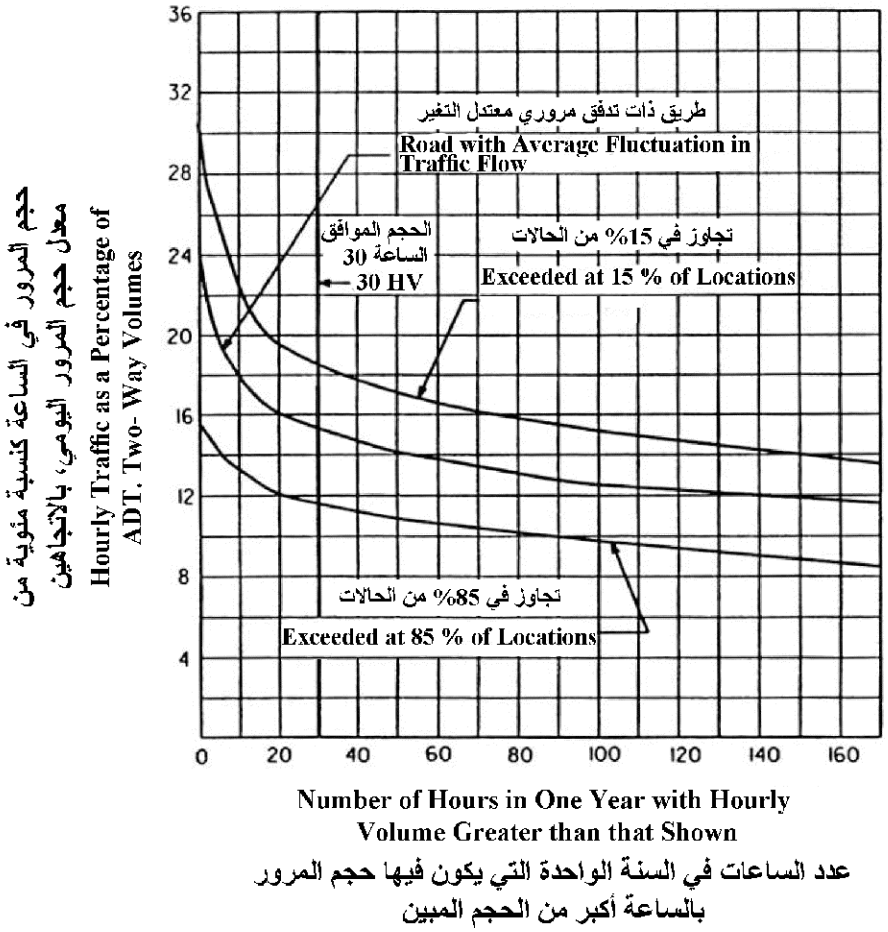
يوضح الشكل (3-1) العلاقة بين حجم المرور الأقصى في الساعة ومعدل حجم المرور اليومي على الطرق الشريانية الخلوية، وقد تم استنتاج هذه العلاقة من خلال تحليل بيانات إحصائية مرورية غطت مجالاً واسعاً من الحجوم والشروط الجغرافية. وقد تم رسم المنحى بترتيب كافة حجوم المرور في الساعة خلال سنة واحدة بشكل تنازلي والتعبير عنها كنسبة مئوية من معدل حجم المرور اليومي. يعبر المنحنى الأوسط عن معدل النسب لكافة المواقع المدروسة والتي تمثل طرق ذات تغيرات معتدلة في التدفق المروري.

في العموم واعتماداً على مراجعة هذه المنحنيات، يوصى باستخدام النسبة المئوية لحجم المرور في الساعة من معدل حجم المرور اليومي المطابقة للساعة الثلاثين لأغراض التصميم، بمعنى أنه يوجد

فقط 29 ساعة ذروة خلال السنة يكون حجم المرور في كل منها أكبر من هذا الحجم ويسمى اصطلاحاً الحجم الموافق للساعة 30 ويرمز لها اختصاراً DHV 30 . ونستدل على صواب استخدام DHV 30 كمؤشر للتصميم من خلال المقارنة مع قيم أقل أو أكبر من هذا الحجم، حيث نلاحظ أن المنحنى في الشكل (3-1) ينحدر بشكل سريع إلى يسار النقطة الموافقة (المطابقة) للساعة التي ترتيبها ثلاثين تنازلياً من حيث قيم نسبة حجم المرور في الساعة من معدل حجم المرور اليومي لإجمالي عدد الساعات في السنة، بينما يصبح المنحني منبسطاً إلى يمين هذه النقطة وهذا يشير إلى أن حجم المرور في الساعة على مدار أيام السنة لا تقل كثيراً عن القيمة الموافقة للساعة 30.

يشكل حجم المرور الموافق للساعة 30 على الطرق الخلوية ذات التدفق معتدل التغير، حوالي 15 % من معدل حجم المرور اليومي. ونلاحظ أن حجم المرور الأقصى في الساعة والذي يساوي على المنحني الوسطي تقريباً 25% من معدل حجم المرور اليومي حيث يتخطى حجم المرور الموافق للساعة 30 بنسبة تصل حتى 67%.

ويشير الشكل (3-1) الى أن النسبة المئوية لحجم المرور من معدل حجم المرور اليومي الموافقة للساعة 170 تساوي 11.5% وتقل بحوالي 23 % من النسبة المئوية لحجم المرور من معدل حجم المرور اليومي الموافقة للساعة 30.



الشكل (3-1) العلاقة بين عدد ساعة الذروة والنسبة المئوية لحجم المرور في الساعة من معدل حجم المرور اليومي على الطرق الشريانية الخلوية

من الخصائص الأخرى المفيدة لاختيار حجم المرور الموافق للساعة 30 كنسبة مئوية من معدل حجم المرور اليومي أنه يتغير بشكل طفيف من سنة لأخرى حتى عندما يتغير معدل حجم المرور اليومي بشكل كبير، وينجم عن زيادة معدل حجم المرور اليومي نقص طفيف في حجم المرور الموافق للساعة 30. ولهذا السبب يمكن استخدام النسبة المئوية لحجم المرور الموافقة (المطابقة) للساعة 30 وضربه بمعدل حجم المرور اليومي لسنة ما في المستقبل للحصول على الحجم الموافق للساعة 30 المستقبلية، وقد لا ينطبق هذا التناسب بين الحاضر والمستقبل عندما يكون هناك تغير جذري باستخدام الأراضي التي يخدمها الطريق. وفي الحالات التي يمكن التنبؤ بها بملامح وحجم التطور المستقبلي فقد تعتمد العلاقة بين حجم المرور الموافق للساعة 30 ومعدل حجم المرور اليومي على الخبرة المكتسبة من طرق أخرى تخدم مناطق شبيهة من حيث الخواص واستخدامات الأراضي.

ولأغراض تصميم الطرق يجب قياس حجم المرور في الساعة ومعدل حجم المرور اليومي وحساب النسبة المئوية لحجم المرور الأقصى في الساعة إلى معدل حجم المرور اليومي وذلك للوصول إلى حجم المرور الموافق للساعة 30 المطلوب. وعندما تكون مثل هذه القياسات غير عملية أو غير ممكنة، والمعلوم فقط معدل حجم المرور اليومي يمكن تقدير حجم المرور الموافق للساعة 30 من النسبة المئوية لحجم المرور لطرق مماثلة من حيث شروط الموقع والتشغيل.

يساوي حجم المرور الموافق للساعة 30 على الطرق الشريانية الخلوية النمطية حوالي 15% من معدل حجم المرور اليومي ويساوي حجم المرور الأقصى في الساعة حوالي 25% من معدل حجم المرور اليومي. وكما هو مبين في الشكل 3-1 فإن حجم المرور الموافق للساعة 30 في 70% من مجمل المواقع (عدا تلك التي لها تغيرات عالية أو منخفضة في تدفق المرور) التي تقع ضمن مجال 12 – 18% من معدل حجم المرور اليومي. ويتراوح مدى حجم المرور الأقصى في الساعة لكافة الطرق تقريباً بين 16 – 32% من معدل حجم المرور اليومي. وتنطبق هذه المعايير على أغلب الطرق الخلوية، ما عدا بعض الطرق ذات التغير الموسمي الكبير في التدفق المروري مثل طرق الاصطياف والمنتجعات التي يقصدها الناس في عطل نهاية الأسبوع خلال أشهر قليلة من السنة، حيث يصبح المرور عليها أعلى بكثير من باقي أوقات السنة. وينجم عن هذا التغير الموسمي حجوم مرور كبيرة في ساعة الذروة بالمقارنة مع معدل حجم المرور اليومي، ونسب مئوية عالية من الساعات ذات حجوم المرور الكبيرة وكذلك نسبة عالية من الساعات ذات حجوم المرور المنخفضة.

وهكذا كقاعدة عامة فإن حجم المرور التصميمي Design Hourly Volume (DHV) الموافق للساعة 30 في سنة التحليل المستقبلية (بعد 20 سنة مثلاً من فتح الطريق للحركة) هو ما يجب أخذه بعين الاعتبار في تصميم الطرق الخلوية والحضرية، ويستثنى من ذلك الطرق ذات التغيرات الكبيرة في حجم المرور، حيث يقتضي الأمر ضرورة استخدام حجم مرور بالساعة مختلف، وللحصول على الحجم المرور التصميمي في الساعة بشكل دقيق في الطرق الحضرية يتم إحصاء الذروات المرورية فترتي الصباح (الذهاب إلى العمل) وما بعد الظهر (الرجوع من العمل) خلال يوم إعتيادي. وبسبب

تكرار ساعات الذروة لتيار التدفق المروري الصباحية وما بعد الظهر فإن هناك فرق بسيط بين حجم المرور الموافق للساعة 30 والساعة 200.

ومن أجل ظروف نموذجية للطرق الحضرية، فقد تبين أن أقصى حجم للمرور في الساعة خلال اليوم يصادف في فترة ما بعد الظهر أي في رحلات العودة من العمل إلى البيت. ويمكن تحديد حجم المرور في الساعة (DHV) باختيار ساعة الذروة القصوى لتيار حركة المرور لكل أسبوع ومن ثم أخذ معدل 52 أسبوعاً خلال السنة. وإذا صدف أن كانت كافة حجوم المرور في ساعات الذروة الصباحية لكل أسابيع السنة أقل من حجوم المرور في ساعات الذروة لما بعد الظهر فإن معدل حجم المرور في ساعات الذروة الـــ 52 لما بعد الظهر سوف تكون مساوية تقريباً لأعلى 26 لحجم المرور في الساعة خلال السنة. وإذا كان حجم المرور في الساعة في الذروة الصباحية مساوية حجم المرور في الساعة في الذروة لما بعد الظهر فإن معدل حجم المرور في ساعات الذروة لما بعد الظهر مساوي لحجم المرور في الساعة الموافق للساعة 50.

إن حجوم المرور في الساعة الموافقة للساعة 26 أو الساعة 50 خلال السنة لا تختلف كثيراً عن الكثافة (الغزارة) الموافقة للساعة 30 بالمقدار الذي يمكن أن يؤثر على التصميم النهائي للطريق. ولهذا فإنه عند تصميم الطرق الحضرية يمكن اعتبار حجم المرور الموافق للساعة 30 مناسباً للتصميم ويمثل حجم المرور الأقصى في الساعة خلال السنة. ويستثنى من ذلك الطرق التي تقوم بتخديم مناطق الاستجمام والراحة والاصطياف والتي ينجم عنها رحلات مركزة في مواسم معينة من السنة، حيث في مثل هذه المناطق يكون حجم المرور في الساعة أكبر بكثير من الحجم الموافق للساعة 30 وبالتالي يجب أخذ حجم مرور ساعي تصميمي (DHV) أكبر.

ومن أجل ذلك يجب إجراء مسح مروري خاص لاستنتاج (DHV) المناسب. ويتم عادة استخدام معدل حجم المرور اليومي (ADT) لتصميم الطرق الحضرية والخلوية والتي تقوم بقياسها إدارات النقل بشكل دوري. وقد أصبح من المفضل في السنوات الأخيرة إجراء مسح مروري يعتمد على تحديد حجم المرور التصميمي في الساعة (DHV) بدلاً من معدل حجم المرور اليومي ، ومما يساعد على ذلك إمكانية الحصول على معلومات عن الرحلات من البيت إلى العمل وبالعكس. ويتم تحديد الطلب على الرحلات المستقبلية في الحالات العادية من دراسة تخطيط النقل الحضري على شكل رحلات يومية إجمالية ضمن منظومة النقل ككل حيث يتم الأخذ بعين الاعتبار الفصل ما بين النقل العام والنقل الخاص. ويتم توزيع هذه الرحلات على عقد وتقاطعات الطرق الحضرية والبرية المستقبلية.

في بعض الحالات يتم إعطاء معدل حجم المرور اليومي (ADT) من قبل دوائر النقل المختصة، بينما في حالات أخرى يتم من قبل مهندسي النقل المختصين إعطاء حجم المرور في الساعة في الاتجاه الأكثر ازدحاماً. ومن الناحية العملية فإن هذا هو المفضل لأن مجموعة مهندسي النقل المختصين هم الأقدر على تقييم حركة المرور وتوزيعها على شبكة الطرق ومنظومة النقل.

يمكن الحصول على حجم المرور التصميمي في الساعة (DHV) المطابق (الموافق) للساعة 30 للطرق الحضرية بضرب معدل حجم المرور اليومي (ADT) بعامل مناسب (يتراوح من 8–12 %) وفي معظم الأحوال يتم الحصول على هذه العوامل من نتائج التعداد المروري الدائم من قبل مديريات النقل المختصة.

3-3 التوزيع الاتجاهي Directional Distribution

يمثل حجم المرور التصميمي في الساعة (DHV) لطريق خلوي بمسربين في الاتجاهين مجموع المرور لكلا المسربين الذي يتألف منهما. وعند القيام بالتصميم يجب معرفة حجم المرور في الساعة لكل اتجاه سواء كان الطريق بمسربين في الاتجاهين أو لطريق بعدة مسارب في كل اتجاه خصوصاً عند وجود تقاطعات عليها أو عند إضافة مسارب جديدة لطريق متعددة المسارب إذا دعت الحاجة لذلك.

فقد تحتاج الطرق متعددة المسارب لعدد أكبر من المسارب في الاتجاه الواحد إذا كانت النسبة المئوية لحجم المرور في أحد الاتجاهين لاجمالي حجم المرور في ساعة الذروة عالية، في حين قد لا تقتضي الحاجة لذلك للطرق التي لها نفس معدل حجم المرور اليومي لكن بنسبة أقل من حيث الاختلاف بحجم المرور في كل اتجاه.

تتراوح النسبة المئوية لحركة المرور أحد الاتجاهين على معظم الطرق الخلوية خلال ساعة الذروة ما بين 55 – 77% من إجمالي المرور على الطريق وقد تصل حتى 80% في بعض الأحيان. فعلى سبيل المثال إذا تم تصميم طريق خلوي لحجم 4000 مركبة/ساعة لكلا الاتجاهين معاً، مع فرض تساوي التوزيع بين الاتجاهين خلال الساعة التصميمية فيكون هناك 2000 مركبة/ساعة بكل اتجاه وعندها يكفي استخدام مسربين في كل اتجاه. ولكن إذا كانت نسبة حجم المرور التصميمي في الساعة تساوي 80% في أحد الاتجاهين عندها سنحتاج على الأقل إلى ثلاث مسارب في كل اتجاه لتمرير 3200 مركبة/ساعة، وإذا ما تم تطبيق معيار 1000 مركبة/ساعة/مسرب سنحتاج إلى أربع مسارب في كل اتجاه.

فيما عدا بعض الطرق التي تقوم بتخديم مناطق الاصطياف والاستجمام فإن توزيع حركة المرور في ساعة الذروة حسب الاتجاه للطرق الخلوية يتصف بثابت من يوم لآخر ومن سنة لأخرى. يمكن استخدام توزيع المرور حسب الاتجاه المقاس ضمن سنة الدراسة لاستنتاج حجم المرور في الساعة في نهاية العمر التصميمي للطرق عموماً باستثناء الطرق الحضرية التي تخضع لمتغيرات مستمرة ناتجة عن إختلاف الظروف السائدة.

ينبغي تعيين توزيع حركة المرور حسب الاتجاه على طرق متعددة المسارب خلال ساعة الذروة (DDHV) Directional Design Hourly Volume من خلال القيام بالدراسات وقياسات حقلية مرورية على الطريق قيد الدراسة أو على أقسام مشابهة أو موازية له والتي قد يتحول الجزء الأكبر من حجم المرور عليها إلى الطريق الجديد. ويمكن حساب حجم المرور التصميمي في الساعة في أحد الاتجاهين (DDHV) بشكل ملائم للاستخدام والتطبيق على الطرق متعددة المسارب بضرب معدل حجم المرور اليومي المحسوب (K) بالنسبة المئوية من حجم المرور الموافق للساعة 30، وبالنسبة المئوية لتوزيع حركة المرور حسب الاتجاه (D) خلال الساعة التصميمية. وهكذا لو كان حجم المرور التصميمي في الساعة (DHV) يساوي 15% من معدل

حجم المرور اليومي (ADT) والتوزيع الاتجاهي (حركة المرور حسب الاتجاه) في ساعة الذروة هو 60:40 عندها يصبح توزيع حجم المرور التصميمي في الساعة :

$$DDHV = ADT \times K \times D$$

$$DDHV = ADT \times 0.15 \times 0.60 = 9\ \%\ ADT$$

أي أن حجم المرور التصميمي في الاتجاة في الساعة هو 9% من حجم المرور اليومي. وفي حال معرفة معدل حجم المرور اليومي لاتجاه واحد فقط، يكون معدل حجم المرور اليومي في الإتجاهين يساوي تقريبا مرتين لمعدل حجم المرور اليومي بالاتجاه الواحد.

عند تصميم التقاطعات في مستوى واحد والتقاطعات متعددة المستويات يجب معرفة حجوم حركات المرور في كافة الاتجاهات التي تحدث خلال الساعة التصميمية. وهناك ضرورة لتحديد هذه المعلومات خلال كل من فترات الذروة الصباحية والمسائية ذلك لأن نمط المرور قد يتغير بشكل ملحوظ من ساعة ذروة لأخرى. ويرتكز التصميم عادة على حجم المرور في الساعة الممثلة لساعة الذروة الصباحية في أحد الاتجاهين وساعة الذروة المسائية في الاتجاه الآخر. ويجب تحديد النسبة المئوية لتيار حركة المرور المقترب على كل ذراع من أذرع التقاطع الذي سيلتف يميناً أو يساراً بشكل منفصل في فترات الذروة الصباحية والمسائية استناداً لبيانات الإحصاء الميداني الفعلي أو من بيانات المنبع (المصدر) والمصب (الوجهة) أو كليهما.

4-3 مكونات المرور Composition of Traffic

تتحرك على الطرق مركبات ذات أشكال وأحجام وأنواع وأوزان مختلفة لها خصائص تشغيلية متباينة والتي يجب أخذها بعين الاعتبار عند تصميم الطرق. وتشغل الشاحنات حيزاً أكبر من الطريق وتتميز ببطء الحركة نسبياً كونها ثقيلة الوزن ولذلك تؤثرعلى عملية حركة المرور بشكل أكبر مما تسببه سيارات الركوب الصغيرة. ولذلك فإن إجمالي التأثير الخاص بشاحنة واحدة يكافئ تأثير عدة سيارت ركوب صغيرة معاً، كما يؤثر عدد السيارات المكافئة على اختيار الميل الطولي للطريق وعلى مسافة الرؤية الممكنة للتجاوز بالنسبة للطرق ذات المسربين في الاتجاهين، ولهذا كلما كانت نسبة الشاحنات أكبر ضمن تيار حركة المرور، تزداد الحاجة لمتطلبات مرورية أكبر وسعة أكبر للطريق.

من أجل تحقيق تدفق مروري مستمر في المناطق الخلوية يمكن تقسيم أنواع السيارات من ناحية الوزن والحجم ومن ناحية تأثيرها على حركة المرور إلى مجموعتين رئيسيتين هما:

- سيارات الركوب الصغيرة وتشمل: سيارات الركوب الصغيرة ومركبات النقل المشترك (ركاب وبضائع) ومركبات الخدمات الاخرى (البيك آب) والسيارات الرياضية.
- الشاحنات وتشمل: جميع الباصات والشاحنات الإفرادية (الوحدة الواحدة) Single Unit Truck والقاطرات التي تجر أنصاف مقطورات ومقطورات وراءها.

ولأغراض تصنيف المرور الوارد أعلاه تعرف الشاحنات بالمركبات التي يبلغ الحد الادنى لوزنها الإجمالي Gross Vehicle Weight (GVW) والمصرح به من قبل المصنع بـــ 4000 كغ ولها محور خلفي واحد على الأقل ينتهي بإطارين من كل طرف.

وتتمتع معظم سيارات الركوب الصغيرة بنفس الخواص التشغيلية، بينما تتباين الشاحنات بشكل كبير خصوصاً في الحجم ونسبة قوة المحرك إلى الوزن. وبالرغم من هذا التباين في خصائص الشاحنات التشغيلية فإن معدل التأثير لكافة الشاحنات على التدفق المروري متشابه على أغلب الطرق. وبناء على ذلك عند تصميم عناصر الطريق الهندسية من المهم جداً معرفة عدد ونوع الشاحنات ضمن تيار حركة المرور، والتي تعكس الأنماط الرئيسية للشاحنات والباصات والممثلة بنسبة المئوية للشاحنات والباصات من مجمل المرور المتوقع أن يستخدم الطريق خلال ساعة الذروة، ولا تتوافر في العادة بيانات شاملة عن نسب توزيع مختلف أنواع الشاحنات ضمن تيار حركة المرور في ساعة الذروة في المناطق الخلوية، وغالباً ما تكون نسبة الشاحنات خلال ساعة الذروة أقل من نسبتها لفترة 24 ساعة، إذ أن حجم مرور سيارات الركوب الصغيرة في ساعة الذروة يزداد بنسبة أكبر من ازدياد حجم مرور الشاحنات، التي يتحرك معظمها بشكل ثابت خلال اليوم والبقية خلال الليل وساعات الصباح المبكر. ويؤدي القرب من المحطات الرئيسية للشاحنات والباصات ذات المواعيد المنتظمة لزيادة تركيز المركبات الثقيلة خلال ساعات معينة من النهار، مما يسبب تأخير حركات مرور أخرى خلال ساعة الذروة. ولذلك يجب تنظيم مواعيد الانطلاق والعودة بطريقة تخفف حركتها خلال ساعات الذروة، إن أمكن، لتجنب التأخير الناجم عن حركة السيارات الأخرى.

وهكذا من أجل تصميم طريق ما، يجب معرفة مكونات المرور وتحديد عدد الشاحنات كنسبة مئوية من الحجم المروري الكلي خلال الساعة التصميمية (في الاتجاهين في حالة الطرق ذات المسربين فقط وفي الاتجاه الواحد الأكثر مروراً في الطرق متعددة المسارب).

تختلف معايير تحديد مكونات المرور في ظروف وطبيعة تدفق المرور الحضري المتقطع (وجود تقاطعات محكومة بإشارات ضوئية) عن تلك المستخدمة في أماكن اخرى. فعلى التقاطعات الهامة يجب تحديد النسبة المئوية للشاحنات خلال ساعتي الذروة الصباحية والمسائية بشكل منفصل. وقد يكون الاختلاف بين عدد الشاحنات التي تمر على أذرع بعض التقاطعات كبيراً بحيث يؤثر على شكل التخطيط الهندسي المناسب. وقد تختلف أيضاً نسبة الشاحنات بشكل كبير خلال ساعة معينة من اليوم. لذلك من المفضل إحصاء الشاحنات لعدد من ساعات الذروة القريبة من الحجم المروري الموافق للساعة 30 أو الساعة التصميمية. وتعد القيمة الأكثر ملائمة للاستخدام هي معدل النسب المئوية للشاحنات من إجمالي المرور لعدد من ساعات الذروة الأسبوعية. ومن أجل تحديد سعة الطرق يجب الأخذ بعين الاعتبار باصات النقل المحلي ضمن المدينة بشكل منفصل عن الشاحنات والباصات الأخرى.

5-3 متطلبات التنبؤ بالمرور المستقبلي Projection of Future Traffic Demands

يجب ألا يُبنى تصميم العناصر الهندسية لطريق جديد أو تحسين طريق قائم على حجم المرور الحالي فقط، وإنما على التنبؤ المستقبلي لحجم المرور الذي سوف يستخدم الطريق أثناء عمرها التصميمي.

من الصعب تعريف عمر الطريق لأن أقسام رئيسية منه قد تكون ذات أعمار مختلفة، لأسباب لا تخضع بسهولة للتحليل، مثال ذلك التغيرات الجذرية غير المتوقعة في استخدام الأراضي والتي تؤدي بدورها إلى تغيرات في حجم المرور ونمطه ومتطلباته. وقد يتم تحديد حرم للطريق أو ميل طولي يتناسب مع العمر المادي للطريق والمساوي لـــ 100 سنة، بينما تراعي منشآت التصريف عمراً يساوي 50 سنة، أما العمر

التصميمي للجسور فيتراوح ما بين 25 – 100 سنة، وفي مشاريع إعادة التأهيل وتجديد طبقة السطح (الإهتراء) فيعتمد عمر الـــ 10 سنوات، وأخيراً لغايات تصيميم طبقات الرصف الإنشائية يفترض عمر تصميمي يترواح من 20 الى 30 سنة، وذلك بافتراض وجود صيانة مناسبة. علماً أن أعمار الجسور قد تتغير وفقاً لعدد وتواتر (تكرار) الحمولات الثقيلة بينما تتباين أعمار طبقات الرصف بشكل كبير حسب النفقات الأولية المدفوعة وتكرار الحمولات المحورية الثقيلة.

من الناحية العملية تتراوح الفترة الزمنية التي يمكن تقدير حجم المرور التصميمي بدقة معقولة بين 15 – 24 سنة، لذلك يستخدم العمر التصميمي المساوي 20 سنة بشكل أعم كأساس للتصميم. وعادة لا يمكن التنبؤ بحجم المرور بدقة لفترة أطول من هذا العمر بسبب التغيرات المحتملة في الاقتصاد الإقليمي العام، وعدد السكان، وتطور الأراضي على جانبي الطريق.

قد لا يكون تقدير حجم المرور المستقبلي لعمر تصميمي يساوي 20 سنة مناسباً لبعض مشاريع إعادة البناء أو إعادة التأهيل، حيث يتم تطوير هذه المشاريع لعمر تصميمي أقصر (من 5 – 10 سنوات) وذلك بسبب الشكوك المتعلقة بالتنبؤ بحجم المرور والمعيقات المتعلقة بالتمويل.

6-3 السرعة Speed

تعد السرعة من أهم العوامل التي تؤثر على قرار مستخدم الطريق في اتخاذه الطريق المناسب أو نمط واسطة النقل، حيث تعتمد جاذبية أي نظام نقل عام أو طريق جديد على مدى توفيره الوقت والراحة والكلفة. وتعتمد سرعة المركبات على الطرق إضافة إلى كفاءة السائق والمركبة على أربع شروط عامة هي:

1. الخواص المادية (الفيزيائية) للطريق ومقدار العوائق على جانبيه.
2. حالة الطقس.
3. وجود مركبات أخرى.

حدود السرعة القصوى المسموح بها.

يجب تصميم الطرق من أجل سرع ملائمة لأغلب السائقين وبشكل آمن واقتصادي ومريح، ويجمع المختصون بأنه من غير المجدي إقتصادياً أن يتم التصميم وفق سرعة مُستخدمة من قبل نسبة ضئيلة من السائقين يقودون بسرعة كبيرة، ويبقى في مقدورهم بالطبع استخدام الطريق لكنهم سيكونوا مقيدين بسرعة أقل من تلك التي يرغبون بها.

1-6-3 السرعة التشغيلية Operating Speed

وهي السرعة التي يعتمدها السائقين لدى قيادة مركباتهم خلال شروط الجريان الحر. وتعتبر أن السرعة المتعلقة بما نسبته 85% من هؤلاء السائقين هي السرعة التشغيلية التي يجب أخذها بعين الاعتبار أثناء تنظيم حركة المرور واختيار العناصر الهندسية في بعض أجزاء الطريق.

2-6-3 سرعة الجريان Running Speed

وهي سرعة مركبة معينة على جزء من طريق وتساوي طول هذا الجزء من الطريق مقسومة على الزمن اللازم لقطعه. ويعد معدل سرع جريان كل المركبات هو القياس الأكثر ملاءمة للسرعة من حيث تقييم مستوى الخدمة وتكاليف استخدام الطريق من قبل السائقين، ويساوي هذا المعدل مجموع المسافات التي تقطعها المركبات على جزء من الطريق خلال وقت محدد مقسومة على مجموع الزمن اللازم لقطع هذه المسافات.

من أحدى وسائل حساب معدل سرعة الجريان لطريق قائم والتي تتصف بتدفق المرور المستمر بشكل معقول هو قياس السرعة اللحظية عند موقع واحد أو أكثر. ويعتبر معدل السرع اللحظية هو المتوسط الحسابي لكافة السرعات المقاسة عند نقطة معينة على الطريق. و يمكن اعتبار معدل السرعة اللحظية عند احد المواقع وبشكل تقريبي كمعدل لسرعة الجريان وذلك لأقسام قصيرة من الطريق والتي لا تتغير فيها السرع على نحو محسوس (ملموس). أما على الطرق الخلوية الممتدة لمسافات فيقاس معدل السرع اللحظية على عدة نقاط، حيث تعبر كل نقطة عن خصائص السرعة على القسم المختار من الطريق، وقد يحسب المعدل (بأخذ أطوال نسبية من أقسام الطريق بهدف القياس) لتوفير أفضل معدل تقريبي لسرعة الجريان.

يتغير معدل سرعة الجريان على طريق ما خلال النهار وذلك تبعاً لحجم المرور، ولذلك عندما يشير تقرير لدراسة ما الى سرعة الجريان فيجب أن يذكر بشكل واضح فيما إذا كانت هذه السرعة تمثل ساعة الذروة أو خارجها، أو أن المعدل هو لليوم، حيث تستخدم سرعة الجريان بساعة الذروة أو خارج أوقات الذروة في التصميم.

3-6-3 السرعة التصميمية Design Speed

يتم اختيار السرعة التصميمية لاستخدامها في تعيين مختلف أبعاد العناصر الهندسية للطريق، مع الأخذ بعين الاعتبار ما يلي:

1. الوضع الطبوغرافي للطريق.
2. سرعة التشغيل المتوقعة على الطريق.
3. طريقة استخدام الأراضي المتاخمة للطريق.
4. التصنيف الوظيفي للطريق.

باستثناء الشوارع المحلية، حيث يكون هناك تكرار في التحكم بالسرعة بشكل مقصود، من الضروري استخدام أعلى سرعة تصميمية ممكنة عملياً من ناحية توفير الأمان الكافي وسهولة الحركة والفعالية والظروف البيئية والكلفة والانسجام مع الشكل الجمالي العام وأن تحقق الشروط الاجتماعية والسياسية.

بعد اختيار السرعة التصميمية يجب أن تنسجم كافة العناصر الهندسية مع هذه السرعة للوصول إلى تصميم متوازن. وتتعلق بعض العناصر الهندسية مثل المنحنيات الأفقية والرأسية والتعلية الأفقية

(الجانبية) ومسافة الرؤية بشكل مباشر بالسرعة التصميمية، بينما لا تتعلق بشكل مباشر مع عناصر أخرى للطريق مثل عرض المسارب والأكتاف الجانبية ومسافة الأمان للبعد عن الجدران الجانبية والسكك الحديدية ، لكن هذه العوامل تؤثر على سرعة المركبات. وهكذا عندما يحدث تغيير في السرعة التصميمية سيتبع ذلك تغيير في العديد من عناصر الطريق الهندسية.

يجب أن تنسجم السرعة التصميمية المختارة مع السرع المحتمل أن يتوقعها السائقون للقيادة على الطريق. ويكون السائقين أكثر ميلاً لتقبل سرعة تشغيل منخفضة حينما يكون هناك سبب واضح لتحديد السرعة بينما لا يتقبلون ذلك حينما لا يكون هناك سبب واضحاً لذلك. و لا يعدل السائقون سرعتهم حسب أهمية الطريق إنما تبعاً لإدراكهم لمحدودية ظروف الطريق الهندسية وحركة المرور عليه. وقد تبين أنه من المناسب استخدام سرعة 110 كم/ساعة للطرق السريعة والطرق الحرة والطرق الشريانية الأخرى في المناطق الخلوية. إلا أن التجارب أظهرت أنه من المفضل أن تكون سرعة جريان قسم كبير من السائقين أقل من السرعة التصميمية.

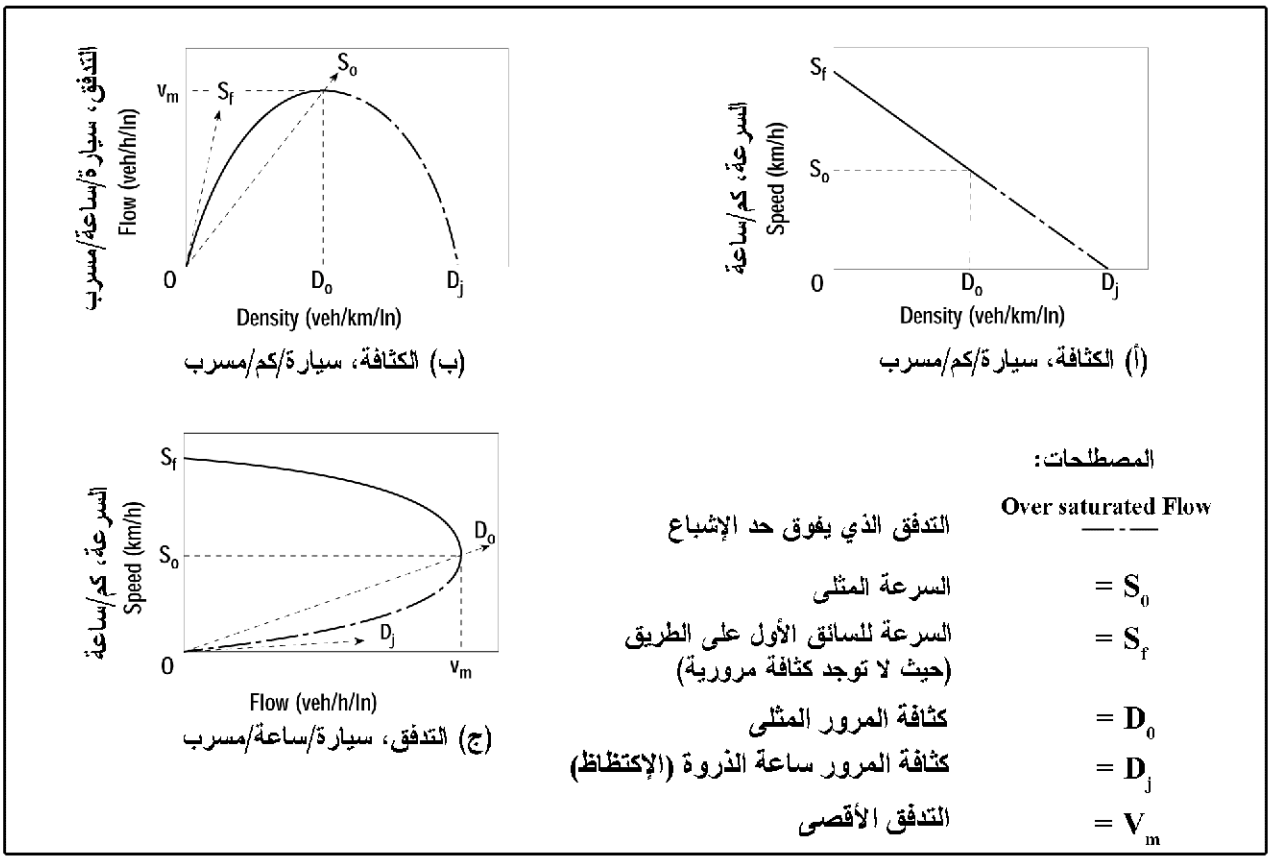
وحيث أن عناصر الطريق الهندسية تتعلق بالسرعة بشكل رئيسي ويفضل معظم السائقين القيادة بسرعات قريبة من حدود السرعة التصميمية، لذا فقد تبين أن السرعة التصميمية المساوية لـــ 120 كم/ساعة هي الأكثر ملائمة لنسبة عالية جداً منهم. كما تبين أن نسبة ضئيلة فقط من السائقين على الطرق المصممة لهذه السرع ستقود بسرعة أعلى وذلك عندما يكون حجم المرور منخفضاً وباقي الظروف أكثر ملائمة. وقد يكون الأداء مرضياً فقط على أنماط محددة من الطرق إذا كانت السرعة تصميمية مساوية لـــــــــ 80 كم/ساعة. ولدى اختيار سرعات تصميمية منخفضة من المهم جداً فرض رقابة لحدود السرعة خارج أوقات ساعة الذروة.

على معظم الطرق الحرة وبشكل خاص في الضواحي والمناطق الخلوية، يمكن توفير سرعة تصميمية 100 كم/ساعة أو أعلى بإضافة تكاليف قليلة فوق التكاليف المطلوبة من أجل توفير طرق بسرعة 80 كم/ساعة. وفي حال كان مسار الطريق الحر مستقيم نسبياً وكانت سمة ومواقع التقاطعات المصممة لأجل سرع عالية فيوصى أن تكون السرعة التصميمية مساوية لـــ 110 كم/ساعة.

7-3 علاقات التدفق المروري Traffic Flow Relationships

يمكن التعبير عن شروط التدفق المروري على الطريق بمعدل التدفق المروري (سيارة ركوب صغيرة/ساعة/مسرب) ومعدل السرعة (كم/ساعة) والكثافة المرورية (سيارة ركوب صغيرة /كم). وترتبط هذه العوامل الثلاثة: حجم المرور والسرعة والكثافة مع بعضها البعض بعلاقات موضحة بالشكل رقم (3-2) وذلك من أجل التدفق المروري المستمر (غير المتقطع). ويتبين من الشكل (3-2-أ) أن الكثافة (التي هي عبارة عن عدد سيارات ركوب صغيرة في وحدة الطول من الطريق والمساوية لمعكوس معدل المسافة التي تفصل مقدمة المركبة الأمامية ومقدمة المركبة التي تليها) لذا تزداد الكثافة عندما تقترب السيارات من بعضها وبالمقابل تتناقص السرعة.

كما أن لحجم المرور علاقة بالكثافة كما هو موضح في الشكل (3-2-ب) حيث تزداد الكثافة من الصفر حتى بلوغ القيمة القصوى لمعدل التدفق. وتعبر قيمتي الصفر لمعدل التدفق إما عن عدم وجود سيارات على الإطلاق على الطريق أو عن وجود سيارات كثيرة (كثافة عالية) اضطرت معها السيارات للتوقف، ويتوافق (يتطابق) التدفق الأقصى لحركة المرور عادة مع القيمة القصوى للكثافة.



الشكل 3-2 العلاقات العامة بين السرعة وحجم المرور والكثافة

ويؤدي التداخل ضمن تيار حركة المرور إلى نقصان السرعة كما هو موضح بالشكل (3-2-ج) وعندها تقترب السيارات من بعضها البعض وبالتالي تزداد الكثافة. ويمكن أن يحدث التداخل بسبب الطقس والمرور المعترض والمركبات المتعطلة وغير ذلك من الأسباب. وعندما تسبب مثل هذه الأمور تداخلاً أكبر ينخفض معدل التدفق ضمن حدود معينة يمكن تقبله ولكن مع انخفاض للسرعة وانخفاض المسافات بين المركبات وبالتالي كثافة أكبر. وعندما يصبح التداخل أكبر (بالرغم من مدى التقارب ما بين المركبات وازدياد الكثافة) فإن معدل السرعة ينخفض تحت المستوى اللازم للمحافظة على تدفق ثابت مما يؤدي بدوره إلى نقصان حاد بالسرعة والتدفق المروري وحدوث ازدحام شديد.

وعندما يتعرض المرور على طريق ما إلى تداخل يحد أو يقلل من سعة الطريق في منطقة معينة فإن النتيجة هي الوصول إلى عنق الزجاجة (Bottleneck). وعندما يكون التدفق المروري الواصل إلى عنق الزجاجة لا يتجاوز سعتها فإن التدفق يبقى ثابتاً ولا توجد هناك مشكلة، ولكن إذا أضيف لتيار حركة المرور مركبات إضافية أخرى لا يستطيع عنق الزجاجة تمريرها يحدث توقف في المرور. وتتناقص السرعة بشكل حاد وتبدأ

السيارات بالزحف على شكل أرتال حتى ينقطع وصول سيارات جديدة وينخفض معدل التدفق الواصل تحت معدل السعة. ولكي نتجنب عنق الزجاجة يجب تصميم الطرق ضمن سعات تمكنها من تحمل احجام مرورية عالية، ويساعد مفهوم مستوى الخدمة الذي سيرد لاحقاً على عدم الوقوع في مثل هذا الإشكال.

وغالباً لا يمكن تجنب ظاهرة عنق الزجاجة عند التقاطعات. وعادة تكون سعة الطريق المؤدي إلى التقاطع أكبر من سعة التقاطع نفسه مما ينجم عنه نقصان السرعة إذا تم ضبط المرور بواسطة الإشارات الضوئية. وعندما تقف السيارات عند الإشارة الضوئية الحمراء تكون سعة عنق الزجاجة صفراً ويبدأ تشكل رتل /أرتال من المركبات بانتظار الطور الأخضر. وإذا كانت المركبات المتجمعة قبل الإشارة الحمراء كبيرة جداً فلا يمكن تمرير الرتل أثناء الضوء الأخضر وهكذا يتنامى الرتل أمام الطور الأحمر الذي يليه وهكذا.

ويمكن التنبؤ بشكل عام بعدد السيارات القادمة إلى التقاطع في الطرق الحضرية حيث يمكن التحكم بالتدفق عن طريق الإشارات المرورية التي تسبق التقاطع قيد الدراسة.

وفي الطرق الحضرية والضواحي يكون وصول السيارات بشكل عشوائي عادة وهو ما يجب أخذه بعين الاعتبار عند تصميم الأطوار الزمنية لدورة الإشارة الضوئية وأطوال مسارب الانتظار المعدة للالتفاف وسعة الاقتراب.

وفي الأماكن التي تنشأ فيها ظاهرة عنق الزجاجة تتباطأ حركة المرور أو تتوقف وتتعرض كل سيارة وركابها إلى تأخير زمني ينجم عنه ضياع في وقت الركاب يمكن تحويله لقيمة مادية، و يؤدي كذلك الى ازدياد استهلاك الوقود وتلوث إضافي للبيئة.

8-3 سعة الطريق Highway Capacity

1-8-3 خصائص عامة General Characteristics

يستخدم مصطلح السعة للتعبير عن حجم المرور الأقصى في الساعة والذي يسمح لأكبر عدد من الأشخاص أو المركبات من قطع نقطة ما(مقطع نظامي متسق لمسرب أو طريق) على نحو معقول خلال مدة زمنية معينة ضمن الظروف الطرقية والمرورية السائدة. ويمكن أن يتغير مجال التدفق المروري من حجم مروري خفيف جداً إلى حجم يساوي سعة الطريق، ويشمل هذا المصطلح أيضاً العلاقات الأشمل التي تربط ما بين خصائص الطريق والظروف المتعلقة بمكونات المرور ونمط التدفق ودرجة الازدحام النسبية لحجوم المرور المتنوعة.

2-8-3 تطبيق Application

يخدم تحليل سعة الطريق ثلاثة أهداف عامة تشمل ما يلي:

- **دراسات تخطيط النقل:** يستخدم تحليل سعة الطريق في هذه الدراسات لتقييم ملائمة أوكفاءة شبكة الطرق القائمة لخدمة المرور الحالي. كما يستخدم بالإضافة لذلك لحساب الزمن عندما يزداد حجم المرور مستقبلاً بحيث يتخطى سعة الطريق أو يصل إلى مستويات إزدحام تعتبر غير مرغوبة حتى لو كان حجم المرور دون حدود السعة القصوى.

- **تصميم الطرق:** تعد معرفة سعة الطريق أساسية لإعداد تصميم طريق يتناسب مع متطلبات المرور. كما يستخدم تحليل سعة الطريق في كل من اختيار نمط الطريق وتحديد الأبعاد الهندسية مثل عدد المسارب والطول الأدنى لمسافات التماوج.
- **تحاليل المرور التشغيلية:** تستخدم سعة الطريق في هذه التحاليل لعدة غايات، وخصوصاً تحديد المناطق الحرجة (عنق الزجاجة) الموجودة أو المحتملة. كما يستخدم في إعداد التقديرات اللازمة لمدى تحسن مستوى التشغيل التي من الممكن توقعها والناجمة عن اجراءات مراقبة حركة المرور أو من تغيير أبعاد العناصر الهندسية للطريق في بعض المواقع.

تتنوع بيانات المرور اللازمة لهذه الاستخدامات مع درجة الدقة المطلوبة. وعليه يجب توخي درجة عالية من الدقة في البيانات اللازمة لأجل تقييم مدى نجاح تحسينات المرور البسيطة (الثانوية) والتي يمكن قياسها فقط من خلال عدد قليل من المركبات في الساعة. وعند تصميم الطرق فإن درجة أقل من الدقة تفي بالغرض لأن حجم المرور يتم تقديره بشكل دوري لمدة 10 أو 20 سنة في المستقبل ولا ينطوي التصميم على تقدير حجم المرور فقط ولكن على تقدير عوامل أخرى ومكونات المرور أيضاً. وسوف نناقش فيما يلي المستوى المناسب من التفاصيل اللازمة لضمان توازن معقول بين تصميم الطريق والتنبؤ بالمرور المستقبلي. ويضمن مثل هذا التحليل ألا تقع شروط التشغيل المستقبلية تحت مستوى غير مقبول.

3-8-3 السعة كمعيار للتصميم Capacity as a Design Control

1-3-8-3 العلاقة بين معدل التدفق التخديمي التصميمي والحجم المروري:
Design Service Flow Rate versus Design Hourly Volume (DHV)

الحجم التصميمي هو حجم المرور المفترض ان يستخدم طريق معين خلال العمر التصميمي والذي يتراوح من 10– 20 سنة في المستقبل. ويعبر عن الحجوم التصميمية المقدرة في عملية التخطيط من خلال مصطلح "حجم المرور المتوقع خلال ساعة تصميمية معينة" (DHV).

إن معدل التدفق التخديمي التصميمي هو أقصى تدفق للمرور في الساعة يمكن لطريق ذو خصائص تصميمية معينة استيعابه بمستوى خدمة مناسبة بحيث تكون درجة الازدحام تحت مستوى مقبول محدد سلفاً.

إن الهدف الرئيسي لتصميم طريق ما هو إعطاؤه أبعاد ومسار بحيث يستطيع استيعاب معدل التدفق التخديمي التصميمي والتي ينبغي أن يكون على الأقل أعلى حجم مرور خلال فترة الـــ 15 دقيقة الساعة التصميمية مضروباً بـــ4، لكن ليس أكبر من اللازم حتى لا تعطي تصميماً غير اقتصادي.

2-3-8-3 معايير الازدحام المروري Measures of Congestion

توجد ثلاثة اعتبارات رئيسية عند تصميم العناصر الهندسية وهي: تصميم الطريق، وحجم المرور الذي سوف يستخدمه، ودرجة الازدحام عليه. ويمكن قياس الاعتبارين الأولين بدقة تماماً بوحدات دقيقة. فعلى سبيل المثال يمكن التعبير عن أبعاد المقطع العرضي لطريق ما سواءً أكان خلوياً أو حضرياً مقاساً بالأمتار أو كانت تفريعاته مضبوطة أم لا ويمكن التعبير عن درجة الميل الطولي كنسبة مئوية. وبطريقة مماثلة يمكن التعبير عن التدفق المروري بعدد المركبات في وحدة الزمن، ويعبر عن مكونات التيار المروري كنسبة مئوية للمركبات وفق تصنيفها، وكذلك خصائص الذروة والتوزيع الاتجاهي للمرور يمكن أيضاً أن تكون محددة بشكل كمي.

يعتبر وضع قيم للتعبير عن درجة الازدحام مسألة إشكالية، وهناك اقتراحات عديدة لقياس مستوى خدمة المقطع العرضي للطريق تشمل الأمان وحرية المناورة ونسبة حجم المرور إلى السعة (v/c) والسرعة التشغيلية وسرعة الجريان وغيرها. وفي حالة التقاطعات المحكومة بإشارة ضوئية فإن زمن التأخير الذي يصادفه السائقون والناتج عن التوقف والحركة يستخدم بشكل شائع كقياس للازدحام.

تعرف الشروط التشغيلية للمرور من أجل التدفق المروري المتواصل غير المنقطع (أي بدون وجود إشارات ضوئية على التقاطعات) من خلال ثلاثة قياسات أولية وهي: السرعة، الحجم (أو معدل التدفق)، والكثافة. وتدل الكثافة على مدى تقارب المركبات من بعضها البعض وتعكس مدى حرية المناورة ضمن تيار حركة المرور. وتعد الكثافة أحد أهم المعايير التي تصف حركة المرور المستمر التدفق، وعندما تزيد الكثافة عن الصفر فإن نسبة التدفق تزداد أيضاً بسبب زيادة عدد المركبات على الطريق. وبينما يحدث هذا فإن السرعة تبدأ بالانخفاض (تبعاً للتأثير المتبادل والتفاعل ما بين المركبات)، ويكون هذا الإنخفاض مهمل عملياً عندما تكون الكثافة ونسب التدفق صغيرة. وعندما تستمر كثافة المرور بالازدياد الى أن تصل إلى نقطة معينة تمثل تدفق المرور الأقصى تنخفض معها السرعة بشكل كبير والتي تمثل سعة الطريق. وعندما يقترب مستوى تدفق حركة المرور من السعة فإن التدفق يصبح أقل استقراراً لأن فرصة تشكل فجوات في التيار المروري تصبح أقل وأقل، إلى أن تنعدم فرصة وجود فجوات مفيدة عندما يصل التدفق المروري إلى السعة القصوى، مما يجعل أي تعارض بين المركبات الداخلة أو الخارجة من الطريق أو من المسارب الداخلية الخاصة بالمناورة مصدراً للإضطراب في الحركة من غير الممكن إخماده أو تبديده. وهكذا فإن من الصعب استيعاب حركة مرور عند أو بالقرب من حدود السعة القصوى لفترة طويلة من الزمن دون تشكل أرتالاً مرورية ويصبح إجبار أو تعطيل التدفق المروري أمراً لا مفر منه. ولهذا السبب تصمم أغلب الطرق لتمرير حجوم مرورية أقل من سعتها القصوى.

في ظروف التدفق المروري المتقطع (غير المستمر) كالذي يحدث على الشوارع ضمن المدن عندما يتم ضبط حركة المرور بواسطة الإشارات الضوئية، فإن مستخدمي الطريق لا يولون اهتماماً للمسير بسرعات عالية بقدر ما يولون إهتماماً بتجنب الوقوف الطويل على التقاطعات أو

التوقف المتتالي عند كل تقاطع. ويعد متوسط زمن التأخير بسبب التوقف القياس الرئيسي المستخدم في تقييم فاعلية التقاطعات المنظمة بالإشارات الضوئية. ويستخدم زمن التأخير بسبب التوقف كونه سهل القياس للتعبير عن الخواص التشغيلية للتقاطع ومدى إحساس السائق بجودة التدفق المروري.

3-3-8-3 العلاقة بين الازدحام ومعدل التدفق المروري
Relation between Congestion and Traffic Flow Rate

ليس بالضرورة أن يعني الأزدحام توقف كامل في التدفق المروري، بل ينظر إليه كقيد أو عقبة أمام التدفق الطبيعي. و يزداد الازدحام على طريق ما بزيادة معدل المرور حتى يصبح مساوياً تقريباً إلى سعة الطريق وعند هذه النقطة يصبح الازدحام خطيراً. ويظهر جلياً أن الازدحام يزداد تدريجياً بازدياد معدل التدفق مهما كانت الطريقة المستخدمة للتعبير عن دلالة (مؤشر) الازدحام.

عندما يقترب معدل التدفق من سعة الطريق فإن أي اضطراب بسيط (ثانوي) في التدفق الحر للمرور قد يؤدي إلى أن تصل حركة المرور على الطريق للعمل على أساس تناوب التوقف والحركة (Stop-and-Go Basis) وبالتالي نقص معدل التدفق المروري الذي يمكن خدمته.

تسمى أجزاء الطرق التي يتحتم على المرور أن يندمج أو ينفصل ضمن مسافة قصيرة نسبياً مسافات التماوج. وتقاس كفاءة أداء هذه الاجزاء بسرعة الجريان والكثافة، ولا يتعلق معدل سرعة الجريان وبالتالي درجة الازدحام بحجم المرور ضمن مسافات التماوج فقط ولكن أيضاً بالمسافة التي يجب أن تكتمل مناورات التماوج ضمنها.

يتفاوت معدل سرعة الجريان على الشوارع الشريانية ضمن البيئة الحضرية بشكل طفيف مع تغير معدل التدفق المروري. كما يزداد التأخير على التقاطعات التي تخضع للإشارة الضوئية بشكل كبير حتى يقترب معدل التدفق من السعة، وعندها تحدث درجات أكبر من الازدحام مما يؤدي إلى انخفاض عام في سرعة الرحلات وزمن التنقل وتشكل أرتال المركبات على التقاطعات.

4-3-8-3 درجات الازدحام المروري المقبولة Acceptable Degrees of Congestion

دراسة وجهة نظر العديد من مستخدمي الطريق تشير أن كل مستخدم يفضل أن يمتلك الحق الخاص والحصري بالطريق في أي وقت يجد فيه الحاجة لاستخدامه. وأكثر من ذلك يفضل السائق أن تكون كل الطرق من النمط الذي يسمح بسرعة تتجاوز بشكل كبير السرع المتاحة في الشوراع الحضرية. كما يدرك مستخدمو الطرق بأنه طالما كان الآخرون يساهمون بتكاليف إنشاء الطرق فلهم أيضاً الحق باستخدامها. ولذلك سيقبلوا بسهولة مستوى معتدل من الازدحام، إلا أن درجة الازدحام التي من الممكن أن يتقبلها الجمهور طواعية تبقى نسبية وتتأثر بعدد من العوامل.

يدرك السائق الممثل لجمهور السائقين بالحس العام بأن الإجراءات المتخذة لتخفيف الازدحام في بعض الأجزاء من الطريق أكثر كلفة من أجزاء أخرى. ويقبل السائقون بشكل عام، درجات أعلى من الازدحام في تلك المناطق التي يكون إنجاز التحسينات فيها مكلفة جداً. ويكون السائقون عادة أكثر استعداداً لقبول درجات عالية من الازدحام في الرحلات القصيرة بينما يتذمرون من ذلك في

الرحلات الطويلة، وبشكل عام لا يرضى السائقون بنمط التشغيل عندما يقترب حجم المرور من سعة الطريق.

من وجهة نظر إدارات الطرق فإن التخفيف من درجة الازدحام يتم حسب الموارد المتاحة. ويدل الاستعراض التاريخي لهذا الموضوع أن الموارد المالية لا تفي بجميع الاحتياجات مما يتطلب جهداً هائلاً لتحسين الطرق بسرعة كافية حتى لا يتجاوز تدفق المرور السعة القصوى للطريق.

تحدد الدرجة المناسبة من الازدحام والتي ينبغي استخدامها في تخطيط وتصميم وتحسين الطرق من خلال الموازنة بين رغبات السائقين والموارد المتاحة لإرضاء هذه الرغبات. وتحدد درجة الازدحام بشكل واقعي والتي ينبغي عدم تجاوزها خلال العمر التصميمي للطريق المقترح من خلال:

1. تحديد شروط التشغيل والتي سيتقبلها أغلبية السائقين بشكل مرضي.
2. تحسين الطرق بالشكل الذي تعتبره السلطة الحكومية عملياً.
3. الموازنة بين متطلبات السائقين والجمهور مع الموارد المتاحة لتحقيق هذه المتطلبات.

هذه الملاءمة بين الرغبات والموارد المتاحة هي إجراء إداري عالي الأهمية. وينبغي أن يتخذ القرار أولاً بتحديد درجة الازدحام التي ينبغي عدم تجاوزها خلال الفترة التصميمية. ويمكن تقدير التصميم المناسب لعنصر محدد (مثل عدد المسارب) من خلال المفاهيم التي سنناقشها في الفقرات التالية.

5-3-8-3 مبادئ اختيار درجات الازدحام المروري المقبولة
Principles for Acceptable Degrees of Congestion

لا توجد طريقة علمية لتحديد درجة الازدحام القصوى والتي يمكن قبولها كأساس في التصميم. وبالتالي لا يمكن إيجاد نمذجة تقنية ولا إدخال معاملات إلى برامج حاسوبية. وبالرغم من ذلك قد تساعد بعض المبادئ أو الدلائل في الوصول لمثل هذا القرار والفقرات التالية تناقش ذلك.

1. يجب تصميم الطرق بشكل جيد لاستيعاب الحجم المروري التصميمي بحيث لا تتجاوز حاجة المرور السعة القصوى حتى خلال فترة قصيرة من الزمن.

تصبح ظروف القيادة عندما يتجاوز حجم المرور سعة الشارع أو الطريق غير مطاقة من قبل السائقين. وأكثر من ذلك عندما تتطور حالة التوقف والحركة (Stop and Go) تبعاً للازدحام على الطريق (غير تلك الحركات المضبوطة بالإشارة الضوئية)، عندها ينخفض معدل التدفق المروري الذي يمكن للطريق تخديمه بشدة سيحدث توقف كامل للحركة وذلك عندما يتم تجاوز السعة حتى ولو لفترة قصيرة من الزمن. وحيث أن المرور لا يتدفق بشكل منتظم خلال ساعة كاملة لذا ينبغي مراعاة اختلاف حجم المرور خلال ساعة الذروة عند تحليل ظروف المرور، ويشير دليل سعة الطرق الامريكي High Capacity Manual (HCM) لخطوات محددة للتعامل مع هذه الظاهرة من خلال استخدام معامل ساعة الذروة Peak Hour Factor (PHF).

عندما يكون المرور مضبوطاً بالإشارات الضوئية على التقاطعات تكون العلاقة بين التأخير والسعة معقدة إلى أبعد الحدود. وعندما يقترب حجم المرور حتى نسبة 75– 80% من السعة فمن الممكن الحصول على تأخير كبير بشكل غير مقبول وأرتال طويلة. ومن الممكن أيضاً أن تنعكس هذه الحالة على بعض أذرع التقاطعات والتي يكون عندها حجم المرور مساوياً للسعة إذ قد نحصل على تأخير أقل إذا كانت دورة الإشارة الضوئية للمرور قصيرة و/أو من الممكن برمجة الإشارة.

2. يجب ألا يتجاوز الحجم التصميمي في كل مسرب المعدل الذي من الممكن تمريره لرتل متوقف.

هذا المبدأ قابل للتطبيق بشكل أساسي على الطرق الحرة وبعض الأنماط المتطورة من الطرق متعددة المسارب. وعلى سبيل المثال إذا توقف المرور على مسرب في طريق حر حتى لو للحظة فلا يمكن استعادة معدل التدفق المساوي لسعة مسربٍ يعمل تحت ظروف تدفق حر للمرور عليه. وإذا تجاوزت حاجة المرور المعدل الذي تستطيع السيارات أن تغادر من رأس الرتل المتوقف وسيزداد طول الرتل المتوقف بدلاً من تبديد السيارات منه حتى بعد زوال سبب التوقف. ويتراوح المعدل الذي تستطيع المركبات المغادرة من الرتل المتوقف من 1500–1800 مركبة/مسرب/ساعة.

3. يجب أن يمنح السائقين بعض خيارات السرعة، كما يجب أن ترتبط القدرة على إختيار السرعة مع طول الرحلة.

هذا المبدأ قابل للتطبيق على كافة أنماط الشوارع والطرق، وينبغي إتاحة درجة من الحرية للاختيار الشخصي. فمثلاً على الطرق الحرة المزدحمة مصممة لتعمل بمعدل سرعة مساوي لـــــــ 100 كم/ساعة يكون مجال السرعة بين السائق الأبطأ والأسرع بشكل نموذجي حوالي 25 كم/ساعة، وهذا كافٍ من أجل الرحلات القصيرة.

من أجل الرحلات الأطول يمكن إتاحة معدل سرعة أعلى بمقدار 10 كم/ساعة من الرحلات القصيرة في المناطق شديدة التطور. ويمكن تحقيق معدل سرعة تساوي لـــ 110كم/ساعة أو أكثر على الطرق الحرة ذات حجم مروري منخفض إلى معتدل.

4. يجب تأمين شروط تشغيل جيدة تحرر السائق من التوتر المترافق مع طول ومدة الرحلة.

إن هذا المبدأ هو نتيجة طبيعية لما تقدم من مبادئ، وعلى أي حال يمثل المبدأ (3) أعلاه التوتر الناجم عن فقدان الصبر بينما يتعامل هذا المبدأ مع التوترات الناجمة عن القيادة ضمن تيار كثيف لحركة مرور وعلى سرعات يمكن أن يعتبرها سائق معين سريعة جداً من ناحية الراحة لكنها فوق السرعة التي يمكن له السيطرة والتحكم بقيادة المركبة. ولو خفض السائق سرعته سيؤدي ذلك إلى أن يتجاوزه الآخرين ويقطعون الحركة عليه ويسيرون أمامه. وبهذه الطريقة تتقلص الفجوة التي ينشد السائق توسيعها، وتصبح السرعة على الطرق الحرة ما بين 65 – 100 كم/ساعة و يعمل الطريق تحت ظروف عالية الكثافة جداً مشكلاً مصدراً لتوتر كثيراً من السائقين الأمر الذي ينبغي تجنبه إذا كان ذلك ممكناً. ولا توجد في الوقت الحالي نتائج أبحاث تعطي توصيات عن المدة

القصوى من الزمن التي يستطيع أو يجب على السائقين تحملها ضمن ظروف عالية الكثافة من حركة المرور، ولكن من المسلم به أن التوتر يزداد بازدياد المدة.

ويعتبر عموماً أن مستوى توتر السائقين المترافق مع كثافة لا تتجاوز 26 سيارة ركوب صغيرة/كم/مسرب على الطرق الحرة مقبولاً للرحلات ضمن أغلب مناطق المدن الكبرى. وتتطلب الرحلات الطويلة تركيزاً ذهنياً، ولذلك يتطور التوتر أثناء القيادة عندما يكون المرور مزدحماً بشكل شديد، لذلك يجب إفتراض حجوم أقل عند تصميم الطرق الحرة التي تخدم رحلات طويلة نسبياً.

5. توجد حدود عملية تعيق تصميم طرق حرة بشكل مثالي.

يجب أن تحتوي الأجزاء المثالية من الطرق الحرة على مسارب وأكتاف واسعة ودون معيقات جانبية تحد من الرؤية. كما يجب أن تكون مثل هذه الطرق الحرة قادرة على تحمل سعات الأجزاء الرئيسية من الطرق الحرة كما هي موضحة في دليل سعة الطرق الامريكي (HCM). وعادة من الضروري ملاءمة تصميم الطرق الحرة (أو الطرق الشريانية الأخرى) مع حرم الطريق المتاح وذلك لتقليل الكلفة في أماكن معينة مثل المنحنيات أو أطوال مسارب تغيير السرعة أو تقريب العقد من بعضها بشكل أكبر من المرغوب. وعادة ليس عملياً تصميم طريق حر بسعة منتظمة على كامل طوله.

6. يتأثر موقف السائقين تجاه ظروف التشغيل المتردية (المتعسرة) بوعيهم لتكايف إنشاء واستملاك حرم الطريق والتي قد تكون ضرورية لتوفير خدمة أفضل.

يَقبل مستخدمو الطرق ظروف تشغيل رديئة إذا أدركوا بأن تصميم هذا الطريق هو أفضل ما يمكن توفيره بشكل معقول في هذا الموقع المحدد. وهم يدركوا بطريقة عامة أن الطريق مكلف بشكل كبير جداً مثلاً في المناطق عالية التطور والتنظيم نظراً لغلاء الأراضي فيها وكذلك في المناطق ذات التضاريس الصعبة وعند العوائق الرئيسية التي يجب تجاوزها كالمجاري وتمديدات المياه والنفط والكهرباء. ولذلك يقبلون ظروف تشغيلة أقل عندما يكون الطريق مكلفاً بشكل كبير بينما لا يقبلون عدم تحسين الظروف التشغيلية عندما يمكن إصلاحها بنفقات معتدلة. وبما أن تكاليف الإنشاء هي عادة أعلى بكثير في المدن الكبيرة منها في المدن الصغيرة مما ينجم عنه بأن هذا المبدأ يميل ليوازي المبدأ (3) من حيث تأثير القلق الناجم عن طول الرحلة ضمن المناطق المتطورة بشكل كبير.

6-3-8-3 التوفيق بين مبادئ اختيار درجات الازدحام المروري المقبولة
Reconciliation of Principles for Acceptable Degrees of Congestion

كما ذكر أعلاه قد لا تكون السعات وفقاً للشروط الأساسية الواردة في دليل سعة الطرق الامريكي (HCM) متاحة أو مستحسنة على أجزاء معينة من طرق من حيث التصميم والاستخدام المرغوب للطريق. وتشير هذه المبادئ إلى نتائج عامة وواسعة ويمكن تلخيصها فيما يلي:

أ- الطرق الحرة Freeways

إن مدى القبول بمستوى الازدحامات المرورية في الرحلات القصيرة يرتبط والى حد كبير بتوتر السائقين أثناء القيادة. ويأتي ضياع الوقت خلال الرحلة بالدرجة الثانية من حيث الأهمية باستثناء حالة التوقف التام أو تكرار التوقف والحركة. ويتطلب ذلك أن لا تتجاوز كثافة المرور على الطرق الحضرية الحرة 26 سيارة ركوب صغيرة/كم/مسرب. وإذا لم تتجاوز الكثافة هذا المستوى فمن النادر حدوث التوقفات الخاطفة كما أن التفاصيل التصميمية الثانوية لن تؤثر سلباً على ظروف التشغيل.

وفي الرحلات الأطول في مناطق المدن الكبيرة يصبح زمن الرحلة أكثر أهمية للمستخدم، ويترافق توتر السائق مع كثافة المرور المساوية لـــ 26 سيارة ركوب صغيرة /كم/مسرب وتصبح درجة الازدحام غير محتملة وغير مريحة. ولا تتوافر معايير لتحديد قيم ثابتة ولكن تشير الدلائل إلى أن استخدام كثافة مرور مساوية لـــ 20 سيارة ركوب صغيرة /كم/مسرب تؤدي لدرجة ازحام مقبولة. ومن أجل الطرق الحرة الخلوية تعتبر سرعة الرحلة هامة جداً. واعتماداً على الخبرة المكتسبة فإن كثافة مساوية لـــ 13 سيارة ركوب صغيرة /كم/مسرب تسمح بتشغيل معقول في المناطق الخلوية.

ب- الطرق الأخرى متعددة المسارب: Other Multilane Highways

إن قياسات الازدحام على باقي الطرق متعددة المسارب شبيهة بتلك القياسات على الطرق الحرة باستثناء حركة المرور المحكومة بالإشارات الضوئية، وعندما يكون التداخل مع المرور الجانبي خفيفاً فإن الكثافات المرورية التي تؤدي لدرجات مقبولة من الازدحام على الطرق الحرة يمكن تطبيقها على الطرق الأخرى متعددة المسارب. كما ينطبق ذلك على الطرق الواقعة في المناطق الخلوية. أما في المناطق الحضرية فإن حجوم المرور التي من الممكن تخديمها على الطرق الأخرى متعددة المسارب بدرجة مقبولة من الازدحام هي عموماً أقل من تلك التي على الطرق الحرة.

4-8-3 العوامل الأخرى التي تؤثر على شروط التشغيل (عدا حجم المرور)

Factors Other Than Traffic Volume That Affect Operating Conditions

تتأثر مقدرة الطريق على تخديم المرور بشكل فعال بمميزات المرور وخصائص تصميم الطريق.

1-4-8-3 عوامل الطرق Highway Factors

نادراً ما تتمتع الطرق بتصميم مثالي، وعلى الرغم من أن أغلب الطرق الحرة الحديثة لها مقاطع عرضية ذات أبعاد تفي بالمطلوب إلا أنها غير مثالية من ناحية السرعة التصميمية ومسافات التماوج وتصميم الرامبات. وينجم عن ذلك عدم الإستخدام الفعال لباقي أجزاء الطرق الحرة، أما على الأجزاء الأخرى من الطرق متعددة المسارب فإن التقاطعات حتى لو كانت غير محكومة بإشارة ضوئية فإنها غالباً ما تعيق عملية التدفق الحر للمرور. وفي مناطق التطوير والتنظيم

المتاخمة للطريق التي توجد طرق خاصة بها، يؤدي تداخل المرور الداخل والخارج من خلال مسارب المرور العابر إلى انخفاض الكفاءة مما يؤدي بدوره إلى الازدحام ومشاكل من ناحية سلامة المرور بالرغم من الحجوم المنخفضة نسبياً لحركة المرور. ويمكن أن يكون من الصعب تحديد كمية التأثير السلبي رغم ظهوره بسهولة، فغالباً لا يمكن تجنب المنحنيات الحادة والميول الطولية الكبيرة وفي بعض الأحيان نضطر لاختصار المقاطع العرضية. وتجتمع كل هذه الظروف لتسبب حدوث الازدحام حتى عند حجوم مرور أقل من المستويات المشابهة والخاصة بالطرق المصممة بشكل مثالي ومحمية بضبط المداخل بشكل كامل full access control أو بتنظيم المداخل.

أما في الشوارع الحضرية التي يتواجد عليها تقاطعات محكومة بإشارات ضوئية وعلى مسافات قريبة نسبياً، فيجب اعتبار حجوم المرور أقل لتمكن من خدمتها بشكل مقبول، لأنه يجب تخصيص جزء من كل دورة إشارة الضوئية للطريق المتقاطع بشكل منفرد وحصري.

2-4-8-3 المسار Alignment

كلما كان مسار الطريق أفضل، زاد حجم المرور الذي من الممكن أن تستوعبه في سرعة معينة. وينتج عن ذلك أننا سنلاحظ حدوث الازدحامات بحجوم مرورية قليلة إذا كانت السرعة التصميمية أقل مما لو كانت السرعة التصميمية كبيرة. ولذلك ينبغي تقسيم الطريق إلى أجزاء متماثلة من حيث خواص التصاميم الهندسية ليتم تحليلها باستخدام طرق التحليل الواردة في دليل سعة الامريكي (HCM)، ويؤدي وجود منحنى حاد واحد أو ميل طولي كبير في مسار جيد كعنصر حرج تحد من سعة الطريق.

3-4-8-3 أقسام التماوج Weaving Sections

نقصد بأقسام التماوج أجزاء الطريق حيث يدخل قسم من المرور ويغادر عند نقاط مماسية من المداخل الناتجة عن مسارات المركبات المتقاطعة مع بعضها الآخر. وطالما كانت المسافة قصيرة بشكل نسبي من حيث العلاقة بحجم المرور المتماوج سيكون التشغيل ضمن مقطع الطريق مزدحماً. ويمكن التسامح ببعض التخفيض في فعالية التشغيل ضمن أقسام التماوج من قبل مستخدمي الطريق إذا كان هذا التخفيض ثانوي يندر تكرار حدوثه. وعلى الأغلب يمكن القبول بتخفيض سرعة التشغيل حوالي 10 كم/ساعة أقل من تلك السرعة السائدة على مجمل الطريق والتي يمكن اعتبارها أنها تعطي درجة مقبولة من الازدحام على أقسام التماوج. وتتأثر شروط التشغيل ضمن أقسام التماوج بطول وعرض هذا القسم وكذلك بحجم المرور بالحركات.

4-3-8-3 أطراف الرامبات Ramp Terminals

يمكن أن تؤثر خصائص الرامبات وأطرافها سلباً على شروط التشغيل على الطرق الحرة إذا كان الطلب على استخدامها مفرطاً جداً أو إذا كان هناك ضعفاً أو عيباً في تصميمها. وعندما يتطور الازدحام على رامبات الوصل بالطرق الحرة تعمد بعض المركبات إلى تفادي المسرب الخارجي للطريق الحر مما يؤدي إلى زيادة الازدحام على المسارب المتبقية. ولو كان هناك فقط

مسربين باتجاه واحد ستكون الكفاءة في المسرب الواحد المتبقي متدنية كما لو كان الطريق مؤلف من ثلاث مسارب أو أكثر في الاتجاه الواحد.

يرتبط الانخفاض في الكفاءة مع كلٍ من حجم المرور الداخل والخارج من الرامبات وللمسافة بين نقاط الدخول والخروج والعناصر الهندسية للوصلات واطرافها والمعلومات المتوفرة حول كل متغير بشكل منفرد محدودة جداً بحيث لاتتيح تقديراً كمياً لتأثيرها عندما تؤخذ بشكل مستقل، بينما يمكن حساب التأثير المركب لها بفرض قيمة واحدة مقابل المسرب الخارجي وبإهمال الأسباب أو مدى التداخل عند مواقع محددة.

وإذا أهملنا تأثير المرور العابر فإن المرور الذي يستخدم الرامبات يتعرض لأشكال مختلفة من الازدحام الأمر الذي لا يساعد على إمكانية قياس كل من سرعة الرحلة أو التأخير أو توتر السائق. وتتعلق درجة ازدحام الرامبات بحجم المرور الكلي في المسرب الخارجي للطريق الحر بالقرب من وصلة الرامب (أي الحجم المركب للمرور العابر الذي يستخدم المسرب الخارجي وحجم المرور الذي يستخدم الرامب).

5-4-8-3 عوامل المرور Traffic Factors

يتألف عادة تيار حركة المروري من خليط من المركبات الصغيرة والشاحنات والباصات وأحياناً من المركبات الترفيهية والدراجات. كما لا يتدفق المرور بمعدل ثابت خلال الساعة واليوم والفصل والسنة. لذلك يجب مراعاة هذه المتغيرات المتعلقة بمكونات المرور والتقلب في التدفق وذلك عند تحديد حجم المرور الذي سيؤدي إلى درجات مقبولة من الازدحام، والفترة الزمنية الموافقة لهذا التدفق.

ويناقش دليل سعة الطرق الامريكي تأثير الشاحنات والباصات على ازدحام الطرق حيث توجد خطوات تفصيلية لتحويل المرور المختلط إلى حجوم مكافئة من سيارات الركوب الصغيرة. وتتباين معاملات التحويل إلى السيارة السياحية المكافئة (PCE) Passenger-Car Equivalency المستخدمة في دليل سعة الطرق الامريكي (HCM) بشكل جوهري حسب أنماط الطرق.

6-4-8-3 عامل ساعة الذروة Peak Hour Factor

إن وحدة الزمن المقبولة للتعبير عن معدل التدفق المروري هي الساعة الواحدة، وهي مألوفة عند تصميم الطرق متعددة المسارب أو اي نمط أخر للطرق لضمان ملائمة سعة الطريق مع حجم المرور التصميمي في الساعة (DHV) للسنة التصميمية والتي كثيراً ما تساوي 20 سنة من تاريخ تشييد الطريق.

وبما أن التدفق ليس منتظماً خلال الساعة الواحدة، أي يوجد فترات معينة ضمن الساعة يكون خلالها الازدحام أسوأ من فترات أخرى، ويعتبر دليل سعة الطرق الامريكي (HCM) أن شروط التشغيل السائدة خلال فترة 15 دقيقة الأكثر ازدحاماً من الساعة هي التي يجب أخذها بعين الاعتبار لتعيين مستوى الخدمة لمجمل الساعة. ووفقاً لذلك فإن حجم المرور في الساعة الكلي

والذي يمكن تخديمه دون تخطي درجة محددة من الازدحام أقل أو يساوي أربع أضعاف العد المروري خلال الـــ 15 دقيقة القصوى.

إن المعامل المستخدم والمتعارف عليه لتحويل معدل التدفق المروري خلال فترة 15 دقيقة الأعلى إلى حجم المرور الكلي في الساعة هو معامل ساعة الذروة (PHF) Peak Hour Factor والذي يمكن حسابه بتقسيم حجم المرورالكلي في الساعة على عدد المركبات خلال فترة 15 دقيقة الأعلى مضروبة بـــ 4. ولا يمكن أن يكون هذا المعامل (PHF) أكبر من 1 ويتراوح عادة من [0.95 – 0.75]. وهكذا على سبيل المثال إذا كان معدل التدفق الأقصى الذي يمكن لطريق حر خدمته دون حدوث ازدحام شديد هو 4200 مركبة/ساعة خلال فترة 15 دقيقة القصوى، وكان عامل ساعة الذروة (PHF) يساوي 0.8، فإن حجم المرور الكلي في الساعة الذي يمكن توفيره عند مستوى الخدمة هذا هو 3360 مركبة أو نسبة 80 % من التدفق المروري خلال فترة 15 دقيقة الأكثر ازدحاماً.

5-8-3 مستوى الخدمة Levels of Service

يعرف دليل سعة الطرق الامريكي (HCM) جودة خدمة المرور التي يمكن توفيرها لأجزاء من طريق معين من أجل متطلبات مرور معينة عن خلال مصطلح مستوى الخدمة (LOS) Level of Service والذي يعبر عن ظروف التشغيل على طريق ما عن طريق قياس أداء المرور المتعلق بالسرعة وزمن الرحلة وحرية المناورة والإعاقات المرورية والراحة والأمان. ويتراوح مدى مستوى الخدمة هو من المستوى A (الأقل ازدحاماً) إلى المستوى F (الأكثر ازدحاماً). ويوضح الجدول (3–1) الخصائص العامة لمستويات الخدمة.

الجدول (3–1) الخصائص العامة لمستويات الخدمة

شروط التشغيل العامة	مستوى الخدمة
تدفق حر	A
تدفق حر باعتدال	B
تدفق ثابت	C
تدفق قريب من عدم الثبات	D
تدفق غير ثابت	E
تدفق قسري أو متعطل	F

ويلخص الجدول (3-2) العلاقة بين نمط الطريق وموقعه ومستوى الخدمة المناسب للتصميم المشتقة من معيار الدرجات المقبولة للازدحام.

الجدول (3-2) دليل اختيار مستويات الخدمة التصميمية

التصنيف الوظيفي	مستوى الخدمة المناسب لأنماط معينة مختلفة من حيث المنطقة وطبيعة الأرض			
	منطقة حضرية أو ضاحية	منطقة خلوية جبلية	منطقة خلوية هضبية	منطقة خلوية سهية
حر	C	C	B	B
شرياني	C	C	B	B
تجميعي	D	D	C	C
محلي	D	D	D	D

6-8-3 معدلات تدفق الخدمة التصميمي Design Service Flow Rates

تدعى معدلات تدفق المرور والتي يمكن تخديمها عند كل مستوى خدمة معدلات تدفق الخدمة Service Flow Rates، وحال تم تحديد مستوى خدمة معين على أنه ملائم للتصميم، يصبح معدل تدفق الخدمة المطابق بشكل منطقي هو معدل تدفق الخدمة التصميمي. وعندما يتجاوز معدل تدفق المرور الذي يستخدم الطريق هذه القيمة ستصبح شروط التشغيل تحت مستوى خدمة أقل من ذلك الذي صمم الطريق عليه.

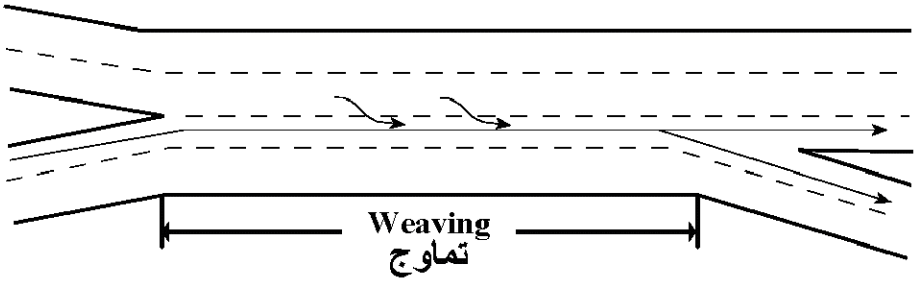
وعند اختيار مستوى الخدمة يصبح من المفضل تصميم كافة عناصر الطريق بما ينسجم مع هذا المستوى، الأمر الذي يؤدي إلى إعطاء حرية لحركة مرور بالسرعة التشغيلية كما يمكن تجنب إعاقات التدفق الناجمة عن عنق الزجاجة. ويجب اختيار مستوى الخدمة المطلوب بدقة سواء في تصميم التقاطعات/العقد أو الطرق الشريانية أو الطرق الحرة لأن فعالية المرور التشغيلية للطريق تعتمد على هذا الاختيار.

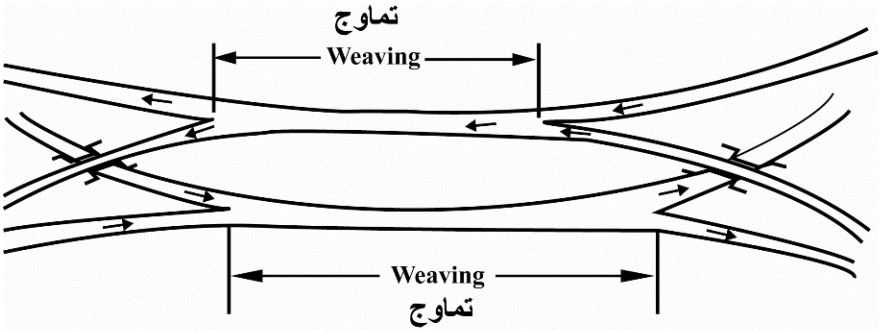
1-6-8-3 قطاعات التماوج Weaving Sections

تصادف قطاعات التماوج عندما يقطع تيار المرور ذو الاتجاه الواحد بمناورات التمازج أو الانفصال، ويوضح الشكل (3-2) أنماط قطاعات التماوج حيث تصمم قطاعات التماوج وتدقق وتعدل بحيث يكون مستوى خدمتها منسجمة مع باقي الطريق. ويتوقف مستوى الخدمة التصميمي لقطاع التماوج على طوله وعدد المسارب ودرجة الازدحام المقبولة والحجوم النسبية للحركات المستقلة. وينجم عادة عن حركات التماوج ذات الحجم الكبير احتكاك وانخفاض كبير في السرعة لكل المرور، إضافة إلى أن هناك كمية محدودة من حجم المرور التي يمكن استيعابها على قطاع تماوج معين دون حصول ازدحام غير مقبول. وتتعلق هذه الكمية بتوزيع المرور بين حركات التماوج وطول قطاع التماوج وعدد المسارب.

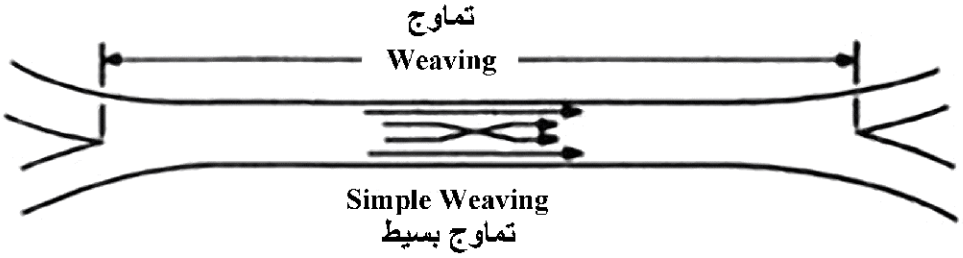
يمكن اعتبار قطاعات التماوج على أنها بسيطة أو متعددة، ويوضح الشكل (3-3-أ) قطاع تماوج بسيط مؤلف من مدخل واحد يتبعه مخرج واحد. بينما يتألف قطاع التماوج المتعدد من قطاعي تماوج متشابكين أو أكثر. كما يمكن تعريف التماوج المتعدد أيضاً على أنه قسم من طريق ذو اتجاه واحد بحيث يكون له مدخلين متعاقبين يتلوهما بشكل قريب مدخل أو اكثر أو

مدخل واحد يتلوه بشكل قريب مخرجين أو أكثر كما هو موضح بالشكل (3-3-ب). وكثيراً ما نصادف قطاعات التماوج المتعدد في المناطق الحضرية حيث يكون هناك حاجة لتجميع أو توزيع كثافات عالية من المرور. ويجب أن يكون لقطاعات التماوج طول وعدد مسارب يستند على مستوى خدمة مناسب كما هو وارد في الجدول (3-2). ويعطي دليل سعة الطرق الامريكي (HCM) معادلة للتنبؤ بسرعة الجريان الوسطية للمرور المتماوج وغير المتماوج اعتماداً على شروط الطريق والمرور ويعتمد معيار مستوى الخدمة لقطاعات التماوج على سرعات الجريان الوسطية تلك.

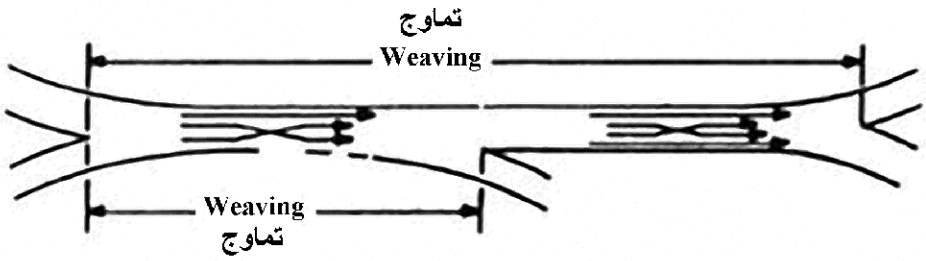




الشكل (3-2) قطاعات التماوج



- أ -



Multiple Weaving تماوج مركب

- ب -

الشكل (3-3) قطاعات التماوج البسيطة والمتعددة

3-8-6-2 الطرق متعددة المسارب غير مضبوطة المداخل
Multilane Highways without Access Control

يمكن معاملة الطرق متعددة المسارب بشكل مشابه للطرق الحرة فيما لو كانت التقاطعات الرئيسية مع الطرق الأخرى قليلة جداً أو كانت أغلب التقاطعات بأكثر من مستوى وكانت مناطق التطور المتاخمة للطريق قليلة وبالتالي تكون تيارات المرور المتولدة والتي قد تتداخل مع المرور على الطريق قليلة. وحتى على الطرق التي يكون التداخل فيها هامشي فيجب على المصمم أن يأخذ بعين الاعتبار إمكانية زيادة التداخل خلال العمر التصميمي للطريق ما لم تنظم هذه المداخل بشكل جيد، وأيضاً على تلك الطرقات التي يكون مثل هذا التداخل في الوقت الحالي غير ملموس. وفي أغلب الحالات يجب على المصمم افتراض أن زيادة التقاطعات على الطرق بشكل كبير ونمو الأعمال أمر وارد خلال العمر التصميمي للطريق.

يجب معاملة الطريق على أنه طريق متعدد المسارب غير مضبوط المداخل حيثما وجدت تقاطعات طرق رئيسية أو حيثما توجد مناطق تطور متاخمة للطريق تؤدي إلى تداخل لايمكن تجاهله.

3-8-6-3 الشوارع الشريانية والطرق الحضرية Arterial Streets and Urban Highways

من الصعب غالباً تعيين معدلات تدفق الخدمة التصميمية للشوارع الرئيسية والطرق الحضرية لأن مستوى الخدمة الذي يمكن توفيره لمثل هذه الطرق لا يبقى ثابتاً بمرور الوقت ويميل نحو الهبوط بشكل لا يمكن التنبؤ به، ومع ذلك إذا تم تطبيق مبادئ تنظيم المداخل منذ البداية على الشارع أو الطريق يمكن الحفاظ على سوية تشغيل عالية للطريق مع الزمن. وتخضع سعة الطرق الشريانية عادة لسعة كل تقاطع من تقاطعاتها المحكومة بالإشارة الضوئية. ويعرف مستوى خدمة جزء من شارع شرياني بمعدل سرعة الرحلة الإجمالية على هذا الجزء.

3-8-6-4 التقاطعات Intersections

تتأثر سعات التقاطعات التصميمية بعدد كبير جداً من المتغيرات، ويمكن التنبؤ بهذه المتغيرات من أجل السنة التصميمية. يمكن تقدير السعات التصميمية للتقاطعات المحكومة وغير المحكومة بإشارة ضوئية كما هو موضح في دليل السعات المرورية للطرق (HCM). ويجب التنسيق بين المسافات بين التقاطعات المحكومة بالإشارات الضوئية مع تصميم إشارات المرور الضوئية وأطوارها.

3-9 المشاة The Pedestrian

3-9-1 اعتبارات عامة General Considerations

يلعب التفاعل ما بين حركة المشاة والمرور اعتبار رئيسياً في تخطيط وتصميم الطرق. وحيث أن المشاة جزء من بيئة أي طريق، يجب الاهتمام بوجودهم في المناطق الخلوية كما هو الحال في المناطق الحضرية وبالرغم من تواجد المشاة في المناطق الحضرية بشكل أكبر بكثير من المناطق

الخلوية، إلا أن تأثيراتهم على خصائص الطرق التصميمية تكون أكبر من التأثير في المناطق الخلوية. ورغم الصعوبة البالغة الناجمة عن كثرة متطلبات حركة المركبات في المناطق الحضرية المزدحمة يجب اتخاذ التدابير المناسبة نظراً لأنهم الجزء الحي من مناطقنا الحضرية وخصوصاً في مركز المدينة والمناطق التجارية الأخرى بما فيها مراكز التسوق. وبشكل عام تعتبر أماكن التسوق الأكثر نجاحاً هي تلك التي توفر الراحة والمتعة الأكبر للمشاة. وتشمل منشآت المشاة: الأرصفة – ممرات العبور – تجهيزات التحكم بالمرور – الأرصفة المقتطعة (وهي الأرصفة ذات المنسوب المنخفض حيث تتصل مع الأرصفة العادية برامبات) والرامبات المخصصة للمشاة كبيري السن والأشخاص على كراسي متحركة. كما تتضمن منشآت المشاة ايضاً مواقف الباصات أو أي مناطق أخرى للصعود إلى وسائط النقل – الأرصفة ذات المستويات المنفصلة – الأدراج العادية والأدراج المتحركة أوالمصاعد المرتبطة بهذه الممرات.

2-9-3 خصائص عامة General Characteristics

يجب فهم أنماط حركة المشاة من أجل تخطيط وتصميم ممرات المشاة بشكل فعال. فالمشاة على الأرجح لن يسيروا مسافة تزيد عن 1.5 كم للوصول إلى مكان العمل وعن 1 كم ليصلوا إلى موقف الباص، وحوالي 80% من المسافات التي يقطعها المشاة تكون عادة أقل من 1 كم. ويقضي أي شخص 50% من مجمل أوقات مشيه بهدف التسوق بينما يقضي فقط 11% للذهاب والعودة من العمل، ونتيجة لذلك تكون ذروة حجوم المشاة حوالي الظهر وليست أوقات الذروة المرورية للسيارات عند الذهاب والعودة من العمل. وتتأثر حجوم المشاة بالظروف الآنية كالطقس ، وفي بعض المواقع الخاصة وأماكن بيع السلع الواردة في الإعلانات. ويمكن الاطلاع على تغيرات حجوم مرور المشاة في الساعة ضمن شوارع المدينة في دليل (AASHTO) لتخطيط وتصميم وتشغيل ممرات المشاة.

AASHTO *Guide for the Planning, Design, and Operation of Pedestrian Facilities*.

إن إمكانية توقع سلوك المشاة هي أقل منها للسائقين حيث أن كثيراً من المشاة يعتبرون أنفسهم خارج القانون في مسألة المرور وفي عدة حالات يكون قانون تنظيم المشاة غير ملزم بشكل كامل، وهذا ما يخلق صعوبة في تصميم معابر حركات مشاة منتظمة وآمنة.

يفضل المشاة قطع المسافة بين نقطتين بأقصر مسلك ممكن، ولذلك قد يكون من المناسب إضافة ممرات عبور في بعض المواقع الخاصة إضافة إلى تلك الموجودة عند التقاطع بين طريقين وفي التقاطعات المحكومة بالإشارة الضوئية.

ولا يحب المشاة تغيير مستوياتهم أو مناسيبهم عندما يعبرون الطرق، ويفضل المشاة تجنب استخدام ممرات المشاة العلوية أو السفلية. كما يقلل من إمكانية استخدام ممرات المشاة السفلية احتمال كونها مناطق محتملة للجريمة أو التحرش.

ويعتبر سن المشاة عامل هام يمكن أن يفسر السلوك الذي يقود لحدوث تصادم بين المركبة المتحركة والمشاة، وغالباً ما يكون المشاة من صغار السن وغير مبالين بالمرور إما عن جهل أو غرور في حين قد يتأثر المشاة المسنين بالقصور في الإحساس أوالإدراك أوالتمييز أو مهارات القيادة. كما

ترتبط أيضاً حوادث المشاة بنقص الأرصفة الذي يجبرهم على الحركة مع المركبات، ولذلك يجب اعتبار إنشاء الأرصفة كجزء من تصميم أو تحسين أي شارع ضمن مدينة أو ضاحية.

وقد تم اقتراح التدابير التالية والتي من الممكن أن تساعد المشاة المسنين ومستخدمي الطريق:

- استخدام تصاميم بسيطة بحيث تقلل من عرض ممرات العبور إلى أقل حد ممكن وكذلك تقليل استخدام العناصر المعقدة مثل القنولة ومسارب الدوران المنفصلة إلى الحد الأدنى. وإذا كان من المناسب استخدام مثل هذة التجهيزات، فيجب تقييم بدائل للتصاميم التي من شأنها مساعدة المشاة المسنين كاستخدام مسارب خاصة لهم بعرض 3.3 م.
- إفتراض سرعات مشاة منخفضة.
- توفير جزر وسطية آمنة بعرض كافي على التقاطعات الكبيرة.
- توفير الإضاءة وإزالة مصادر الاضاءة المبهرة في المواقع التي يتطلب فيها جمع ومعالجة المعلومات.
- يجب الأخذ بعين الاعتبار نظام ضبط المرور في إطار التصميم الهندسي للتأكد من انسجامه وتوفيره وسائل تحذير متطورة ووافية بالغرض و/أو إشارات دلالة وذلك في الحالات التي يمكن أن تفاجئ أو أن تؤثر بشكل سلبي على أمان السائقين والمشاة المسنين.
- استخدام وسائط ضبط مرور تعزيزية.
- استخدام إشارات عاكسة بحجم أكبر من المعتاد واضحة وسهلة القراءة.
- زيادة حجم أحرف الشواخص وعاكسيتها ليتناسب مع نقص حدة الرؤية.
- استخدام اشارات ضوئية بمكان مناسب مزودة برؤوس كبيرة يمكن رؤيتها من مسافة كافية.
- استخدام علامات (دهان) ومحددات طرق.
- التكرار والإسهاب في الإشارات.

3-9-3 سرعات المشي Walking Speeds

بما أن للمشاة مجال واسع لسرعات المشي فإنه يجب إيلاء أهمية للسرعات التي سيعبر المشاة بها الشارع في مرحلة التصميم. ويتغير مجال معدل سرعات المشي بشكل تقريبي بين 0.8 حتى 1.8 م/ثانية، ويستخدم دليل وسائط ضبط المرور الموحد

Manual on Uniform Traffic Control Devices (MUTCD)

سرعة مشي متوسطة تساوي 1.2 م/ثانية. علماً بأن الأشخاص المسنين يمشون عادة بسرعات تساوي الحد الأدنى من المجال.

تكون سرعات المشي على الأرصفة البعيدة عن التقاطعات (أو ما بين التقاطعات) في المناطق السكنية أعلى من تلك القريبة من التقاطعات، وسرعة المشي للرجال أعلى من تلك عند النساء. تتأثر سرعة المشي بالميل الطولي للطريق، حرارة الجو، الوقت من اليوم، الغرض من الرحلة، ووجود الجليد والثلج في المناطق الباردة. ويعد السن السبب الأكثر شيوعاً لبطء سرعات المشي، وعليه يجب مراعاة استخدام سرعة 0.9 م/ثانية في التصميم في المناطق التي يوجد فيها العديد من الأشخاص المسنين.

4-9-3 سعة ممرات المشاة Walkway Capacities

تنخفض سرعات المشي عندما تزداد كثافة المشاة على ممرات المشاة. وبالتشابه مع ظروف السعة على الطرق فهنالك أيضاً سرعة وكثافة مثليتين يمرر معبر المشاة ضمنها الحجم الأكبر. ويجب إنقاص العرض الفعال المستخدم لحسابات لمعبر المشاة حين تواجد عدادات مواقف السيارات أو منافذ لخراطيم مطافي الحريق أو أكشاك الصحف أو صناديق البريد أو أجزاء من مرافق عامة أو أي عوائق مماثلة قد تعيق استخدام كامل ممر المشاة.

ولمزيد من المعلومات حول تصميم ممرات المشاة والسعات يمكن العودة إلى دليل AASHTO لتخطيط وتصميم وتشغيل ممرات المشاة.

AASHTO *Guide for the Planning, Design, and Operation of Pedestrian Facilities*.

وكذلك دليل السعات الطرقية Highway Capacity Manual.

1-4-9-3 الأرصفة Sidewalks

تم تطوير مستويات الخدمة لتعمل كمؤشر/ مقياس لحرية حركة المشاة وتعارضاتها مع بعضهم البعض والتي تؤثر على سرعة المشي وأماكن المناورة والشعور بالراحة. ويستخدم لهذا الغرض ذات المفهوم الخاص بمستوى الخدمة لحركة المركبات فإن مستويات الخدمة (A - F) تستخدم أيضاً للدلالة على ازدياد الازدحام ونقص حرية حركة المشاة. وتستند مستويات الخدمة على المساحة المتاحة لكل شخص وتعرف كما يلي:

- مستوى الخدمة A : يتيح لأي شخص ان يختار سرعة المشي المرغوبة ويتجنب التعارض مع الأشخاص الآخرين.
- مستوى الخدمة B : يبدأ المشاة عند هذا المستوى الإحساس بالمشاة الآخرين.
- مستوى الخدمة C : يتطلب من المشاة تخفيض طفيف بالسرعة وتعديل الاتجاه لتجنب التعارضات.
- مستوى الخدمة D : تصبح حرية المشاة في اختيار سرعة المشي والسير ضمن ممرات مستقلة وتجاوز المشاة الآخرين محدودة، مما يجبر المشاة على تغيير سرعتهم واتجاههم بشكل متكرر.

- يمستوى الخدمة E : يعبر عن حالات المشي المزدحم جداً والذي يصل أحياناً لدرجة التداخل والارتداد أو يكون من الصعب جداً عبور تدفق المرور، وتنخفض السرعات الفعلية للمشاة.
- مستوى الخدمة F : يضطر الشخص على الأرجح أن يقف ثابتاً بانتظار مساحة حركة أو أن يمشي بتخبط ، وتكون إمكانية تجنب الاحتكاك مع المشاة الآخرين شبه معدومة.

عند حساب سعة ممرات المشاة، يجب الأخذ بعين الاعتبار أن عرض ممر المشاة يقل 50سم في حال وجوده بجانب جدران استنادية ويزيد عرضه بحوالي 50سم إضافية في الأماكن المتوقع فيها وجود نوافذ متاجر. كما أن أثاث الشوارع كعدادات المواقف أو أي عوائق مماثلة تنقص عرض ممر المشاة الممكن الاستفادة منه.

2-4-9-3 التقاطعات Intersections

عندما يمر المشاة على تقاطع ما سيكون هناك إعاقة في تدفق حركتهم. وبالتالي يجب أن تؤمن الأرصفة مساحات وقوف كافية لأولئك المشاة الذين ينتظرون عبور الشارع إضافة إلى مساحات كافية لمعابر المشاة من أجل العبور.

حالما تسمح إشارة المرور بعبور المشاة يصبح طول وعرض ممر المشاة مهمين جداً. كما يجب أن تكون عرض ممرات العبور كافية لاستيعاب تدفق المشاة في كلا الاتجاهين خلال مدة طور الإشارة المخصص للمشاة. يكون الزمن اللازم لعبور المشاة في الشوارع الأكثر رضاً أطول وبنفس النسبة يكون الزمن الأخضر المتاح لحركات الشارع الأساسية أقل، وإذا كان زمن عبور المشاة أطول تكون التعارضات المحتملة بين المشاة والمركبات ظاهرة للعيان بشكل أكبر.

عندما لا تكون التقاطعات محكومة بإشارة ضوئية أو كانت إشارات الوقوف (Stop Signs) لا تقيد حركة مرور المركبات بطريقة منظمة يجب على المشاة انتظار فجوات مناسبة في المرور للعبور، أما إذا كانت الشوارع أعرض يجب أن تكون الفجوات أطول لتأمين أوقات عبور مشاة آمنة. ويمكن تقليل زمن عبور المشاة في المناطق الحضرية (حيثما تسمح الظروف بذلك) من خلال استخدام مسارب ضيقة أو تأمين جزر وسطية ذات منسوب أعلى من الشارع شريطة تأمين متطلبات السلامة المرورية وأن تكون سعات الطرق والتقاطعات معقولة.

3-4-9-3 تقليل التعارضات بين المشاة والمركبات Reducing Pedestrian-Vehicular Conflicts

عند تصميم التقاطعات على الطرق التي تكون فيها احتمالية وجود التعارضات بين المشاة والمركبات كبيرة، يجب مراعاة الإجراءات التالية التي تساعد في تخفيض هذه التعارضات والتي قد تزيد من فعالية تشغيل الطريق:

1. منع الالتفاف نحو اليسار و/أو اليمين.
2. حظر حركات الالتفاف (حركة اليمين) الحر.
3. حظر الالتفاف نحو اليمين عندما تكون الإشارة حمراء.

4. تأمين أطوار ضوئية خضراء منفصلة مخصصة للمشاة.
5. إزالة معابر المشاة الإضافية أو العشوائية.
6. تأمين مستويات منفصلة للمشاة.

10-3 ممرات الدراجات Bicycle Facilities

أصبحت الدراجة عنصر هام يجب أخذه بعين الاعتبار في عملية تصميم الطريق، حيث تسمح أغلب مؤسسات الطرق بحركة الدراجات على الطرق ذات المداخل المضبوطة بشكل جزئي في حين لا تسمح معظم هذه المؤسسات بحركة الدراجات على الطرق مضبوطة المداخل بشكل كامل، ما لم يكن هناك مسالك بديلة أخرى متاحة.

يمكن تعزيز شروط السلامة إلى حد بعيد على الشوارع والطرق وبتكاليف منخفضة إلى معتدلة عند إدخال بعض التحسينات على حركة مرور الدراجات كتلك المذكورة فيما يلي:

- رصف الأكتاف.
- تعريض مسارب المرور الخارجية (4.2 م) في حال عدم وجود أكتاف.
- استخدام المصبعات المعدنية (Grates) بأغطية البلاليع المطرية (Drop inlets) على الطرق لتأمين سلامة حركة الدراجات.
- تعديل وضبط مناسيب أغطية غرف التفتيش (Manholes) ليصبح منسوبها مماثل لمستوى سطح الطريق.
- تحديد سطح مخصص لحركة الدراجات نظيف ومستوي.

في بعض المواقع يكون من المناسب تعزيز شبكة الطرق القائمة بإضافة ممرات مصممة خصيصاً للدراجات (مقتصرة أو غير مقتصرة لاستخدام الدرجات). ويجب على المصمم أن يكون على معرفة جيدة بأبعاد الدراجة وخصائص التشغيل والاحتياجات ومن ضمنها أنصاف الأقطار والميول ومسافات الرؤية وذلك لتأمين حركة دراجات على نحو مرضي.

الفصل الرابع

عناصر التصميم ELEMENTS OF DESIGN

1-4 مسافة الرؤية Sight Distance

1-1-4 اعتبارات عامة General Considerations

تعد مقدرة السائق على الرؤية أمامه من أهم العوامل التي يجب أخذها بعين الاعتبار من أجل التشغيل الآمن والفعال للمركبات على الطريق.

فعلى سبيل المثال، على السكك الحديدية يكون القطار مرتبطاً بممر ثابت ولا نحتاج سوى إلى منظومة إشارات دقيقة وسائقين مهرة لتحقيق التشغيل الآمن. وعلى العكس من ذلك تخضع حركة السيارات وسرعتها ومسارها لعوامل فردية، حيث تختلف المقدرات والتدريب والخبرة من سائق لآخر. ومن أجل السلامة على الطريق يجب توفير مسافة رؤية مناسبة تُمكن السائق من تدارك الاصطدام بعائق ما غير متوقع أمامه. وفي معظم أجزاء الطرق الخلوية ذات مسربي (حارتي) مرور في الإتجاهين يجب أن تكون مسافة الرؤية كافية ليتمكن السائق الذي يقود سيارته ضمن حدود السرعة التصميمية من تجاوز سيارة تسير أمامه بسرعة أقل منه (شاحنة كبيرة على سبيل المثال) حيث ينتقل إلى المسرب المجاور ثم يعود إلى مسربه الأصلي دون أن يصطدم بالسيارة القادمة من الاتجاه المعاكس. وعلى النقيض من ذلك، فان توفير مسافة الرؤية اللازمة للتجاوز على الطرق الحضرية والشوارع ضمن المدن والضواحي ذات مسربي المرور في الاتجاهين، لا يشكل قيمة عملية تذكر.

وسيتناول هذا الفصل أربع جوانب لمسافة الرؤية:

1- مسافة الرؤية للتوقف وهي الحد الأدنى الواجب تطبيقه على كافة الطرق دون استثناء.
2- مسافة الرؤية اللازمة للتجاوز لسيارة أخرى والانتقال إلى المسرب المجاور ثم العودة إلى المسرب الأصلي دون الاصطدام بسيارةٍ قادمةٍ من الاتجاه المعاكس وهي حالة تطبق فقط على الطرق ذات المسربين في الاتجاهين.
3- مسافة الرؤية اللازمة للقرار في المواقف الطارئة.
4- معايير قياس مسافة الرؤية لاستخدامها في التصميم.

2-1-4 مسافة الرؤية للتوقف Stopping Sight Distance

ويقصد بمسافة الرؤية بالمسافة التي يراها السائق أمامه على الطريق دون أية عوائق. ويجب أن تكون هذه المسافة كافية ليتمكن السائق الذي يسير بالسرعة التصميمية من التوقف قبل أن يصطدم بعائق ثابت ضمن مساره على الطريق. وكلما كبرت هذه المسافة كلما كان ذلك أفضل، إلا أنه من الضروري أن لا تقل مسافة الرؤية في أي نقطة من الطريق عن المسافة التي يمكن فيها للسائق العادي ان يتوقف عند اللزوم.

وتتألف مسافة الرؤية هذه من مجموع المسافتين التاليتين:

1- المسافة المقطوعة من لحظة رؤية السائق للعائق أمامه وإدراكه بوجوب التوقف حتى اللحظة التي يبدأ فيها السائق باستخدام الفرامل و تسمى برد فعل الفرملة.

2- المسافة المقطوعة إعتباراً من لحظة تطبيق الفرامل وحتى لحظة التوقف التام للسيارة وتسمى بمسافة الفرملة.

1-2-1-4 زمن رد فعل الفرملة Brake Reaction Time

يقصد بزمن رد فعل الفرملة بالفاصل الزمني الواقع بين لحظة التي يدرك فيها السائق بوجود عقبة (عائق) أمامه تستوجب التوقف واللحظة التي يبدأ فيها فعلاً بتطبيق الفرامل.

في بعض حالات الطوارئ الخاصة وعلى سبيل المثال، يقوم السائق بالفرملة بشكل فوري تقريباً استجابة لأضواء التحذير Flashers أو الإنارة الشديدة. ولكن في معظم الحالات الأخرى لا يكفي أن يشاهد السائق العائق فحسب بل يجب أن يقدر اذا ما كان العائق ثابت أو متحرك بسرعة منخفضة، ومقارنة ذلك مع خلفية الطريق والأجسام الثابتة الأخرى مثل جدران الأبنية والأسوار والأشجار والأعمدة والجسور. ومثل هذه المقارنة تتطلب وقتاً يتناسب مع بعد المسافة عن العائق، حدة رؤية السائق وسرعة استجابته، ظروف الرؤية ضمن الطقس السائد وكذلك الشروط البيئية لمنطقة الطريق. وعادة يكون السائق الذي يسير بسرعة قريبة من السرعة التصميمية أكثر انتباها من السائق الذي يسير بسرعة أقل. كما ان السائق الذي يسير على شارع حضري يكون أكثر انتباهاً بسبب المتغيرات الكثيرة حوله من سيارات أخرى وتوقفات ومشاة وتفرعات وتقاطعات وإشارات بينما ينخفض انتباه نفس السائق عندما يسير على طريق خلوي لا تسود فيه الكثير من التغيرات التي تتطلب منه اليقظة التامة.

ويمثل الزمن 2.5 ثانية الوقت اللازم لرد فعل الفرملة لأكثر من 90% من السائقين على الطرق وهو الرقم المستخدم في حساب مسافة الرؤية للتوقف .

2-2-1-4 مسافة الفرملة Braking Distance

يمكن تحديد مسافة الفرملة لسيارة تسير على طريقٍ مستوٍ (الميل الطولي يعادل الصفر) بالسرعة التصميمية وبشكل تقريبي من المعادلة (4-1) التالية :

$$d = 0.039 \frac{v^2}{a} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (1-4)$$

حيث أن:

d = مسافة الفرملة، م

v = السرعة التصميمية، كم/ساعة

a = معدل التباطؤ، م/ثانية^2

وتؤخذ a بمعدل 3.4 م/ثانية^2 وهو ما يتوافق مع تباطؤ مريح لمعظم السائقين.

3-2-1-4 القيم التصميمية Design Values

إن مسافة الرؤية للتوقف هي مجموع المسافتين المقطوعتين أثناء زمن رد فعل الفرملة والمسافة التي تقطعها السيارة أثناء الفرملة الفعالة لكي تتوقف توقفاً كلياً . ويوضح الجدول (4-1) مسافة الرؤية اللازمة للتوقف على طريقٍ مستوٍ والمحسوبة بدلالة السرعة المبينة في الجدول على افتراض أن طبقة السطح لرصفة الطريق مبتلة وذلك حسب المعادلة (4-2) التالية:

$$d = 0.278\,vt + 0.039\frac{v^2}{a} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (2-4)$$

حيث أن:

d = مسافة الرؤية للتوقف، م

t = زمن رد فعل الفرملة وقيمته 2.5 ثانيـــة

v = السرعة التصميمية، كم/ساعـــة

a = معدل التباطؤ والمساوي لـــ 3.4 م/ ثانية^2

الجدول (4 -1) مسافة الرؤية للتوقف في حالة طريقٍ مستوٍ

السرعة التصميمية (كم/ساعة) Design Speed (km/h)	مسافة رد فعل الفرملة (م) Brake Reaction Distance(m)	مسافة الفرملة (م) Braking Distance on Level (m)	مسافة الرؤية للتوقف (م) Stopping sight distance (m)	
			الحسابية Calculated	التصميمية Design
20	13.9	4.6	18.5	20
30	20.9	10.3	31.2	35
40	27.8	18.4	46.2	50
50	34.8	28.7	63.5	65
60	41.7	41.3	83.0	85
70	48.7	56.2	104.9	105
80	55.6	73.4	129.0	130
90	62.6	92.9	155.5	160
100	69.5	114.7	184.2	185
110	76.5	138.8	215.3	220
120	83.4	165.2	248.6	250
130	90.4	193.8	284.2	285

ملاحظة: تم حساب مسافة رد فعل الفرملة على أساس زمن مقداره 2.5 ثانية ومعدل تباطؤ 3.4 م/ثانية^2

ومن المفضل استخدام مسافات رؤية تفوق تلك الواردة في الجدول (4-1) عندما يكون ذلك ممكناً، حيث يؤدي ذلك إلى زيادة مجال السلامة لكافة السائقين خصوصاً لهؤلاء الذين يقودون سياراتهم بسرعة قريبة من السرعة التصميمية.

ولإجل حساب وقياس مسافة الرؤية للتوقف يتم اعتبار أن ارتفاع عين السائق عن سطح الطريق مساوٍ لـــ 1.8 م وأن إرتفاع العائق الذي يراه السائق 60 سم أي ما يعادل ارتفاع الأضواء الخلفية لسيارة الركوب الصغيرة.

4-2-1-4 تأثير الميل الطولي على مسافة التوقف Effect of Grade on Stopping

عندما يكون هناك ميل طولي على الطريق يجب تصحيح معادلة حساب مسافة الفرملة (4- 1) بحيث تصبح كما يلي:

$$d = \frac{v^2}{254\left[\left(\frac{a}{9.81}\right) \pm G\right]} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (3-4)$$

حيث أن:

a = معدل التباطؤ والمساوي لـــ 3.4 م/ثانية^2

G = الميل الطولي للطريق %، ويعتبر الميل موجباً في الصعود وسالباً في الهبوط.

وعليه تكون مسافة الرؤية للفرملة اللازمة في حالة الصعود أقل مما هي في حالة كون الطريق مستوي (الميل الطولي يعادل الصفر) بينما تكون أكبر في حالة الهبوط. ويبين الجدول (4-2) مسافات الرؤية للتوقف من أجل قيم مختلفة لميل المقطع الطولي.

الجدول (4-2) مسافة الرؤية للتوقف مع الأخذ بعين الاعتبار الميول الطولية

مسافة الرؤية للتوقف (م) Stopping Sight Distance (m)						
ميول طولية صاعدة Upgrades			ميول طولية هابطة Downgrades			السرعة التصميمية (كم/ساعة) Design speed (km/h)
9%	6%	3%	9%	6%	3%	
18	18	19	20	20	20	20
29	30	31	35	35	32	30
43	44	45	53	50	50	40
58	59	61	74	70	66	50
75	77	80	97	92	87	60
93	97	100	124	116	110	70
114	118	123	154	144	136	80
136	141	148	187	174	164	90
160	167	174	223	207	194	100
186	194	203	262	243	227	110
214	223	234	304	281	263	120
243	254	267	350	323	302	130

3-1-4 مسافة الرؤية للقرار Decision Sight Distance

تكون مسافة الرؤية للتوقف عادة كافية لكي ينتبه السائق اليقظ والماهر إلى العقبات (العوائق) الموجودة أمامه ويفرمل للوقوف في الأحوال العادية. وتصبح هذه المسافات غير كافية عندما يكون من الصعب إستيعاب بعض المواقف المعقدة التي تضطر السائق لاتخاذ قرارات فورية ومعقدة وتتطلب إجراء مناورات غير عادية أو متوقعة. إن مسافات الرؤية المحدودة للتوقف قد تحول دون تمكن السائقين من إجراء مناورات تفادي مناسبة للتقليل من الأخطار غير المتوقعة والتوقف بأمان.

توجد العديد من المواقع التي تتطلب مسافات رؤية أكبر للتوقف من أجل حالات الطوارئ حتى عند وجود كافة التجهيزات المرورية المناسبة حسب دليل المعايير المرورية MTUCD، حيث أن مسافة

الرؤية اللازمة للتوقف قد لا تكون كافية لتأمين مسافة رؤية مناسبة للسائقين ليتمكنوا من إجراء مناورات سلسة وآمنة.

إن مسافة الرؤية للقرار هي المسافة التي يحتاجها السائق ليتبين أو ليكتشف أحداثاً أو ظروفاً غير متوقعة تشكل تهديداً للسائقين، وعلى خلاف ذلك فإن وجود بعض الاحداث التي يصعب استيعاب المعلومات المتعلقة بها، أو أن بعضاً من ظروف بيئة الطريق تشكل مواقف يصعب تمييزها بصرياً مما يتطلب إختيار سرعة ومسار الحركة التي تتناسب مع مثل هذه المواقف، والبدء والانتهاء من المناورة بأمان وكفاءة. وحيث أن مسافة الرؤية للقرار تمنح السائقين هامش إضافي للخطأ ومسافة كافية للمناورة بسياراتهم وتقليل السرعة دون اللجوء إلى التوقف فإن مسافة الرؤية للقرار تكون أكبر بكثير من مسافة الرؤية للتوقف.

ويحتاج السائقون إلى مسافات رؤية للقرار في الأحوال التي نتوقع فيها احتمال حدوث خطأ في تقدير المواقف وصعوبة اتخاذ قرار مناسب وعدم السيطرة على الوضع. وهناك أمثلة كثيرة على الأماكن التي يمكن أن يحدث فيها أخطاء والتي يستحسن وجود مسافة رؤية للقرار فيها مثل العقد والتقاطعات وهي أماكن تتطلب مناورات غير عادية وأحيانا غير متوقعة ، وأماكن التغيرات في المقاطع العرضية مثل محطات الجباية بدل إستخدام الطريق (Toll Plaza) والأماكن التي يتناقص بها عدد حارات الطريق وفي الأماكن التي تتصف بالضوضاء البصرية Visual Noise الناجمة عن تضارب المعلومات بين عناصر الطريق وحركة المرور وإشارات المرور ولوحات الاعلانات . ويبين الجدول (4-3) القيم الواجب أخذها لتأمين مسافات رؤية مناسبة في المواقع الحرجة كما يمكننا استخدامه من أجل تقييم الرؤية في المواقع القائمة.

الجدول (4-3) مسافة الرؤية للقرار

السرعة التصميمية كم/ساعة Design Speed (km/h)	مسافة الرؤية للقرار (م) Decision Sight Distance (m)				
	مناورة التجنب Avoidance Maneuver				
	A	B	C	D	E
50	70	155	145	170	195
60	95	195	170	205	235
70	115	235	200	235	275
80	140	280	230	270	315
90	170	325	270	315	360
100	200	370	315	355	400
110	235	420	330	380	430
120	265	470	360	415	470
130	305	525	390	450	510
مناورة التجنب A: التوقف على الطرق الخلوية – t يساوي 3 ثانية					
مناورة التجنب B: التوقف على الطرق الحضرية – t يساوي 9.1 ثانية					
مناورة التجنب C: تغيير السرعة والمسار والاتجاه على الطرق الخلوية – t تتراوح من 10.2 – 11.2 ثانية					
مناورة التجنب D: تغيير السرعة والمسار والاتجاه على ضمن الضواحي – t تتراوح من 12.1 – 12.9 ثانية					
مناورة التجنب E: تغيير السرعة والمسار والاتجاه على الطرق الحضرية – t تتراوح من 14 – 14.5 ثانية					

لقد تم تطوير مسافات الرؤية للقرار واستنتاجها انطلاقاً من معطيات تجريبية وتختلف قيمها حسب كونها عائدة لطرق خلوية أو حضرية وعلى نوع المناورة اللازمة للتعامل مع الموقع. ويبين الجدول (4-3) مسافات التوقف للقرار لمختلف المواقع بعد تدوير الأرقام. وكما نرى من الجدول فإن المسافات الأقصر تعود للطرق الخلوية وكذلك المواقع التي تتطلب التوقف باعتبارها المناورة الصحيحة لتفادي الخطر . أما من أجل مناورات تجنب المخاطر (Avoidance Maneuvers) الواردة في الجدول (4-3) فإن زمن ماقبل المناورة يزداد أكثر من زمن رد فعل الفرامل من أجل مسافة التوقف للفرملة لكي يكون هناك وقتاً إضافياً لدى السائق ليكتشف ويتعرف على الطريق وحالة المرور ويستعرض المناورات الممكنة ويأخذ المبادرة اللازمة في الأماكن الحرجة على الطريق. ويتراوح زمن ما قبل المناورة من أجل مسافة الرؤية للقرار ما بين 3 ثواني الى 9.1 ثانية.

وتضاف مسافة الفرملة الناجمة عن السرعة التصميمية إلى مسافة ما قبل المناورة في الحالتين A و B المبينتين في المعادلة (4-4) التالية:

$$d = 0.278 V t + 0.039 \frac{v^2}{a} \quad \text{.....} (4-4)$$

حيث أن:

t = زمن ما قبل المناورة، ثانية وتؤخذ من الجدول (4-3)

v = السرعة التصميمية، كم/ساعة

a = تباطؤ السائق، م/ثانية^2

أما مسافة الرؤية اللازمة لتغيير السرعة والاتجاة في حالة مناورات تجنب المخاطر C و D و E فيتم حسابها وفقاً للمعادلة (4-5) التالية :

$$d = 0.278 v t \quad \text{.....} (4-5)$$

حيث أن:

v = السرعة التصميمية، كم/ساعة

t = مجموع زمن ما قبل المناورة والمناورة ، ثانية (وتؤخذ من الجدول 4-3)

وعند حساب وقياس مسافة الرؤية للقرار يتم افتراض ما يلي:

إرتفاع عين السائق عن سطح الطريق مساوٍ لـــ 1.08 م

إرتفاع العائق مقاساً من سطح الطريق مساوٍ لـــ 60 سم.

4-1-4 مسافة الرؤية للتجاوز على الطرق ذات مسربي مرور في الاتجاهين

Passing Sight Distance for Two-Lane Highways

تتألف معظم الطرق الخلوية والحضرية والشوارع في العالم من مسربي مرور في الاتجاهين، تتحرك عليها السيارات بسرعات مختلفة. وعندما يريد سائق السيارات الأسرع تجاوز السيارات الأبطأ التي هي أمامه، ينتقل إلى المسرب الأيسر المخصص للمرور المعاكس ومن ثم تتحاذى مع السيارة المراد

تجاوزها وبعد ذلك تعود إلى المسرب الأيمن المخصص لحركتها على الطريق والذي بدأت مناورتها منه قبل أن تصطدم بالسيارة القادمة من الاتجاه المعاكس.

وينطلق حساب الحد الأدنى لمسافة الرؤية للتجاوز من أجل الطرق ذات المسربين في الاتجاهين من بعض الفرضيات المتعلقة بسلوكية السائق:

1- تسير السيارة المراد تجاوزها بسرعة ثابتة.

2- تعمد السيارة التي تقوم بالتجاوز إلى تقليل سرعتها عندما تصل إلى خلف السيارة المراد تجاوزها قبل البدأ بعملية التجاوز.

3- عند الوصول إلى بداية مقطع التجاوز يحتاج السائق إلى فترة قصيرة من الزمن ليدرك أن الطريق أمامه خالٍ وأن بإمكانه بدء مناورة التجاوز.

4- تتم عملية التجاوز بما يسمى بالبداية البطيئة والرجوع السريع عندما يصبح في مواجهة السير المقابل السريع. وتعمد السيارة التي تقوم بالتجاوز إلى التسارع خلال المناورة وتكون معدل سرعتها خلال وجودها على المسرب المجاور (المسرب الأيسر) أكبر بـــ 15 كم /ساعة من السيارة المراد تجاوزها.

5- وجود مسافة كافية بين السيارة المتجاوزة والسيارة القادمة من الجهة المقابلة عند عودتها إلى المسرب الذي بدأت مناورة التجاوز منه (المسرب الايمن).

وتتألف مسافة الرؤية للتجاوز على الطريق ذي مسربي مرور في الاتجاهين من مجموع المسافات الجزئية الأربعة التالية والمبينة بالشكل (4-1):

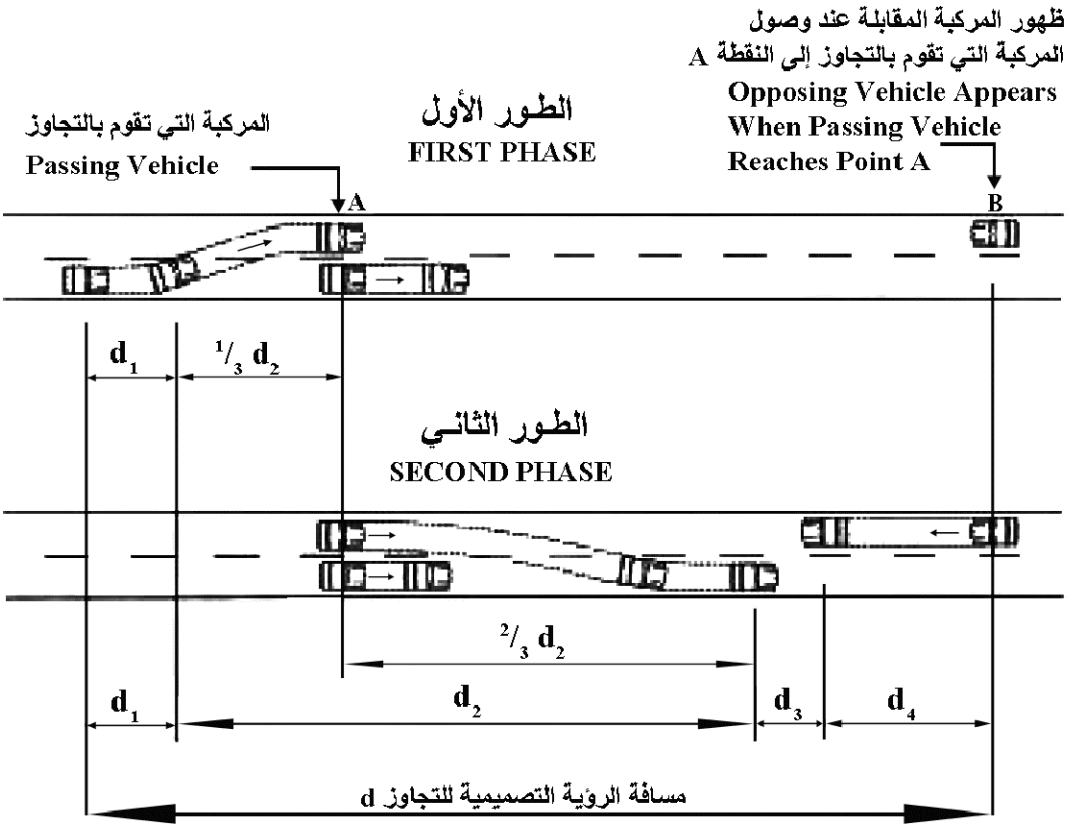
d_1 – المسافة المقطوعة خلال زمن استقبال المعلومة ورد فعل السائق وخلال التسارع الأولي حتى بداية الخروج الى المسرب المجاور.

d2 – المسافة التي تقطعها السيارة التي تقوم بالتجاوز حتى تصل إلى المسرب المجاور وتصبح بمحاذاة السيارة المراد تجاوزها ثم العودة إلى المسرب الذي بدأت مناورة التجاوز منه.

d3 – المسافة ما بين السيارة التي تقوم بالتجاوز في نهاية عملية المناورة والسيارة القادمة من الجهة المعاكسة.

d4 – المسافة المقطوعة من قبل السيارة المقابلة والتي تقدر بـــ $2/3$ المسافة d_2

ويبين الجدول (4-4) مختلف أطوال مسافات الرؤية للتجاوز مع مكوناتها من أزمان ومسافات من أجل أربع مجالات للسرعة، مع الأخذ بعين الاعتبار أن سرعة السيارة التي تقوم بالتجاوز أكبر بـــ 15 كم/ساعة من السيارة المراد تجاوزها.



الشكل (4-1) عناصر مسافة الرؤية للتجاوز لطريق بمسربي مرور في الاتجاهين

الجدول (4-4) عناصر مسافة الرؤية الآمنة للتجاوز لغايات تصميم طريق بمسربي مرور بالاتجاهين

مراحل مناورة الرؤية للتجاوز Component of Passing Maneuver	مجال السرعة (كم/ساعة)			
	65-50	80-66	95-81	110-96
	معدل سرعة التجاوز (كم/ساعة)			
	56.2	70.0	84.5	99.8
المناورة الأولية:				
a- معدل التسارع (م/ ثانية^2)	2.25	2.30	2.37	2.41
t_1- الزمن (ثانية)	3.6	4.0	4.3	4.5
d_1- المسافة المقطوعة (م)	45	66	89	113
التواجد على المسرب الأيسر:				
t_2- الزمن (ثانية)	9.3	10.0	10.7	11.3
d_2- المسافة المقطوعة (م)	145	195	251	314
مسافة أمان:				
d_3- المسافة المقطوعة (م)	30	55	75	90
المسافة المقطوعة من قبل السيارة المقابلة:				
d_4- المسافة المقطوعة (م)	97	130	168	209
المسافة الكلية (م)				
$d = d_1 + d_2 + d_3 + d_4$	317	446	583	726

1- **مسافة المناورة الأولية d1 :** يتألف زمن المناورة الأولية من جزئين : زمن الاستقبال ورد الفعل للسائق والزمن اللازم لكي ينتقل السائق بسيارته من المسرب الذي يسير فيه خلف السيارة التي يريد تجاوزها إلى المسرب الأيسر المجاور. ويتداخل هذان الزمنان إلى حد كبير. وعندما يصبح المسرب المجاور في مجال نظر السائق الذي يقوم بالتجاوز يعمد إلى زيادة سرعته والمناورة باتجاه محور الطريق ويتراوح معدل التسارع من أجل مجالات السرعة الثلاثة الأولية من 2.25 إلى 2.37 كم/ساعة/ثانية أما الزمن المقطوع فيتراوح من 3.7 إلى 4.3 ثانية، ومعدل سرعة التجاوز 56.2 و 70 و 84.5 كم/ساعة. أما من أجل مجال السرعة من 96 إلى 110 كم/ساعة فيكون زمن المناورة 4.5 ثانية ومعدل السرعة 99.8 كم/ساعة.

ويتم حساب المسافة المقطوعة خلال المناورة الأولية d_1 من المعادلة (4-6) التالية:

$$d_1 = 0.278\, t_i \left(v - m + \frac{a\, t_i}{2}\right) \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (6-4)$$

حيث أن:

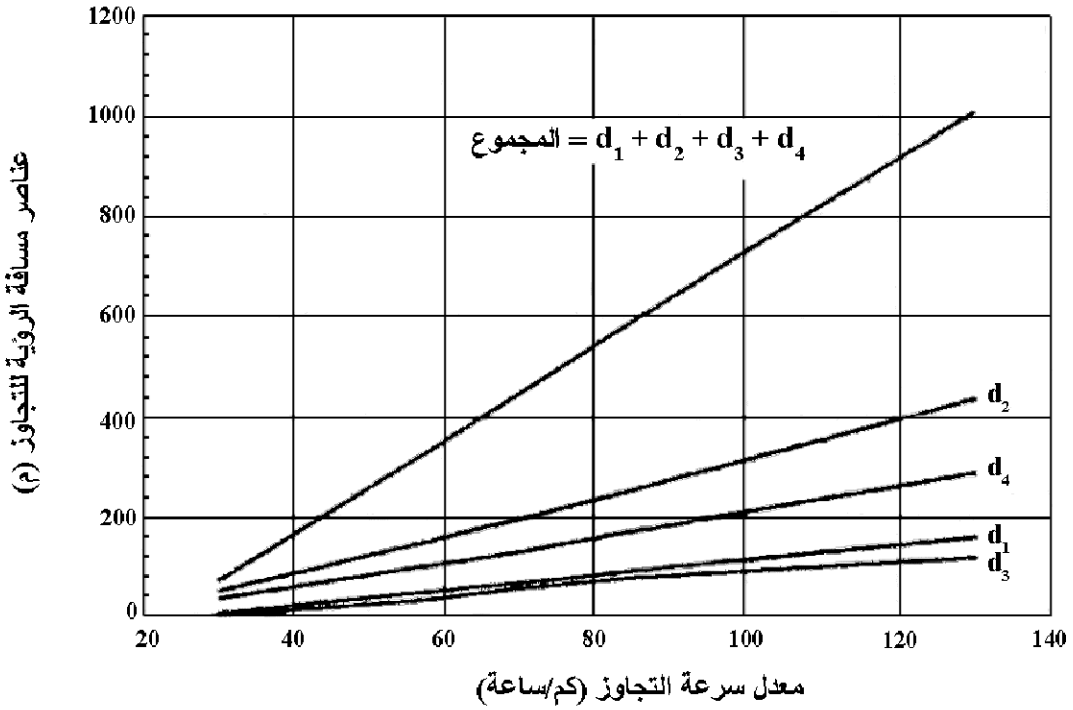
t_i = الزمن اللازم لكي تبقى فيه السيارة التي تقوم بالتجاوز على المسرب الأيسر، ثانية.

a = معدل التسارع ، كم /ساعة /ثانية.

v = معدل السرعة للسيارة التي تقوم بالتجاوز، كم /ساعة.

M = الفرق بين سرعتي السيارة التي تقوم بالتجاوز والسيارة المراد تجاوزها، كم/ساعة

ويبين الجدول السابق (4-4) قيم التسارع والزمن والمسافة المقطوعة خلال فترات المناورة الأولية. كما يبين الشكل (4-2) العلاقة بين مسافة الرؤية للتجاوز ومعدل السرعة للسيارة التي تقوم بالتجاوز.



الشكل (4-2) العلاقة بين مسافة الرؤية للتجاوز ومعدل السرعة للسيارة التي تقوم بالتجاوز

2- **المسافة التي تحتل فيها السيارة التي تقوم بالتجاوز المسرب الأيسر d_2** : تبين الدراسات أن الزمن الذي تبقى فيه السيارة التي تقوم بالتجاوز على المسرب الأيسر يتراوح بين 9.3 إلى 10.4 ثانية. ويتم حساب هذه المسافة من المعادلة (4-7) التالية:

$$d_2 = 0.278 v t_2 \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (7-4)$$

حيث أن:

t_2 = الزمن اللازم لكي تبقى فيه السيارة التي تقوم بالتجاوز على المسرب الأيسر، ثانية.

v = معدل السرعة للسيارة التي تقوم بالتجاوز، كم/ساعة.

ويبين الجدول (4-4) والشكل (4-2) قيم هذه المسافة.

3- **مسافة الأمان d_3 Clearance length**: في العموم وكما تشير الدراسات، تتراوح مسافة الأمان ما بين السيارة التي تقوم بالتجاوز والسيارة التي تسير بالاتجاه المعاكس في نهاية مناورة التجاوز ما بين 30 إلى 75م . وقد تم تعديل هذا الرقم بشكل طفيف ليسهل التعامل معه، كما يبين الجدول (4-4) والشكل (4-2) علاقة المسافة الجزئية d_3 مع معدل السرعة للسيارة التي تقوم بالتجاوز.

4- **المسافة d4 المقطوعة من قبل السيارة المقابلة:** تشمل مسافة الرؤية للتجاوز المسافة المقطوعة من قبل السيارة المقابلة للمركبة المتجاوزة أثناء مناورة التجاوز، وذلك للتقليل من خطر اصطدام السيارة التي تقوم بالتجاوز مع السيارة التي تقترب إليها على المسرب الأيسر. وتحسب استناداً لما يلي:

- المسافة المقطوعة خلال خروج السيارة التي تقوم بالتجاوز إلى المسرب المجاور ومحاذاتها للسيارة المراد تجاوزها هي ثلث مسافة d_2.
- تسير السيارة المقابلة بنفس السرعة التصميمية التي تسير فيها السيارة التي تقوم بالتجاوز

وعليه تصبح هذه المسافة كما يلي:

$$d_4 = \frac{1}{3} d_2$$

ويبين الجدول (4-4) والشكل (4-2) قيم هذه المسافة.

4-1-4-1 القيم التصميمية Design Values:

يبين الشكل السابق (4-2) المنحنى الكلي الذي يعطي مجموع المسافات الجزئية المكونة لمسافة الرؤية للتجاوز من d_1 إلى d_4 . كما يعطي هذا المنحنى الكلي مسافة الرؤية الدنيا لسيارة تقوم بالتجاوز بسرعة تزيد عن 15 كم/ساعة عن سرعة السيارة المراد تجاوزها وفي مواجهتها سيارة تسير بنفس سرعتها.

وتتعلق مجالات السرع للسيارة التي تقوم بالتجاوز والسيارات الجاري تجاوزها بحجم المرور، فعندما يكون حجم المرور منخفضاً (مستوى الخدمة A) فإن عدداً قليلاً من السيارات يحتاج لإجراء عملية التجاوز. ولكن عندما يزداد حجم المرور (مستوى الخدمة D أو أقل) فإن قلة من السيارات فقط قد تسمح لها الفرصة لإجراء عملية التجاوز. وقد تم

اعتبار سرعة السيارة المراد تجاوزها مساوية لمعدل سرعة الجريان الموافقة (المطابقة) لحجم مرور قريب من السعة ، كما تم اعتبار أن سرعة السيارة التي تقوم بالتجاوز أكبر بمقدار 15 كم/ساعة من سرعة السيارة المراد تجاوزها. ويبين الجدول (4-5) والشكل (4-2) السرع المفترضة للسيارات التي تقوم بالتجاوز على الطرق ذات مسربي مرور في الاتجاهين. وعند تصميم مثل هذه الطرق يجب استخدام مسافات رؤية للتجاوز تفوق القيم الدنيا إلى أكبر حد ممكن من الناحية العملية وبكلفة معقولة.

الجدول (4-5) مسافة الرؤيا التصميمية للتجاوز من أجل الطرق ذات مسربي المرور بالاتجاهين

السرعة التصميمية (كم/ساعة)	السرعة المفترضة (كم/ساعة)		مسافة الرؤيا للتجاوز (م)	
	للسيارة المراد تجاوزها	للسيارة التي تقوم بالتجاوز	من الشكل (4-1)	القيم التصميمية (بعد تدويرها)
30	29	44	200	200
40	36	51	266	270
50	44	59	341	345
60	51	66	407	410
70	59	74	482	485
80	65	80	538	540
90	73	88	613	615
100	79	94	670	670
110	85	100	727	730
120	90	105	774	775
130	94	109	812	815

5-1-4 مسافة الرؤية للتوقف للطرق متعددة المسارب

Sight Distance for Multi-Lane Highway

ليس من الضروري الأخذ بعين الاعتبار مسافة الرؤية اللازمة للتجاوز على الطرق والشوارع ذات مسربي مرور أو أكثر في كل اتجاه، حيث من المفروض أن تتم مناورات التجاوز ضمن حدود مسارب المرور ذات نفس الاتجاه. ولذلك يجب منع مناورات التجاوز التي تتضمن عبور محور الطريق المؤلف من أربع مسارب مفصولة بجزيرة وسطية أو بدونها منعاً باتاً.

يجب توفير مسافة رؤية تصميمية لازمة للتوقف تتناسب مع السرعة التصميمية المستخدمة على الطرق متعددة المسارب وعلى كامل طوله وفي كل إتجاه.

6-1-4 معايير قياس مسافة الرؤية Criteria for Measuring Sight Distance

1-6-1-4 ارتفاع عين السائق عن سطح الطريق Height of Driver's Eye

من أجل حسابات مسافة الرؤية لسيارات الركوب الصغيرة، يفترض أن ارتفاع عين السائق عن سطح الطريق يعادل 1.08 م. أما الارتفاع المُعتمد والخاص بالشاحنات فيتراوح من 1.8 إلى 2.4 م، والرقم الموصى لحساب مسافة الرؤية هو 2.33 م .

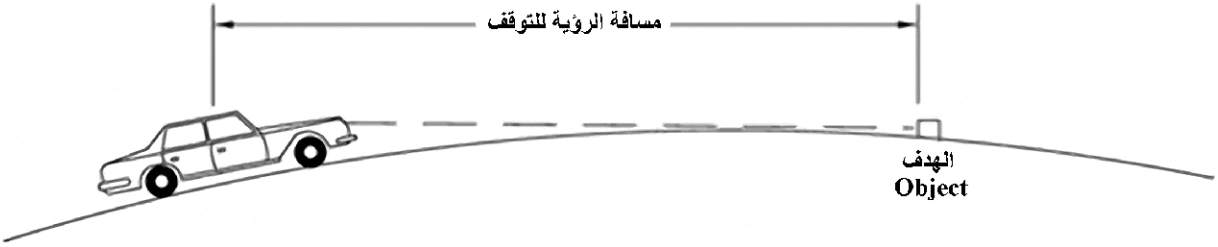
2-6-1-4 ارتفاع العائق (العقبة) Height of Object

لإجل حسابات مسافة الرؤية، تعتمد المعايير التالية لغاية تحديد ارتفاع العوائق (العقبات) مقاساً من سطح الطريق:

- مسافة الرؤية للتوقف = 60 سم
- مسافة الرؤية للتجاوز = 1.08 م.

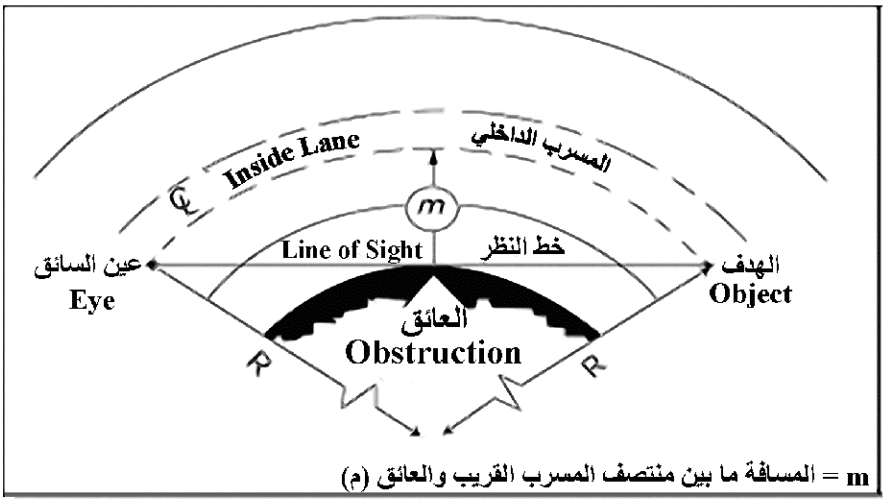
3-6-1-4 عوائق الرؤية Sight Obstructions

في التخطيط الرأسي (المقطع الطولي) للطريق يعتبر العائق الذي يحد من مسافة الرؤية هو سطح الطريق في نقطة ما منه على منحنى القمة الرأسي، وكما هو مبين بالشكل (4-3).



الشكل (4-3) علاقة سطح الطريق على منحنى القمة الرأسي في المقطع الطولي ومسافة الرؤية

أما على المنحنيات الأفقية، فتختلف العوائق التي تحد من مسافة الرؤية من نقطة ما منه على منحنى القمة الرأسي، أو بعض العوائق المادية خارج حدود الطريق مثل حواجز الأمان الطولية، وميول ردميات في مقارب الجسور، والأشجار وأوراقها والميول الجانبية في مقاطع الحفر، وكما هو مبين بالشكل (4-4).



الشكل (4-4) تأثير العوائق المادية على مسافة الرؤية في المنحنيات الأفقية

ولذلك يجب تدقيق المخططات الطرقية سواءاً كان ذلك في المسقط الأفقي أو المقطع الطولي والتحقق من عدم وجود عوائق للرؤية.

4-6-1-4 قياس وتسجيل مسافة الرؤية على المساقط:

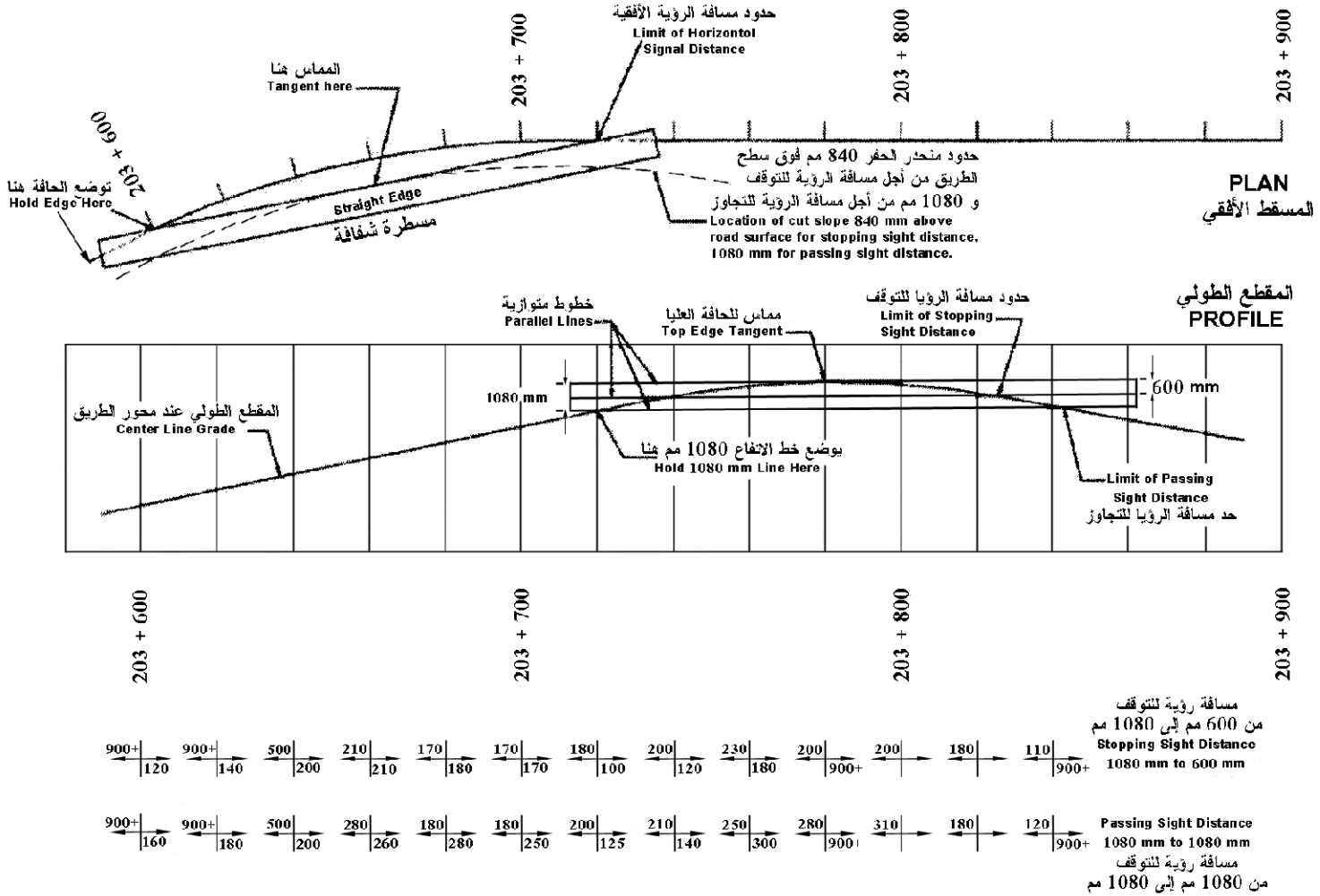
Measuring and Recording Sight Distance on Plan

يجب الأخذ بعين الاعتبار مسافة الرؤية في المراحل الأولية من التصميم عندما لا يزال التخطيط الأفقي والرأسي خاضعاً للمناقشة. يمكن للمصمم تقييم المخطط العام لمسار الطريق من خلال تحديد مسافات الرؤية المتوفرة ضمن المخطط التصميمي للمساقط الأفقية للطريق وتسجيلها على مسافات متعاقبة ويقوم بتعديل التصميم بإدخال تعديلات طفيفة في المسقط الأفقي والمقطع الطولي (المخطط الرأسي) للطريق لتقديم تصميماً أكثر توازناً، ويبين الشكل (4-5) كيفية قياس مسافات الرؤية وجدولتها والتي يمكن إظهارها فيما بعد على المخططات النهائية.

وحيث أن منظر الطريق يتغير بسرعة أمام السائق ضمن مسافات قصيرة، لذلك فمن المفضل قياس وتسجيل مسافة الرؤية لكلا اتجاهي الحركة عند كل محطة (وتد). ويتم قياس مسافات الرؤية الأفقية والرأسية وتسجيل المسافة الأقل. وفي حالة الطرق ذات المسربين في الاتجاهين تقاس مسافة الرؤية للتجاوز وتسجل بالاضافة إلى مسافة الرؤية للتوقف.

تحد العوائق المختلفة (مثل المباني، الأسوار، الأشجار، الأراضي المرتفعة والعوائق الطبوغرافية الأخرى) من مسافة الرؤية الأفقية عندما تكون السيارة على الجزء الداخلي من المنحنى. ويتم عادةً توضيح هذه العوائق على المسقط الأفقي. ويتم قياس مسافة الرؤية الأفقية بواسطة مسطرة كما هو مبين في الجزء العلوي من الشكل (4-5)، والذي يتبين منه حدود منحدر الحفر على شكل خط منقط بارتفاع 0.84 م فوق سطح الطريق (وهذا رقم يمثل معدل ارتفاع عين السائق عن سطح الطريق 1.08 م وارتفاع العائق عن سطح الطريق 0.6 م) من أجل مسافة الرؤية للتوقف، وعند ارتفاع 1.08 م فوق سطح الطريق من أجل مسافة الرؤية للتجاوز.

تحدد العوائق الجانبية الموجودة على الجانب الداخلي لمنحنى ما على الطريق مسافة الرؤية الافقية المتاحة ويتم في العادة توقيع كافة العوائق على المخططات. يتم قياس الرؤية الأفقية المتاحة من خلال شريحة قياس (مسطرة شفافة) كما هو مبين في الجزء العلوي من الشكل (4-5) والذي يبين أن لها حافتين تبتعدان عن بعضهما البعض بمقدار 1.08 م، ومرسوم عليها خطاً يبعد 600 مم عن الحافة العلوية بحيث يتوافق ذلك مع المقياس الرأسي ويتم وضع الحافة السفلية على النقطة المراد معرفة مسافة الرؤية منها ويتم توجيه الشريحة حتى تنتطبق الحافة العلوية بشكل مماسي مع المقطع الطولي للطريق وتعتبر المسافة بين النقطة الكيلومترية الأولى والنقطة الكيلومترية الثانية التي تتقاطع مع خط الـــ 600 مم هي مسافة الرؤية للتوقف، في حين تمثل المسافة بين النقطة الكيلومترية الاولى و النقطة الكيلومترية الثانية على المقطع الطولي التي تتقاطع مع الحافة السفلية للشريحة "مسافة الرؤية للتجاوز".



EXAMPLE SIGHT DISTANCE RECORD

مثال على تسجيل مسافة الرؤية

الشكل (4-5) قياس وتسجيل مسافة الرؤية على المخططات

ويمثل الجزء الأسفل من الشكل (4-5) مسافات الرؤية بالاتجاهين كما هو مبين على الأسهم عند كل نقطة كيلومترية على المسقط الأفقي والمقطع الطولي (المخطط الرأسي) للطريق. ولكي نتجنب الجهد الأضافي الناجم عن قياس مسافات الرؤية الطولية الذي غالباً ما نصادفها نكتفي باختيار بعضها وتسجيله. وفي المثال المبين أعلاه تم تسجيل كافة قيم مسافات الرؤية التي تزيد عن 1000 م على أساس 1000+ وعندما تعود مسافات الرؤية هذه لعدة نقاط كيلومترية متعاقبة يمكن حذف القيم الوسطية. ويمكن تدوير مسافات الرؤية التي تقل عن 500 م إلى أقرب 10 م والمسافات التي تزيد عن 500 م إلى أقرب 50 م. كما يمكن قياس مسافات الرؤية على طول الطريق بأساليب أخرى عند استخدام الحاسب في التصميم والرسم.

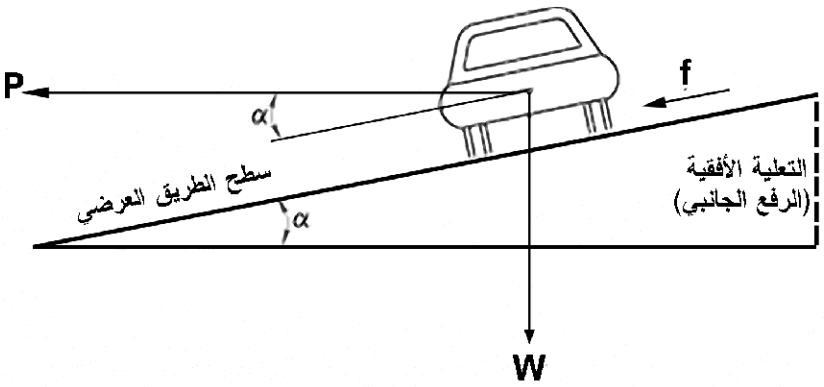
ويفيد قياس وتسجيل مسافات الرؤية للطرق ذات مسربي المرور في الاتجاهين من أجل تحديد علامات الطريق (الدهان) في الأماكن التي يمنع فيها التجاوز وفقاً للقيم المحددة في دليل معايير التجهيزات المرورية الموحد MUTCD ويعتبر تعليم هذه الأماكن إجراءً تشغيلياً وليس مسألة تصميمية. كما يفيد قياس وتسجيل مسافات الرؤية على الطرق ذات مسربي المرور في الاتجاهين لتحديد نسبة الأجزاء من الطريق التي لا تحقق مسافات الرؤية للتجاوز الحد الأدنى المطلوب والتي تعتبر مهمة من أجل حساب وتقييم السعة. حيث أن تسجيل مسافات الرؤية في الجزء الأسفل من الشكل (4–5) يجعل من السهل تحديد أجزاء الطريق ذات مسافات رؤية معينة أو أكبر.

2-4 التخطيط الافقي Horizontal Alignment

1-2-4 اعتبارات نظرية Theoretical Considerations :

من أجل تحقيق تصميم متوازن يجب تصميم العناصر الهندسية للطرق بشكل فني واقتصادي وبحيث تكون الحركة مريحة وآمنة وبسرعة قريبة من السرعة المفروض توفرها للخدمة ضمن الظروف الطبيعية لعمل الطريق. ويمكن التوصل لذلك باستخدام السرعة التصميمية للتحكم بكافة عناصر التصميم. كما يجب تصميم المنحنيات على الطريق بناء على العلاقة التي تربط بين السرعة التصميمية ودرجة الانحناء (Curvature) وارتباطها الوثيق بالتعلية الأفقية والاحتكاك الجانبي.

تتعرض السيارة التي تتحرك على منحنى دائري إلى تسارع نابذي (طارد) باتجاه مركز المنحنى. ويتعلق هذا التسارع بمركبة وزن السيارة بالنسبة للتعلية الافقية (الجانبية) والاحتكاك بين العجلات وسطح الطريق كما هو مبين بالشكل (4–6). ويعبر أحياناً عن التسارع النابذي بالقوة النابذة أو القوة الطاردة المركزية حيث يشعر السائق أن هذه القوة تدفع به نحو خارج المنحنى عند القيام بحركة الدوران.



W = وزن المركبة
M = كتلة المركبة
P = القوة النابذة باتجاه المركز (القوة الطاردة المركزية)
f = عامل الاحتكاك الجانبي
α = الزاوية الرأسية للتعلية الأفقية
tan α = e
V = سرعة المركبة (كم/ساعة)
R = نصف قطرالمنحنى (م)

الشكل (4–6) حركة المركبات على المنحنيات الأفقية

تؤخذ العلاقة الأساسية التي تحكم حركة السيارة على المنحنى من قوانين الميكانيك وفقاً للمعادلة (4–8) التالية:

$$0.01e + f = \frac{0.0079\,v^2}{R} = \frac{v^2}{127R} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (8-4)$$

حيث أن:

e = معدل التعلية الأفقية للطريق %

f = عامل الاحتكاك الجانبي

g= ثابت الجاذبية ويساوي 9.81 م/ثانية^2

v = سرعة المركبة، كم/ساعة

R = نصف قطر المنحنى، م

4-2-2 اعتبارات عامة General considerations

تم تحديد القيم الحدية للتعلية الأفقية (الجانبية) e_{max} ولعامل الاحتكاك الجانبي f_{max} استناداً إلى الأبحاث والخبرات المكتسبة في تصميم المنحنيات. ونستخدم هذه القيم للحصول على أنصاف الأقطار الدنيا من أجل القيم المختلفة للسرعات التصميمية، كما أن استخدام أنصاف أقطار أكبر من القيم الدنيا المحددة يؤدي لقيم تعلية أفقية (جانبية) واحتكاك جانبي أقل من القيم الحدية.

4-2-2-1 التعلية الأفقية (الجانبية) Super-elevation

ترتبط قيم الحدود القصوى لمعدل التعلية الأفقية (الجانبية) على المنحنيات الأفقية باعتبارات الطقس واستعمالات الأراضي المجاورة وتكرار وجود المركبات ذات الحركة البطيئة. ويجب أن لا تزيد التعلية الأفقية (الجانبية) في الأماكن التي تسود فيها ظروف الثلج والصقيع عن القيمة التي قد تؤدي إلى انزلاق المركبة المتوقفة أو المتحركة ببطء باتجاه مركز المنحنى. قد تحدث ظاهرة الانزلاق الجزئي على طبقة رقيقة من الماء Hydro-planing نتيجة تجمع المياه على الطريق السريعة وخاصة في مواقع المنحنيات التي يكون فيها التصريف سيئاً. ويحدث الانزلاق عادة للعجلات الخلفية للمركبة بسبب عمل المياه على تخفيض الاحتكاك الجانبي لما هو دون القيم الدنيا. وعندما تكون الحركة بطيئة على المنحنيات ذات التعلية الأفقية الكبيرة تنشأ قوى جانبية سالبة ناجمة عن المُركَبة الكبيرة لوزن السيارة فيعمد السائق إلى الحركة صعوداً أو بعكس اتجاه المنحنى الأفقي.

ولذلك من غير المفضل استخدام تعلية أفقية كبيرة على الطرق ذات حجم المرور الكبير كما هو الحال في الطرق الحضرية والضواحي حيث ينخفض معدل السرعة بشكل كبير.

عندما تتحرك بعض المركبات ذات مركز الثقل المرتفع أو ذات نظام التعليق المستقل على المحاور ببطء تقع نسبة كبيرة من وزنها على العجلات الداخلية، وقد يؤدي ذلك في الظروف الحرجة إلى انقلابها. وتؤدي هذه المناقشة إلى تحديد القيمة القصوى للتعلية الأفقية عند تصميم المنحنيات الأفقية.

2-2-2-4 عامل الاحتكاك الجانبي Coefficient of side friction:

يعبر عامل الاحتكاك الجانبي عن مدى الحاجة لتوفير الاحتكاك الجانبي على المركبة، ويُمثل من خلال التسارع الجانبي a_f والمساوي لعامل الاحتكاك الجانبي مضروباً بثابت الجاذبية أي: $a_f = f.g$ ويكون إحساس الركاب بالتسارع الجانبي أكبر بشكل طفيف من قيمته الفعلية المحسوبة بسبب زاوية دوران المركبة α (Body roll angle)، المبينة بالشكل (4–6).

وينجم عن الاختلاف الكبير في سرعات المركبات على المنحنيات عادة قوى مختلفة حسب وجود التعلية الأفقية أو عدم وجودها، كما ينجم عن هذه القوة دفع جانبي للعجلات التي تقاوم ذلك عبر الاحتكاك بينها وبين سطح الطريق، وتتغير هذه القوة حسب سطح التماس بين العجلات والطريق.

إن عامل الاحتكاك (f) يساوي قوة الاحتكاك مقسومة على المركبة العمودية لوزن السيارة على سطح الطريق، ويعبر عنها بمعادلة المنحنى الأساسية (4–8) المذكورة سابقاً. وعليه يمكن إعادة كتابة المعادلة الأساسية للاحتكاك الجانبي على الشكل التالي:

$$f = \frac{V^2}{127R} - 0.01e \quad \text{.....} (9-4)$$

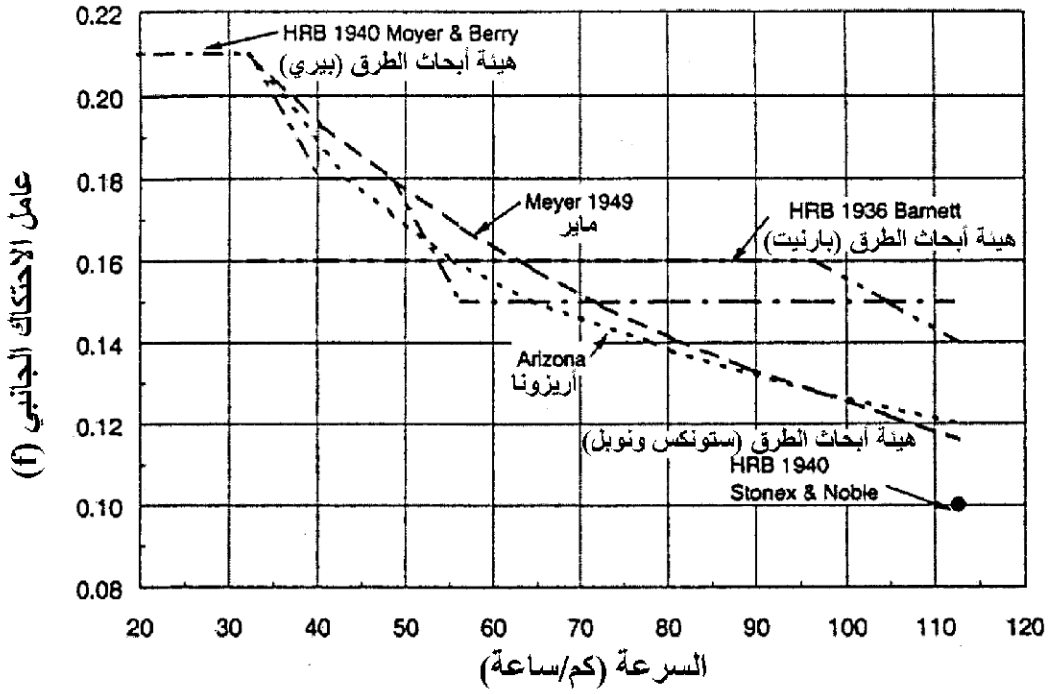
وتبلغ القيمة القصوى لعامل الاحتكاك الجانبي f في اللحظة التي تبدأ عندها عجلات المركبة بالإنزلاق. وحيث أنه يتم تصميم المنحنيات على أساس عدم حصول الانزلاق فإن قيم عامل الاحتكاك الجانبي تكون أقل من القيمة العظمى مع عامل أمان إضافي. ويرتبط عامل الاحتكاك الجانبي بعدد من العوامل مثل سرعة المركبة ونوع وحالة سطح الطريق وكذلك بنوع وحالة اطارات المركبة. وقد أظهرت الاختبارات أن القيمة العظمى لعامل الاحتكاك الجانبي من أجل اطارات جديدة وسطح خرساني رطب تتراوح من 0.5 من أجل سرعة 30 كم/ساعة إلى 0.35 من أجل سرعة 100 كم/ساعة، وعموماً تنخفض قيمة عامل الاحتكاك الجانبي مع تزايد السرعة. ويلخص الشكل (4–7) معاملات الاحتكاك الجانبي حسب التجارب الحقلية المجراة من قبل هيئات أبحاث مختلفة.

كما يوضح الشكل (4–8) عوامل الاحتكاك المفترضة لثلاثة أنواع من الطرق:

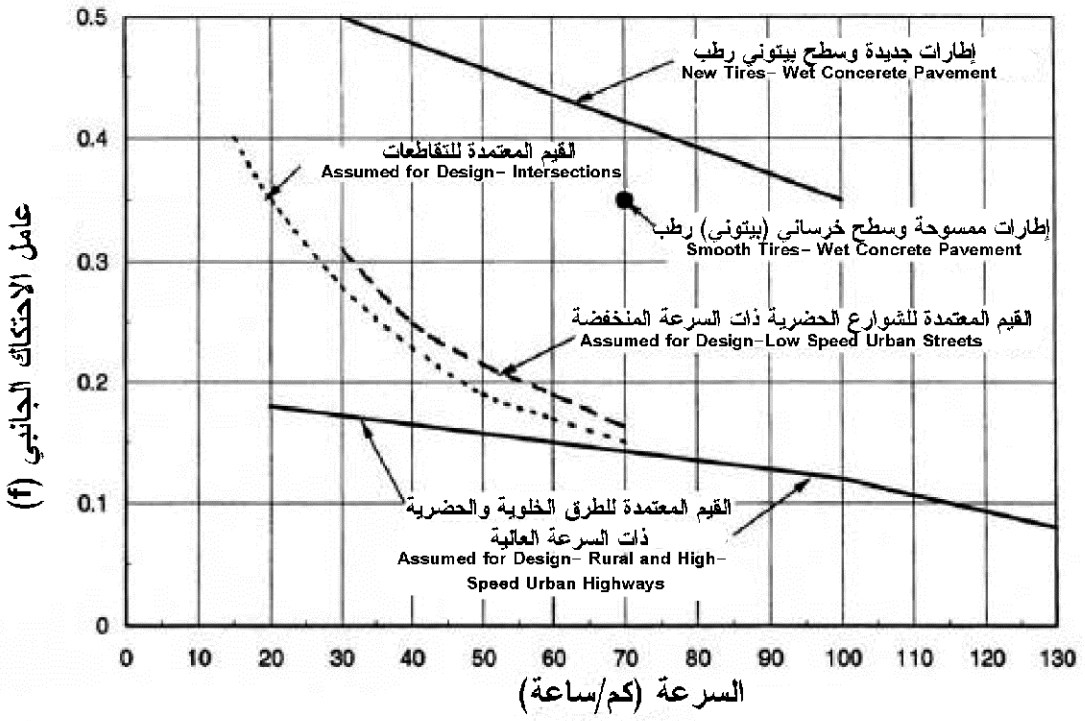
1– الطرق الخلوية والطرق الحضرية ذات السرعات العالية،

2– الشوارع الحضرية ذات السرعات المنخفضة،

3– الطرق الالتفافية Turning Roadways.



الشكل (4–7) عوامل الاحتكاك الجانبي



الشكل (4–8) مقارنة عوامل الاحتكاك الجانبي المفترضة لتصميم أنواع مختلفة من الطرق

3-2-2-4 توزيع قيم e و f على المنحنيات:

توجد خمس طرق من أجل حساب سرعة تصميمية محددة للتغلب على التسارع المركزي على المنحنى الأفقي وذلك باستخدام e أو f أو كليهما:

الطريقة الأولى: تتناسب التعلية الأفقية والاحتكاك الجانبي مباشرة مع مقلوب نصف قطر المنحنى أي توجد علاقة خطية بين ($1/R = 0$ و $1/R = 1/R_{min}$)

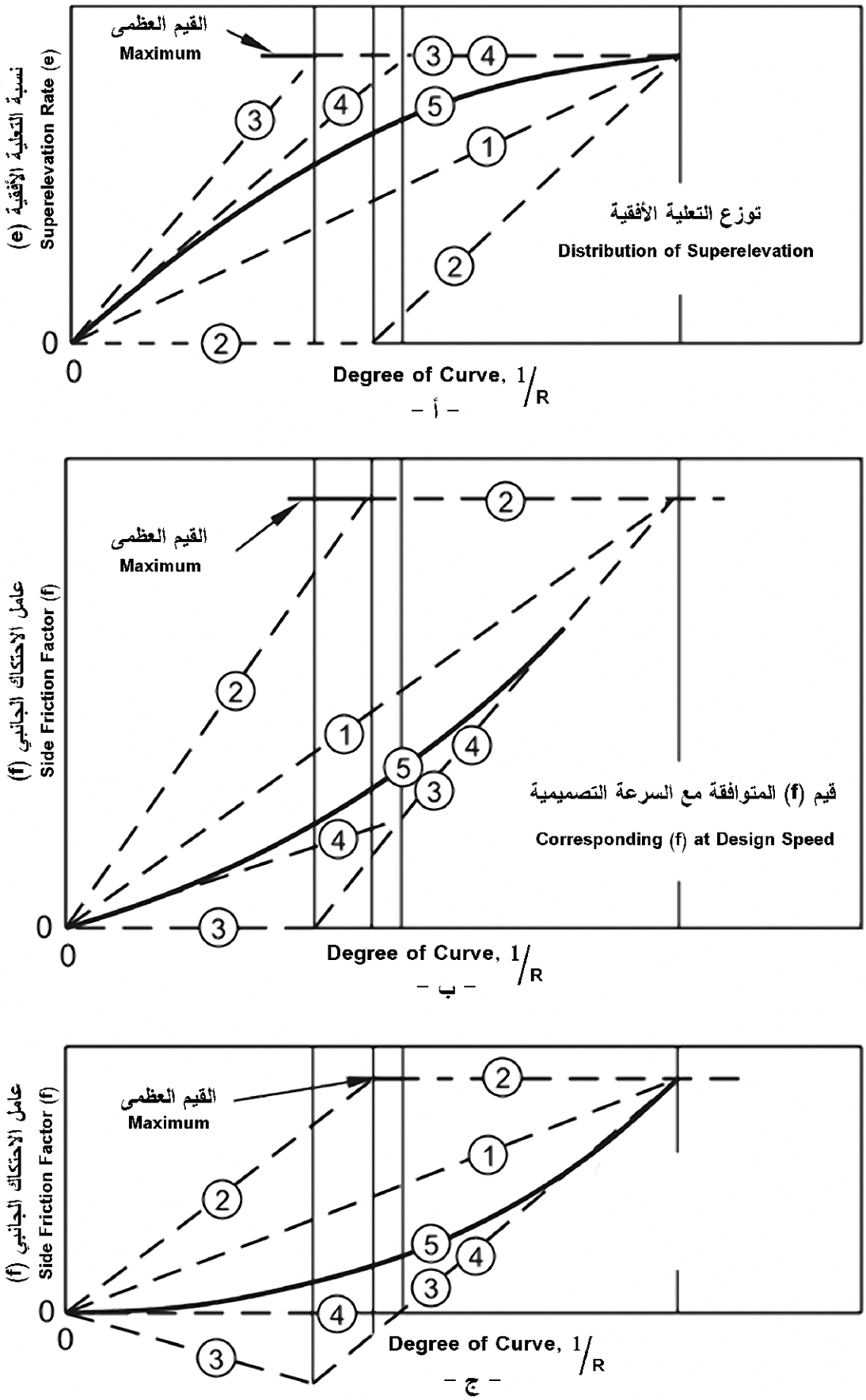
الطريقة الثانية: تتعرض المركبة التي تسير بالسرعة التصميمية على المنحنى لتسارع جانبي يتم مقاومته بالاحتكاك الجانبي حتى الوصول إلى القيمة العظمى لـــ f_{max}. ومن أجل المنحنيات الأكثرحدة تبقى قيمة f مساوية لـــ f_{max} وبعد ذلك تستخدم التعلية الأفقية للتغلب على التسارع الجانبي حتى الوصول إلى e_{max} وفي هذه الطريقة تتزايد قيم f أولاً ثم قيم e بشكل يتناسب مع مقلوب نصف قطر الانحناء R.

الطريقة الثالثة: تتعرض المركبة التي تسير بالسرعة التصميمية على المنحنى لتسارع جانبي تتم مقاومته بالتعلية الأفقية حتى الوصول لـــ e_{max} ، ومن أجل المنحنيات الأكثر حدة تبقى قيمة e مساوية لـــ e_{max} ويستخدم الاحتكاك الجانبي f للوصول إلى f_{max}. وفي هذه الطريقة تتزايد قيم e أولاً ثم قيم f بشكل يتناسب مع مقلوب نصف قطر الانحناء R.

الطريقة الرابعة: وهي نفس الطريقة الثالثة وتختلف عنها فقط باعتمادها على معدل سرعة جريان حركة المرور بدلاً من السرعة التصميمية.

الطريقة الخامسة: إن العلاقة بين التعلية الأفقية والاحتكاك الجانبي تكون على شكل علاقة خطية منحنية تتناسب مع مقلوب نصف قطر المنحنى، وتقع القيم المحسوبة في هذه الطريقة ضمن مجال الطريقة (1) والطريقة (3).

يوضح الشكل (4-9-أ) مقارنة للعلاقة بين التعلية الأفقية ومقلوب نصف قطر المنحنى للطرق الخمسة، كما يوضح الشكل (4-9-ب) قيم الاحتكاك الجانبي لمركبة تسير بالسرعة التصميمية أما الشكل (4-9-ج) فيوضح قيم الاحتكاك الجانبي لمركبة تتحرك بمعدل سرعة جريان حركة المرور.



الشكل (4-9) طرق توزع التعلية الفقية وعامل الاحتكاك الجانبي

3-2-4 الاعتبارات التصميمية Design considerations

قد تم تحديد معدلات التعلية الأفقية القابلة للتطبيق لمدى من المنحنيات كل منها خاص بسرعة تصميمية يتم استخدمها في تصميم الطرق، وتم تحديد القيم القصوى للتعلية الأفقية من الخبرات العملية، وكذلك تم تحديد درجة الإنحناء Curvature العظمى لكل سرعة تصميمية. ويمكن أن تتباين القيم العظمى للتعلية الأفقية حسب الظروف المختلفة للطرق. ومن جهة أخرى لا توجد ضرورة للتعلية الأفقية على الاستقامات أو المنحنيات ذات أنصاف الأقطار الكبيرة. ومن أجل درجات انحناء تقع بين هذه القيم الحدية (المنحنيات الحادة والاستقامات) مصممة بسرعة تصميمية معينة، تحدد التعلية بطريقة منطقية يتم فيها التوازن بين معامل الاحتكاك الجانبي ومعدل التعلية الأفقية المطبقة.

1-3-2-4 القيم العظمى لمعدلات التعلية الأفقية Maximum Super-elevation (e_{max})

يتم التحكم بمعدل التعلية الأفقية عبر أربعة عوامل تتضمن:

- الظروف المناخية (تكرار تساقط الثلوج وحدوث الصقيع)،
- طبوغرافية المنطقة (سهلية أو هضبية)،
- نوع المنطقة (خلوية أو حضرية)،
- تكرار حركة المركبات البطيئة جداً والتي قد تتأثر بمعدل التعلية الأفقية الكبيرة.

إن الأخذ بعين الاعتبار بهذه العوامل يشير إلى عدم وجود معدل تعلية أفقية أقصى وحيد يمكن تطبيقه بل هناك مجال من القيم القصوى للتعلية الأفقية.

ويفضل بشكل عام استخدام قيمة قصوى واحدة للتعلية الأفقية من أجل ظروف مناخية واستعمالات أراضي متشابهة لمنطقة الطريق. إن الثبات ووحدة (تماثل) التصميم يؤدي إلى توحيد التخطيط الأفقي للطريق وأبعاد عناصر التصميم المرافقة له. وتسمح عملية التوحيد هذه للسائقين بتحسين مهارات الإدراك ورد الفعل عبر تحسين التوقع والمعرفة بعناصر الطريق.

إن أعلى معدل للتعلية الأفقية للطرق ذات الاستخدام العام 10% . ويمكن استخدام قيمة 12% في بعض الحالات. وتستخدم معدلات التعلية الأفقية القصوى مساوية لـــ 8% في المناطق الخالية من الثلوج والصقيع فقط. وعلى الرغم من أن معدلات التعلية الأفقية المرتفعة تتمتع بالعديد من المزايا للسائقين الذين يقودون سياراتهم بسرعات عالية، فإن الخبرات العملية تدل على أن القيم التي تزيد عن 12% هي خارج الحدود المقبولة من الناحيتين التطبيقية والعملية والحركة بسرعة بطيئة.

عند وجود إزدحام مروري على الطريق واستغلال وتطوير كبير للأراضي المجاورة وما ينجم عن ذلك من حركة و إزدحام مروري الامر الذي يؤدي إلى خفض السرعة على الطريق مما يستوجب إعطاء معدل تعلية أفقية منخفض لا يتجاوز مدى يتراوح ما بين 4–6%، كذلك الحال في مناطق التقاطعات المهمة فإما أن يتم استخدام معدل تعلية أفقية منخفض أو عدم استخدامها عندما تكون السرعة منخفضة و لوجود العديد من إشارات المرور وحركات الالتفاف . ولكن في مثل هذه الأماكن قد يصعب أحياناً تأمين تصريف مياه جيد بدون إعطاء تعلية أفقية معاكسة، وكنتيجة يمكن تلخيص المتطلبات كما يلي:

1- يجب اعتماد عدة قيم لمعدل التعلية الأفقية وليس قيمة واحدة عند تصميم المنحنيات الأفقية
2- يجب عدم تجاوز معدل التعلية الجانبية مقدار 12%،
3- يعتبر معدل التعلية الجانبية ضمن مجال (4 – 6)% ملائما للتطبيق في المناطق الحضرية عند وجود محددات وقيود قليلة،
4- يمكن تجاهل التعلية الأفقية على الشوارع الحضرية ذات السرعات المنخفضة حيث توجد قيود ومحددات كثيرة.

بناء على ذلك فإن هناك خمس قيم قصوى مستخدمة للتعلية الأفقية وهي: 4%، 6%، 8%، 10% و12%، يتم لكل من هذه المعدّلات القصوى تحديد درجة الانحناء العظمى وقيم التعلية الأفقية من أجل أنصاف الأقطار الأكبر.

2-3-2-4 أنصاف الأقطار الدنيا

يحدد نصف القطر الأدنى انطلاقاً من سرعة تصميمية معينة ومن أجل تعلية أفقية جانبية قصوى وقيمة مختارة لعامل الاحتكاك الجانبي، ويعد نصف القطر الأدنى عاملاً هاماً لتحقيق الأمان والراحة للسائقين. كما يعتبر نصف القطر الأدنى قيمة هامة للتحكم في إختيار التعلية الأفقية المناسبة للمنحنيات الأكثر اتساعاً أو الأقل في درجة الانحناء (أنصاف الأقطار الأكبر من القيمة الدنيا).

يتم حساب نصف القطر الأدنى $R_{\min}$ انطلاقاً من علاقة المنحنى الدائري المبسطة المذكورة سابقاً والتي يمكن صياغتها بالشكل التالي:

$$R_{\min} = \frac{V^2}{127(0.01\, e_{\max} + f_{\max})} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (4-10)$$

وتتراوح قيمة عامل الاحتكاك الجانبي العظمى من 0.08 إلى 0.18.

3-3-2-4 تصميم الطرق الخلوية والطرق الحضرية الحرة والشوارع الحضرية عالية السرعة

يتم تنفيذ التعلية الأفقية على المنحنيات الأفقية على الطرق الخلوية والطرق الحرة الحضرية وشوارع المدن ذات السرعات العالية المنتظمة نسبياً ، كما تتم الموازنة بين المنحنيات المتتالية ذات أنصاف الأقطار المختلفة لضمان قيادة سلسة للمركبة وحركة انتقالية ملائمة من منحنى لآخر عبر التوزيع المتوازن بين قيم e و f حسب المنهجية التي تمت مناقشتها سابقاً.

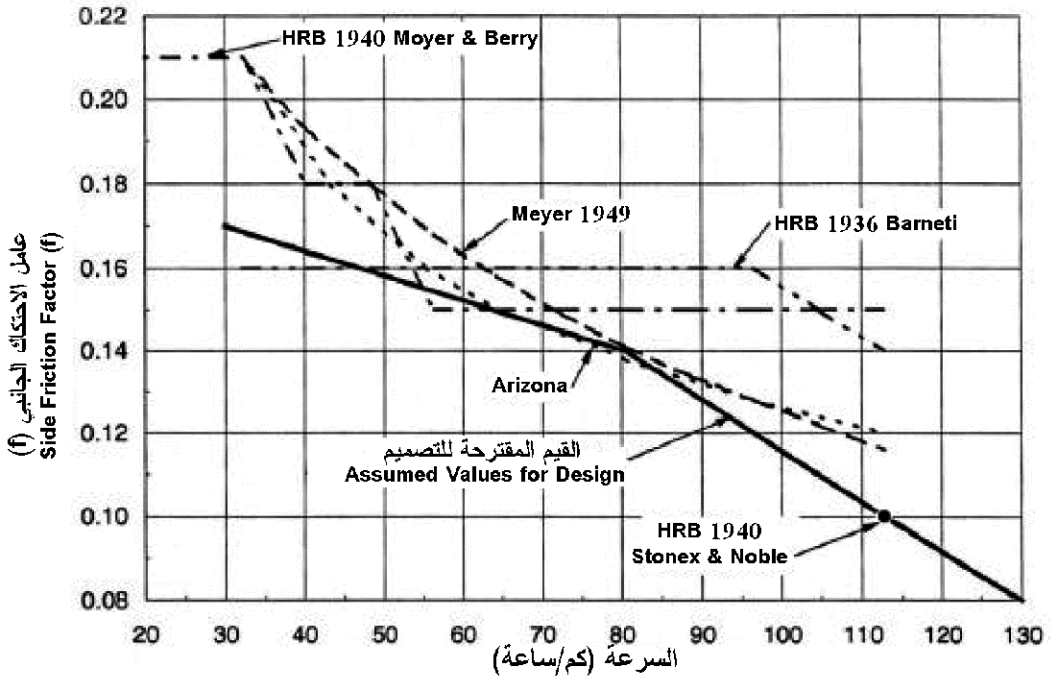
يوضح الشكل (4-10) القيم المطلوبة لعامل الاحتكاك الجانبي للطرق الخلوية والطرق الحضرية الحرة وشوارع المدن ذات السرعات العالية، وتحقق هذه العوامل هامش أمان إضافي معقول من أجل السرعات العالية كما تعطي قيم تعلية أفقية أقل من أجل السرعات المنخفضة.

تتراوح القيم القصوى لعوامل الاحتكاك الجانبي المبينة بخط مستمر غامق اللون على الشكل (4-10) من 0.17 لسرعة تصميمية 30 كم/ساعة حتى 0.14 لسرعة تصميمية 80 كم/ساعة ، ومن 0.14 لسرعة تصميمية 80 كم/ساعة حتى 0.08 لسرعة تصميمية 130 كم/ساعة، وبناء على القيم القصوى لعوامل الاحتكاك يبين الجدول (4-6) القيم العظمى للتعلية الأفقية من أجل سرعات تصميمية تتراوح من 20 حتى 130 كم/ساعة.

الجدول (4-6) أنصاف الأقطار الدنيا من أجل تصميم الطرق الخلوية والطرق الحرة الحضرية والطرق والشوارع الحضرية ذات السرعة العالية باستخدام قيم حدية لـــ (e) و (f)

نصف القطر المدور (م)	نصف القطر الحسابي (م)	المجموع $(e/100+f)$	القيم الحدية لـــ (f)	القيمة العظمى لـــ $(e\%)$	السرعة التصميمية (كم/ساعة)
Rounded Radius (m)	**Calculation Radius (m)**	**Total (e/100+f)**	**Limiting Values of f**	**Maximum e (%)**	**Design Speed (km/h)**
15	14.3	0.22	0.18	4.0	20
35	33.7	0.21	0.17	4.0	30
60	60.0	0.21	0.17	4.0	40
100	98.4	0.20	0.16	4.0	50
150	149.1	0.19	0.15	4.0	60
215	214.2	0.18	0.14	4.0	70
280	279.8	0.18	0.14	4.0	80
375	375.0	0.17	0.13	4.0	90
490	491.9	0.16	0.12	4.0	100
15	13.1	0.24	0.18	6.0	20
30	30.8	0.23	0.17	6.0	30
55	54.7	0.23	0.17	6.0	40
90	89.4	0.22	0.16	6.0	50
135	134.9	0.21	0.15	6.0	60
195	192.8	0.20	0.14	6.0	70
250	251.8	0.20	0.14	6.0	80
335	335.5	0.19	0.13	6.0	90
435	437.2	0.18	0.12	6.0	100
560	560.2	0.17	0.11	6.0	110
755	755.5	0.15	0.09	6.0	120
950	950.0	0.14	0.08	6.0	130
10	12.1	0.28	0.18	8.0	20
30	28.3	0.25	0.17	8.0	30
50	50.4	0.25	0.17	8.0	40
80	82.0	0.24	0.16	8.0	50
125	123.2	23.0	0.15	8.0	60
175	175.3	0.22	0.14	8.0	70
230	228.9	0.22	0.14	8.0	80
305	303.6	0.21	0.13	8.0	90
395	393.5	0.20	0.12	8.0	100
500	501.2	0.19	0.11	8.0	110
665	666.6	0.17	0.09	8.0	120
830	831.3	0.18	0.08	8.0	130
10	11.2	0.28	0.18	10.0	20
25	26.2	0.27	0.17	10.0	30
45	46.6	0.27	0.17	10.0	40
75	75.7	0.26	0.16	10.0	50
115	113.3	0.25	0.15	10.0	60

نصف القطر المدور (م)	نصف القطر الحسابي (م)	المجموع $(e/100+f)$	القيم الحدية لـ (f)	القيمة العظمى لـ $(e\%)$	السرعة التصميمية (كم/ساعة)
Rounded Radius (m)	**Calculation Radius (m)**	**Total (e/100+f)**	**Limiting Values of f**	**Maximum e (%)**	**Design Speed (km/h)**
160	160.7	0.24	0.14	10.0	70
210	209.9	0.24	0.14	10.0	80
275	277.2	0.23	0.13	10.0	90
360	375.7	0.22	0.12	10.0	100
455	453.5	0.21	0.11	10.0	110
595	596.5	0.19	0.09	10.0	120
740	738.9	0.18	0.08	10.0	130
10	10.5	0.30	0.18	12.0	20
25	24.4	0.29	0.17	12.0	30
45	43.4	0.29	0.17	12.0	40
70	70.3	0.28	0.16	12.0	50
105	104.9	0.27	0.15	12.0	60
150	148.3	0.26	0.14	12.0	70
195	193.7	0.26	0.14	12.0	80
255	255.0	0.25	0.13	12.0	90
330	327.9	0.24	0.12	12.0	100
415	414.0	0.23	0.11	12.0	110
540	539.7	0.21	0.09	12.0	120
665	665.0	0.20	0.08	12.0	130
ملاحظة: لاعتبارات الأمان نكتفي بتعلية أفقية عظمى 4% للطرق الحضرية والشوارع ضمن المدن					



الشكل (4–10) عوامل الاحتكاك الجانبي للطرق الخلوية والشوارع الحضرية ذات السرعات العالية

4-3-2-4 جداول التعلية الأفقية التصميمية

تبين الجداول من (4–7) حتى (4–11) بالإضافة إلى أطوال الجزء الداخلي Runoff للمنحنيات الإنتقالية التي يجري عليها تغيير الميل العرضي النظامي وحتى الوصول الى التعلية الأفقية القصوى، قيم نصف قطر المنحنى الأفقي (R) وقيم التعلية الأفقية لمختلف السرعات التصميمية لكل من القيم الخمسة للتعلية الأفقية القصوى آنفة الذكر (أي من أجل كل مجالات التعلية الافقية المستخدمة) . وقد تم حساب نصف القطر الأدنى من أجل القيم الخمس القصوى للتعلية الأفقية وذلك باستخدام الصيغة المبسطة للمنحنى الدائري واستخدام القيم من الشكل (4–10). كما استخدمت الطريقة الخامسة (5) لتوزيع e و f في حساب التعلية الأفقية المناسبة لأنصاف الأقطار الأخرى.

5-3-2-4 تأثير الميول الطولية

يميل السائقون للسير بسرعة أعلى على الميول المنحدرة للاسفل من السرعة على الميول الصاعدة، وسيتم إدخال هذا التأثير عبر تصحيح التعلية الأفقية، وذلك باستخدام الجداول (4–7) حتى (4–11) مع اعتبار قيم أعلى قليلاً للسرعة التصميمية على مناطق الميل الهابط وأقل على مناطق الميل الصاعد.

R (m)	V_d = 20 km/h e (%)	L (m) 2 Lns	L (m) 4 Lns	V_d = 30 km/h e (%)	L (m) 2 Lns	L (m) 4 Lns	V_d = 40 km/h e (%)	L (m) 2 Lns	L (m) 4 Lns	V_d = 50 km/h e (%)	L (m) 2 Lns	L (m) 4 Lns	V_d = 60 km/h e (%)	L (m) 2 Lns	L (m) 4 Lns	V_d = 70 km/h e (%)	L (m) 2 Lns	L (m) 4 Lns	V_d = 80 km/h e (%)	L (m) 2 Lns	L (m) 4 Lns	V_d = 90 km/h e (%)	L (m) 2 Lns	L (m) 4 Lns	V_d = 100 km/h e (%)	L (m) 2 Lns	L (m) 4 Lns
7000	NC	0	0	NC	0	0	NC	0	0	NC	0	0	NC	0	0	NC	0	0	NC	0	0	NC	0	0	NC	0	0
5000	NC	0	0	NC	0	0	NC	0	0	NC	0	0	NC	0	0	NC	0	0	NC	0	0	NC	0	0	NC	0	0
3000	NC	0	0	NC	0	0	NC	0	0	NC	0	0	NC	0	0	NC	0	0	NC	0	0	NC	0	0	RC	16	25
2500	NC	0	0	NC	0	0	NC	0	0	NC	0	0	NC	0	0	NC	0	0	NC	0	0	RC	15	23	RC	16	25
2000	NC	0	0	NC	0	0	NC	0	0	NC	0	0	NC	0	0	NC	0	0	RC	14	22	RC	15	23	2.2	18	27
1500	NC	0	0	NC	0	0	NC	0	0	NC	0	0	NC	0	0	RC	13	20	RC	14	22	2.3	18	26	2.6	21	32
1400	NC	0	0	NC	0	0	NC	0	0	NC	0	0	NC	0	0	RC	13	20	2.1	15	23	2.4	18	28	2.7	22	33
1300	NC	0	0	NC	0	0	NC	0	0	NC	0	0	NC	0	0	RC	13	20	2.2	16	24	2.5	19	29	2.8	23	34
1200	NC	0	0	NC	0	0	NC	0	0	NC	0	0	RC	12	18	RC	13	20	2.3	17	25	2.6	20	30	2.9	24	36
1000	NC	0	0	NC	0	0	NC	0	0	NC	0	0	RC	12	18	2.2	14	22	2.5	18	27	2.8	21	32	3.2	26	39
900	NC	0	0	NC	0	0	NC	0	0	RC	11	17	RC	12	18	2.4	16	24	2.7	19	29	3.0	23	34	3.4	28	42
800	NC	0	0	NC	0	0	NC	0	0	RC	11	17	2.1	13	19	2.5	16	25	2.8	20	30	3.2	25	37	3.5	29	43
700	NC	0	0	NC	0	0	NC	0	0	RC	11	17	2.3	14	21	2.7	18	27	3.0	22	32	3.4	26	39	3.7	30	45
600	NC	0	0	NC	0	0	RC	10	15	2.1	12	17	2.5	15	23	2.9	19	28	3.2	23	35	3.6	28	41	3.9	32	48
500	NC	0	0	NC	0	0	RC	10	15	2.3	13	19	2.7	16	24	3.1	20	30	3.5	25	38	3.8	29	44	4.0	33	49
400	NC	0	0	NC	0	0	2.1	11	16	2.6	14	21	3.0	18	27	3.4	22	33	3.7	27	40	4.0	31	46	R_{min} = 490		
300	NC	0	0	RC	10	14	2.4	12	19	2.8	16	23	3.3	20	30	3.8	25	37	4.0	29	43	R_{min} = 375					
250	NC	0	0	RC	10	14	2.6	13	20	3.0	17	25	3.6	22	32	3.9	26	38	R_{min} = 280								
200	NC	0	0	2.3	11	17	2.8	14	22	3.3	18	27	3.8	23	34	R_{min} = 215											
175	NC	0	0	2.4	12	17	2.9	15	22	3.5	19	29	3.9	23	35												
150	RC	9	14	2.5	12	18	3.1	16	24	3.7	20	31	4.0	24	36												
140	RC	9	14	2.6	12	19	3.2	16	25	3.8	21	32	R_{min} = 150														
130	RC	9	14	2.6	12	19	3.3	17	25	3.8	21	32															
120	RC	9	14	2.7	13	19	3.4	17	26	3.9	22	32															
110	RC	9	14	2.8	13	20	3.5	18	27	4.0	22	33															
100	2.1	9	14	2.9	14	21	3.6	19	28	4.0	22	33															
90	2.2	10	16	3.0	14	22	3.7	19	29	R_{min} = 100																	
80	2.4	11	16	3.2	15	23	3.8	20	29																		
70	2.5	11	17	3.3	16	24	3.9	20	30																		
60	2.6	12	18	3.5	17	25	4.0	21	31																		
50	2.8	13	19	3.7	18	27	R_{min} = 60																				
40	3.0	14	20	3.9	19	28																					
30	3.3	15	22	R_{min} = 35																							
20	3.8	17	26																								
	R_{min} = 15																										

Lns = عدد مسارب المرور
e_{max} = 4%
R = نصف قطر المنحنى
V_d = السرعة التصميمية المقترحة
e = معدل التعلية الأفقية
L = الطول الأدنى للجزء الداخلي لتحقيق التعلية الأفقية
NC = مقطع عرضي بذروة نظامية
RC = تعلية أفقية بتغيير ميل المقطع حول الذروة
ملاحظة: يجب أن لا تزيد قيمة التعلية الأفقية العظمى (e_{max}) في الطرق الحضرية عن 4%

الجدول (4-7) قيم العناصر التصميمية حسب السرعة التصميمية وأنصاف أقطار المنحنيات الأفقية (e_{max} = 4%)

R (m)	V_d = 20 km/h e (%)	L (m) 2 Lns	L (m) 4 Lns	V_d = 30 km/h e (%)	L (m) 2 Lns	L (m) 4 Lns	V_d = 40 km/h e (%)	L (m) 2 Lns	L (m) 4 Lns	V_d = 50 km/h e (%)	L (m) 2 Lns	L (m) 4 Lns	V_d = 60 km/h e (%)	L (m) 2 Lns	L (m) 4 Lns	V_d = 70 km/h e (%)	L (m) 2 Lns	L (m) 4 Lns	V_d = 80 km/h e (%)	L (m) 2 Lns	L (m) 4 Lns	V_d = 90 km/h e (%)	L (m) 2 Lns	L (m) 4 Lns	V_d = 100 km/h e (%)	L (m) 2 Lns	L (m) 4 Lns	V_d = 110 km/h e (%)	L (m) 2 Lns	L (m) 4 Lns	V_d = 120 km/h e (%)	L (m) 2 Lns	L (m) 4 Lns	V_d = 130 km/h e (%)	L (m) 2 Lns	L (m) 4 Lns
7000	NC	0	0	NC	0	0	NC	0	0	NC	0	0	NC	0	0	NC	0	0	NC	0	0	NC	0	0	NC	0	0	NC	0	0	NC	0	0	NC	0	0
5000	NC	0	0	NC	0	0	NC	0	0	NC	0	0	NC	0	0	NC	0	0	NC	0	0	NC	0	0	NC	0	0	NC	0	0	NC	0	0	NC	0	0
3000	NC	0	0	NC	0	0	NC	0	0	NC	0	0	NC	0	0	NC	0	0	NC	0	0	NC	0	0	RC	16	25	RC	18	26	2.3	22	33	2.5	26	39
2500	NC	0	0	NC	0	0	NC	0	0	NC	0	0	NC	0	0	NC	0	0	NC	0	0	RC	15	23	RC	16	25	2.3	20	30	2.7	26	38	3.0	31	46
2000	NC	0	0	NC	0	0	NC	0	0	NC	0	0	NC	0	0	NC	0	0	RC	14	22	2.1	16	24	2.5	20	31	2.8	25	37	3.3	31	47	3.7	38	57
1500	NC	0	0	NC	0	0	NC	0	0	NC	0	0	NC	0	0	RC	13	20	2.2	16	24	2.7	21	31	3.1	25	38	3.6	32	47	4.2	40	60	4.7	48	73
1400	NC	0	0	NC	0	0	NC	0	0	NC	0	0	NC	0	0	RC	13	20	2.4	17	26	2.8	21	32	3.3	27	41	3.8	33	50	4.4	42	63	5.0	51	77
1300	NC	0	0	NC	0	0	NC	0	0	NC	0	0	RC	12	18	2.1	14	21	2.5	18	27	3.0	23	34	3.5	29	43	4.0	35	53	4.7	46	67	5.3	55	82
1200	NC	0	0	NC	0	0	NC	0	0	NC	0	0	RC	12	18	2.2	14	22	2.7	19	29	3.2	25	37	3.7	30	45	4.2	37	55	5.0	47	71	5.6	58	86
1000	NC	0	0	NC	0	0	NC	0	0	RC	11	17	2.1	13	19	2.6	17	26	3.1	22	33	3.6	28	41	4.2	34	52	4.8	42	63	5.6	53	80	6.0	62	93
900	NC	0	0	NC	0	0	NC	0	0	RC	11	17	2.3	14	21	2.8	18	27	3.4	24	37	3.9	30	45	4.5	37	55	5.1	45	67	5.8	55	82	R_{min} = 950		
800	NC	0	0	NC	0	0	NC	0	0	RC	11	17	2.5	15	23	3.1	20	30	3.6	26	39	4.2	32	48	4.9	40	60	5.4	47	71	6.0	57	85			
700	NC	0	0	NC	0	0	RC	10	15	2.1	12	17	2.8	17	25	3.4	22	33	4.0	29	43	4.6	35	53	5.2	43	64	5.8	51	76	R_{min} = 755					
600	NC	0	0	NC	0	0	RC	10	15	2.4	13	20	3.1	19	28	3.8	25	37	4.3	31	46	5.0	38	57	5.6	46	69	6.0	53	79						
500	NC	0	0	NC	0	0	2.1	11	16	2.8	16	23	3.5	21	32	4.2	27	41	4.6	35	52	5.4	41	62	5.9	48	72	R_{min} = 560								
400	NC	0	0	RC	10	14	2.5	13	19	3.3	18	27	4.0	24	36	4.7	31	46	5.3	38	57	5.9	45	68	R_{min} = 435											
300	NC	0	0	RC	10	14	3.1	16	24	3.9	22	32	4.6	28	41	5.4	35	53	5.9	42	64	R_{min} = 335													
250	NC	0	0	2.3	11	17	3.5	18	27	4.2	23	35	5.0	30	45	5.8	38	57	6.0	43	65														
200	NC	0	0	2.8	13	20	3.9	20	30	4.7	26	39	5.5	33	50	6.0	39	59	R_{min} = 250																	
175	RC	9	14	3.0	14	22	4.1	21	32	5.0	28	42	5.8	35	52	R_{min} = 195																				
150	RC	9	14	3.3	16	24	4.4	23	34	5.3	29	44	6.0	36	54																					
140	RC	9	14	3.5	17	25	4.6	23	35	5.4	30	45	6.0	36	54																					
130	2.1	9	14	3.6	17	26	4.6	24	35	5.6	31	47	R_{min} = 135																							
120	2.2	10	15	3.8	18	27	4.8	25	37	5.7	32	47																								
110	2.4	11	16	3.9	19	28	5.0	26	39	5.8	32	48																								
100	2.6	11	17	4.1	20	30	5.2	27	40	6.0	33	50																								
90	2.7	12	18	4.2	20	30	5.4	28	42	6.0	33	50																								
80	3.0	14	20	4.5	22	32	5.6	29	43	R_{min} = 90																										
70	3.2	14	22	4.7	23	34	5.8	30	45																											
60	3.5	16	24	5.0	24	36	6.0	31	46																											
50	3.8	17	26	5.4	26	39	R_{min} = 55																													
40	4.2	19	28	5.8	28	42																														
30	4.7	21	32	6.0	29	43																														
20	5.5	25	37	R_{min} = 30																																
	R_{min} = 15																																			

Lns = عدد مسارب المرور

e_{max} = 6%

R = نصف قطر المنحنى

V_d = السرعة التصميمية المقترحة

e = معدل التعلية الأفقية

L = الطول الأدنى للجزء الداخلي لتحقيق التعلية الأفقية

NC = مقطع عرضي بذروة نظامية

RC = تعلية أفقية بتغيير ميل المقطع حول الذروة

الجدول (4-8) قيم العناصر التصميمية حسب السرعة التصميمية وأنصاف أقطار المنحنيات الأفقية (e_{max} = 6%)

R (m)	V_d = 20 km/h L (m) e (%)	2 Lns	4 Lns	V_d = 30 km/h L (m) e (%)	2 Lns	4 Lns	V_d = 40 km/h L (m) e (%)	2 Lns	4 Lns	V_d = 50 km/h L (m) e (%)	2 Lns	4 Lns	V_d = 60 km/h L (m) e (%)	2 Lns	4 Lns	V_d = 70 km/h L (m) e (%)	2 Lns	4 Lns	V_d = 80 km/h L (m) e (%)	2 Lns	4 Lns	V_d = 90 km/h L (m) e (%)	2 Lns	4 Lns	V_d = 100 km/h L (m) e (%)	2 Lns	4 Lns	V_d = 110 km/h L (m) e (%)	2 Lns	4 Lns	V_d = 120 km/h L (m) e (%)	2 Lns	4 Lns	V_d = 130 km/h L (m) e (%)	2 Lns	4 Lns
7000	NC	0	0	NC	0	0	NC	0	0	NC	0	0	NC	0	0	NC	0	0	NC	0	0	NC	0	0	NC	0	0	NC	0	0	NC	0	0	NC	0	0
5000	NC	0	0	NC	0	0	NC	0	0	NC	0	0	NC	0	0	NC	0	0	NC	0	0	NC	0	0	NC	0	0	NC	0	0	NC	0	0	RC	21	31
3000	NC	0	0	NC	0	0	NC	0	0	NC	0	0	NC	0	0	NC	0	0	NC	0	0	NC	0	0	RC	16	25	2.1	18	28	2.4	23	34	2.6	27	40
2500	NC	0	0	NC	0	0	NC	0	0	NC	0	0	NC	0	0	NC	0	0	NC	0	0	RC	15	23	2.1	17	26	2.4	21	32	2.9	27	41	3.1	32	48
2000	NC	0	0	NC	0	0	NC	0	0	NC	0	0	NC	0	0	NC	0	0	RC	14	22	2.2	17	25	2.6	21	32	3.0	26	40	3.5	33	50	3.9	40	60
1500	NC	0	0	NC	0	0	NC	0	0	NC	0	0	NC	0	0	RC	13	20	2.4	17	26	2.8	21	32	3.4	28	42	3.9	34	51	4.6	44	65	5.1	52	79
1400	NC	0	0	NC	0	0	NC	0	0	NC	0	0	RC	12	18	2.1	14	21	2.5	18	27	3.0	23	34	3.6	29	44	4.1	36	54	4.9	46	70	5.4	58	83
1300	NC	0	0	NC	0	0	NC	0	0	NC	0	0	RC	12	18	2.2	14	22	2.7	19	29	3.2	25	37	3.8	31	47	4.4	39	58	5.2	49	74	5.8	60	89
1200	NC	0	0	NC	0	0	NC	0	0	NC	0	0	RC	12	18	2.4	16	24	2.9	21	31	3.4	26	39	4.1	34	50	4.7	41	62	5.6	53	80	6.3	65	97
1000	NC	0	0	NC	0	0	NC	0	0	RC	11	17	2.2	13	20	2.6	18	27	3.4	24	37	4.0	31	46	4.8	39	59	5.5	48	72	6.5	62	92	7.4	76	114
900	NC	0	0	NC	0	0	NC	0	0	RC	11	17	2.4	14	22	3.1	20	30	3.7	27	40	4.4	34	51	5.2	43	64	6.0	53	79	7.1	67	101	7.9	81	122
800	NC	0	0	NC	0	0	NC	0	0	RC	11	17	2.7	16	24	3.4	22	33	4.1	30	44	4.8	37	55	5.7	47	70	6.6	58	87	7.6	72	108	R_{min} = 830		
700	NC	0	0	NC	0	0	RC	10	15	2.2	12	18	3.0	18	27	3.8	25	37	4.5	32	49	5.3	41	61	6.3	52	77	7.2	63	95	8.0	76	114			
600	NC	0	0	NC	0	0	RC	10	15	2.6	14	22	3.4	20	31	4.3	28	42	5.1	37	55	6.0	46	69	6.9	56	85	7.7	68	101	R_{min} = 665					
500	NC	0	0	NC	0	0	2.2	11	17	3.0	17	25	3.9	23	35	4.9	32	48	5.8	42	63	5.7	51	77	7.6	62	93	8.0	70	105						
400	NC	0	0	RC	10	14	2.7	14	21	3.8	20	30	4.7	28	42	5.7	37	56	6.8	48	71	7.5	57	86	8.0	65	98	R_{min} = 500								
300	NC	0	0	2.1	10	15	3.4	17	26	4.5	25	37	5.6	34	50	6.7	44	66	7.6	55	82	R_{min} = 305			R_{min} = 395											
250	NC	0	0	2.5	12	18	4.0	21	31	5.1	28	42	6.2	37	56	7.4	48	73	7.9	57	85															
200	NC	0	0	3.0	14	22	4.6	24	35	5.8	32	48	7.0	42	63	7.9	52	78	R_{min} = 230																	
175	RC	9	14	3.4	16	24	5.0	26	39	6.2	34	52	7.4	44	67	8.0	62	79																		
150	RC	9	14	3.8	18	27	5.4	28	42	6.7	37	56	7.8	47	70	R_{min} = 175																				
140	RC	9	14	4.0	19	29	5.6	29	43	6.9	38	57	7.9	47	71																					
130	2.2	10	15	4.2	20	30	5.8	30	45	7.1	39	59	8.0	48	72																					
120	2.3	10	16	4.4	21	32	6.0	31	46	7.4	41	61	R_{min} = 125																							
110	2.5	11	17	4.7	23	34	6.3	32	49	7.6	42	63																								
100	2.7	12	18	5.0	24	36	6.6	34	51	7.8	43	65																								
90	3.0	14	20	5.2	25	37	6.9	35	53	7.9	44	66																								
80	3.3	15	22	5.5	26	40	7.2	37	56	8.0	44	66																								
70	3.6	16	24	5.9	28	42	7.5	39	58	R_{min} = 80																										
60	4.1	18	28	6.4	31	46	7.8	40	60																											
50	4.6	21	31	6.9	33	50	8.0	41	62																											
40	5.2	23	35	7.5	36	54	R_{min} = 50																													
30	5.9	27	40	8.0	38	58																														
20	7.1	32	48	R_{min} = 30																																
R_{min} = 10																																				

Lns = عدد مسارب المرور

e_{max} = 8%

R = نصف قطر المنحنى

V_d = السرعة التصميمية المقترحة

e = معدل التعلية الأفقية

L = الطول الأدنى للجزء الداخلي لتحقيق التعلية الأفقية

NC = مقطع عرضي بذروة نظامية

RC = تعلية أفقية بتغيير ميل المقطع حول الذروة

الجدول (4-9) قيم العناصر التصميمية حسب السرعة التصميمية وأنصاف أقطار المنحنيات الأفقية (e_{max} =8%)

R (m)	V_d= 20 km/h L (m) e (%)	2 Lns	4 Lns	V_d= 30 km/h L (m) e (%)	2 Lns	4 Lns	V_d= 40 km/h L (m) e (%)	2 Lns	4 Lns	V_d= 50 km/h L (m) e (%)	2 Lns	4 Lns	V_d= 60 km/h L (m) e (%)	2 Lns	4 Lns	V_d= 70 km/h L (m) e (%)	2 Lns	4 Lns	V_d= 80 km/h L (m) e (%)	2 Lns	4 Lns	V_d= 90 km/h L (m) e (%)	2 Lns	4 Lns	V_d= 100 km/h L (m) e (%)	2 Lns	4 Lns	V_d= 110 km/h L (m) e (%)	2 Lns	4 Lns	V_d= 120 km/h L (m) e (%)	2 Lns	4 Lns	V_d= 130 km/h L (m) e (%)	2 Lns	4 Lns
7000	NC	0	0	NC	0	0	NC	0	0	NC	0	0	NC	0	0	NC	0	0	NC	0	0	NC	0	0	NC	0	0	NC	0	0	NC	0	0	NC	0	0
6000	NC	0	0	NC	0	0	NC	0	0	NC	0	0	NC	0	0	NC	0	0	NC	0	0	NC	0	0	NC	0	0	NC	0	0	NC	0	0	RC	21	31
3000	NC	0	0	NC	0	0	NC	0	0	NC	0	0	NC	0	0	NC	0	0	NC	0	0	NC	0	0	RC	16	25	2.1	18	28	2.6	24	36	2.7	28	42
2500	NC	0	0	NC	0	0	NC	0	0	NC	0	0	NC	0	0	NC	0	0	NC	0	0	RC	15	23	2.2	18	27	2.6	22	33	2.9	27	41	3.2	33	49
2000	NC	0	0	NC	0	0	NC	0	0	NC	0	0	NC	0	0	NC	0	0	RC	14	22	2.2	17	25	2.7	22	33	3.1	27	41	3.6	34	51	4.0	41	62
1500	NC	0	0	NC	0	0	NC	0	0	NC	0	0	NC	0	0	RC	13	20	2.4	17	26	2.9	22	33	3.5	29	43	4.1	36	54	4.8	46	68	5.3	55	82
1400	NC	0	0	NC	0	0	NC	0	0	NC	0	0	RC	12	18	2.1	14	21	2.6	19	28	3.1	24	36	3.8	31	47	4.3	38	57	5.1	48	72	5.7	59	88
1300	NC	0	0	NC	0	0	NC	0	0	NC	0	0	RC	12	18	2.3	16	23	2.8	20	30	3.3	25	38	4.0	33	49	4.8	40	61	5.5	52	78	6.1	63	94
1200	NC	0	0	NC	0	0	NC	0	0	NC	0	0	RC	12	18	2.4	16	24	3.0	22	32	3.6	28	41	4.3	35	53	5.0	44	66	5.9	56	84	6.6	68	102
1000	NC	0	0	NC	0	0	NC	0	0	RC	11	17	2.2	13	20	2.9	19	28	3.5	25	38	4.2	32	48	5.1	42	63	5.9	52	78	7.0	66	99	7.9	81	122
900	NC	0	0	NC	0	0	NC	0	0	RC	11	17	2.6	16	23	3.2	21	31	3.9	28	42	4.6	35	53	5.6	46	69	6.4	56	84	7.7	73	109	8.7	89	134
800	NC	0	0	NC	0	0	NC	0	0	RC	11	17	2.7	16	24	3.6	23	34	4.3	31	46	5.1	39	59	6.2	51	76	7.1	62	94	8.5	81	121	9.7	100	150
700	NC	0	0	NC	0	0	RC	10	15	2.3	13	19	3.1	19	28	4.0	26	39	4.8	35	52	5.8	44	67	6.9	56	85	8.0	70	105	9.5	90	135	R_{min} = 740		
600	NC	0	0	NC	0	0	RC	10	15	2.7	15	22	3.6	22	32	4.5	29	44	5.5	40	59	6.6	50	75	7.8	64	96	9.0	79	119	10.0	95	142			
500	NC	0	0	NC	0	0	2.3	12	18	3.1	17	26	4.2	25	38	5.3	35	52	6.4	46	69	7.6	58	87	8.9	73	109	9.9	87	130	R_{min} = 595					
400	NC	0	0	RC	10	14	2.8	14	22	3.8	21	32	5.0	30	45	6.3	41	62	7.5	54	81	8.8	67	101	9.8	80	120	R_{min} = 455								
300	NC	0	0	2.2	11	16	3.6	18	28	4.8	27	40	6.3	38	57	7.8	51	77	9.0	65	97	9.9	76	114	R_{min} = 360											
250	NC	0	0	2.6	12	19	4.2	22	32	5.6	31	47	7.1	43	64	8.7	57	85	9.7	70	105	R_{min} = 275														
200	NC	0	0	3.1	15	22	5.0	26	39	6.6	37	55	8.2	49	74	9.6	63	94	R_{min} = 210																	
175	RC	9	14	3.5	17	25	5.6	29	43	7.1	39	59	8.8	53	79	9.9	65	97																		
150	RC	9	14	4.0	19	29	6.2	32	48	7.8	43	65	9.4	56	85	R_{min} = 160																				
140	2.1	9	14	4.3	21	31	6.4	33	49	8.1	45	67	9.7	58	87																					
130	2.2	10	15	4.5	22	32	6.7	34	52	8.5	47	71	9.8	59	88																					
120	2.4	11	16	4.8	23	35	7.0	36	54	8.8	49	73	10.0	60	90																					
110	2.6	12	18	5.1	24	37	7.4	38	57	9.1	50	76	R_{min} = 115																							
100	2.8	13	19	5.5	26	40	7.7	40	59	9.5	53	79																								
90	3.1	14	21	5.9	28	42	8.2	42	63	9.8	54	81																								
80	3.4	15	23	6.4	31	46	8.6	44	66	10.0	55	83																								
70	3.8	17	26	6.9	33	50	9.1	47	70	R_{min} = 75																										
60	4.4	20	30	7.5	36	54	9.6	49	74																											
50	5.0	23	34	8.2	39	59	10.0	51	77																											
40	5.9	27	40	9.1	44	66	R_{min} = 45																													
30	7.0	31	47	9.9	48	71																														
20	8.5	38	57	R_{min} = 25																																
R_{min} = 10																																				

Lns = عدد مسارب المرور

$10\% = e_{max}$

R = نصف قطر المنحنى

V_d = السرعة التصميمية المقترحة

e = معدل التعلية الأفقية

L = الطول الأدنى للجزء الداخلي لتحقيق التعلية الأفقية

NC = مقطع عرضي بذروة نظامية

RC = تعلية أفقية بتغيير ميل المقطع حول الذروة

الجدول (4-10) قيم العناصر التصميمية حسب السرعة التصميمية وأنصاف أقطار المنحنيات الأفقية (e_{max} =10%)

R (m)	V_d= 20 km/h e (%)	L (m) 2 Lns	L (m) 4 Lns	V_d= 30 km/h e (%)	L (m) 2 Lns	L (m) 4 Lns	V_d= 40 km/h e (%)	L (m) 2 Lns	L (m) 4 Lns	V_d= 50 km/h e (%)	L (m) 2 Lns	L (m) 4 Lns	V_d= 60 km/h e (%)	L (m) 2 Lns	L (m) 4 Lns	V_d= 70 km/h e (%)	L (m) 2 Lns	L (m) 4 Lns	V_d= 80 km/h e (%)	L (m) 2 Lns	L (m) 4 Lns	V_d= 90 km/h e (%)	L (m) 2 Lns	L (m) 4 Lns	V_d= 100 km/h e (%)	L (m) 2 Lns	L (m) 4 Lns	V_d= 110 km/h e (%)	L (m) 2 Lns	L (m) 4 Lns	V_d= 120 km/h e (%)	L (m) 2 Lns	L (m) 4 Lns	V_d= 130 km/h e (%)	L (m) 2 Lns	L (m) 4 Lns
7000	NC	0	0	NC	0	0	NC	0	0	NC	0	0	NC	0	0	NC	0	0	NC	0	0	NC	0	0	NC	0	0	NC	0	0	NC	0	0	NC	0	0
5000	NC	0	0	NC	0	0	NC	0	0	NC	0	0	NC	0	0	NC	0	0	NC	0	0	NC	0	0	NC	0	0	NC	0	0	NC	0	0	RC	21	31
3000	NC	0	0	NC	0	0	NC	0	0	NC	0	0	NC	0	0	NC	0	0	NC	0	0	NC	0	0	RC	16	25	2.1	18	28	2.5	24	36	2.7	28	42
2500	NC	0	0	NC	0	0	NC	0	0	NC	0	0	NC	0	0	NC	0	0	NC	0	0	RC	15	23	2.2	18	27	2.5	22	33	3.0	28	43	3.3	34	51
2000	NC	0	0	NC	0	0	NC	0	0	NC	0	0	NC	0	0	NC	0	0	RC	14	22	2.3	18	26	2.7	22	33	3.2	26	42	3.7	35	53	4.1	42	63
1500	NC	0	0	NC	0	0	NC	0	0	NC	0	0	NC	0	0	RC	13	20	2.5	18	27	3.0	23	34	3.6	29	44	4.2	37	55	4.9	46	70	5.4	56	83
1400	NC	0	0	NC	0	0	NC	0	0	NC	0	0	RC	12	18	2.1	14	21	2.6	19	28	3.2	25	37	3.9	32	48	4.4	39	58	5.2	49	74	5.8	60	89
1300	NC	0	0	NC	0	0	NC	0	0	NC	0	0	RC	12	18	2.3	15	23	2.8	20	30	3.4	26	39	4.1	34	50	4.8	42	63	5.6	53	80	6.3	65	97
1200	NC	0	0	NC	0	0	NC	0	0	NC	0	0	RC	12	18	2.5	16	25	3.0	22	32	3.7	28	43	4.6	37	55	5.1	45	67	6.1	58	87	6.8	70	105
1000	NC	0	0	NC	0	0	NC	0	0	RC	11	17	2.3	14	21	2.9	19	28	3.6	26	39	4.4	34	51	5.3	43	65	6.1	54	80	7.2	68	102	8.1	83	125
900	NC	0	0	NC	0	0	NC	0	0	RC	11	17	2.5	16	23	3.3	22	32	4.0	29	43	4.8	37	55	5.8	47	71	6.7	59	88	8.0	76	114	9.0	93	139
800	NC	0	0	NC	0	0	NC	0	0	2.1	12	17	2.8	17	25	3.6	24	35	4.4	32	48	5.3	41	61	6.5	53	80	7.5	66	99	8.9	84	126	10.1	104	158
700	NC	0	0	NC	0	0	RC	10	16	2.4	13	20	3.2	19	29	4.1	27	40	5.0	36	54	6.0	46	69	7.3	60	90	8.5	75	112	10.1	96	144	11.6	119	179
600	NC	0	0	NC	0	0	RC	10	15	2.7	16	22	3.7	22	33	4.7	31	46	5.7	41	62	6.9	53	79	8.3	68	102	9.7	85	128	11.6	110	165			
500	NC	0	0	NC	0	0	2.4	12	19	3.2	18	27	4.3	26	39	5.5	36	54	6.7	48	72	8.1	62	93	9.7	79	119	11.3	99	149						
400	NC	0	0	RC	10	14	2.9	15	22	3.9	22	32	5.3	32	48	6.7	44	66	8.1	58	87	9.7	74	111	11.4	93	140									
300	NC	0	0	2.2	11	16	3.8	20	29	5.1	28	42	6.7	40	60	8.5	56	83	10.1	73	109	11.6	89	133												
250	NC	0	0	2.6	12	19	4.4	23	34	5.9	33	49	7.7	46	69	9.7	63	95	11.2	81	121															
200	NC	0	0	3.2	15	23	5.3	27	41	7.1	39	59	9.1	55	82	11.1	73	109	12.0	86	130															
175	RC	9	14	3.6	17	26	5.9	30	46	7.8	43	65	10.0	60	90	11.7	77	115																		
150	RC	9	14	4.2	20	30	6.7	34	52	8.7	48	72	10.9	65	98	12.0	79	118																		
140	2.1	9	14	4.4	21	32	7.0	36	54	9.1	50	76	11.2	67	101																					
130	2.3	10	16	4.7	23	34	7.4	38	57	9.5	53	79	11.5	69	104																					
120	2.5	11	17	5.1	24	37	7.8	40	60	10.0	55	83	11.8	71	106																					
110	2.7	12	18	5.4	26	39	8.2	42	63	10.5	58	87	12.0	72	108																					
100	2.9	13	20	5.9	28	42	8.7	45	67	11.0	61	91																								
90	3.2	14	22	6.4	31	46	9.3	48	72	11.4	63	95																								
80	3.5	16	24	6.9	33	50	9.9	51	76	11.8	65	98																								
70	4.0	18	27	7.6	36	55	10.5	54	81	12.0	66	100																								
60	4.6	21	31	8.4	40	60	11.2	58	86																											
50	5.3	24	36	9.3	45	67	11.8	61	91																											
40	6.3	28	43	10.4	50	75																														
30	7.7	35	52	11.6	56	84																														
20	9.7	44	65																																	

R_{min} = 10 | R_{min} = 25 | R_{min} = 45 | R_{min} = 70 | R_{min} = 105 | R_{min} = 150 | R_{min} = 195 | R_{min} = 255 | R_{min} = 330 | R_{min} = 415 | R_{min} = 540 | R_{min} = 665

Lns = عدد مسارب المرور

e_{max} = 12%

R = نصف قطر المنحنى

V_d = السرعة التصميمية المقترحة

e = معدل التعلية الأفقية

L = الطول الأدنى للجزء الداخلي لتحقيق التعلية الأفقية

NC = مقطع عرضي بذروة نظامية

RC = تعلية أفقية بتغيير ميل المقطع حول الذروة

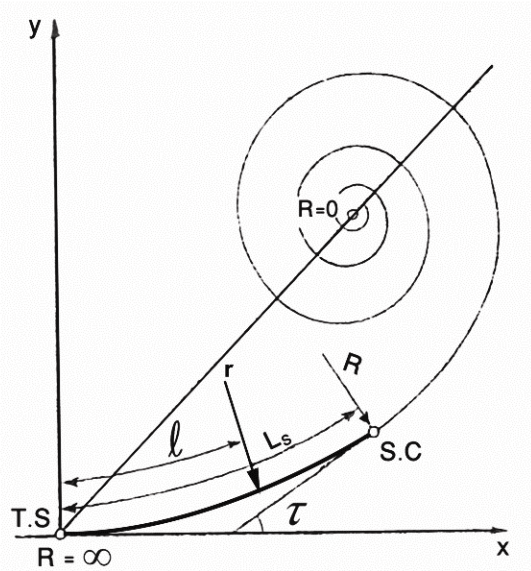
الجدول (4-11) قيم العناصر التصميمية حسب السرعة التصميمية وأنصاف أقطار المنحنيات الأفقية (e_{max} =12%)

4-2-4 المنحنيات الانتقالية (الحلزونية) – Transition Curves

تتغير ظروف الحركة للسيارة لحظة دخولها من الجزء المستقيم إلى المنحنى في المسقط (المسار) الأفقي للطريق بسبب تعرضها للقوى النابذة (الطاردة)، ويعمد السائق عادة إلى تقليل السرعة عند دخوله على المنحنيات ذات أنصاف الأقطار الصغيرة، كونها تحقق درجة أقل من الأمان والسلامة على السرعات العالية بالمقارنة مع الأجزاء المستقيمة التي تسبقها. وقد دلت المشاهدات على أن تخفيض سرعة الحركة ينطبق على سائر المنحنيات ذات أنصاف الأقطار الأقل من 600 م. ومن الناحية النظرية تبدئ السيارة بالتعرض للقوة النابذة بشكل مفاجئ، أما من الناحية العملية، فيمتد ذلك على المسافة القصيرة التي يقوم فيها السائق بتدوير مقود السيارة. وحتى لا تتغير ظروف الحركة بشكل فجائي وسريع جداً، مما يترك شعوراً بعدم الارتياح لدى الركاب، أو قد تؤدي إلى إنزلاق السيارة في الأحوال المناخية السيئة جداً، نقوم بإدخال ما يسمى بالمنحنى الانتقالي بين الاستقامة والمنحنى الدائري ذي نصف القطر الصغير، حيث يتغير إنحناء المحور ضمن مجاله بشكل إنسيابي من الصفر على الجزء المستقيم حتى $1 / R$ ، عند نقطة البداية للمنحنى الدائري، وأفضل أنواع المنحنيات الانتقالية استخداماً هو الكلوتوئيد.

1-4-2-4 معادلة الكلوتوئيد :

إن الكلوتوئيد عبارة عن حلزون يتغير نصف قطره بشكل تدريجي من $R = \infty$ في نقطة بدايته حتى $R = 0$ في نهايته، شكل (4–11)



الشكل (4 – 11) المنحنى الانتقالي (الكلوتوئيد)

حيث أن: R = نصف قطر الانحناء في نهاية الجزء المستخدم منه

L_S = طول الجزء المستخدم من الكلوتوئيد

T.S – Tangent to Spiral = نقطة التقاء المماس مع بداية الكلوتوئيد

S.C – Spiral to Curve = نقطة التقاء نهاية الكلوتوئيد مع المنحنى الدائري

τ = زاوية الكلوتوئيد بالراديان (الزاوية التي يصنعها المماس لنهاية الكلوتوئيد مع محور الفواصل)

ونستخدم عادة أثناء التصميم الجزء الأول من الكلوتوئيد كمنحنى انتقالي، أو كانحناء (منحنى) مستقل بدءاً من نقطة البداية حيث R = ∞ حتى قيمة معينة R على مسافة L_S من الكلوتوئيد، ويمكن التعبير عن الكلوتوئيد رياضياً بالمعادلة التالية:

$$r=\frac{C}{l} \quad \text{.....} (11-4)$$

حيث أن :

r = نصف قطر الانحناء لنقطة ما من المنحنى الانتقالي تبعد عن بدايته مسافة l .

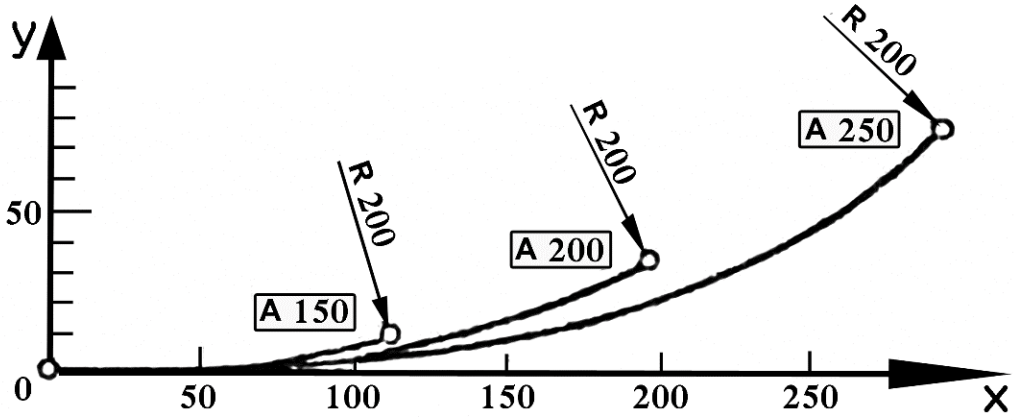
C = ثابت يسمى عامل الكلوتوئيد ويساوي من أجل نهاية الجزء المستخدم من الكلوتوئيد:

$$C=RL_S=A^2 \quad \text{.....} (12-4)$$

حيث أن :

R = نصف قطر الانحناء في نهاية الجزء المستخدم منه .

L_S = طول الجزء المستخدم من الكلوتوئيد، شكل (4 − 12)



الشكل (4 − 12) تغير انحناء الكلوتوئيد مع تغير العامل A

2-4-2-4 معادلات حساب العناصر الأساسية للكلوتوئيد :

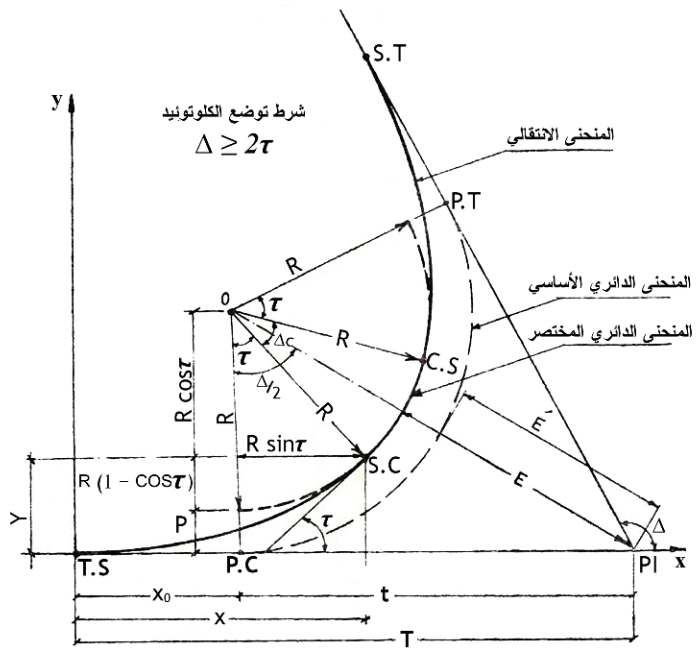
يتم استخدام الحالة الأكثر شيوعاً وهي حالة الانحناء المكون من منحنيين انتقاليين (كلوتوئيديين) متناظرين يحصران بينهما قوساً دائرياً كما في الشكل (4 − 13) .

تعتمد معطيات التصميم على ما يلي:

زاوية الدوران Δ

نصف قطر المنحنى الدائري R

وطول المنحنى الانتقالي L_s



الشكل (4 − 13) المخطط الحسابي للمنحنى الانتقالي

(حالة منحنيين انتقاليين متناظرين يحصران بينهما قوساً دائرياً مختصراً)

حيث : P.I − Point of Intersection = نقطة التقاطع

P.C − Point of Curvature = نقطة بداية المنحنى الدائري الأساسي

P.T − Point of Tangency = نقطة التماس عند نهاية المنحنى الدائري الأساسي

T.S − Tangent to Spiral = نقطة التقاء المماس (الجزء المستقيم) مع المنحنى الانتقالي الأمامي

S.C − Spiral to Curve = نقطة التقاء نهاية المنحنى الانتقالي الأمامي مع بداية المنحنى الدائري المختصر

C.S − Curve to Spiral = نقطة التقاء نهاية المنحنى الدائري المختصر مع بداية المنحنى الانتقالي الخلفي

S.T − Spiral to Tangent = نقطة التقاء نهاية المنحنى الانتقالي الخلفي مع المماس (الجزء المستقيم)

ويتم حساب العناصر الرئيسة للانحناء وفق المراحل التالية :

1− نحسب زاوية الكلوتوئيد بالراديان (الزاوية التي يصنعها المماس لنهاية الكلوتوئيد مع محور الفواصل) :

$$\tau = R/L_s \quad \text{.....(13 − 4)}$$

ونتحقق من إمكان توضع الكلوتوئيد بواسطة العلاقة : $\Delta \geq 2\tau$

2− نحسب عامل الكلوتوئيد :

$$C = R.L_s = A^2 \quad \text{.....(14 − 4)}$$

3− نحسب إحداثيات نهاية المنحنى الانتقالي من المعادلتين :

$$x = L_s - \frac{L_s^5}{40c^2} \quad \text{.....(15 − 4)}$$

$$Y = \frac{L_s^3}{6c} - \frac{L_s^7}{336c^3} \quad \text{.....(16 − 4)}$$

4− نحسب مقدار إزاحة المنحنى الدائري الأساسي (P) :

$$P = Y - R(1 - \cos\tau) \quad \text{.....(17 − 4)}$$

5- نحسب فاصلة مركز الدائرة :

$$X_0 = x - R\sin\tau \quad \text{.....}(18-4)$$

6- نحسب طول مماس المنحنى الدائري الأساسي :

$$t = (R+P)\tan \Delta/2 \quad \text{.....}(19-4)$$

7- نحسب طول مماس الإنحناء :

$$T = X_0 - t \quad \text{.....}(20-4)$$

8- نحسب زاوية المنحنى الدائري المختصر :

$$\Delta_C = \Delta - 2\tau \quad \text{.....}(21-4)$$

9- نحسب طول المنحنى الدائري المختصر :

$$L_c = \frac{\pi R \Delta_C}{200} \quad \text{.....}(22-4)$$

10- نحسب السهم :

$$E = (R+P)\left[\frac{1}{\cos \Delta/2} - 1\right] + P \quad \text{.....}(23-4)$$

11- نحسب التصحيح :

$$D = 2T - (2L_s + L_c) \quad \text{.....}(24-4)$$

ونسمي المنحنى المكون من منحنيين كلوتوئيديين متناظرين متماسين بالمنحنى الكلوتوئيدي المضاعف، وفي هذه الحالة فإن : $\tau = \Delta/2 , L_c = 0 , \Delta_c = 0$

3-4-2-4 إعتبارات عامة

يتم الانتقال من ميلين متعاكسين في الذروة للمقطع العرضي Normal Crown عند الاستقامة إلى ميل واحد عند المنحنى الدائري بتعلية أفقية قصوى e_{max} على طول مسافة انتقالية تتألف من قسمين:

1- القسم الأول: وهي المسافة الداخلية Runoff section اللازمة من الطريق للإنتقال من ميل عرضي للمسرب الخارجي من قيمة الصفر (أفقية) حتى التعلية الأفقية القصوى عند الدخول إلى المنحنى الدائري والعكس عند الخروج من المنحنى الدائري.

2- القسم الثاني: وهي المسافة الخارجية Tangent Run out اللازمة للانتقال من الميل العرضي النظامي عند الاستقامة للمسرب الخارجي إلى الصفر والعكس عند الخروج من الانحناء.

وفي بعض الحالات، يتم الانتقال من الاستقامة (المماس) إلى المنحنى الدائري مباشرة وذلك عندما لا يتم استعمال المنحنى الانتقالي (أو لا يمكن استعماله كحالات إعادة تحسين الطرق القائمة التي لا تتوفر فيها منحنيات إنتقالية) لربط الاستقامة مع المنحنى الدائري.

4-4-2-4 حالة الانتقال من الاستقامة إلى المنحنى الدائري Tangent to Curve Transition

4-2-4-4-1 الحد الأدنى للطول الداخلي من أجل تغيير التعلية الأفقية

Minimum Length of Superelevation Runoff

يتم تحديد الحد الأدنى للطول الداخلي للتعلية الأفقية بهدف الحفاظ على انسيابية المظهر وتأمين الراحة بناء على الفرق الاقصى المسموح بين الميول الطولية لمحور التدوير والميول الطولية لحافّة طبقة الرصف. ويكون محور التدوير عادة هو المحور الطولي للطرق غير مفصولة الاتجاهين Undivided Roadways، إلا أنه يمكن استخدام محاور أخرى للتدوير سوف تناقش لاحقاً في الجزء الخاص بتحقيق التعلية الأفقية Methods of Attaining Super-elevations.

وتدل الخبرات العملية على أن حدود التباين في الميل والتي يعبر عنها بالميل النسبي Relative Gradient تكون قيمتها الأعظمية 0.5% أو ميل طولي 1:200 لسرعة تصميمية 80 كم/ساعة، ومن أجل سرعات أقل يمكن استخدام ميول نسبية أكبر.

يتغير الميل النسبي مع تغير السرعة التصميمية لتأمين طول داخلي أكبر من أجل السرعات الكبيرة كما هو مبين في الجدول (4–12) ، وأطوال أقل من أجل السرعات المنخفضة، وتدل الخبرة على أن ميول نسبية تتراوح من 0.8% إلى 0.35% تؤمن طول داخلي مقبول لسرعات ما بين 20 كم/ساعة و 130 كم/ساعة على الترتيب.

الجدول (4 – 12) الميول النسبية العظمى

السرعة التصميمية (كم/ساعة)	الميول النسبية العظمى (%)	الميول النسبية العظمى المكافئة
20	0.80	1:125
30	0.75	1:133
40	0.70	1:143
50	0.65	1:150
60	0.60	1:167
70	0.55	1:182
80	0.50	1:200
90	0.47	1:213
100	0.44	1:227
110	0.41	1:244
120	0.38	1:263
130	0.35	1:286

يتم تحديد الطول الداخلي الأدنى (Minimum Length of Runoff) لتحقيق التعلية الأفقية بموجب العلاقة التالية:

$$L_r = \frac{(wn_1)e_d}{\Delta}(b_w) \quad \text{.....} (25-4)$$

حيث أن:

L_r = الطول الداخلي الأدنى للتعلية الأفقية ، م

Δ = الميل النسبي الأقصى %

n_1 = عدد المسارب التي يتم تدويرها،

b_w = معامل تصحيح عدد المسارب،

w = عرض المسرب (عادة 3.6 م)

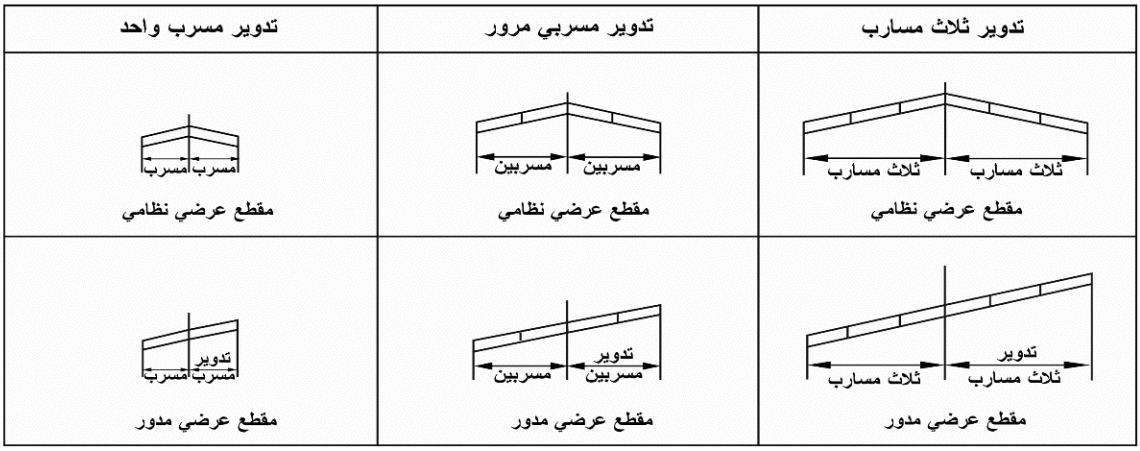
e_d = التعلية الأفقية التصميمية ، %

يمكن استخدام المعادلة (4–25) للطرق والشوارع غير المفصولة حيث يتم تدوير المقطع العرضي حول المحور وتكون قيمة n_1 نصف عدد مسارب المقطع العرضي للطريق، وبشكل عام يمكن استخدام المعادلة (4–25) عند تدوير المقطع العرضي حول أي دليل محوري للطريق حيث أن العرض الجاري تدويره wn_1 له معدل تعلية أفقية واحد ويتم تدويره كمستوى.

ويؤدي التطبيق الدقيق لمعيار الميل النسبي الأقصى إلى أن يكون الطول الداخلي لطريق ذو أربع مسارب مرور وغير مفصول الاتجاهين هو ضعف قيمته لطريق ذو مسربي مرور، ولطريق بستة مسارب مرور هو ثلاثة أضعاف القيمة للطريق بمسربي مرور، وبناء على أسس عملية بحتة يجب تحديد الطول الداخلي لتحقيق التعلية الأفقية بهدف تجنب الطول الزائد للطرق متعددة مسارب المرور، ويتم ذلك عبر عوامل التصحيح الواردة في الجدول (4 –13) والشكل الملحق به.

الجدول (4 –13) عوامل تصحيح عدد المسارب المدورة

عدد المسارب n_1	معامل التصحيح b_w	زيادة الطول بالنسبة لمسرب واحد مدور (= $n\ b_w$)
1	1.00	1.0
1.5	0.83	1.25
2	0.75	1.5
2.5	0.70	1.75
3	0.67	2.0
3.5	0.64	2.25



2-4-4-2-4 الحد الأدنى للطول الخارجي *Minimum Length of Tangent Run out*

يحدد الطول الخارجي تبعاً للميل العكسي (الخارجي) للمقطع العرضي والذي يجب إزالة ذروته (جعله أفقياً) وبالمعدل الذي تتم وفقه عملية الإزالة. وبهدف المحافظة على حواف الرصف بشكل انسيابي في المقطع الطولي يجب أن يكون معدل الإزالة لذروة المقطع العرضي Crown مساوياً للميل النسبي المستخدم لتحديد طول الجزء الخارجي للتعلية الأفقية. وتستخدم العلاقة التالية في حساب الطول الأدنى الخارجي للتعلية الأفقية:

$$L_t = \frac{e_{NC}}{e_d} L_r \quad \text{.....} (26-4)$$

حيث أن :

L_t = الطول الخارجي الأدنى ، م

e_{NC} = قيمة الميل العادي للمقطع العرضي

e_d = التعلية الافقية التصميمية (%)

L_r = الطول الداخلي الأصغري للتعلية الافقية ، م

ويبين الجدول (4–14) القيم الدنيا للطول الخارجي والداخلي لتحقيق التعلية الأفقية وفقاً للمعادلة (4– 25).

الجدول (4 – 14) القيم الدنيا للطول الداخلي والخارجي للتعلية الأفقية

القيم الدنيا للطول الداخلي والخارجي لتحقيق التعلية الأفقية (م)							
السرعة التصميمية (كم/ساعة)	الطول الداخلي (Tangent Runoff)						الطول الخارجي (Tangent Run out)
	التعلية الأفقية						
	2	4	6	8	10	12	أي قيمة
	تدوير مسرب واحد						
20	9	18	27	36	45	54	9
30	10	19	29	38	48	57	10
40	10	21	31	41	51	62	10
50	11	22	32	43	54	65	11
60	12	24	36	48	60	72	12
70	13	26	39	52	66	79	13
80	14	29	43	58	72	86	14
90	15	31	46	61	77	92	15
100	16	33	49	65	82	98	16
110	18	35	53	70	88	105	18
120	19	38	57	76	95	114	19
130	21	41	62	82	103	124	21
	تدوير مسربين						
20	14	27	41	54	68	81	14
30	14	29	43	57	72	86	14
40	15	31	46	62	77	93	15
50	16	32	49	65	81	97	16
60	18	36	54	72	90	108	18
70	20	39	59	79	98	118	20
80	22	43	65	86	108	130	22
90	23	46	69	92	115	138	23
100	25	49	74	98	123	147	25
110	26	53	79	105	132	158	26
120	28	57	85	114	142	170	28
130	31	62	93	124	154	185	31
ملاحظة: تم حساب القيم الواردة في الجدول على أساس عرض المسرب 3.6م والميل العرضي النظامي عند الاستقامة 2%							

3-4-4-2-4 تحديد وضعية المسافة الداخلية للتعلية الأفقية في حال عدم وجود منحنى انتقالي

عندما يتم وصل الاستقامة مع المنحنى الدائري مباشرةً (أي بدون منحنى انتقالي بينهما) يجب تحديد وضعية المسافة اللازمة لتحقيق التعلية الأفقية بالنسبة لنقطة التماس PC (Point of Curvature).

وقد دلت الخبرة على ضرورة تقسيم المسافة الداخلية بين المماس والمنحنى الدائري وتجنب وضع كامل المسافة إما على الجزء المستقيم وإما على المنحنى الدائري. وعند الوصول لكامل التعلية الأفقية عند نقطة التماس PC، تكون كامل المسافة الداخلية قد وقعت على الاستقامة التي قبلها حيث نظرياً لا حاجة للتعية الأفقية ، وفي المقابل، فإن وضع كامل المسافة الداخلية المطلوبة للتعلية الأفقية على المنحنى الدائري سيؤدي إلى وجود أجزاء من المنحنى بتعلية افقية أقل من اللازم. وتترافق كلتا هاتين الحالتين بقيمة قصوى من التسارع الجانبي.

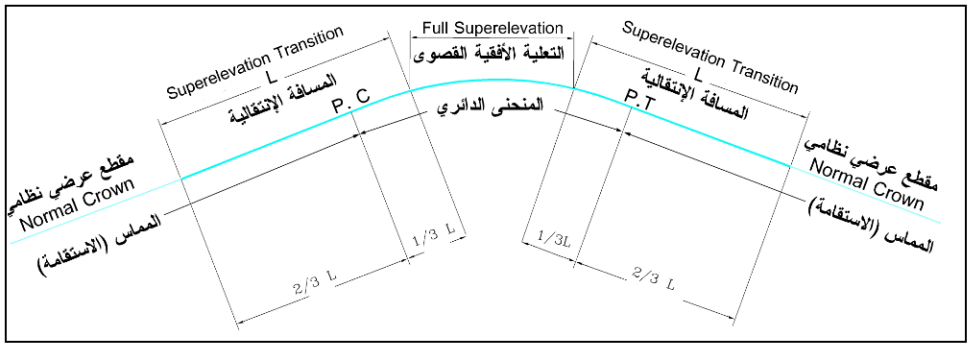
وقد دلت الخبرة على ضرورة تقسيم المسافة الداخلية بين المماس والمنحنى الدائري وتجنب وضع كامل المسافة إما على الجزء المستقيم أو إما على المنحنى الدائري. وعند الوصول لكامل التعلية الأفقية عند نقطة التماس PC، تكون كامل المسافة الداخلية قد وقعت على الاستقامة التي قبلها حيث نظرياً لا حاجة للتعلية الأفقية، وفي المقابل، فإن وضع كامل المسافة الداخلية المطلوبة للتعلية الأفقية على المنحنى الدائري سيؤدي إلى وجود أجزاء من المنحنى بتعلية افقية أقل من اللازم. وتترافق كلتا هاتين الحالتين بقيمة قصوى من التسارع الجانبي.

وتدل الخبرة على أنه من المفضل وضع جزء من المسافة الداخلية على المماس قبل بداية المنحنى حيث أن ذلك يؤدي إلى تخفيض القيمة القصوى للتسارع الجانبي وما يتطلبه من إحتكاك جانبي، وتعتمد قيمة شدة الاحتكاك الجانبي التي تتعرض لها المركبة خلال مرورها على طول المسافة الداخلية على المسار الفعلي الذي تسلكه المركبة.

تشير المشاهدات إلى أن السائق يسلك وفق منحنى حلزوني (انتقالي) خلال تدويره للمقود وعند دخوله أو خروجه من المنحنى. ويبدأ هذا المسار الحلزوني عادة على الاستقامة وينتهي ما بعد بداية المنحنى الدائري. وتشير معظم الأدلة إلى أن الزمن المستغرق في قطع طول هذا المسار يتراوح من ثانيتين الى اربع ثواني، وقد يختلف طول هذا المسار بإختلاف عرض المسرب، وتواجد مركبات أخرى على المنحنى.

وبناءً على المناقشة السابقة، فإن وضع جزء من المسافة الداخلية على المماس يتوافق مع المنحنى الحلزوني الطبيعي الذي يسلكه السائق عند دخوله للمنحنى ، ولذلك فإن الإدخال التدريجي للتعلية الأفقية قبل المنحنى يعوض الزيادة التدريجية في التسارع الجانبي على طول مسار المنحنى الحلزوني. ونتيجة لذلك فإن القيمة القصوى للتسارع الجانبي الذي تتعرض له المركبة عند نقطة التماس PC يساوي نظرياً 50% من التسارع الجانبي الاقصى من المنحنى الدائري.

ولتحقيق التوازن في التسارع الجانبي يتم توضيع جزء من المسافة الداخلية على المماس قبل المنحنى الدائري بنسبة تتروح من 60 – 80 % ، وفي معظم الحالات تستخدم نسبة (67%) أي أن ثلثي المسافة يكون على الاستقامة والثلث المتبقي على المنحنى الدائري وكما هو مبين بالشكل (4–14) .



الشكل (4–14) حالة الانتقال من الاستقامة إلى المنحنى الدائري ومناطق التعلية الأفقية حيث أن:

نقطة بداية المنحنى الدائري = Point of Curvature – P.C

نقطة التماس عند نهاية المنحنى الدائري = Point of Tangency – P.T

وتؤكد الاعتبارات النظرية أفضلية وضع الجزء الأكبر من المسافة الداخلية على المماس منها على المنحنى. وتنطلق هذه الاعتبارات من أن التسارع الذي يؤثر جانبياً على المركبة أثناء حركتها على المنحنى الانتقالي، والذي ينجم عنه سرعة جانبية وخروج جزئي عن المسرب الأساسي مما يؤدي إلى مشاكل تشغيلية لأسباب تتعلق بأمان الحركة.

ويؤدي تحليل الاعتبارات النظرية الواردة أعلاه إلى استنتاج مؤداه أن التوضيع المناسب للمسافة الداخلية بين المماس والمنحنى يؤدي إلى التقليل من المشاكل التشغيلية . ويوضح الجدول (4 – 15) القيم المستخدمة في توزيع المسافة الداخلية على المماس قبل المنحنى التي تؤدي إلى التقليل من التسارع الجانبي ومقدار الإزاحة الجانبية عن المسرب الأساسي.

الجدول (4 – 15) نسب مسافات الجزء الداخلي من التعلية الأفقية (Tangent Runoff) التي تؤدي للتقليل من خروج المركبة جانبيا عن المسرب المخصص لها

السرعة التصميمية، كم/ساعة	نسبة الجزء من المسافة الداخلية للتعلية الافقية الواقعة قبل بداية المنحنى الدائري			
	عدد المسارب التي يتم تدويرها حول محور الطريق			
	1.0	1.5	2.0 – 2.5	3.0 – 3.5
20 – 70	0.8	0.85	0.90	0.90
80 – 130	0.7	0.75	0.80	0.80

وتدل الاعتبارات النظرية أن أفضل نتائج من ناحية الظروف التشغيلية يمكن تحقيقها اذا تراوحت نسبة المسافة الداخلية على المماس (الاستقامة) من 70 إلى 90% .

4-2-4-4-4 تحديد وضعية المسافة الداخلية للتعلية الأفقية في حال وجود منحنى انتقالي حلزوني :

في حال الانتقال من الاستقامة إلى المنحنى الدائري من خلال منحنى وصل انتقالي حلزوني (كلوتوئيد) يتم وضع كامل المسافة الداخلية للتعلية الأفقية على كامل طول المنحنى الانتقالي، (أي من نقطة التماس بين الاستقامة والكلوتوئيد TS حتى نهاية الكلوتوئيد وبداية المنحنى الدائري SC). ويبتدأ تغيير الميل العرضي للمسرب أو المسارب الخارجية بالنسبة للمنحنى من المقطع النظامي على طول المسافة الخارجية Tangent Run Out عند الاستقامة التي تسبق الكلوتوئيد وذلك بتدوير المسرب (أو المسارب الخارجية) بشكل تدريجي حتى يصبح الميل العرضي صفراً عند بداية الكلوتوئيد. ويتم عكس هذه العملية عند الخروج من المنحنى الدائري في النقطة CS وحتى نهاية المنحنى الحلزوني ST حيث تبدأ الاستقامة وكما هو موضح بالشكل السابق (4– 14).

5-4-4-2-4 القيم القصوى للتعلية الأفقية عند عدم استخدام منحنى وصل حلزوني :

عند دخول المركبة من الاستقامة إلى المنحنى الدائري بدون منحنى وصل انتقالي بينهما تزداد الإزاحة الجانبية لموقع المركبة مع ازدياد قيمة التعلية الأفقية . ويمكن التخفيف من هذه الإزاحة عبر التوضيع المناسب للمسافة الداخلية . وحيث أن لهذه الإزاحة أثراً على السلامة يتم تحديد قيم التعلية الأفقية المرتبطة مع إزاحة جانبية مقدارها 1 م كما هو موضح في الجدول (4 – 16). ولا تطبق هذه القيم على السرعة التي تزيد عن 80 كم/ساعة من أجل تعلية أفقية 12% أو أقل.

الجدول (4 – 16) القيم العظمى للتعلية الأفقية في حال عدم وجود منحنى وصل انتقالي

السرعة التصميمية، (كم/ساعة)	حد التعلية الأفقية (%)
20	8
30	8
40	10
50	11
60	11
70	12

وعموماً يجب عدم تجاوز القيم المذكورة في الجدول، وفي حال الاضطرار لذلك يجب الأخذ بعين الاعتبار زيادة عرض المسارب بشكل مناسب على المنحنيات.

6-4-4-2-4 مزايا المنحنى الإنتقالي الحلزوني :

من المفضل دوماً دخول المركبات إلى أي منحنى أفقي دائري عبر مسار انتقالي ترتبط عناصره الهندسية التصميمة مع سرعة المركبة ومع بقاء قوة الدفع الجانبية ضمن الحدود التي تضمن بقاء المركبة ضمن مسارها. وعند زيادة السرعة التصميمية أو إنخفاض نصف قطر المنحنى تصبح هناك حاجة لمنحنى انتقالي أطول.

إن استخدام المنحنيات الانتقالية عند التخطيط الأفقي للطرق يعطي العديد من المزايا وأهمها:

1- يؤمن المنحنى الانتقالي المُصمم بشكل مناسب مساراً طبيعياً وسهلاً للسائقين، حيث يتزايد أو يتناقص التسارع الجانبي بشكل تدريجي مع دخول وخروج المركبة إلى المنحنى الدائري.

2- يؤمن المنحنى الانتقالي (على كامل طوله) المسافة المناسبة لتوضيع التعلية الأفقية، وذلك إبتداء من الميل النظامي على الاستقامة حتى الوصول إلى التعلية الأفقية القصوى.

3- يوفر المنحنى الانتقالي الحلزوني امكانية تغيير عرض الطريق بشكل تدريجي حتى الوصول إلى العرض الأقصى المطلوب على المنحنى الدائري حين يتطلب الأمر ذلك في المنحنيات الحادة ذات أنصاف الاقطار الصغيرة.

4- يحسّن المنحنى الانتقالي الحلزوني من مظهر الطريق ويؤدي إلى عدم ظهور انكسار في مسار الطريق عند المنحنيات، كما هو موضح في الشكل (4-15).

مظهر الطريق بدون استخدام منحنيات انتقالية حلزونية

مظهر الطريق مع استخدام منحنيات انتقالية حلزونية

شكل (4-15) تأثير استخدام المنحنيات الانتقالية الحلزونية على المظهر العام للطريق

4-2-4-4-7 طول المنحنى الحلزوني:

يعرف المنحنى الحلزوني رياضياً بمنحنى أولر (Euler) أوالكلوتوئيد ويستخدم في تصميم المنحنيات الانتقالية. وكما ذكرنا سابقاً تتغير قيمة نصف القطر من اللانهاية في نهاية الجزء المستقيم وبداية الكلوتوئيد حتى نصف قطر المنحنى الدائري المطلوب ، وفي حال كان المنحنى الحلزوني يصل بين منحنيين دائريين فتكون له قيمة في البداية مختلفة عن اللانهاية . و تستخدم العلاقة التالية في حساب الطول الأدنى للمنحنى الانتقالي:

$$L = \frac{0.0214V^3}{Ra} \quad \text{.....} (27-4)$$

حيث أن:

L = الطول الأدنى للمنحنى الحلزوني، م

V = السرعة، (كم/ساعة)

R = نصف قطر المنحنى، (م)

a = معدل الزيادة في التسارع الجانبي، م/ثانية^3

ويتم تحديد طول المنحنى الانتقالي بحيث يتزايد التسارع الجانبي خلال قطع المنحنى ببطء شديد لكي لا تسبب شعوراً بعدم الراحة للركاب، وتتراوح هذه القيمة من 0.3 حتى 1.3 م/ثانية^3.

4-2-4-4-8 نصف القطر الأقصى لاستخدام المنحنى الحلزوني

تم اختيار حدود أنصاف أقطار المنحنيات الدائرية القصوى التي تتطلب ادخال منحنيات انتقالية حلزونية بناء على الحد الأقصى لقيمة التسارع الجانبي والبالغة 1.3 م/ثانية^2. ويوضح الجدول (4–17) القيم القصوى لنصف القطر الذي يتطلب وضع منحنى حلزوني انتقالي وذلك تبعاً للسرعة التصميمية للطريق.

الجدول (4–17) القيم القصوى لنصف القطر اللازم لوضع منحنى انتقالي

السرعة التصميمية، (كم/ساعة)	نصف القطر الأقصى (م)
20	24
30	54
40	95
50	148
60	213
70	290
80	379
90	480
100	592
110	716
120	852
130	1000

ملاحظة: إن استعمال منحنيات انتقالية حلزونية من أجل أنصاف أقطار أكبر لا يؤدي إلى تحسين في ظروف السلامة

4-2-4-4-9 الطول المفضل للمنحنى الانتقالي الحلزوني *Desirable Length of the Spiral*

يبين الجدول (4–18) الأطوال المفضلة للمنحنيات الانتقالية الحلزونية والتي تم تحديدها بافتراض ان الزمن المستغرق في قطع المنحنى الانتقالي هو ثانيتين عند القيادة بالسرعة التصميمية للطريق. حيث أن هذا الزمن يعبر عن المسار الحلزوني الطبيعي لمعظم السائقين.

الجدول (4–18) الطول المفضل للمنحنى الانتقالي الحلزوني

السرعة التصميمية، (كم/ساعة)	طول المنحنى الحلزوني (م)
20	11
30	17
40	22
50	28
60	33
70	39
80	44
90	50
100	56
110	61
120	67
130	72

4-2-4-4-10 طرق تحقيق التعلية الافقية *Methods of Attaining Super-elevations*

يوضح الشكل (4–16) أربع طرق مستخدمة لتحقيق التعلية الأفقية (الرفع الجانبي) للمقطع العرضي للطريق:

1. تدوير المقطع العرضي النظامي (العادي) للطريق حول المحور الطولي لمنتصف الطرق،
2. تدوير المقطع العرضي النظامي للطريق حول المحور الطولي للحافة الداخلية ،
3. تدوير المقطع العرضي النظامي للطريق حول المحور الطولي للحافة الخارجية،
4. تدوير المقطع العرضي النظامي المستقيم حول المحور الطولي للحافة الخارجية.

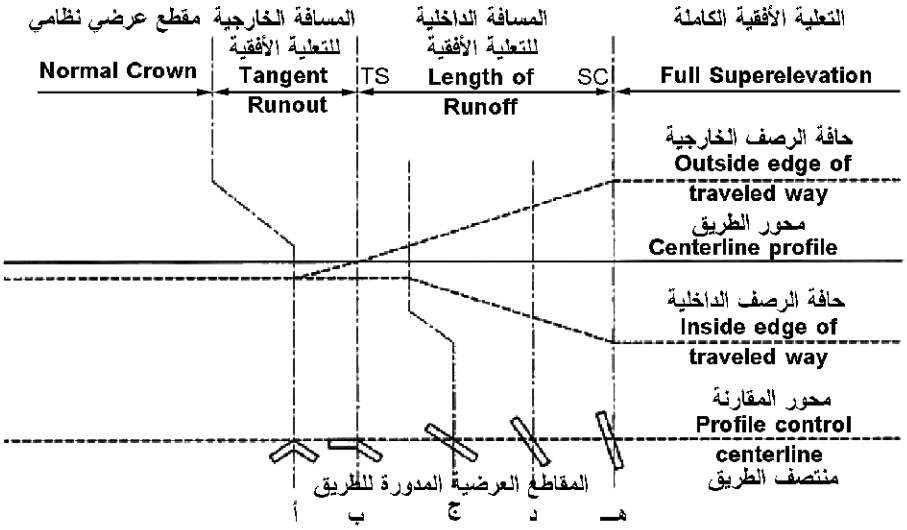
تعتبر الطريقة الأولى المبينة في الشكل (4–16–أ) التي يتم فيها تدوير المقطع العرضي حول المحور الطولي لمنتصف الطريق الأكثر استخداماً حيث يتعرض طرفي الطريق للحد الأدنى من التشوه مقارنة بالطرق الأخرى، كما يحصل التغيير لمناسيب طرفي الطريق بشكل متساو (يوزع نصف قيمة التغيير في التعلية الأفقية الكلية على الطرفين بالتساوي).

أما في الطريقة الثانية المبينة في الشكل (4–16–ب) حيث يتم التدوير حول المحور الطولي للحافة الداخلية، حيث يُحدد هذا المحور الطولي والمار عبر الحافة الداخلية بكونه خط موازي للمحور المرجعي (الرئيسي) للطريق، وفي هذه الحالة يتم الحصول على

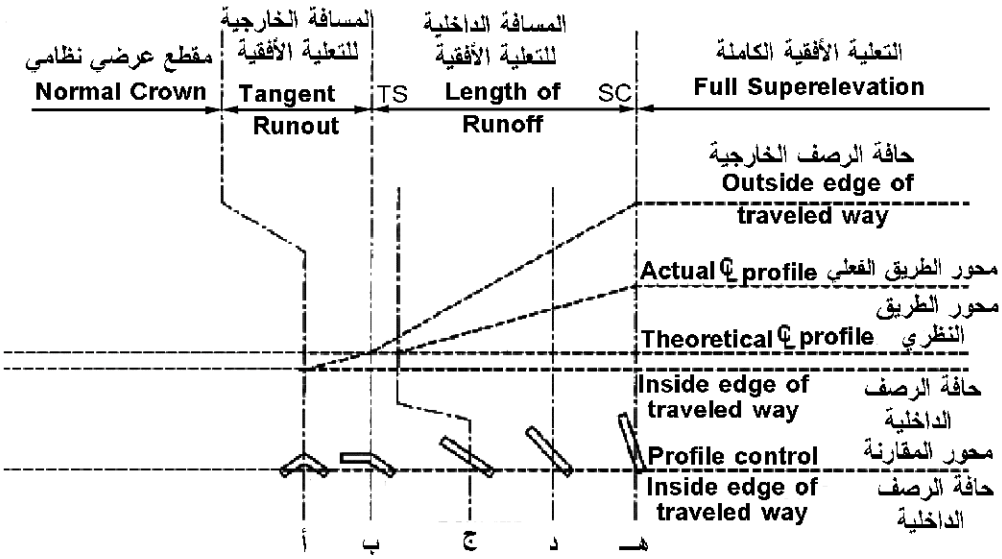
نصف التغير في الارتفاع عن طريق رفع المحور الطولي الفعلي لمنتصف الطريق بالنسبة إلى المحور الطولي للحافة الداخلية، أما بالنسبة للنصف الآخر من التغير المطلوب في الارتفاع عن طريق رفع المحور الطولي للحافة الخارجية بنفس المقدار الذي تم تطبيقه للمحور الطولي لمنتصف الطريق.

وتتشابه الطريقة الثالثة المبينة في الشكل (4-16-ج) مع الطريقة الثانية مع فارق بسيط حيث تنخفض الحافة الداخلية مقارنة مع الحافة الخارجية.

وأخيراً فإن الطريقة الرابعة المبينة في الشكل (4-16-د) تستخدم لحالة الطريق بحارتين باتجاه واحد حيث يكون المقطع العرضي مستقيماً مائلاً باتجاه واحد ويكون محور الدوران منطبقا مع الطرف المحاذي للجزيرة الوسطية للطريق.

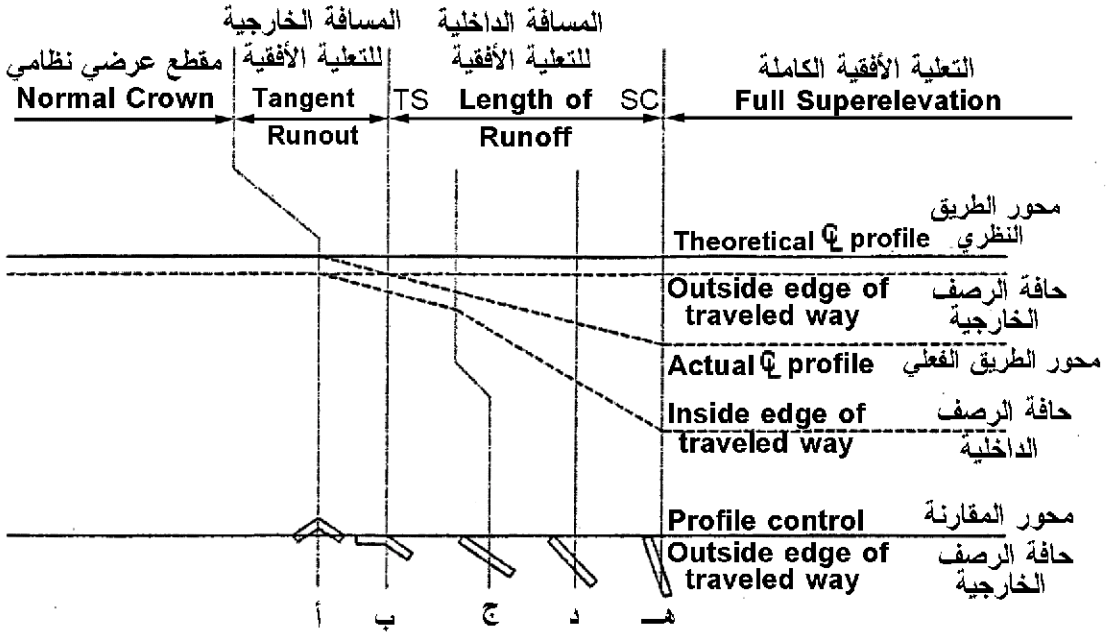


أ- تدوير المقاطع العرضية للطريق حول المحور المار في منتصفه

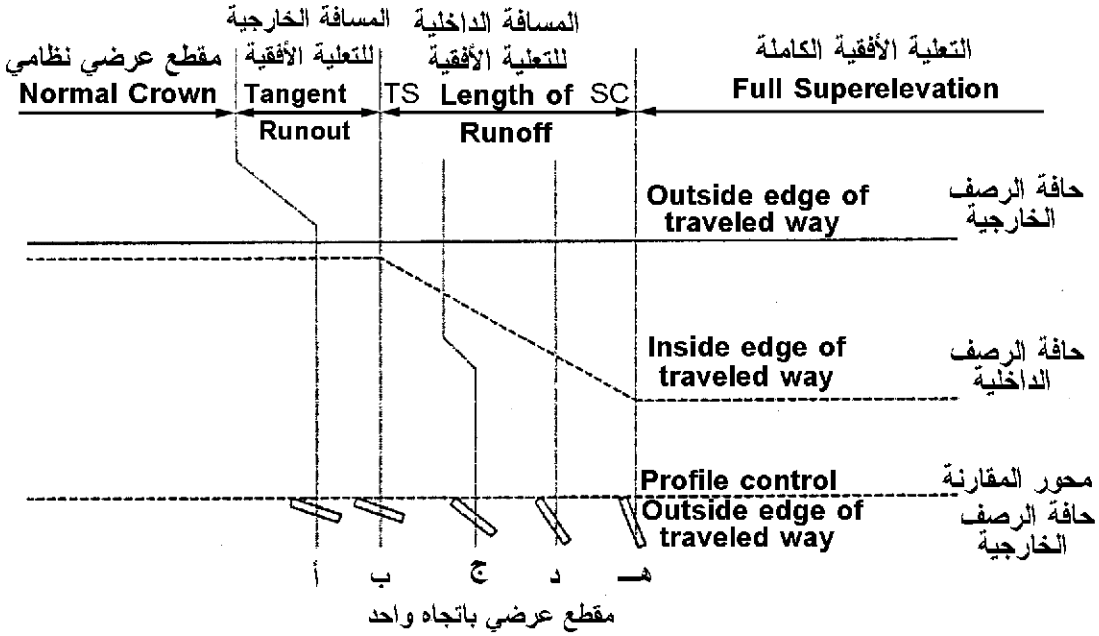


ب- تدوير المقاطع العرضية للطريق حول الحافة الداخلية

الشكل (4-16) المراحل الانتقالية للتعلية الأفقية



ج- تدوير المقاطع العرضية للطريق حول الحافة الخارجية



د- تدوير المقاطع العرضية للطريق حول الحافة الخارجية عندما يكون المقطع العرضي على استقامة واحدة

NOTE: ANGULAR BREAKS TO BE APPROPRIATELY ROUNDED AS SHOWN

يجب تدوير الزوايا (الحواف) بشكل مناسب كما هو مبين

تابع الشكل (4-16) المراحل الانتقالية للتعلية الأفقية

4-2-4-4-11 محور الدوران بوجود جزيرة وسطية Axis of Rotation with a Median

إن وجود الجزيرة الوسطية في المقطع العرضي للطرق والشوارع والمواقف يؤثر على التصميم الانتقالي للتعلية الأفقية، ويكون الشكل المناسب لتوضع محور التدوير مرتبطاً بعرض الجزيرة الوسطية، ونميز هنا الحالات الثلاثة التالية:

الحالة الأولى: وتتم فيها التعلية الأفقية لكامل مقطع الطريق بما في ذلك الجزيرة الوسطية، وهذا يلائم فقط حالة الجزيرة الوسطية الضيقة ونسبة تعلية معتدله لتجنب الفروقات في المناسيب بين نهايات (أطراف) الطريق بسبب الإمالة في الجزيرة الوسطية، وتطبق هذه الحالة بشكل محدد في الحالات التي لا يتجاوز عرض الجزيرة الوسطية 4 م، ويتم تحقيق التعلية الأفقية لهذه الحالة بشكل مشابة للحالة (4-16-أ).

الحالة الثانية: تكون الجزيرة الوسطية أفقية الشكل ويتم تدوير قسمي الطريق بشكل منفصل حول حافتي الجزيرة الوسطية، ويمكن تطبيق هذه الحالة لكافة عروض الجزر إلا انها اكثر ملائمة في الحالات التي يتراوح فيها عرض الجزيرة الوسطية من 4 حتى 18 م مع المحافظة على مستوى حافتي الجزيرة، وبذلك يكون الفرق في الارتفاع بين الاطراف الخارجية للطريق محصوراً بقيمة التعلية الجانبية، ويتم التدوير في هذه الحالة حول المحور الطولي لحافة الجزيرة ويمكن استخدام الطرق المبينة في الشكل (4-16-ب) أو الشكل (4-16-ج) أو الشكل (4-16-د).

الحالة الثالثة: تتم هنا معالجة كل جهة من الطريق بشكل منفصل مما يؤدي الى تباين في المستوى بين حافتي الجزيرة الوسطية التي يكون عرضها في هذه الحالة أكبر من 18 م، ويتم معالجة تأثير فرق المنسوب بين حافتي الجزيرة الوسطية عبر تسوية الانحدار باتجاه الجزيرة التي يسمح عرضها الكبير بذلك، ومن الممكن لهذه الحالة تحقيق التعلية الأفقية بشكل مستقل كطريقين منفصلين وباستخدام أي من الطرق الموضحة على الشكل (4-16)

4-2-4-4-12 الميل الانتقالي الأدنى

تظهر إمكانية حصول مشكلتي تصريف المياه على المقطع الذي تحصل فيه التعلية الأفقية، الأولى بسبب عدم إمكانية تحقيق الميل الطولي الكافي للتصريف، وتحدث هذه المشكلة عموماً عندما يكون ميل محور التدوير مساويا للميل النسبي الفعال ولكن مختلف عنه بالإشارة، ويحصل ذلك لحافة الرصف ذات الميل الطولي القليل جداً (المهمل) مما يؤدي لضعف واضح في التصريف وبشكل خاص إذا وجدت أطاريف في المقطع العرضي للطريق. أما المشكلة الثانية فتعود لعدم كفاية التصريف الجانبي بسبب الميل القليل جداً (المهمل) للمقطع العرضي، تحدث هذة المشكلة في المقاطع الانتقالية أثناء التدوير وانتقال الحارات الخارجية من الميل العادي (بحسب المقطع النظامي) الى حالة الميل المساوي صفراً وتدرجه الى الميل الذي يحقق التعلية الأفقية القصوى، حيث يمكن أن يكون التصريف الجانبي غير كاف خلال هذه المسافة الانتقالية.

يتم استخدام إحدى المعياريين المذكورين أدنـــاه لمعالجـــة الحـــالتين الـــسابقتين وتحـــسين التصريف:

المعيار الأول: تأمين الحد الأدنى للميل الطولي في المنطقة الانتقالية عن طريق:

1. تأمين حد أدنى للميل الطولي للمنطقة الانتقالية بمقدار 0.5%.
2. تأمين ميل أدنى لحافة الرصف 0.2% ضمن المنطقة الانتقاليـــة ، وتؤخـــذ قيمـــة 0.5% لحالة الطريق المجهز بأطاريف.

المعيار الثاني: يتم تحقيقه عبر المعادلات التالية المتعلقة بالميل الطولي والنسبي الفعال:

وجود أطاريف	عدم وجود أطاريف
$G \leq -\Delta^* - 0.5$	$G \leq -\Delta^* - 0.2$
$G \geq -\Delta^* + 0.5$	$G \geq -\Delta^* + 0.2$
$G \leq \Delta^* - 0.5$	$G \leq -\Delta^* - 0.2$
$G \geq \Delta^* + 0.5$	$G \geq \Delta^* + 0.2$

$$\Delta^* = \frac{(wn_1)e_d}{L_r} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (28-4)$$

حيث أن:

G = الميل الطولي، (%)

Δ^* = الميل النسبي الفعّال، (%)

L_r = الطول الداخلي للتعلية الأفقية، (م)

n_1 = عدد الحارات التي يتم تدويرها

w = عرض الحارة المرورية

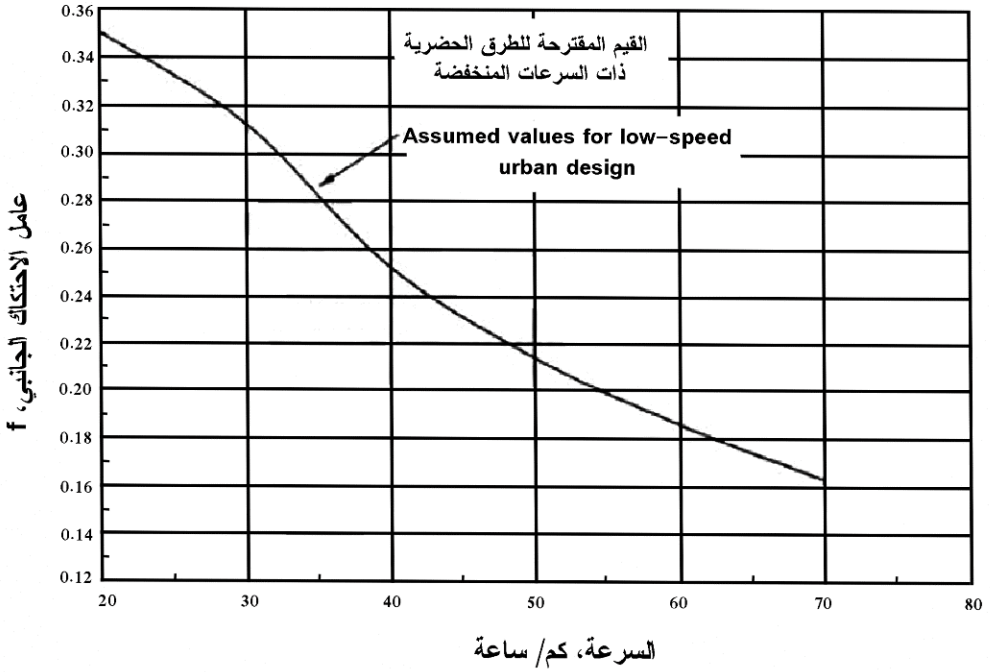
e_d = التعلية الأفقية التصميمية، (%)

5-4-2-4 تصميم الشوارع الحضرية ذات السرعات المنخفضة

كما ذكرنا سابقاً فإن القيمة القصوى لعامل الاحتكاك الجانبي المستخدمة في تصميم المنحنيات الأفقية هي التي ينتج عنها قوة جانبية تسبب شعور بعدم الراحة للسائق الذي يسير بسرعة تصميمية معينة. ومن اجل المنحنيات الحادة يتم أخذ القيمة القصوى لعامل الاحتكاك الجانبي. وتستخدم التعلية الافقية بحيث تتزايد بشكل تدريجي للوصول إلى التعلية الأفقية القصوى e_{max}. وتتراوح القيم المقبولة من حيث الراحة والأمان لعامل الاحتكاك الجانبي من 0.32 لسرعة تصميمية 30 كم/ساعة وحتى 0.165 من أجل سرعة تصميمية 70 كم/ساعة.

بالرغم من أن التعلية الإفقية مفيدة لحركة المرور فإن عوامل كثيرة تجتمع لتجعلها غير عملية في العديد من المناطق الحضرية المأهولة، بسبب وجود الطرق المعبدة العريضة والحاجة إلى تلبية متطلبات الجوار من حيث الميول والوصول إلى الملكيات، وكذلك اعتبارات التصريف للسطوح الكبيرة إضافة إلى العديد من التقاطعات مع طرق وشوارع وممرات. و بناءً على ذلك

يتم تصميم الطرق والشوارع ذات الحجوم المرورية المنخفضة في المناطق الحضرية بدون تنفيذ التعلية الافقية. ويتم تحديد أنصاف الأقطار الدنيا مع تأمين الاحتكاك الجانبي الذي يحافظ على القوة الجانبية، بحيث يحقق معامل الاحتكاك الجانبي الأعلى الراحة للسائقين مع هامش أمان مناسب ضد الانزلاق، ويوضح الشكل (4-17) عوامل الاحتكاك الجانبي الملائم للطرق الحضرية ذات الحجوم المرورية المنخفضة.



الشكل (4- 17) عوامل الاحتكاك الجانبي للشوارع الحضرية ذات السرع المنخفضة

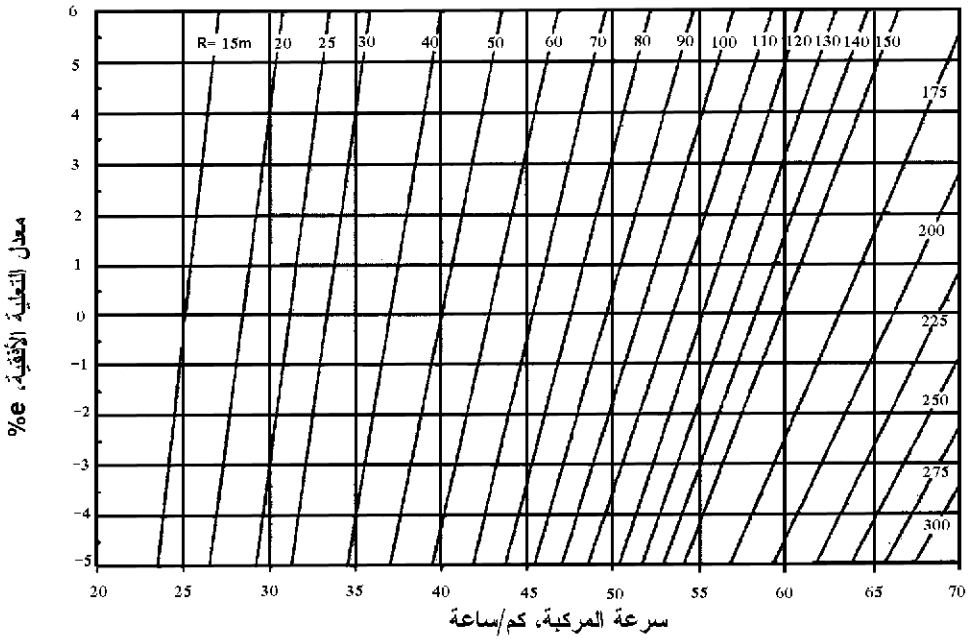
ويبين الجدول (4-19) أنصاف الأقطار الدنيا التي لا يتم عندها أو دونها تنفيذ التعلية الإفقية على الشوارع المحلية في المناطق السكنية والتجارية وذلك حسب السرعة التصميمية الخاصة بها، ولكن يجب أخذ التعلية الإفقية بالاعتبار في المناطق الصناعية والشوارع ذات االسرعات التشغيلية الأعلى، وتكون القيمة القصوى للتعلية الإفقية المستخدمة ضمن المجال 4-6 %.

6-4-2-4 السرعة القصوى المريحة على المنحنيات الأفقية

تحسب السرعة القصوى التي تعتبر مريحة في القيادة على المنحنيات الأفقية للشوارع الحضرية ذات السرعات المنخفضة من الصيغة البسيطة للمنحنى:

$$\frac{e}{100} + f_{\max} = \frac{V^2}{127R} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (29-4)$$

ويوضح الشكل (4-18) العلاقة بين أنصاف الأقطار والتعلية الإفقية والسرعة التصميمية للشوارع الحضرية ذات السرعات المنخفضة.



الشكل (4–18) العلاقة بين أنصاف الأقطار والتعلية الأفقية والسرعة التصميمية للشوارع الحضرية ذات السرعات المنخفضة

7-4-2-4 الطول اللازم لتغيير المقطع العرضي للطريق عند التعلية الأفقية

يتم تحديد الطول الداخلي الأدنى للتعلية الأفقية Superelevation runoff على أساس القيمة القصوى المسموحة لمعامل الاحتكاك الجانبي f باستخدام العلاقة التالية:

$$L = \frac{2.72\, f V_D}{C} \quad \text{.....} (30-4)$$

حيث أن:

L = الطول الداخلي للتعلية الأفقية (م)

f = معامل الاحتكاك الجانبي

V_D = السرعة التصميمية (كم/ساعة)

C = مقدار تغير f (م/ثانية^3)

تتراوح قيم C المستخدمة لتصميم الطرق الحضرية ذات السرعات المنخفضة ضمن المجال 1.25 م/ثانية^2 لسرعة 20 كم/ساعة و 1.0 م/ثانية^2 لسرعة 70 كم/ساعة. و يبين الجدول (4–17) القيم الدنيا للمسافة الداخلية للتعلية الافقية (Tangent Runoff) من أجل تدوير المقطع العرضي حول المحور الطولي لمنتصف الشارع. ويؤدي ذلك في المناطق المستوية إلى حدوث بقعة منخفضة في الجهة الداخلية للطريق، ولتجنب ذلك يتم التدوير حول الحافة الداخلية مما ينجم عنه مضاعفة قيم المسافة الداخلية للتعلية الأفقية كما هو مبين في الجدول (4–17) .

جدول (4–19) أنصاف الأقطار الدنيا والأطوال الداخلية الدنيا للتعلية الإفقية من أجل قيم حدية لـــ e وf للطرق الحضرية ذات حدود سرعة منخفضة

السرعة التصميمية كم/ساعة	التعلية الأفقية القصوى e/100	عامل الاحتكاك الجانبي الأقصى f_{max}	مجموع e_{max} + f_{max}	نصف القطر الأدنى R_{min}	التعلية الأفقية القصوى e_{max}	عامل الاحتكاك الجانبي الأقصى f_{max}	مجموع e_{max} + f_{max}	نصف القطر الأدنى R_{min}	التعلية الأفقية القصوى e_{max}	عامل الاحتكاك الجانبي الأقصى f_{max}	مجموع e_{max} + f_{max}	نصف القطر الأدنى R_{min}	معدل تغيير f	الطول الأدنى الداخلي للتعلية الأفقية
Design speed (km/h)	Max e/100	Max f	Total (e/100 + f)	Min R (m)	Max e/100	Max f	Total (e/100 + f)	Min R (m)	Max e/100	Max f	Total (e/100 + f)	Min R (m)	C	Min L (m)
20	0.06	0.350	0.410	10	0.04	0.350	0.390	10	0.00	0.350	0.350	10	1.25	15
30	0.06	0.312	0.372	20	0.04	0.312	0.352	20	0.00	0.312	0.312	25	1.20	20
40	0.06	0.252	0.312	40	0.04	0.252	0.292	45	0.00	0.252	0.252	50	1.15	25
50	0.06	0.214	0.274	70	0.04	0.214	0.254	80	0.00	0.214	0.214	90	1.10	25
60	0.06	0.186	0.246	115	0.04	0.186	0.226	125	0.00	0.186	0.186	150	1.05	30
70	0.06	0.163	0.223	175	0.04	0.163	0.203	190	0.00	0.163	0.163	235	1.00	30

8-4-2-4 أنصاف الأقطار الدنيا والأطوال الدنيا للمسافة الداخلية للتعلية الافقية (Tangent Runoff) من أجل قيم حدية لـــ e و f

يبين الجدول السابق (4–19) أنصاف الأقطار الدنيا من أجل ثلاث قيم للتعلية الأفقية هي: 0.0، 4.0 ، 6.0 %، وتعتبر القيمة 6% أقصى قيمة مفضلة للطرق الحضرية ذات السرعات المنخفضة، كما يتضمن الجدول الأطوال الدنيا الداخلية للتعلية الأفقية (Minimum Length of Superelevation Runoff) . ويمكن من الجدول حساب الطول الأدنى للاستقامة بين منحنيين متعاكسين. يتضمن الجدول للتعلية الأفقية 0% بسبب التداخل بين الاستقامات الفاصلة بين منحنيين متعاكسين حتى ولو وجدت التعلية الأفقية. ويكون مجموع الأطوال الداخلية للتعلية الأفقية قبل بداية المنحنى PC وبعد نهايته PT هو الطول الأدنى لتداخل الجزء المستقيم Tangent.

5-2-4 مقدار الانحناء عند المنعطفات والتقاطعات ذات مستوى واحد

Curvature of Turning Roadways and Curvature at Intersections

تمثل المنحنيات على المنعطفات وعلى تقاطعات الطرق السريعة حالات خاصة تتم دراستها ومناقشتها فيما يلي:

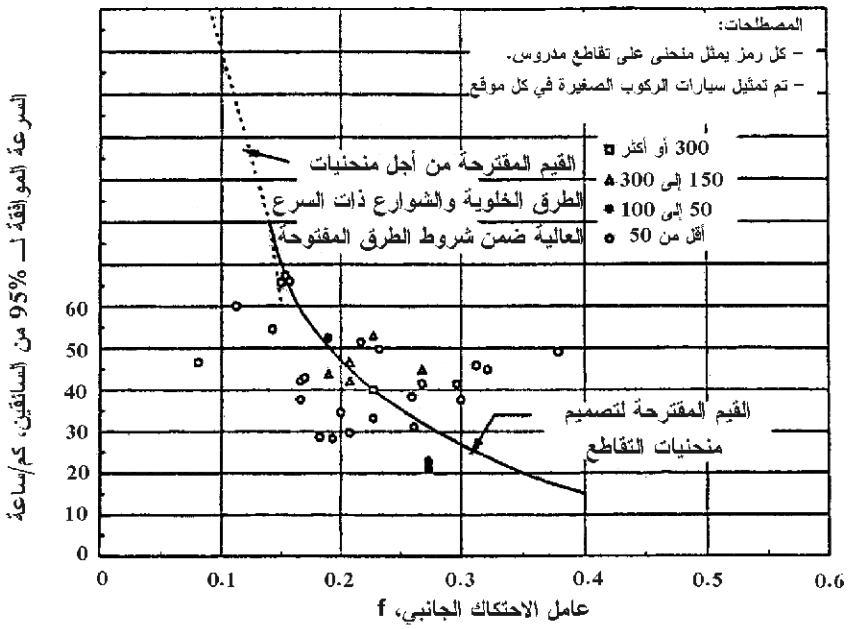
1-5-2-4 أنصاف الأقطار الدنيا للانعطاف للسرعات التصميمية

Minimum Radius for Turning Speed

يجب على المركبات التي تقوم بحركات الدوران على التقاطعات المصممة بأنصاف الأقطار الدنيا للمنحنيات أن تنجز تلك الحركة بسرعات منخفضة بالعادة تكون أقل من 15 كم/ساعة، بالرغم أنه من المفضل والعملي أن يتم التصميم لسرعات أعلى من ذلك. تتعلق قيم السرعة التي يتم عليها تصميم منحنيات التقاطعات بسرعة المركبات على الأذرع المكونة للتقاطع ونمط التقاطع وحجوم المرور للحركات المستقيمة والمنعطفة (الملتفة).

ويجب عدم اعتبار المنحنيات على التقاطعات ضمن نفس الفئة للمنحنيات على الطرق المفتوحة (الطرق التي يكون فيها عدد المداخل والطرق الجانبية محدود) بسبب وجود أشكال مختلفة للتحذير واعتبارات للظروف الحرجة، ويتحرك السائقون عموماً بسرعات أعلى بالنسبة لأنصاف الأقطار للمنحنيات على التقاطعات بالمقارنة مع تلك على الطرق المفتوحة والتي يتم تحقيقها من خلال قبول السائقين القيادة بسرعة واستعمال معاملات احتكاك جانبي عند الدوران على منحنيات التقاطعات أعلى من معاملات الاحتكاك المقبولة على الطرق ذات السرعات العالية.

أجريت عدة دراسات لتحديد الازاحة الجانبية للمركبة وتوزيع سرعات المركبات على منحنيات التقاطعات، ويوضح الشكل (4–19) علاقات السرعة ودرجة الانحناء، ونجد من تحليل النتائج أن النسبة 95% من السرعات تقارب بشكل كبير للسرعة التصميمية. يمثل الخط المنقط على الجزء الايسر الأعلى من الشكل قيم معاملات الاحتكاك الجانبية المستخدمة على الطرق الخلوية والطرق الحضرية السريعة.



الشكل (4-19) العلاقة بين السرعة ومعامل الاحتكاك الجانبي على منحنيات التقاطعات

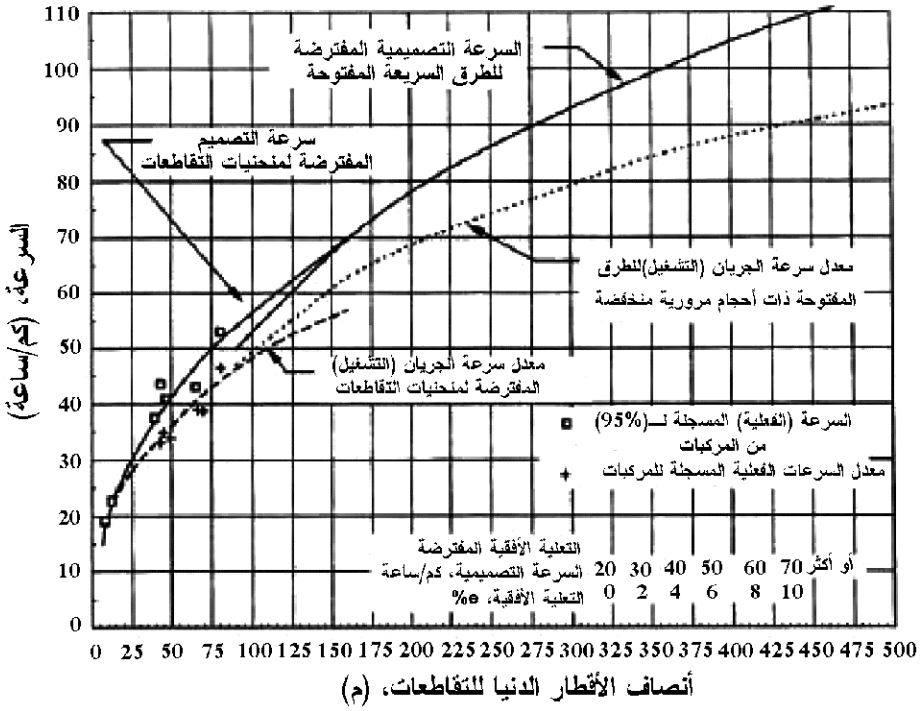
على ضوء العلاقة الموضوعة بالشكل أعلاه ومع الفرضيات المنطقية لقيمة التعلية الإفقية على منحنيات التقاطعات، فإنه يمكن الحصول على قيم دنيا لأنصاف الأقطار من أجل سرعات تصميمية مختلفة باستخدام العلاقة المبسطة المبينة في المعادلة السابقة (4-9) والتي تستند على اعتبارات نظرية :

$$f = \frac{V^2}{127\,R} - 0.01e \quad \text{.....} (31-4)$$

وتشير المعادلة إن استخدام قيم مختلفة للتعلية الأفقية سينتج عنها أنصاف أقطار مختلفة من أجل سرعة تصميمية وعامل احتكاك جانبي معين، ومن المفضل تحديد قيمة واحدة لنصف القطر الأدنى لكل سرعة تصميمية عند تصميم منحنيات التقاطعات، ويتم ذلك بفرض قيمة دنيا للتعلية الأفقية، ولكن إذا زادت قيم التعلية الأفقية عن هذه الحدود فسيتمكن السائقون من عبور المنحنيات بسرعة أعلى قليلاً أو بدرجة أعلى من الراحة والسهولة بسبب قلة الاحتكاك الجانبي.

عند اختيار قيم دنيا للتعلية الأفقية فإن أطوال المنحنيات تقل كلما زادت حدتها (أنصاف أقطار أقل)، وكلما قلت أطوالها تصبح الفرصة والإمكانية أقل للانتقال إلى قيم أعلى للتعلية الأفقية، وتطبق هذه الحالة بشكل خاص في المواقع التي فيها مسارب (طرق) الالتفاف بالقرب من التقاطعات التي يكون معظم مساحتها بجوار طرق نافذة (عابرة)، وفي الحالات الأكثر تعقيداً عند توفر أطوال كافية لتحقيق التعلية الأفقية على المنحنيات من أجل أنصاف أقطار مختلفة، تؤخذ قيم التعلية الأفقية مساوية لـــ 0 % من أجل سرعة 15 كم/ساعة وحتى 9% من أجل سرعة 70 كم/ساعة. باستخدام هذه القيم وقيم معاملات الاحتكاك الجانبي من الشكل (4-19) فإن قيم أنصاف الأقطار الدنيا لمنحنيات التقاطع من أجل سرعات تصميمية مختلفة معطاة في الجدول (4-20).

بالإضافة إلى السرعة التصميمية قد نضطر أحياناً لاستخدام معدل سرعة الجريان حيث تؤخذ بعين الاعتبار عند تصميم بعض العناصر الهندسية للتقاطعات. وتعبر النقاط المعلمة بإشارة (+) على الشكل (4-20) على معدل سرعة الجريان الفعلية على نفس منحنيات التقاطع المشار إليه. ويمثل الخط المتقطع الذي يمر بين النقاط معدل سرعة الجريان على منحنيات التقاطع. ويتقاطع هذا المنحنى على اليمين مع الخط المنقط الذي يمثل معدل سرعة الجريان للطرق المفتوحة. ومن أجل سرعة تصميمية معينة موجودة على المنحنى المستمر العلوي المبين في الشكل (4-20) فإن سرعة الجريان المفترضة تقع بشكل رأسي تحتها على الخط المتقطع. وقد تم بيان سرع الجريان هذه على الجزء السفلي (المستمر) من المنحنى المبين في الشكل (4-19).



الشكل (4-20) أنصاف أقطار المنحنيات الدنيا عند التقاطعات

الجدول (4-20) أنصاف الأقطار الدنيا لمنحنيات التقاطع

السرعة التصميمية للدوران، كم/ساعة	15	20	30	40	50	60	70
معامل الاحتكاك الجانبي f	0.4	0.35	0.28	0.23	0.19	0.17	0.15
الحد الأدنى للتعلية الأفقية (e/100)	0	0	0.02	0.04	0.06	0.08	0.09
مجموع (f +e/100)	0.4	0.35	0.3	0.27	0.25	0.25	0.24
نصف القطر الأدنى المحسوب (R)، م	5	9	24	47	79	113	161
نصف القطر الأدنى المقترح للتصميم (R)، م	7	10	25	50	80	115	160
وسطي سرعة الجريان، كم/ساعة	15	20	28	35	42	51	57

4-2-5-2 المنحنيات الانتقالية والمنحنيات المركبة

عند قيام السائق بحركة الانعطاف على التقاطعات في مستو واحد أو على رامبات التقاطعات التبادلية فإنه من الطبيعي أن يتبع المسار الانتقالي خاصة عند زيادة السرعة، وفي حال عدم وجود هذا المسار فإن العديد من السائقين ينحرفون عن المسار المقصود ويعملون على رسم منحنى انتقالي مناسب لحركتهم ويتطلب ذلك في كثير من الأحيان الخروج عن الحارة المحددة للحركة والتعدي على الحارات المرورية المجاورة أو استخدام الأكتاف الجانبية. ويمكن الحصول على المسارات الطبيعية بتصميم المنحنيات الإنتقالية أو الحلزونية التي تصل بين الاستقامات وبدايات المنحنيات الدائرية، أو بين منحنيين دائريين بأنصاف أقطار مختلفة. وتتمتع هذه المنحنيات الإنتقالية بميزة إضافية تتمثل بتأمين المسافات اللازمة لتحقيق التعلية الأفقية.

4-2-5-3 أطوال المنحنيات الانتقالية

يتم تحديد أطوال المنحنيات الإنتقالية المستخدمة على التقاطعات بنفس الطريقة المتبعة على الطرق المفتوحة، ويمكن أن يكون طول المنحنى الحلزوني على منحنيات التقاطعات أقل منه على المنحنيات الطرقية، لأن السائقين يتوقعون تغيرات سريعة في اتجاهات الحركة على التقاطعات، وبتعبير آخر فإن معدل تغير قيمة التسارع الجانبي C على منحنيات التقاطعات يمكن أن يكون أعلى منه على منحنيات الطرق التي تتراوح فيها قيم تغيير C من 0.3 حتى 1.0 م/ثانية^3، بينما تتراوح قيم C على منحنيات التقاطعات من 0.75 م/ثانية^3 من اجل سرعة انعطاف 80 كم/ساعة وحتى 1.2 م/ثانية^3 من أجل سرعة انعطاف 30 كم/ساعة. ويبين الجدول (4-21) أطوال المنحنيات الحلزونية استناداً على هذه القيم وتتوافق الأطوال الدنيا للمنحنيات الحلزونية مع أنصاف الأقطار الدنيا للمنحنيات حسب السرعات التصميمية.

الجدول (4-21) القيم الدنيا لأطوال المنحنيات الحلزونية على التقاطعات

السرعة التصميمية	كم/ساعة	30	40	50	60	70
نصف القطر الأدنى	م	25	50	80	125	160
تزايد التسارع الجانبي	م/ثانية^3	1.2	1.1	1.0	0.9	0.8
الطول الحسابي للمنحنى الانتقالي الحلزوني	م	19	25	33	41	57
الطول الأدنى المدور للمنحنى الانتقالي الحلزوني	م	20	25	35	45	60

ويمكن استخدام المنحنيات الانتقالية الحلزونية للوصل بين منحنيين دائريين مختلفين في نصف القطر بشكل كبير. ويمكن استخدام الجدول السابق (4-21) للحصول على طول المنحنى الانتقالي باستخدام نصف القطر الناجم عن الفرق بين نصفي القطرين للمنحنيين الدائريين. مثلاً إذا كان نصفي قطري المنحنيين الدائريين الذي سيصل بينهما المنحنى الانتقالي يساويان على التوالي 80 و 250 م فإن الفرق بينهما يعادل 170م وهو قريب جداً من نصف القطر الأدنى 160م الموجود في الجدول السابق (4-21) والذي يعطي طولاً للمنحنى الانتقالي مقداره 60 م.

وعندما تكون نسبة أنصاف الأقطار المتلاحقة على منحنيات التقاطعات أكبر من 2 فمن الضروري إما إدخال منحنى انتقالي أو منحنى دائري ذو قيمة وسطية بينهما. في مثل هذه الحالات يفضل أن لا يقل طول المنحنى الانتقالي عن 30 م، حتى ولو بينت الحسابات إمكانية استخدام أطوال أقل من ذلك.

4-5-2-4 المنحنيات الدائرية المركبة

المنحنيات الدائرية المركبة مفيدة في تشكيل طرق الدوران على التقاطعات بمستو واحد وعلى الرامبات (الوصلات الجانبية) المؤدية للتقاطعات التبادلية، حيث تستخدم أقواس دائرية متباينة بشكل كبير في قيم أنصاف الأقطار. يفضل أن لا تزيد نسبة نصف قطر المنحنى الأكبر إلى نصف القطر الأصغر عن 1:1.5 للمنحنيات المركبة الواقعة على الطرق المفتوحة ، ويمكن أن يكون نصف القطر الأكبر للمنحنيات المركبة على التقاطعات ضعف نصف القطر الأصغر أي تكون النسبة 1:2. وتشير الدراسات أن مقدار الفرق في سرعة الجريان (السرعة التشغيلية) على هذه المنحنيات يبلغ 10 كم/ساعة وهو أمرٌ مقبول من السائقين عند عبور التقاطعات لوجود تغير في الاتجاه والسرعة، ودلت المشاهدات الميدانية أن هذه النسبة تكون مقبولة من ناحية الشكل والاستثمار على الوصلات الجانبية المؤدية للتقطاعات التبادلية، وأنه ينبغي استخدام فروق أصغر في أنصاف الأقطار كلما كان ذلك عملياً، ويفضل استخدام النسبة بحيث لا تتجاوز في حدها الأقصى عن 1:1.75، بينما تكون النسبة 1:2 ملائمة للمنحنى الحلزوني أو المنحنى الدائري الأوسط الذي يربط بين منحنيين. ويجب أن لا تكون أطوال المنحنيات المركبة قصيرة جداً وأن تسمح بالانتقال السهل والتدريجي من الاستقامات إلى المنحنيات، وعند وجود مجموعة من المنحنيات المتتالية ذات أنصاف الأقطار المتناقصة يجب أن تكون أطوالها كافية بحيث تمكن المركبات من التباطؤ بمعدل معقول، ويجب أن لا يزيد معدل التباطؤ المقبول على التقاطعات عن 5كم/ساعة/ثانية ويفضل استخدام قيمة مساوية لـــ 3 كم/ساعة/ثانية.

يبين الجدول (4–22) أطوال المنحنيات التي تحقق المعايير السابقة وذلك استناداً إلى قيم سرعات الجريان (السرعات التشغيلية) الموضحة على الشكل (4–20) وباعتبار تسارع مقداره 5 كم/ساعة/ثانية والقيمة الدنيا المفضلة للتسارع والمساوية لـــ 3 كم/ساعة/ثانية.

الجدول (4-22) طول القوس الدائري للمنحنى المركب للتقاطعات عندما يكون نصف قطر المنحنى مساوٍ لنصف قطر المنحنى الذي يليه أو لضعف نصف قطر المنحنى الذي يسبقه

نصف القطر (م)	طول القوس الدائري (م)	
	الأدنى	المفضل
30	12	20
50	15	20
60	20	30
75	25	35
100	30	45
125	35	55
150 أو أكثر	45	60

6-2-4 تعريض مسارب المرور عند المنحنيات الأفقية

Traveled Way Widening on Horizontal Curves

يتم تعريض حارات المرور على المنحنيات الأفقية أحياناً بهدف تحسين ظروف التشغيل لحركة المركبات على المنحنيات وجعلها مكافئة قدر الإمكان للحركة على الأجزاء المستقيمة (الاستقامات). وفي الماضي كان هناك حاجة ملحة لتعريض مسارب المرور الضيقة عند المنحنيات الحادة السائدة ذات أنصاف الأقطار الصغيرة مع أن السرعات كانت منخفضة عموماً، بينما يتضاءل الاهتمام بالتعريض على الطرق الحديثة والمصممة بمسار (تخطيط) أفقي عالي النوعية ومسارب مرور بعرض 3.6 م بالرغم من السرعات العالية. ومع ذلك توجد بعض الظروف المتعلقة بالسرعة ودرجة الانحناء والعرض تتطلب تعريضاً إضافياً للطريق.

قد يكون هناك حاجة لتعريض الطريق على بعض المنحنيات لأحد الأسباب التالية:

1- عندما تَشغل المركبة التصميمية عرضاً أكبر بسبب تداخل مسار العجلات الخلفية ضمن مسار العجلات الأمامية عند الدوران على المنحنى (Offtracking).

2- عندما يجد السائقون صعوبة في التحكم بالمركبة لإبقائها على محور (منتصف) المسرب الذي يسيرون عليه، ويتم إشغال عرض إضافي من قبل المركبة التي تتحرك على المنحنى مقارنة مع العرض اللازم في منطقة الاستقامة، ويتم حساب التعريض بشكل هندسي لأي تشكيلة من أنصاف أقطار المنحنيات وتوضّع عجلات المركبة (قاعدة العجلات) .

إن مقدار تعريض مسارب الطريق عند المنحنى الأفقي عبارة عن الفرق بين العرض الذي نحتاج إليه على المنحنى والعرض الموجود على الاستقامة، ويحسب من العلاقة التالية:

$$w = W_c - W_n \qquad (32-4)$$

حيث أن:

w = مقدار تعريض المسارب على المنحنى ، م

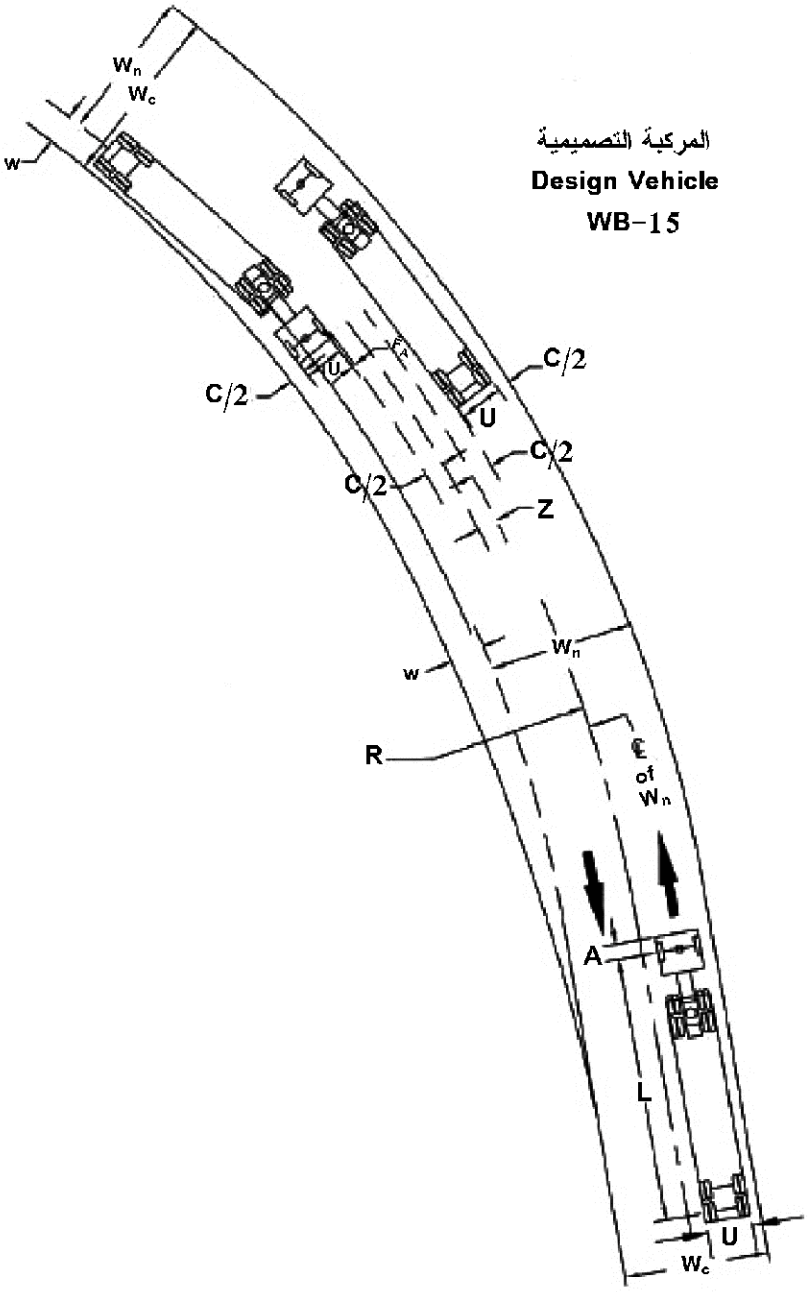
W_c = عرض المسارب على المنحنى ، م

W_n = عرض المسارب على الاستقامة ، م

يتألف عرض المسرب اللازم على المنحنى W_c من عدة مكونات مرتبطة بالحركة على المنحنى وتشمل عرض المسار U لكل مركبة تتقابل أو تتجاوز، والعرض الجانبي C لكل مركبة، وعرض البروز الأمامي F_A للمركبة التي تشغل المسرب الداخلي من المسارب المرورية، والعرض الإضافي لصعوبة القيادة على المنحنيات. ويوضح الشكل (4-21) المخطط الحسابي للتعريض الإضافي على المنحنيات مع كافة عناصر مكوناتها.

عند تحديد عرض المسارب W_c على المنحنى فإنه من الضروري اختيار المركبة التصميمية الملائمة والتي يجب أن تكون شاحنة لأن خروجها عن المسار (Offtracking) يكون بشكل أكبر من سيارة الركوب الصغيرة. وتمثل المركبة التصميمية WB-15 النموذج للطرق ذات مسربي مرور بالإتجاهين، كما يمكن اعتبار مركبات تصميمية أخرى عندما تقتضي معطيات المرور الفعلية ذلك.

ويوضح الجدول (4-23) قيم التعريض لمسارب المرور من أجل المركبة التصميمية WB-15 على الطرق بمسربي مرور في الاتجاهين، كما يتضمن الجدول (4-24) زيادة قيم التعريض لمجالين من أنصاف أقطار المنحنيات.



الشكل (4-21) عناصر تعريض المنحنيات على الطرق بمسربي مرور بالإتجاهين أو باتجاه واحد

يمكن حساب العرض الإضافي الذي تشغله المركبة عند عبورها المنحنى بالمقارنة مع العرض على الاستقامة بطريقة هندسية تأخذ بعين الاعتبار تراكب دواليب المركبة على المنحنى، حيث يمكن التغلب على تأثير التغير في الإزاحة الجانبية للدواليب الخلفية بالنسبة إلى الدواليب الأمامية وما ينجم عنها من صعوبة في قيادة وتوجيه المركبة عن طريق تعريض المسارب على المنحنيات بشكل مناسب.

يتم حساب العرض W_c من العلاقة التالية:

$$W_c = N\,(U+C) + (N-1)\,F_A + Z \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (\,33-4\,)$$

حيث أن:

N = عدد مسارب المرور

U = عرض مسار المركبة التصميمية (المسافة بين الوجهين الخارجيين للدواليب)، م

C = الخلوص الجانبي، م.

F_A = عرض البروز الأمامي للمركبة التي تشغل المسرب الداخلي من الغطاء، م.

Z = العرض الإضافي، م.

جدول (4–23) القيم الحسابية والتصميمية لتعريض مسارب الطريق (السطح) على منحنيات الطرق ذات مسربي مرور باتجاه واحد أو إتجاهين

نصف قطر المنحني(R)، متر	عرض مسارب الطريق (السطح) = 7.2 m						عرض مسارب الطريق (السطح) = 6.6 m						عرض مسارب الطريق (السطح) = 6.0 m					
	السرعة التصميمية ، كم / ساعة						السرعة التصميمية ، كم / ساعة						السرعة التصميمية ، كم / ساعة					
	50	60	70	80	90	100	50	60	70	80	90	100	50	60	70	80	90	100
3000	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.2	0.3	0.3	0.3	0.3	0.5	0.5	0.6	0.6	0.6	0.6
2500	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.5	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6
2000	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.4	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.7
1500	0.0	0.0	0.1	0.1	0.1	0.1	0.3	0.3	0.4	0.4	0.4	0.4	0.6	0.6	0.7	0.7	0.7	0.7
1000	0.1	0.1	0.1	0.2	0.2	0.2	0.4	0.4	0.4	0.5	0.5	0.5	0.7	0.7	0.7	0.8	0.8	0.8
900	0.1	0.1	0.2	0.2	0.2	0.3	0.4	0.4	0.5	0.5	0.5	0.6	0.7	0.7	0.8	0.8	0.8	0.9
800	0.1	0.2	0.2	0.2	0.3	0.3	0.4	0.5	0.5	0.5	0.6	0.6	0.7	0.8	0.8	0.8	0.9	0.9
700	0.2	0.2	0.2	0.3	0.3	0.4	0.5	0.5	0.5	0.6	0.6	0.7	0.8	0.8	0.8	0.9	0.9	1.0
600	0.2	0.3	0.3	0.3	0.4	0.4	0.5	0.6	0.6	0.6	0.7	0.7	0.8	0.9	0.9	0.9	1.0	1.0
500	0.3	0.3	0.4	0.4	0.5	0.5	0.6	0.6	0.7	0.7	0.8	0.8	0.9	0.9	1.0	1.0	1.1	1.1
400	0.4	0.4	0.5	0.5	0.6	0.6	0.7	0.7	0.8	0.8	0.9	0.9	1.0	1.0	1.1	1.1	1.2	1.2
300	0.5	0.6	0.6	0.7	0.8	0.8	0.8	0.9	0.9	1.0	1.1	1.1	1.1	1.2	1.2	1.3	1.4	1.4
250	0.6	0.7	0.8	0.8	0.9		0.9	1.0	1.1	1.1	1.2		1.2	1.3	1.4	1.4	1.5	
200	0.8	0.9	1.0	1.0			1.1	1.2	1.3	1.3			1.4	1.5	1.6	1.6		
150	1.1	1.2	1.3	1.3			1.4	1.5	1.6	1.6			1.7	1.8	1.9	1.9		
140	1.2	1.3					1.5	1.6					1.8	1.9				
130	1.3	1.4					1.6	1.7					1.9	2.0				
120	1.4	1.5					1.7	1.8					2.0	2.1				
110	1.5	1.6					1.8	1.9					2.1	2.2				
100	1.6	1.7					1.9	2.0					2.2	2.3				
90	1.8						2.1						2.4					
80	2.0						2.3						2.6					
70	2.3						2.6						2.9					

ملاحظات على الجدول (4–23):

1. الأرقام المبينة هي لقيم التعريض الموافقة للمركبة التصميمية (WB-15) ومن أجل المركبات الأخرى نستخدم التصحيحات الواردة في الجدول (4–24).
2. القيم التي تقل عن 0.6 م يمكن اهمالها.
3. ينبغي ضرب القيم الواردة في الجدول بـــ 1.5 من أجل الطرق ذات 3 مسارب مرور وضربها بـــ 2 من أجل الطرق ذات 4 مسارب مرور.

ومن أجل الطرق بأربع حارات مرور وغير مفصولة بجزيرة وسطية يجب أن يكون تعريض الطريق ضعف القيم التصميمية المتضمنة في الجدول (4–23)، وهذا يعني أن بعض القيم الأقل من 0.6 م والتي أهملت للطرق بحارتي مرور يمكن استخدامها هنا لأنه عند مضاعفتها للطرق بأربع حارات مرور ستصبح أكبر من القيمة الدنيا.

ويبين الجدول (4–24) قيم التعريض للطرق ذات مسربي مرور في الاتجاهين من أجل المركبة التصميمية WB-15 .

جدول (4-24) قيم تصحيح تعريض مسارب الطريق (السطح) على المنحنيات من أجل الطرق ذات مسربي مرور باتجاه واحد أو باتجاهين

نصف قطر المنحنى (R)، (م)	Design vehicle المركبة التصميمية						
	SU	WB-12	WB-19	WB-20	WB-20D	WB-30T	WB-33D
3000	-0.3	-0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1
2500	-0.3	-0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1
2000	-0.3	-0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1
1500	-0.4	-0.3	0.0	0.1	0.0	0.0	0.1
1000	-0.4	-0.4	0.1	0.1	0.0	0.0	0.2
900	-0.4	-0.4	0.1	0.1	0.0	0.0	0.2
800	-0.4	-0.4	0.1	0.1	0.0	0.0	0.2
700	-0.4	-0.4	0.1	0.1	0.0	0.0	0.3
600	-0.5	-0.4	0.1	0.1	0.0	0.1	0.3
500	-0.5	-0.4	0.1	0.2	0.0	0.1	0.4
400	-0.5	-0.4	0.2	0.2	0.0	0.1	0.5
300	-0.6	-0.5	0.2	0.3	-0.1	0.1	0.6
250	-0.7	-0.5	0.2	0.3	-0.1	0.1	0.8
200	-0.8	-0.6	0.3	0.4	-0.1	0.2	1.0
150	-0.9	-0.7	0.4	0.6	-0.1	0.2	1.3
140	-0.9	-0.7	0.4	0.6	-0.1	0.2	1.4
130	-1.0	-0.7	0.5	0.6	-0.2	0.2	1.5
120	-1.1	-0.8	0.5	0.7	-0.2	0.3	1.6
110	-1.1	-0.8	0.6	0.8	-0.2	0.3	1.7
100	-1.2	-0.9	0.6	0.8	-0.2	0.3	1.9
90	-1.3	-0.9	0.7	0.9	-0.2	0.3	2.1
80	-1.4	-1.0	0.8	1.1	-0.2	0.4	2.4
70	-1.6	-1.1	0.9	1.2	-0.3	0.5	2.8

ملاحظات على الجدول (4-24):

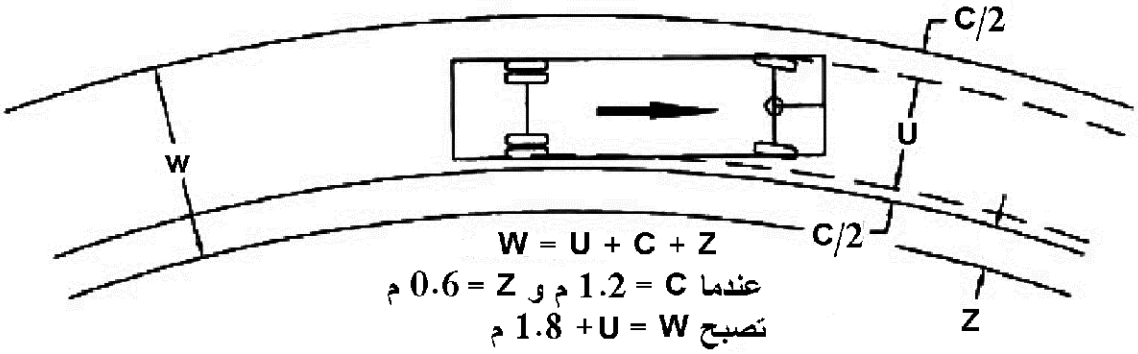
1. يتم تطبيق التصحيحات بإضافة أو انقاص القيم الواردة في الجدول (4-24).
2. تنطبق التصحيحات على أنصاف الأقطار والمركبات التصميمية فقط ولا تتعلق بعرض الطريق ولا بالسرعة التصميمة.
3. ينبغي ضرب القيم الواردة في الجدول بـــ 1.5 من أجل الطرق ذات 3 مسارب مرور وضربها بـــ 2 من أجل الطرق ذات 4 مسارب مرور.

4-2-6-1 القيم التصميمية لتعريض مسارب الطريق:

Design values for traveled way widening

يعتبر التعريض عملية مكلفة بينما نحصل بالمقابل على فائدة قليلة عند إجراء تعريض صغير. ومن الناحية العملية يمكن إهمال كافة قيم التعريض التي تقل عن 0.6 م. وحيث أن القيم الواردة في الجدول السابق (4-23) تخص المركبة التصميمية WB-15 لذلك يجب تطبيق القيم التصحيحية الواردة في الجدول (4-24) عند استخدام مركبات تصميمية أخرى.

إن القيم المبينة في الجدولين السابقين (4-23) و (4-24) قابلة للتطبيق على منحنيات الطرق المفتوحة، أما بالنسبة للمنحنيات على التقاطعات حيث تكون أنصاف الأقطار أقل بشكل عام فتكون المعايير الخاصة بالعروض التصميمية مختلفة نوعاً ما، أما القيم التصميمية فهي مبينة في الشكل (4-21).

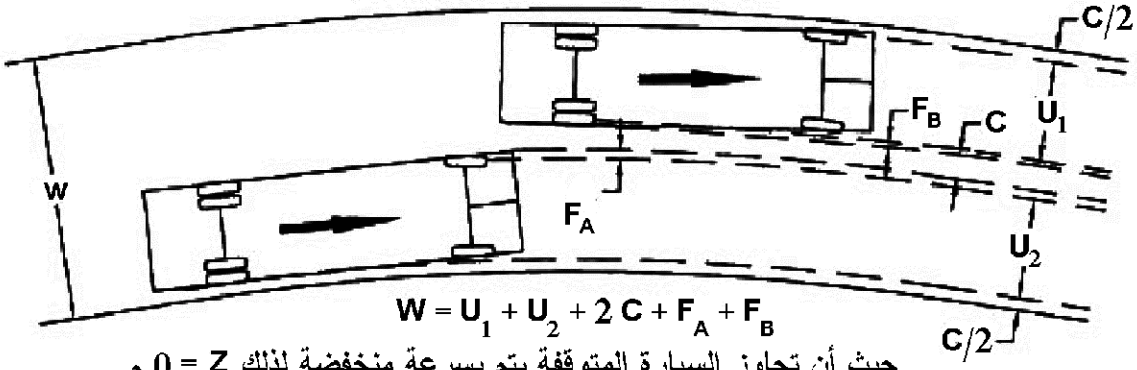


$W = U + C + Z$

عندما $C = 1.2$ م و $Z = 0.6$ م

تصبح $W = U + 1.8$ م

الحالة 1: مسرب واحد واتجاه واحد مع منع التجاوز



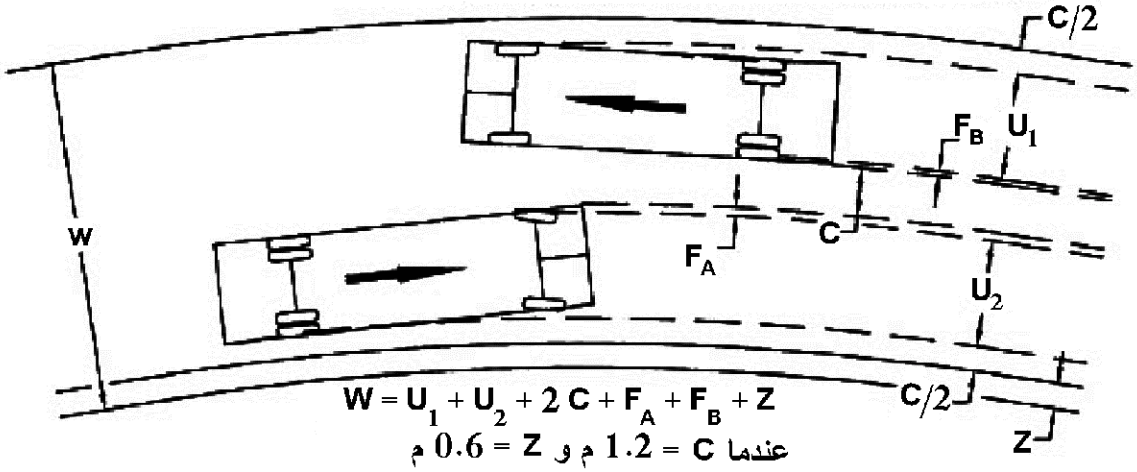
$W = U_1 + U_2 + 2C + F_A + F_B$

حيث أن تجاوز السيارة المتوقفة يتم بسرعة منخفضة لذلك $Z = 0$ م

و C تساوي نصف القيمة للحالتين 1 و 3 أي $C = 0.6$ م

تصبح $W = U_1 + U_2 + F_A + F_B + 1.2$

الحالة 2: مسرب واحد واتجاه واحد مع السماح بتجاوز المركبات المتوقفة



$W = U_1 + U_2 + 2C + F_A + F_B + Z$

عندما $C = 1.2$ م و $Z = 0.6$ م

تصبح $W = U_1 + U_2 + F_A + F_B + 3$

الحالة 3: مسربين باتجاه واحد أو باتجاهين

C = الخلوص الجانبي الكلي لكل شاحنة، م

Z = العرض الإضافي المسموح بحالات القيادة الصعبة على المنحنيات، م

U = عرض مسار الشاحنة، م

F_A = عرض البروز الأمامي، م

F_B = عرض البروز الخلفي، م

الشكل (4-21) استنتاج عروض مسارب الالتفاف على المنحنيات في التقاطعات

2-6-2-4 كيفية تحقيق التعريض عند المنحنيات

يتم الانتقال إلى التعريض الكامل على المنحنى الدائري بشكل تدريجي على طول المسافة الواقعة على الاستقامة أو المنحنى الانتقالي لتحقيق انسيابية مقبولة لحافة الطريق والتلاؤم السلس مع مسار دخول المركبات أوخروجها من المنحنى. وفيما يلي النقاط الأساسية المتعلقة بتعريض المنحنى والتي تطبق على نهايتي المنحنيات الطرقية:

1- يتم تطبيق التعريض على المنحنيات البسيطة (بدون منحنى انتقالي) فقط على الحافة الداخلية للطريق. أما في حال وجود منحنى وصل إنتقالي حلزوني فيمكن أن يتم التعريض للحافة الداخلية أو يتم توزيعه بشكل متساو على الجهتين. وفي الحالة الثانية يتم تمديد الاستقامة للحافة الخارجية لتجنب ظهور منحنى عكسي خفيف على الحافة الخارجية.

2- يجب أن يتم تعريض المنحنى بشكل تدريجي على مسافة كافية ليكون العرض الكامل للطريق قابلاً للاستخدام، وعلى الرغم من أنه يفضل أن يكون الجزء الانتقالي طويلاً لتسهيل الحركة، فقد ينجم عن ذلك أشرطة ضيقة قد يكون تنفيذها مكلفاً وصعباً، وعادة ما يكون الطول الانتقالي لمنطقة التعريض مساوياً للطول الداخلي للتعلية الأفقية، والذي يتراوح غالباً من 30 – 60 م.

3- من ناحية الفائدة والمظهر يجب أن تكون حافة سطح الطريق ضمن المنطقة الانتقالية ذات شكل انسيابي، كما يجب تجنب وجود الاستقامة في هذه المنطقة. وفي كل الأحوال يجب تجنب وجود زوايا أو انكسارات في حواف طبقة السطح عند نقاط إلتقاء المنطقة الانتقالية وبداية المنحنى أو الإستقامة.

4- على المنحنيات الدائرية للطرق (بدون منحنى انتقالي) يتم الربط وتحقيق الإنسيابية عبر تحقيق التعريض خلال مسافة تمتد من نصف إلى ثلثي الطول الانتقالي على الجزء المستقيم والباقي ضمن المنحنى الدائري، وهذا يتوافق مع الطريقة العامة لتحقيق التعلية الأفقية.

3-6-2-4 عرض طرق الالتفاف على التقاطعات بمستو واحد

يتم تصميم طرق الالتفاف على التقاطعات لخدمة حركة المرور باتجاه واحد أو اتجاهين حسب الخصائص الهندسية للتقاطع. ويعتمد الاختيار المناسب للمركبة التصميمية على حجم وتكرار مرور المركبات التي من المتوقع أن تستخدم التقاطع. ويتم تحديد عرض طريق الإلتفاف حسب نصف قطر المنحنى وعرض مسار المركبة التصميمية. ويوضح الشكل السابق (4-21) بطريقة تخطيطية عرض عناصر المركبة عند الدوران، مع اهمال تأثيرات التعلية الأفقية غير الكافية والسطوح ذات المقاومة المنخفضة للاحتكاك والتي تسبب إزاحة العجلات الخلفية للمركبات التي لا تسير بسرعة منخفضة، نحو الخارج.

يتم تصنيف طرق الإلتفاف لغايات التشغيل على النحو التالي:

- مسرب واحد للمرور مع عدم امكانية تجاوز المركبات المتوقفة،

- مسرب واحد للمرور مع وجود امكانية تجاوز المركبات المتوقفة،
- مسربي مرور باتجاه واحد أو باتجاهين.

ويتم عادة أخذ الحالات الثلاث التالية بعين الاعتبار عند التصميم:-

الحالة I – مسرب واحد واتجاه واحد مع عدم إمكانية تجاوز المركبات المتوقفة، وتلائم هذه الحالة حركات الإلتفاف الثانوية وحجوم المرور المتوسطة للحركات المنعطفة وعندما تكون طريق الوصل قصيرة نسبياً. حيث يكون احتمال توقف أو تعطل مركبة صغيراً ومع ذلك يجب أن يكون أحد حواف الطريق مكون من رصيف مائلاً أو بنفس المنسوب مع الكتف الجانبي.

الحالة II– مسرب واحد واتجاه واحد مع وجود إمكانية تجاوز المركبات المتوقفة بسرعة منخفضة. وتكون العروض ملائمة لحجوم المرور المتوسطة والمرتفعة والتي لا تزيد عن السعة لوصلة مكونة من مسرب مرور واحد. وتشمل هذه الحالة العديد من الرامبات (الوصلات الجانبية) المؤدية للتقاطعات التبادلية وحارات الالتفاف على التقاطعات. وفي هذه الحالة تكون العروض اللازمة من أجل المركبات الطويلة كبيرة جداً كما هو مبين في الجدول (4–25). أما العروض للحالة I للمركبات الطويلة مثل المركبات التصميمية WB-19 ، WB-20، WB-30T، WB-33D فيمكن أن تستخدم بالقيم الدنيا في حال وجود هذه المركبات بأعداد كافية لاعتبارها كمركبات تصميمية.

الحالة III– وجود مسربي مرور وتطبق هذه الحالة للتشغيل باتجاهين أو باتجاه واحد مع الحاجة لمسربي مرور للتعامل مع حجوم المرور الكبيرة.

4-6-2-4 القيم التصميمية

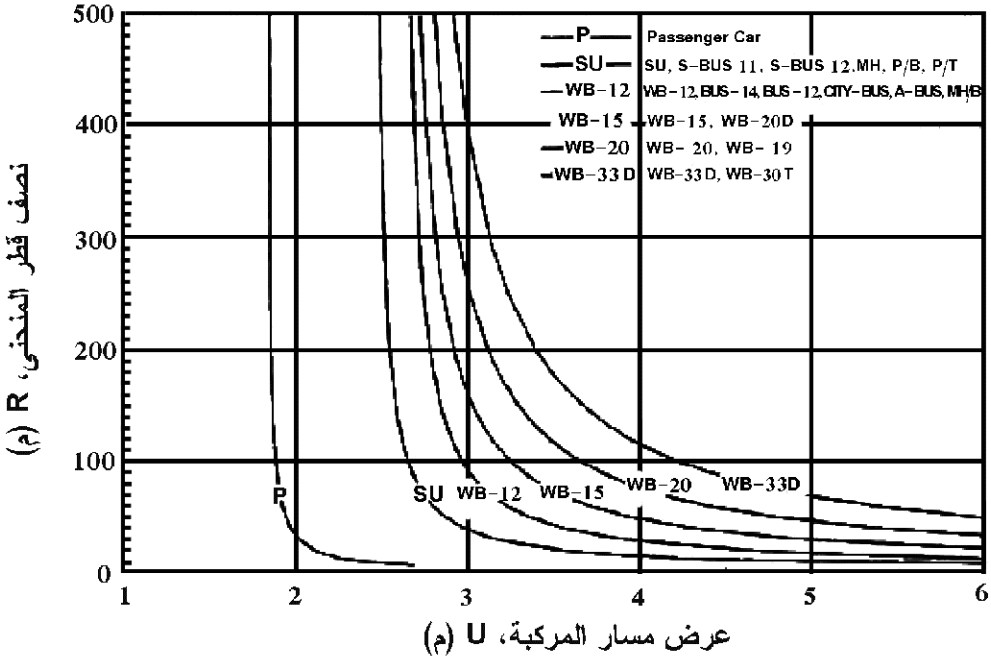
يتم الحصول على العرض الكلي لطرق الإلتفاف على التقاطعات من جمع عناصر العروض التي تم توضيحها سابقاً.

عند تحديد العرض للحالة I تؤخذ قيمة الفراغ الجانبي C الملائمة مساوية لـــ 1.2 م، ومسافة السماح الإضافية التي تأخذ بعين الاعتبار صعوبة القيادة Z على المنحنى تكون ثابتة وبمقدار 0.6 م لكافة أنصاف الأقطار التي تقل عن 150 م، وفي هذه الحالة لا يتم إدخال مسافة التعليق الأمامية (البروز الأمامي) F_A بسبب عدم وجود تجاوز للمركبات الأخرى.

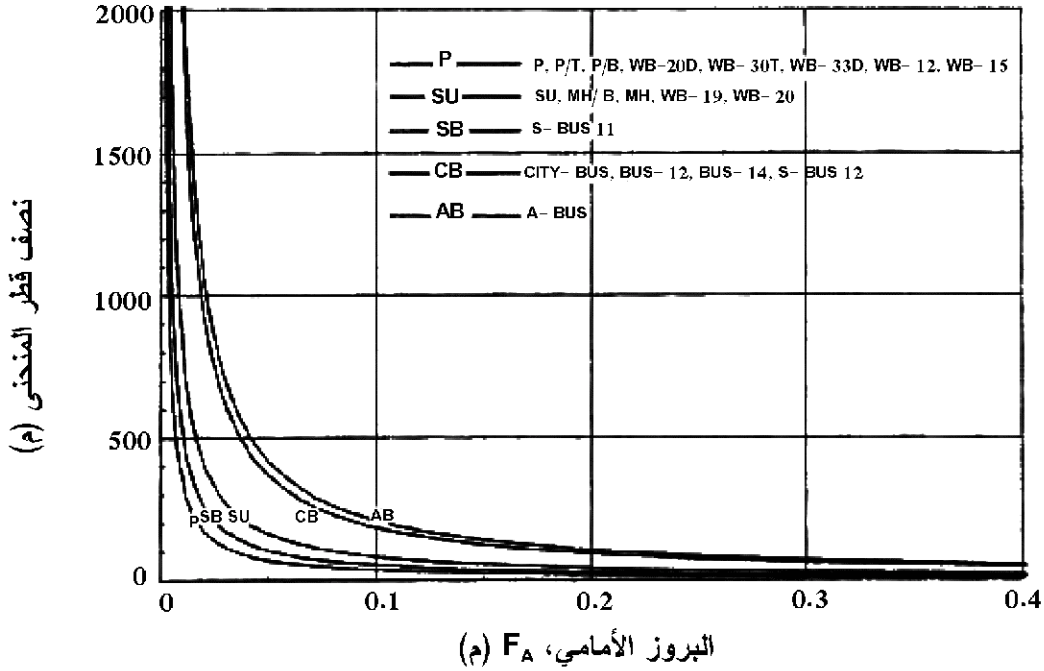
من أجل الحالة II يشمل العرض قيم U و C للمركبات المتوقفة وقيم U و C للمركبات التي تقوم بالتجاوز، وهنا يجب إضافة البروز الأمامي F_A لمركبة واحدة والبروز الخلفي F_B للمركبة الأخرى. تعتبر مسافة البروز الخلفي لسيارة الركوب الصغيرة 0.15 م وللمركبة الشاحنة التصميمية 0 . وتؤخذ قيمة الفراغ الكلي الجانبي C مساوية 0.6 م للمركبة المتوقفة و 0.6 م للمركبة التي تقوم بالتجاوز، وتهمل قيمة Z لأن تجاوز المركبة المتوقفة يتم بسرعة منخفضة.

تطبق كافة عناصر التعريض للحالة III. وتؤخذ قيم U و F_A من الشكلين (4–22) و (4–23) ويؤخذ الفراغ الجانبي C مساوياً 1.2 م من أجل سيارات الركوب الصغيرة، وتضاف قيمة Z المساوية لـــ 0.6 م للحصول على العرض الإجمالي.

يبين الجدول (4-25) العروض التي نحصل عليها من أجل أنصاف أقطار مختلفة، ونادراً ما تستخدم القيم المبينة في هذا الجدول بشكل مباشر لأن تعريض الطريق عند الالتفاف تتطلب أكثر من نمط واحد للمركبات. وتشكل العروض المطلوبة لمزيج مكون من مجموعة من مركبات التصميم دليلاً عملياً لتصميم التقاطعات. ويبين الجدول (4-26) قيم مثل هذه العروض.



الشكل (4-22) عرض مسار المركبة U من أجل حساب تعريض الطريق على المنحنيات



الشكل (4-23) عرض بروز المركبة الأمامي F_A من أجل حساب تعريض الطريق على المنحنيات

الجدول (4-25) عروض الرصف التصميمية لطرق الالتفاف من أجل مركبات تصميمية مختلفة

نصف قطر الحافة الداخلية لسطح الطريق (R)، م	P	SU	BUS-12	BUS-14	CITY-BUS	S-BUS11	S-BUS12	A-BUS	WB-12	WB-15	WB-19	WB-20	WB-20D	WB-30T	WB-33D	MH	P/T	P/B	MH/B
الحالة الأولى: مسرب واحد واتجاه واحد مع عدم إمكانية تجاوز المركبة المتوقفة (لا يوجد تصحيح)																			
15	4.0	5.5	6.6	7.2	6.5	5.7	5.5	6.7	7.0	9.7	13.3	15.7	8.8	11.6	--	5.5	5.7	5.4	6.5
25	3.9	5.0	5.7	5.9	5.6	5.1	5.0	5.7	5.8	7.2	8.5	9.0	6.8	7.9	12.0	5.0	5.1	4.9	5.5
30	3.8	4.9	5.4	5.7	5.4	5.0	4.9	5.5	5.5	6.7	7.7	8.1	6.3	7.3	10.4	4.9	5.0	4.8	5.3
50	3.7	4.6	5.0	5.2	5.0	4.7	4.6	5.0	5.0	5.7	6.3	6.5	5.5	6.1	7.7	4.6	4.7	4.6	4.9
75	3.7	4.5	4.8	4.9	4.8	4.5	4.5	4.9	4.8	5.3	5.7	5.9	5.2	5.6	6.7	4.5	4.5	4.5	4.7
100	3.7	4.5	4.8	4.9	4.8	4.5	4.5	4.9	4.8	5.3	5.7	5.9	5.2	5.6	6.7	4.5	4.5	4.5	4.7
125	3.7	4.5	4.8	4.9	4.8	4.5	4.5	4.9	4.8	5.3	5.7	5.9	5.2	5.6	6.7	4.5	4.5	4.5	4.7
150	3.7	4.5	4.8	4.9	4.8	4.5	4.5	4.9	4.8	5.3	5.7	5.9	5.2	5.6	6.7	4.5	4.5	4.5	4.7
المماس	3.6	4.2	4.4	4.4	4.4	4.2	4.2	4.4	4.2	4.4	4.4	4.4	4.4	4.4	4.4	4.2	4.2	4.2	4.2
الحالة الثانية: مسرب واحد واتجاه واحد مع تصحيح لتجاوز المركبة المتوقفة من قبل مركبة أخرى من نفس النوع																			
15	6.0	9.2	11.9	13.1	11.7	9.4	9.7	12.4	11.8	17.3	24.7	29.5	15.4	20.9	--	9.2	9.3	8.7	11.0
25	5.6	7.9	9.6	10.2	9.5	8.0	8.2	9.9	9.3	12.1	14.9	16.0	11.2	13.5	21.7	7.9	7.9	7.6	8.9
30	5.5	7.6	9.0	9.5	9.0	7.7	7.8	9.3	8.8	11.1	13.3	14.2	10.4	12.2	18.4	7.6	7.6	7.4	8.4
50	5.3	7.0	8.0	8.3	7.9	7.0	7.1	8.1	7.7	9.1	10.4	10.9	8.7	9.8	13.1	7.0	7.0	6.8	7.5
75	5.2	6.7	7.4	7.6	7.4	6.7	6.8	7.5	7.1	8.2	9.0	9.3	7.9	8.6	10.8	6.7	6.7	6.6	7.0
100	5.2	6.5	7.2	7.3	7.1	6.6	6.6	7.2	6.9	7.7	8.3	8.6	7.5	8.1	9.7	6.5	6.5	6.5	6.8
125	5.1	6.4	7.0	7.1	7.0	6.5	6.5	7.1	6.7	7.5	8.0	8.1	7.3	7.7	9.0	6.4	6.4	6.4	6.6
150	5.1	6.4	6.9	7.0	6.9	6.4	6.4	7.0	6.6	7.3	7.7	7.8	7.2	7.5	8.6	6.4	6.4	6.3	6.5
المماس	5.0	6.1	6.4	6.4	6.4	6.1	6.1	6.4	6.1	6.4	6.4	6.4	6.4	6.4	6.4	6.1	6.1	6.1	6.1
الحالة الثالثة: مسربين باتجاه واحد أو اتجاهين (نفس نوع المركبة في الاتجاهين)																			
15	7.8	11.0	13.7	14.9	13.5	11.2	11.5	14.2	13.6	19.1	26.5	31.3	17.2	22.7	--	11.0	11.1	10.5	12.8
25	7.4	9.7	11.4	12.0	11.3	9.8	10.0	11.7	11.1	13.9	16.7	17.8	13.0	15.3	23.5	9.7	9.7	9.4	10.7
30	7.3	9.4	10.8	11.3	10.8	9.5	9.6	11.1	10.6	12.9	15.1	16.0	12.2	14.0	20.2	9.4	9.4	9.2	10.2
50	7.1	8.8	9.8	10.1	9.7	8.8	8.9	9.9	9.5	10.9	12.2	12.7	10.5	11.6	14.9	8.8	8.8	8.6	9.3
75	7.0	8.5	9.2	9.4	9.2	8.5	8.6	9.3	8.9	10.0	10.8	11.1	9.7	10.4	12.6	8.5	8.5	8.4	8.8
100	7.0	8.3	9.0	9.1	8.9	8.4	8.4	9.0	8.7	9.5	10.1	10.4	9.3	9.9	11.5	8.3	8.3	8.3	8.6
125	6.9	8.2	8.8	8.9	8.8	8.3	8.3	8.9	8.5	9.3	9.8	9.9	9.1	9.5	10.8	8.2	8.2	8.2	8.4
150	6.9	8.2	8.7	8.8	8.7	8.2	8.2	8.8	8.4	9.1	9.5	9.6	9.0	9.3	10.4	8.2	8.2	8.1	8.3
المماس	6.8	7.9	8.2	8.2	8.2	7.9	7.9	8.2	7.9	8.2	8.2	8.2	8.2	8.2	8.2	7.9	7.9	7.9	7.9

الجدول (4–26) العروض التصميمية لحارات المرور على طرق الالتفاف

نصف قطر الحافة الداخلية لسطح الطريق R (م)	عرض حارات المرور (السطح)								
	الحالة الأولى مسرب واحد ، وتشغيل باتجاه واحد مع تصحيح لتجاوز السيارة المتوقفة			الحالة الثانية مسرب واحد ، وتشغيل باتجاه واحد مع تصحيح لتجاوز السيارة المتوقفة			الحالة الثالثة تشغيل مسربين إما باتجاه واحد أو باتجاهين		
	شروط المرور التصميمية								
	A	B	C	A	B	C	A	B	C
15	5.4	5.5	7.0	6.0	7.8	9.2	9.4	11.0	13.6
25	4.8	5.0	5.8	5.6	6.9	7.9	8.6	9.7	11.1
30	4.5	4.9	5.5	5.5	6.7	7.6	8.4	9.4	10.6
50	4.2	4.6	5.0	5.3	6.3	7.0	7.9	8.8	9.5
75	3.9	4.5	4.8	5.2	6.1	6.7	7.7	8.5	8.9
100	3.9	4.5	4.8	5.2	5.9	6.5	7.6	8.3	8.7
125	3.9	4.5	4.8	5.1	5.9	6.4	7.6	8.2	8.5
150	3.6	4.5	4.5	5.1	5.8	6.4	7.5	8.2	8.4
المماس	3.6	4.2	4.2	5.0	5.5	6.1	7.3	7.9	7.9
تعديل العرض مع الأخذ بعين الاعتبار معالجة الحافة									
كتف غير مثبت	لا يوجد			لا يوجد			لا يوجد		
أطروفة مائلة	لا يوجد			لا يوجد			لا يوجد		
أطروفة رأسية : طرف واحد طرفين	أضف 0.3 م أضف 0.6 م			لا يوجد أضف 0.3 م			أضف 0.3 م أضف 0.6 م		
كتف مثبت من جهة واحدة أو جهتين	يمكن إنقاص عرض المسرب من أجل الشروط B وC على المماس حتى 0.6 م عندما يكون عرض الكتف أكبر من 1.2 م			نطرح عرض الكتف بحيث لا يقل العرض الناجم كما هو مبين في الحالة الأولى			نطرح 0.6 عندما يزيد عرض الكتف عن 1.2 م		

ملاحظات على الجدول (4–26):

A. المركبة السائدة هي من نوع P مع الأخذ بعين الاعتبار المركبة SU.

B. يكفي أخذ المركبة التصميمة SU مع الأخذ بعين الاعتبار القاطرات وأنصاف المقطورات.

C. يكفي أخذ المركبة التصميمية BUS ومنظومة الشاحنات.

يتم توصيف الظروف المرورية الخاصة بتحديد عروض طرق الالتفاف وفقاً لثلاث حالات:

الظروف المرورية A وتسود فيها سيارات الركوب P مع مراعاة وجود شاحنات إفرادية (وحدة واحدة) SU، حيث تكون القيم المعطاة في الجدول (4–26) أعلى نوعاً ما من القيم الخاصة لسيارات الركوب الصغيرة P كما هو مبين في الجدول (4–25). أما قيم البروز الأمامي F_A فتؤخذ من الشكل (4-23).

الظروف المرورية B وتسود فيها الشاحنة الإفرادية SU في التصميم مع مراعاة القاطرات وأنصاف المقطورات وتكون القيم في الجدول (4–26) للحالتين I و III هي نفسها قيم SU في الجدول (3–25)، والقيم للحالة II هي القيم المخفضة.

الظروف المرورية C وتشمل القاطرات وأنصاف المقطورات WB-12 أو WB-15 كأساس للتصميم، وتكون القيم في الجدول (4–26) للحالتين I و III هي نفسها قيم الشاحنات WB-12 في الجدول (4–25)، والقيم للحالة II هي قيم مخفضة.

7-2-4 مسافة الرؤية على المنحنيات الأفقية

تعتبر مسافات الرؤية عبر الجهة الداخلية للمنحنيات أحد عناصر التخطيط الأفقي، في حال وجود عوائق للرؤية (مثل الجدران ومنحدرات الطابق الترابي في الحفر والأبنية والحواجز الجانبية الطولية) على الجهة الداخلية للمنحنيات أو للمسرب الأوسط على الطرق المفصولة الاتجاهات. وقد يتطلب التصميم تعديلاً للمقطع العرضي للطريق أو للمسار إذا لم يكن إزالة العوائق ممكناً من الناحية العملية أو من ناحية الكلفة. وتتطلب كل حالة دراسة محددة ومنفصلة مع الأخذ بعين الاعتبار السرعة التصميمية واقتراح الإجراءات والتعديلات التي تحقق مسافات رؤية كافية على المنحنى.

1-7-2-4 مسافة الرؤية للتوقف

عند تصميم المنحنيات الأفقية يعتبر خط النظر أو الرؤية هو وتر المنحنى ويتم قياس مسافة الرؤية للتوقف على طول محور (منتصف) المسرب الداخلي للطريق. ويبين الشكل (4–24) قيمة المسافة الداخلية M اللازمة لمنطقة الرؤية الخالية من العوائق والتي تلائم متطلبات مسافات التوقف على المنحنيات الأفقية الواردة في الجدول (4–21) والتي يتم تحديدها من أجل أنصاف أقطار مختلفة، كما يتضمن أنصاف الأقطار لكل قيم التعلية الأفقية حتى القيمة العليا المسموح بها 12%.

تم استنتاج قيم المسافة الداخلية المتوسطة M (Middle Ordinate) بشكل هندسي ولمسافات مختلفة كما هو موضح على الشكل (4–25) باستخدام المعادلة التالية:

$$M = R\left[1 - \cos\frac{28.65S}{R}\right] \quad \text{.....(34 - 4)}$$

حيث أن:

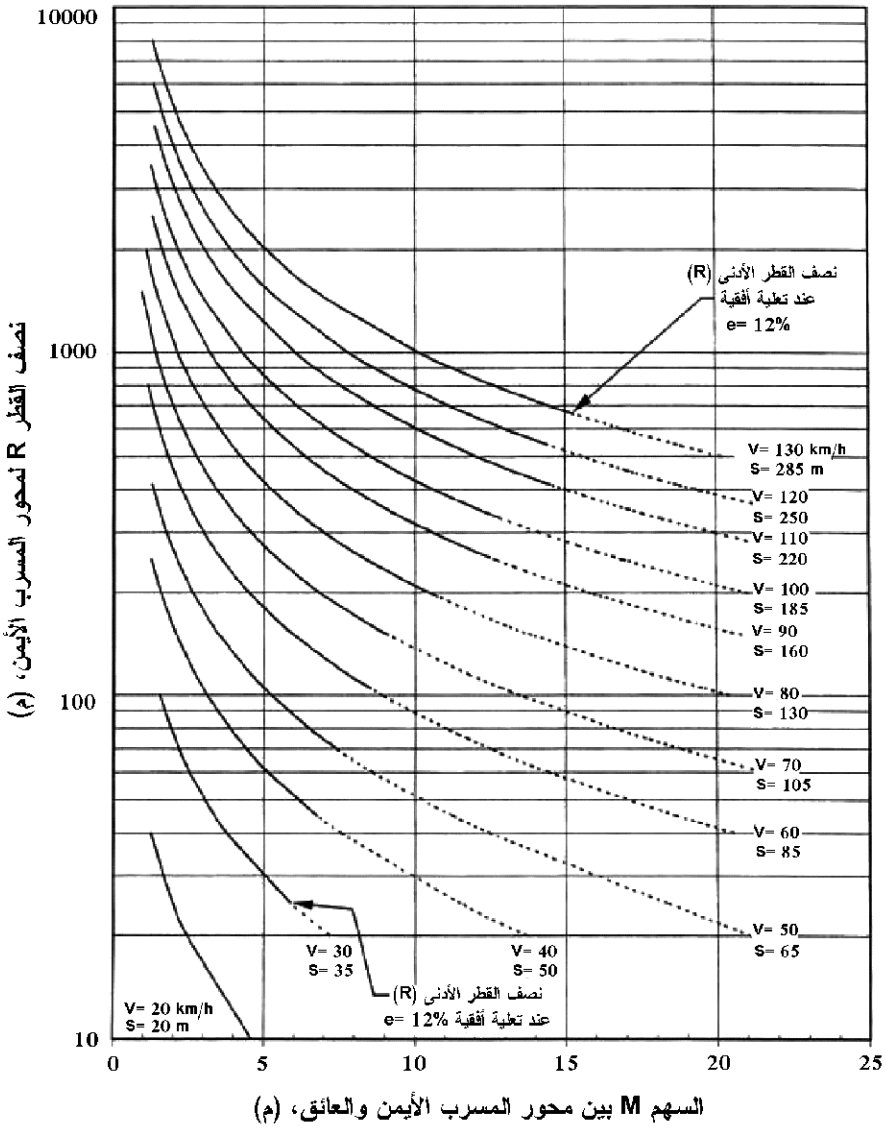
S = مسافة الرؤية للتوقف، م

R = نصف قطر المنحنى، م

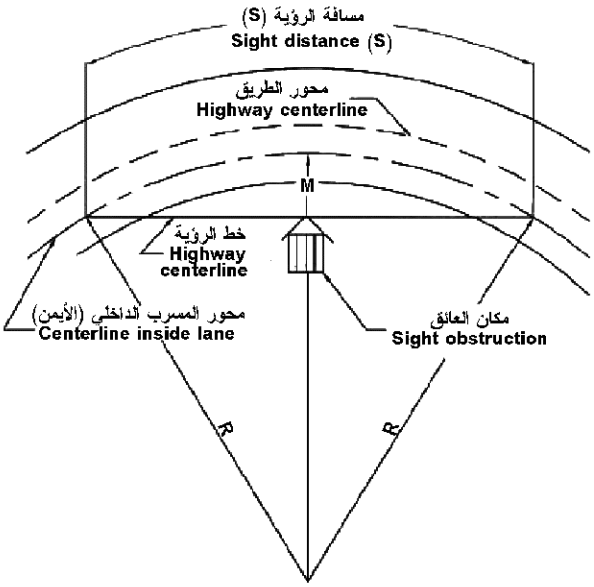
M = المسافة الداخلية (السهم بين محور المسرب الأيمن والعائق)، م

وتطبق هذه المعادلة فقط على المنحنيات الدائرية التي تكون أطول من مسافة الرؤية للتوقف لسرعة تصميمية محددة. ويمكن اختبار العلاقة بين R و M و V مباشرة على المخطط، فمثلاً من أجل سرعة تصميمية 80 كم/ساعة ومنحنى بنصف قطر 350 م تكون المسافة الداخلية لمنطقة الرؤية الخالية من العوائق والتي تحقق مسافة الرؤية للتوقف تساوي 6 م .

مثال آخر: إذا كانت المسافة الداخلية M تساوي 6 م اعتباراً من محور المسرب الداخلي ونصف قطر المنحنى R يساوي 175 م فإن مسافة الرؤية اللازمة سوف تتوافق مع السرعة التصميمية ومقدارها 60 كم / ساعة.



الشكل (4-24) عناصر التصميم لمسافة الرؤية للتوقف على المنحنيات الأفقية



الشكل (4-25) مخطط توضيحي للعناصر اللازمة لتحديد مسافة الرؤية الأفقية

يمكن أن يحصل إعاقة للرؤية الأفقية في أماكن منحدرات الحفر من الجهة الداخلية للمنحنى. إذا اعتبرنا ارتفاع عين السائق 1080 مم وارتفاع العائق 600 مم عند حساب مسافة الرؤية للتوقف، وكذلك ارتفاع النقطة الوسطية للإعاقة في منطقة الحفر لخط الرؤية 840 مم مع فرض وجود انحناء شاقولي خفيف أو عدم وجوده نهائياً، فنجد أنه من أجل طريق بعرض 6.6 م وأكتاف 1.2 م مع خندق جانبي بعرض 1.2 م ومنحدر حفر بميل 2 أفقي : 1 عامودي (2H : 1V) (أي كل 1 م ارتفاع رأسي يقابله مسافة أفقية 2 م) يكون خط إعاقة الرؤية على مسافة 5.75 م خارج محور المسرب الداخلي للطريق، ويعتبر هذا كافياً لتحقيق مسافة الرؤية للتوقف من أجل سرعة تصميمية 50 كم/ساعة ومنحنى أفقي بنصف قطر 90 م أو أكثر. وكذلك من أجل سرعة تصميمية 80 كم/ساعة ومنحنى أفقي بنصف قطر 375 م أو أكثر. وتعتبر المسافة الجانبية الخالية من العوائق بمقدار 16 م كافية على الطريق السريع لتأمين مسافات الرؤية للتوقف على المنحنيات الأفقية من أجل أي سرعة تصميمية وأي نصف قطر للمنحنى.

عند عدم وجود مسافات رؤية كافية للتوقف بسبب وجود حواجز طولية جانبية تشكل عائقاً للرؤية، يجب إعتماد بدائل تصميمية مناسبة من الناحيتين الفنية والاقتصادية ، وتتضمن هذه البدائل:

- زيادة المسافة الداخلية للعائق،
- زيادة نصف قطر المنحنى
- تخفيض السرعة التصميمية

ولا تتضمن البدائل تعريض الأكتاف الداخلية لأكثر من 3.6 م كي لا يتم استخدامها كمسرب مروري من قبل السائقين.

2-7-2-4 مسافة الرؤية للتجاوز

تعادل مسافة الرؤية للتجاوز على الطرق بمسربين في الاتجاهين أربعة أضعاف مسافة الرؤية للتوقف من أجل نفس السرعة التصميمية، ولتحقيق هذه المسافات الكبيرة يجب أن تكون المنطقة الداخلية الخالية من العوائق على المنحنى ذات عرض كبير جداً. تستخدم العلاقة (4-33) السابقة مباشرة لحساب مسافة الرؤية للتجاوز ولكن فائدتها محدودة عملياً ما عدا حالة المنحنيات الطويلة.

يتم قياس مسافة الرؤية للتجاوز بين ارتفاع عين السائق مساوٍ لـــ 1080 مم وارتفاع العائق 1080 مم، ويكون خط النظر قرب مركز المنطقة الداخلية للمنحنى أعلى بمقدار 240 مم منه لمسافة الرؤية للتوقف، وتكون المسافة الجانبية الناتجة للطرق ذات المقطع العرضي النظامي (حيث تتراوح ميول منحدرات الحفريات من 2 أفقي : 1 رأسي (2H : 1V) إلى 6 أفقي : 1 رأسي (6H : 1V) بين محور المسرب الداخلي وبين النقطة الوسطية لخط النظر أكبر منها لحالة مسافة الرؤية للتوقف بحدود من 0.5 إلى 1.5 م.

8-2-4 اشتراطات ونصائح عامة في التخطيط الأفقي للطرق:

إن معظم معايير التخطيط الأفقي يراد بها تحقيق الحد الأدنى للتصميم الذي يستند إلى عدة قيم منها عوامل الاحتكاك الجانبية والتعلية الأفقية ومسافات الرؤية الأفقية بالإضافة إلى اعتبارات الأمان و المظهر وبعض الاعتبارات الخاصة بالتخطيط الأفقي نذكر أهمها:

1. يجب أن يتلاءم التخطيط الأفقي للطريق ما أمكن مع تضاريس المنطقة التي يمر بها مع المحافظة على فعالية النشاط الاقتصادي والممتلكات المادية للمجتمع. ويفضل الأخذ بمحور انسيابي يتماشى مع خطوط التسوية (الكونتور) وليس محورا ذو استقامات طويلة متقاطعة مع خطوط التسوية، الأمر الذي يقلل من كلفة الإنشاء والاستثمار إلى الحد الأدنى. كما يجب التقليل من المنحنيات الحادة إلى أقصى حد ممكن، وعلى الرغم من أهمية المظهر الجمالي للطريق الناجم عن إنسيابية التخطيط الأفقي (حيث يأخذ المحور في المسقط الأفقي شكلاً منحنياً) فقد يكون من الضروري استخدام استقامات طويلة على الطرق ذات مسربي مرور في الاتجاهين من أجل تأمين مسافات رؤية للتجاوز كافية على أكبر طول ممكن من الناحية العملية.
2. يجب تجنب اللجوء إلى الحد الأدنى لنصف القطر كلما كان ذلك ممكناً من الناحية العملية عند تصميم التخطيط الأفقي من أجل سرعة تصميمية معينة. ومن المفضل استخدام منحنيات منبسطة (أنصاف أقطار كبيرة) والاحتفاظ بأنصاف الأقطار الدنيا للحالات الحرجة. وعلى العموم يجب أن تكون الزاوية المركزية لكل منحنى صغيرة بالحد الأقصى الذي تسمح به ظروف المكان.
3. يجب تجنب إنهاء الاستقامات الطويلة بمنحنيات حادة، وعند الضرورة يجب استخدام مجموعة منحنيات متدرجة في نصف القطر.
4. من أجل زوايا الدوران الصغيرة Deflection Angel يجب استخدام منحنيات طويلة لتجنب ظهور إلتواء مزعج. فمن أجل زاوية مركزية مقدارها 5 درجات يجب أن لا يقل طول المنحنى عن 150 م كما يجب زيادة هذا الطول بمقدار 30م لكل زيادة مقدارها درجة واحدة للزاوية المركزية. كما أن الطول الأدنى للمنحنيات الأفقية ($L_{c\ min}$) على الطرق الرئيسية يجب أن يساوي ثلاثة أضعاف السرعة التصميمية (V) المعبر عنها بـ كم/ساعة أي أن: $L_{c\ min} = 3V$ ، أما من أجل الطرق ذات التحكم بالمداخل والسرعة العالية والتي تكون منحنياتها منبسطة ولأسباب جمالية فمن المفضل أن لا يقل طول المنحنى عن ضعف القيمة السابقة أي أن $L_{c\ min} = 6 \times V$.
5. يجب تجنب استخدام المنحنيات الحادة على الاستقامات ذات الردميات العالية وكذلك في حال وجود منحدرات للحفريات أو عدم وجود شجيرات وأشجار فوق منسوب الطريق نظراً لصعوبة استيعاب السائقين مقدار الإنحناء في هذه الحالة وخفض السرعة بما يتناسب مع الوضع.

6. إن التفاوت الكبير في أنصاف الأقطار على المنحنيات المركبة يؤدي إلى نفس الأثر الذي يحدثه وصل استقامة مع منحنى حاد. وعندما تسمح الشروط الطبوغرافية وحدود حرم الطريق يجب أن لا يزيد نصف قطر المنحنى الأكبر R_1 عن المنحنى المجاور الأصغر R_2 عن 1.5 أي أن : $R_1 = 1.5 \times R_2$ وعلى الطرق ذات المسرب الواحد في الاتجاه الواحد كما هو الحال في الرمبات (الوصلات الجانبية) على التقاطعات فلا يفضل إدخال منحنى منبسط بين منحنيين حادين.

3-4 التخطيط الرأسي (تصميم المقطع الطولي) Vertical Alignment

1-3-4 التضاريس Terrain

تؤثر طبوغرافية المنطقة على تخطيط الطرق والشوارع، وخصوصاً على التخطيط الرأسي. وتقسم عادة تضاريس المنطقة إلى ثلاثة أنواع:

1. التضاريس السهلية: تكون مسافات الرؤية للطرق والتي تحدد من خلال العوائق الأفقية والرأسية بشكل عام أطول أو يمكن تحقيقها دون صعوبة في الإنشاء أو نفقات كبيرة.
2. التضاريس الهضبية: ميول طبيعية ترتفع عالياً وتنخفض للأسفل بشكل منسجم مع الميول الطولية للطريق أو الشارع وتعطي الميول الحادة بشكل متناوب بعض التقييد للمسارات الأفقية والرأسية لتخطيط الطريق.
3. التضاريس الجبلية: تكون التغيرات الطولية والعرضية في مناسيب الأرض دون اعتبار للطريق أو الشارع حادة. ويكون هناك حاجة كبيرة لتسوية وحفر سفوح الهضاب للحصول على تخطيط رأسي وأفقي مقبول.

يتعلق تصنيف التضاريس بالسمة العامة للمر (Corridor) الذي يقع فيه طريق معين، فالمسارات عبر الأودية أو الجبال والتي لها جميع خصائص الطرق والشوارع التي تجتاز تضاريس سهلية أو هضبية يجب تصنيفها على أنها سهلية أو هضبية. وبشكل عام تعطي التضاريس الهضبية ميولاً أشد من التضاريس السهلية، ويسبب ذلك انخفاض سرعة الشاحنات بشكل أكبر من انخفاض سرعة سيارات الركوب الصغيرة. كما أن للتضاريس الجبلية تأثير أكبر لدرجة أن بعض الشاحنات قد تضطر للحركة ببطء شديد.

2-3-4 الميول الطولية Grades

يجب تصميم الطرق والشوارع بحيث تشجع على سرعة تشغيل موحدة عبرها. وتستخدم السرعة التصميمية كأداة من أجل الربط بين عناصر التصميم المختلفة للطريق أو الشارع.

1-2-3-4 تأثير الخواص التشغيلية للسيارات على الميول الطولية

Vehicle Operating Characteristics on Grades

<u>سيارات الركوب الصغيرة</u>: يتباين سلوك سائقي سيارات الركوب الصغيرة على الميول الطولية بشكل كبير، لكن بشكل عام يمكن لكل سيارات الركوب الصغيرة التغلب بسهولة على ميول

صاعدة من 4 – 5 % دون انخفاض محسوس في السرعة عن تلك التي في الطرق السهلية المصانة بانتظام ويستثنى من ذلك سيارات الركوب الصغيرة ذات النسبة العالية من الوزن إلى قدرة المحرك والتي تشمل بعض السيارات الصغيرة الاقتصادية وشبه الاقتصادية. كما تبين أنه في حال عدم الازدحام فإن تأثير الميل الصاعد الذي لا يزيد عن 3 % يكون طفيفاً على سرعة حركة سيارات الركوب بالمقارنة مع سرعة الحركة في المناطق السهلية، وتتناقص السرعة كلما ازدادت الميول الأكبر حدة . أما على الميول الهابطة تكون سرعة سيارات الركوب الصغيرة عموماً أكبر بشكل طفيف مما هي عليه في الأجزاء السهلية، وذلك حسب ظروف الموقع.

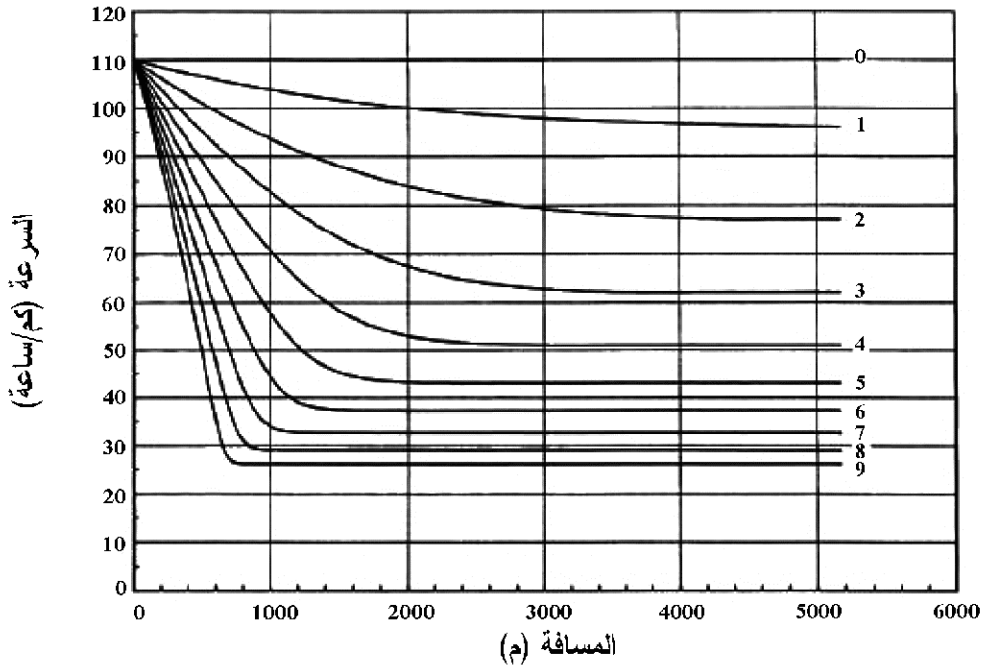
الشاحنات: إن تأثير الميول على سرعات الشاحنة أشد وضوحاً بكثير منه على سرعات سيارات الركوب الصغيرة. فمعدل سرعة الشاحنات على الأجزاء السهلية من الطريق يقارب معدل سرعة سيارات الركوب الصغيرة . وبشكل عام عندما يكون الميل هابطاً تزداد سرعة الشاحنات حتى حوالي 5 % وتتناقص السرعة اعتباراً من ميل حوالي 7% أو أكثر بالمقارنة مع السرعة على الأجزاء السهلية. وأما على الميول الصاعدة فتعتمد السرعة القصوى التي يمكن أن تحافظ عليها الشاحنة على طول انحدار الميل ونسبة وزن الشاحنة إلى قدرة محركها. ومن العوامل الأخرى المؤثرة على معدل سرعة الشاحنة في الميول الطولية هي: سرعة الدخول إلى الميل، والمقاومة الديناميكية للهواء، ومهارة السائق، علماً أن للعاملين الأخيرين تأثيراً محدوداً على معدل السرعة.

يوضح الشكلان (4–26) و (4–27) تأثير الميل الطولي ومسافته على تغير سرعة شاحنة ثقيلة نمطية. نستطيع من الشكل (4–26) تحديد المسافة التي تستطيع شاحنة بدأت صعودها بسرعة تزيد عن 120 كم/ساعة ومضت على ميول طولية مختلفة أو عدد متتالي من الميول قبل الوصول إلى سرعة نظامية معينة. مثلاً لسرعة دخول ميل طولي تساوي حوالي 110 كم/ساعة تسير الشاحنة مسافة 950 م على ميل صاعد يساوي 6% قبل أن تنخفض السرعة إلى 60 كم/ساعة. وإذا كانت سرعة الدخول 60 كم/ساعة تكون السرعة في نهاية الـــ 300 م صعوداً حوالي 43 كم/ساعة. ويحدد هذا من خلال بداية المنحنى لميل طولي يساوي 6 % يتوافق مع سرعة 60 كم/ساعة والتي تساوي عندها المسافة 750 م. والاستمرار مع المنحنى حتى النقطة التي على بعد 300 م منها (أي 1050 م من بداية المنحنى) حيث تكون عندها السرعة 43 كم/ساعة.

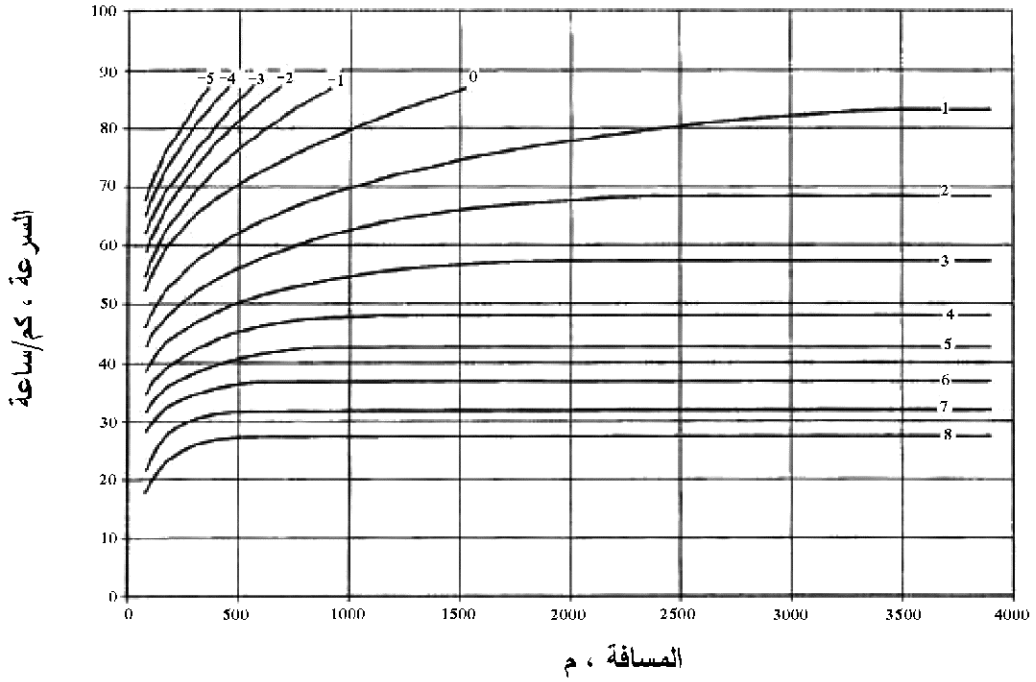
ويوضح الشكل (4–27) أداء الشاحنة على ميل طولي صاعد تدخله بسرعة قليلة (سرعة الزحف)، حيث يمكن للشاحنة أن تتسارع حتى سرعة 40 كم/ساعة أو أكثر عندما لا يزيد الميل الطولي عن 3.5%. ونستفيد من هذه المعطيات بشكل كبير في التصميم من أجل حساب تأثير الشاحنات على حركة المرور من أجل الحلول المختلفة للمقاطع الطولية.

يرتبط زمن رحلة الشاحنات (بالتالي سرعتها) على الميول الطولية بشكل مباشر مع نسبة وزن الشاحنة إلى قدرة محركها. فالشاحنات التي لها نفس النسبة النمطية (الوزن منسوباً للقدرة) يكون لها خواص التشغيل ذاتها. ولهذا السبب تساعد هذه النسبة بشكل هام في توقع أداء الشاحنات.

وبشكل نظامي يعبر عن هذه النسبة من حيث الوزن الإجمالي وقدرة المحرك الصافية والواحدة هي كغ/ك. واط. وقد تبين أن الشاحنات التي نسبة وزنها إلى قدرة محركها تساوي 120 كغ/ك.واط لها خصائص تشغيلية مقبولة من وجهة نظر مستخدمي الطرق. وتكفل مثل هذه النسبة سرعة دنيا تساوي 60 كم/ساعة وذلك على ميل طولي صاعد يساوي 3 %.



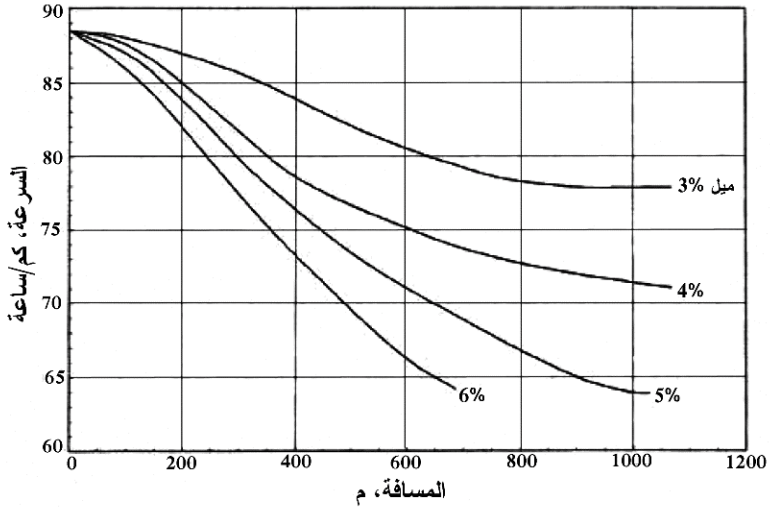
الشكل (4-26) منحنيات العلاقة بين السرعة والمسافة لشاحنة ثقيلة نمطية نسبة وزنها إلى قدرة المحرك تساوي 120كغ/ك واط من أجل التباطؤ على الميول الصاعدة



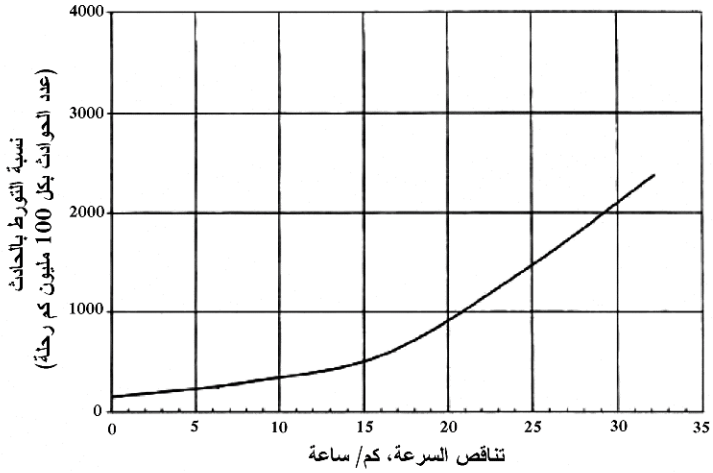
الشكل (4-27) منحنيات العلاقة بين السرعة والمسافة لشاحنة ثقيلة نمطية نسبة وزنها إلى قدرة المحرك تساوي 120كغ/ك واط من أجل التسارع على الميول الصاعدة والهابطة

هناك ميل باتجاه أن تكون الشاحنات أكبر وأثقل مع عدد أكبر من المقطورات قد يصل عددها إلى ثلاثة. وتشير الدراسات أنه بزيادة عدد المحاور تزداد كذلك نسبة الوزن إلى قدرة المحرك. وبأخذ كل هذه العوامل بالحسبان يظهر أنه يجب الحفاظ على استخدام نسبة تساوي 120 كغ/ك.واط في تحديد الطول الحرج للميل. ومع ذلك يوجد مواقع تكون فيها النسبة 120 كغ/ك.واط غير ملائمة. وعندما يحدث هذا يتم تشجيع المصمم للاستفادة إما من نسبة أكثر تمثيلاً للواقع أو من طرق بديلة تكون مناسبة بشكل أقرب لظروف الواقع.

مركبات الاستجمام: لا تؤثر مركبات الاستجمام على الميول الطولية بشكل حاسم كما هو الحال مع الشاحنات، ومع ذلك فهناك الطرق المخصصة للاستجمام حيث تكون نسبة الشاحنات قليلة ولا تبرر توفير مسرب خاص لتسلق الميل، ربما تدل حركة مرور مركبات الاستجمام على الحاجة لمسرب إضافي. ويوضح الشكل (4-28) منحنيات العلاقة بين المسافة والسرعة لمركبات الاستجمام التي تجر وراءها مقصورة من أجل ميول طولية صاعدة مختلفة.



الشكل (4- 28) منحنيات العلاقة بين المسافة والسرعة لمركبة استجمام تجر وراءها مقطورة من أجل ميول طولية صاعدة مختلفة



الشكل (4-29) نسبة تورط الشاحنات بالحوادث التي تقل سرعة جريانها عن معدل سرعة جريان كل التيار المروري

2-2-3-4 معايير الميول الطولية الحدية في التصميم Control Grades for Design

الميول الطولية العظمى: بالاعتماد على البيانات في الأشكال من (4–26) وحتى (4–29) ووفقاً لقيم الميول الحدية المستخدمة، يمكن تكوين دليل موجز معقول للميول الطولية لاستخدامه في التصميم. ويعتبر ميل طولي مساوي لـــ 5% مناسباً لسرعة تصميمية تساوي 110 كم/ساعة. وأما من أجل سرعة تصميمية تساوي 50 كم/ساعة فالميل الطولي الأقصى عموماً يقع ضمن مجال من 7 – 12 % وفقاً للتضاريس، وللطرق الأكثر أهمية يكون الميل الأقصى من 7 – 8% لهذه السرعة التصميمية. أما للسرعات التصميمية التي يقع مجالها بين قيم السرع من 60 – 100 كم/ساعة فإن القيم العظمى للميول الطولية تحدد وفق التصنيف الوظيفي للطريق.

يجب استخدام الميل الطولي الأعظمي فقط بشكل قليل وفي أغلب الحالات يجب أن يكون الميل الطولي أقل من القيم القصوى التصميمية. وعلى الطرف النقيض للميول الطولية الهابطة التي تمتد على مسافة تقل عن 150 م في طريق باتجاه واحد يمكن أن يكون الميل الطولي الأعظمي أكبر بحوالي 1% من باقي الحالات، وللطرق البرية ذات حجم المرور المنخفض يمكن أن يكون الميل الطولي أكبر بـــ 2 %.

الميول الطولية الدنيا: يمكن استخدام الميول البسيطة بدون مشاكل على الطرق التي لا تنتهي بأطاريف جانبية حيث تكون الميول العرضية كافية لتصريف مياه سطح الرصف جانبياً. وأما في الطرق والشوارع ذات الأطاريف فيجب توفير ميول طولية لتسهيل التصريف السطحي. ومن المفضل أن لا يقل الميل الطولي الأدنى عن 0.5 % ولكن يمكن استخدام ميل طولي 0.3 % في حالة الرصف عالي الجودة وبميل عرضي مناسب ودقيق ويستند على طابق ترابي ثابت. يجب الانتباه بشكل خاص إلى تصميم شبكة مصارف المياه أثناء العاصفة المطرية والمسافة بين البلاليع المطرية (Storm Water Inlets) بحيث يتم تصريف المياه بسرعة عن سطح الطريق. وتحتاج أقنية التصريف الجانبية والجزر الوسطية منخفضة المنسوب لميول أكبر من الميل الطولي للطريق لتأمين تصريف ملائم.

3-2-3-4 الأطوال الحدية للميول Critical Lengths of Grade for Design

لا يعتبر الميل الطولي الأقصى بحد ذاته محدداً كاملاً ووافياً للتصميم، حيث أنه من المناسب أيضاً مراعاة طول هذا الميل بالعلاقة مع الظروف التشغيلية للمركبات. ويستخدم مصطلح الطول الحرج للميل الطولي للإشارة إلى أقصى طول لميلٍ طولي صاعد محدد والذي تستطيع فيه شاحنة محملة أن تعمل دون انخفاض غير معقول في السرعة. ومن أجل وضع قيم تصميمية للأطوال الحرجة للميول الطولية والتي يكون العامل الحاسم في تحديدها هو إمكانية صعود الشاحنات، حيث نحتاج للمعطيات التالية:

1- حجم وقدرة الشاحنة الممثلة أو مجموعة من الشاحنات التي من الممكن استخدامها كمركبة تصميمية مع البيانات المتعلقة بقدرة المركبات على الصعود: وعادة ما تكون المركبة التصميمية شاحنة نسبة وزنها إلى قدرة محركها تساوي 120كغ/ك واط، وتطبق البيانات الواردة في الأشكال (4-26) و (4-27) على مثل هذه الشاحنة.

2- السرعة عند دخول ميل ذو طول حرج: يمكن استخدام معدل سرعة الجريان (السرعة التشغيلية) المرتبطة بالسرعة التصميمية لتقدير سرعة المركبات عند بداية صعودها مرتقى (ميل) ما. وبطبيعة الحال يخضع هذا التقدير للتعديل حسب مقتضيات ظروف الموقع. فعندما تقترب الشاحنة لميل طولي بمنطقة سهلية يمكن استخدام سرعة الجريان (السرعة أثناء الحركة) بشكل مباشر. أما عند اقترابها لميل طولي هابط فيجب زيادة السرعة نوعاً ما وبالعكس يجب انقاصها عند اقتراب الشاحنة من ميل صاعد.

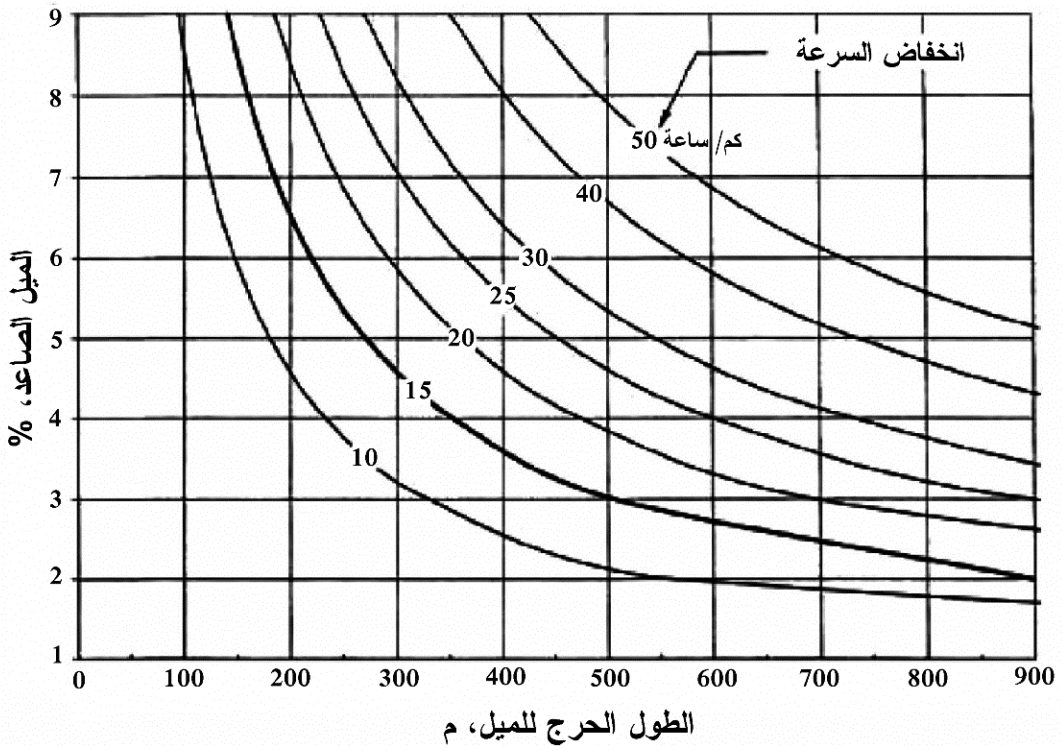
3- حدود السرعة الدنيا على الميول الطولية التي يُعتبر التداخل ما بين حركة المركبات المتتالية غير معقول (كبير): لا توجد بيانات محددة متاحة يمكن الاستناد عليها لتحديد السرعات الدنيا المقبولة للشاحنات على الميول الطولية الصاعدة، ومن المنطقي الإفتراض أن لها علاقة مباشرة بالسرعة التصميمية. وعلى الأرجح أن لا تكون السرعة الدنيا للشاحنات المساوية لـــ 40 – 60 كم/ساعة على معظم الطرق (والتي تكون السرعة التصميمية لها حوالي 60 – 100 كم/ساعة) مزعجة بشكل غير معقول للسائقين غير القادرين على القيام بالتجاوز على الطرق ذات المسربين، وذلك إذا ما كان الوقت المستغرق لعدم قدرتهم للتجاوز ليس طويلاً جداً.

وليس من المحتمل أن يكون زمن التنقل على طرق بمسربين في الاتجاهين وبحجوم مرور أقل من سعاتها مزعجاً للسائقين، وعلى العكس من ذلك يعتبر الأمر مزعجاً عندما يقترب حجم المرور من سعة الطريق. ويمكن السماح للشاحنات بسرعات أقل من الحدود الدنيا على الطرق متعددة المسارب خلافاً لما هو على الطرق بمسربين لأنها توفر فرصة أكبر للتجاوز وبأقل صعوبة. ويجب تصميم الطرق بحيث لا يتم تخفيض سرعات الشاحنات لدرجة تسبب ظروف لا تحتمل للسائقين الذين يسيرون خلفها.

والقاعدة العامة لتحديد الطول الحرج للميل الطولي تعتمد على مقدار الانخفاض بسرعة الشاحنات تحت معدل سرعة جريان المرور (السرعة التشغيلية أو السرعة أثناء الحركة). ومن الناحية النظرية تكون الحركة التشغيلية مثالية عندما تتحرك كل المركبات بنفس معدل السرعة، لكن ذلك غير ممكن من الناحية العملية. في الماضي كان يتم حساب الطول الحرج على أساس انخفاض سرعة الشاحنات حوالي 25 كم/ساعة تحت معدل سرعة الجريان للمرور بكافة أنواعه. وكما هو مبين بالشكل السابق (4-29) يزداد معدل التورط بالحادث بشكل ملحوظ عندما تنخفض سرعة الشاحنة بمقدار 15 كم/ساعة. ويصبح معدل التورط في حادث أكبر بـــ 2.4 مرة عند انخفاض السرعة بمقدار 25 كم/ساعة بالمقارنة مع إنخفاض في السرعة مقداره 15 كم/ساعة. لذلك

يوصى باعتماد مقدار الانخفاض في سرعة الشاحنات 15 كم/ساعة كمعيار في حساب الطول الحرج للميل الطولي.

يبين الشكل (4–30) الطول لأي ميل طولي معطى والذي يسبب خفض سرعة الشاحنة الممثلة (120 كغ/ك.واط) التي تدخل الميل الطولي بسرعة 110 كم/ساعة بقيم مختلفة تحت معدل سرعة الجريان للمرور بكافة أنواعه، والتي تستند إلى بيانات أداء الشاحنة الموضحة بالشكل السابق (4–26) وبالتالي استخدام تخفيض للسرعة بمقدار 15 كم/ساعة كدليل عام في تحديد طول الميل الحرج.



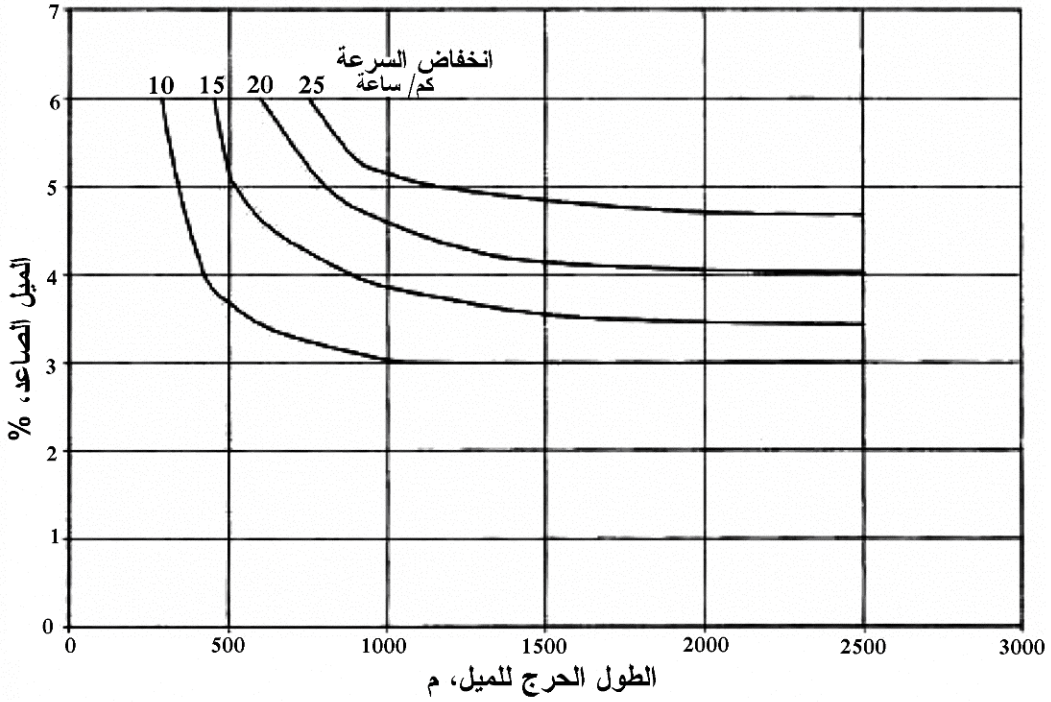
الشكل (4–30) الأطوال الحرجة (الحدية) للميول الطولية المستخدمة للتصميم وذلك بفرض شاحنة ثقيلة نمطية (120 كغ/ك واط) وسرعة دخول الميل 110 كم/ساعة

كما يبين الشكل (4–31) الأطوال الحرجة للميول الطولية لمركبات الاستجمام والتي تستند على بيانات أداء مركبة الاستجمام الواردة في الشكل السابق (4–28).

عندما تكون سرعة الدخول إلى ميل صاعد أقل من 110 كم/ساعة ستحدث الانخفاضات في السرعة الموضحة في الشكلين السابقين (4–30) و (4–31) ضمن مسافات أقصر للميول الطولية، وبالعكس عندما يكون الاقتراب من ميل هابط بسرعة 110 كم/ساعة فالشاحنة أو مركبة الاستجمام ستقطع مسافة أكبر (أطول) من مسافة الميل الطولي المبينة بالشكلين السابقين (4–30) و (4–31) قبل أن تنخفض السرعة إلى القيم الموضحة.

ويبين المثال التالي طريقة استخدام الشكل (4–30) لتحديد المسافات الحدية للميل الطولي. بفرض أن السرعة التصميمية لطريق تساوي 100 كم/ساعة وأن ميل الطريق يتراوح من مستوٍ (إلى حد

ما) إلى ميل صاعد يساوي 4%. يوضح منحنى تخفيض السرعة بقيمة 15 كم/ساعة المبين في الشكل السابق (4-30) أن الطول الحرج للميل الطولي يساوي 350 م. أما إذا كانت السرعة التصميمية 60 كم/ساعة فإن السرعة الأولية الدنيا المسموحة على الميل الطولي ستكون مختلفة، لكن من أجل نفس التخفيض المسموح في السرعة سيبقى طول الميل الحرج مساوٍ لـــ 360 م.



الشكل (4-31) الأطوال الحرجة (الحدية) للميول الطولية المستخدمة بسرعة اقتراب مساوية 90 كم/ساعة من أجل مركبة استجمام ممثلة

وفي مثال آخر لحساب الطول الحرج لميل طولي صاعد يساوي 5% تم الدخول إليه بعد قطع مسافة 500 م على ميل طولي صاعد يساوي 2%. ويبين الشكل (4-30) أن ميل طولي صاعد بنسبة 2% ولمسافة 500 م يؤدي الى تخفيض في السرعة بمقدار 9 كم/ساعة، كما يبين الشكل أن الانخفاض المتبقي المسموح به للسرعة هو 6 كم/ساعة والذي سيحدث على مسافة 100 م من الميل الطولي الصاعد المساوي 5%.

عندما يتم الاقتراب من ميل طولي للطريق صاعد بالقوة الدافعة لميل طولي هابط غالباً ما تزيد الشاحنات الثقيلة من سرعتها، وفي بعض الأحيان تزيدها إلى درجة كبيرة لكي تتمكن من تسلق الميل الطولي بأقصى سرعة ممكنة. ويمكن إدراك هذا العامل في التصميم بزيادة التخفيض المسموح به للسرعة. ويبقى للمصمم الحكم إلى أي مدى ستزيد سرعة الشاحنات عند أسفل الميل الطولي الهابط نتيجة قوة الدفع عن سرعة الشاحنات المتوقعة فيما لو أنها سارت على طريق بميلٍ طولي مستوي. ويمكن فرض زيادة في السرعة حوالي 10 كم/ساعة من أجل ميول هابطة معتدلة، وزيادة في السرعة حوالي 15 كم/ساعة من أجل ميول هابطة حادة و بأطوال متوسطة أو كبيرة. وعلى هذا الأساس يكون انخفاض السرعة المسموح به على الميل الطولي للطريق الهابط نتيجة قوة الدفع هو 25 أو 30 كم/ساعة. على سبيل المثال، يمكن فرض انخفاض مقبول للسرعة

مساوٍ لـــ 25 كم/ساعة عند وجود ميل هابط متوسط الطول مساوٍ لـــ 4% قبل ميل صاعد مساوٍ لـــ 6% وفي هذه الحالة يكون الطول الحرج لميل صاعد مساوٍ لـــ 6% حوالي 300 م.

يمكن استنتاج الأطوال الحرجة للميول الطولية المبينة في الشكل (4-30) بدلالة طول المماس للمنحنى الرأسي. وعندما يكون المنحنى الرأسي جزء من الطول الحرج للميل الطولي، فيمكن استخدام طول المماس المكافئ تقريباً للدلالة على الطول الحرج.

يمكن أيضاً أن يكون للميول الطولية شديدة الانحدار تأثير ضار على سعة الطريق وسلامة المرور على الطرق ذات حجوم المرور الكبيرة مع نسبة عالية من الشاحنات الثقيلة. وبعض هذه المنحدرات طويل ووعر لدرجة أن بعض الشاحنات تضطر للسير بسرعة بطيئة جداً (تصل إلى الزحف) لتجنب فقدان السيطرة على المركبة. وتعيق مثل هذه الشاحنات البطيئة جداً حركة المركبات الأخرى ولذلك يجب إضافة مسرب خاص بالشاحنات في مثل هذه الحالة، ولمزيد من التفصيل والتحليل حول هذا الموضوع يمكن الاستعانة بدليل سعة الطريق الأمريكي HCM.

ليس المقصود أن تكون معايير التصميم المقترحة لتحديد المسافة الحرجة للميل الطولي نهائية ولكن يمكن اعتبارها كخطوط توجيه. ففي بعض الحالات قد تعيق التضاريس أو العوامل الفيزيائية الأخرى إمكانية تقصير أو تخفيف الميل الطولي لتحقيق معايير التصميم هذه. وعندها لا يمكن تجنب تخفيض السرعة أقل من القيم التصميمية المقترحة مما يؤدي إلى حالات غير مرغوبة من الظروف التشغيلية للطرق ذات النسبة العالية من الشاحنات وخصوصاً على الطرق ذات مسربي المرور في الاتجاهين وحجوم مرور قريبة من السعة، وفي بعض الحالات كذلك على الطرق متعددة المسارب.

وعندما يتم تجاوز الطول الحرج للميل الطولي يجب اتخاذ جملة من الإجراءات بعين الاعتبار لتأمين مسارب صعود مخصصة للمركبات بطيئة الحركة. ويمكن استخدام الشكل (4-30) مع بعض الاعتبارات الأخرى ذات الصلة وخصوصاً بيانات حجم المرور والسعة ونسبة الشاحنات لتحديد فيما إذا كان إضافة مسرب تسلق عملاً مبرراً من الناحية الفنية والاقتصادية.

4-3-3 مسارب التسلق Climbing Lanes

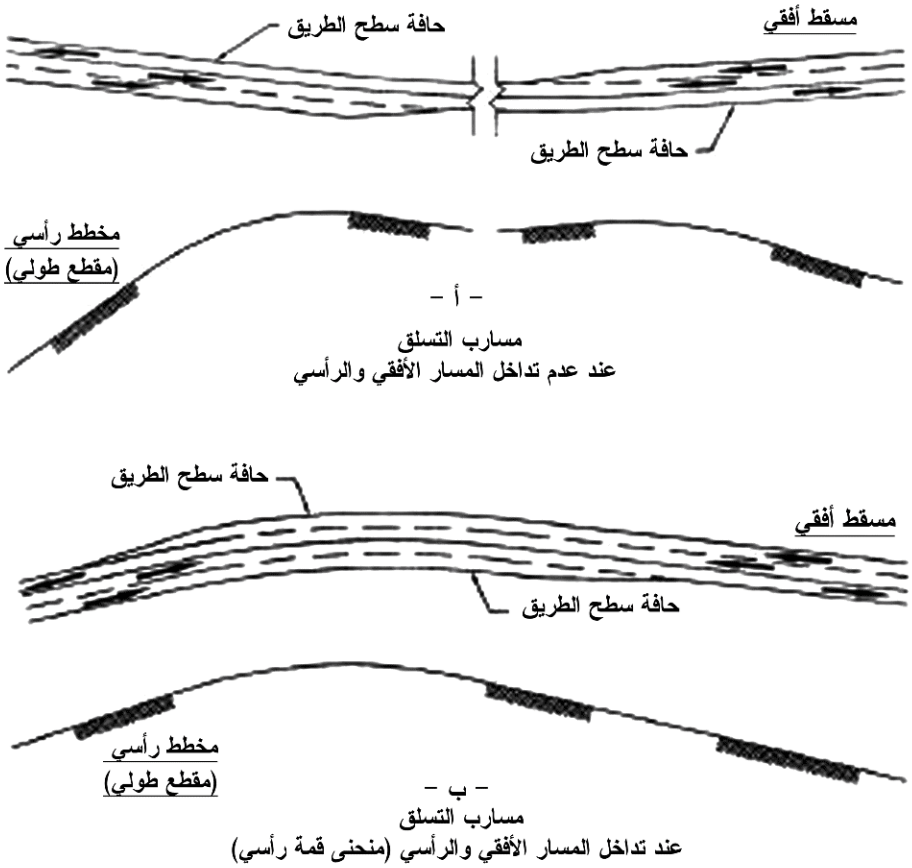
4-3-3-1 مسارب التسلق لطريق ذو مسربي مرور في الاتجاهين

Climbing Lanes for Two Lane Highway

<u>عموميات</u>: تتأثر حرية وسلامة الحركة على الطرق ذات مسربي مرور في الاتجاهين إضافة إلى تأثرها بمدى وتكرار مقاطع التجاوز سلباً بشروط تشغيل الشاحنات ذات الحمولة الثقيلة على الميول الطولية ذات الطول الكافي يؤدي إلى سرعات يمكن أن تعيق حركة المركبات التي خلفها. في الماضي كان إضافة مسارب تسلق لتحسين شروط التشغيل على الميول الطولية الصاعدة محدوداً نوعاً ما بسبب زيادة تكاليف الإنشاء الإضافية اللازمة لذلك. وفيما بعد أصبحت هذه المسارب اليوم أكثر انتشاراً بسبب زيادة مدة التأخير وعدد الحوادث الخطيرة التي تقع على

الميول الطولية بهدف تحسين شروط السلامة المرورية. ويوضح الشكل (4–29) السابق معدل تورط الشاحنات في الحوادث الناتجة عن هذه الظروف.

لا يمكن اعتبار مقطع الطريق المزود بمسرب تسلق (صعود) على أنها طرق ذات ثلاثة مسارب بل تعتبر طريق بمسربين ومسرب إضافي مخصص للشاحنات بطيئة الحركة أثناء الصعود بحيث لا تعيق حركة باقي المركبات التي تستخدم المسرب النظامي على يمين محور الطريق. وعندها تستطيع المركبات الأسرع تجاوز المركبات البطيئة أثناء صعودها دون أن تضطر لاستخدام المسرب المعاكس كما في حالة الطرق التقليدية ذات مسربي المرور بالاتجاهين. ويوضح الشكل (4–32–أ) و(4–32–ب) تصاميم طرق ذات مسربي مرور بالاتجاهين ومسارب تسلق. ويتم تصميم مسارب تسلق لكل اتجاه بشكل منفصل عن الآخر. واستناداً لشروط التخطيط الأفقي والرأسي والذي من الممكن أن لا يتداخلا مع بعضها كما في الشكل (4–32–أ) أو قد يتداخلا كما في الشكل (4–32–ب) وذلك عندما يكون هناك منحنى قمة رأسي بميل طويل من كل جانب.



الشكل (4–32) مسارب تسلق على طريق ذو مسربين مرور في الاتجاهين

من المفضل تأمين مسرب تسلق كمسرب إضافي للاتجاه الصاعد على طريق ذي مسربي مرور بالاتجاهين عندما يجتمع كل من الميل الطولي وحجم المرور ونسبة الشاحنات الثقيلة ليشكلوا ظروف تشغيلية لحركة مرورية أسوأ بكثير من تلك السائدة قبل الشروع بالصعود على الميل الطولي، وفي العادة يتجاوب السائقون بشكل جيد مع استخدام مسارب تسلق عند إضافتها.

أما بالنسبة للطرق ذات حجوم المرور المنخفضة فقد تتعرض بعض السيارات للتأخير عند المسير على الميول الصاعدة، ورغم أنه من الأفضل وجود مسارب تسلق لكنها قد تكون غير مبررة من الناحية الاقتصادية حتى ولو تم تجاوز الطول الحرج للميل الطولي.

يجب توافر المعايير الثلاثة التالية التي تعكس الاعتبارات الاقتصادية لتبرير إضافة مسرب تسلق:

المعيار الأول: عندما يتجاوز معدل تدفق المرور على الميل الصاعد 200 مركبة/ساعة.

المعيار الثاني: عندما يتجاوز تدفق مرور الشاحنات على الميل الصاعد 20 مركبة/ساعة.

المعيار الثالث: عند وجود أحد الحالات التالية:

- عند توقع انخفاض في سرعة الشاحنة الثقيلة الممثلة بـــ 15 كم/ساعة أو أكثر.
- مستوى خدمة E أو F على الميل الطولي.
- انخفاض مستو الخدمة بمستويين أو أكثر عند الانتقال من القسم المستوي قبل الميل الطولي إلى الميل الطولي.

وقد تبرر ظروف سلامة المرور إضافة مسرب تسلق بغض النظر عن الميل الطولي وحجوم المرور.

يتم تحديد معدل التدفق على الميل الصاعد بضرب حجم المرور الحالي في الساعة أو المتوقع بعامل التوزيع الاتجاهي للاتجاه الصاعد وتقسيم النتيجة على عامل ساعة الذروة Peak Hour Factor. يمكن الحصول على عدد الشاحنات الصاعدة بضرب معدل تدفق المرور الصاعد بالنسبة المئوية للشاحنات في الاتجاه الصاعد.

الشاحنات: كما تم الإشارة له في الفقرة السابقة يكفي تحقيق شرط واحد فقط من الشروط الثلاثة المحددة بالمعيار الثالث. يمكن استنتاج الطول الحرج للميل الطولي الموافق لتخفيض سرعة مقداره 15 كم/ساعة في الشكل (4–30) ومقارنته مع الطول الفعلي المطلوب تقييمه. فإذا كان الطول الحرج للميل الطولي أقل من طول الميل الطولي المدروس فإن المعيار الثالث محقق. ويجب إجراء هذا التقييم بداية لأنه عند تم تجاوز الطول الحرج للميل الطولي فإنه ليست هناك حاجة لإجراء تقييمات أخرى تحت المعيار الثالث.

عندما لا يتم تجاوز الميل الحرج للميل الطولي فإنه يجب مراعاة تبرير مسارب التسلق من وجهة نظر سعة الطريق. وتستخدم الإجراءات الواردة في دليل سعة الطريق الأمريكي HCM لتحليل ميل طولي معين على طريق ذي مسربي مرور باتجاهين. ويتم تقييم باقي الشروط في المعيار الثالث باستخدام الإجراءات الواردة في دليل سعة الطريق الأمريكي HCM. ويقاس تأثير الشاحنات على السعة وبشكل أساسي بدلالة الفرق بين معدل سرعة الشاحنات ومعدل سرعة جريان (السرعة التشغيلية / السرعة أثناء الحركة) سيارات الركوب الصغيرة على الطريق. كما تؤثر الأبعاد الفيزيائية (المادية) للشاحنة الثقيلة وخصائص التسارع الضعيفة على المساحة التي تحتاجها ضمن تيار حركة المرور.

إذا لم يصل انخفاض السرعة إلى 15 كم/ساعة (أي إذا لم يتم تجاوز الطول الحرج للميل الطولي) عندها يجب تقييم مستوى الخدمة على الميل الطولي لتحديد فيما إذا كان مستوى الخدمة E أو F موجوداً. وينجز ذلك من خلال حساب القيم الحدية والخاصة بمعدل تدفق المرور الخدمي من أجل مستوى خدمة D ومقارنة هذا المعدل مع تدفق المرور الفعلي على الميل الطولي. ويتم تعيين معدل تدفق المرور الفعلي بتقسيم حجم المرور في الساعة على عامل ساعة الذروة. و يتحقق المعيار الثالث الخاص بمسارب التسلق (الصعود) إذا تجاوز معدل تدفق المرور الفعلي معدل تدفق المرور الخدمي عند مستوى خدمة D. وعندما يكون معدل تدفق المرور الفعلي أقل من القيمة الحدية يكون إضافة مسرب التسلق عملاً غير مبرراً من خلال البند الثاني من المعيار الثالث.

يجب أن يعتمد موقع المسرب الإضافي على السرعات التي تقترب فيها الشاحنات من الميل الطولي وعلى مدى مسافة الرؤية قبل هذا الميل. وعندما لا توجد عوائق على مسافة الرؤية أو أي ظروف أخرى تحد من السرعة على القسم الواقع قبل الميل الطولي يوضع المسرب الإضافي بعد بداية الميل الطولي الصاعد لأن سرعة الشاحنات لن تنخفض عن المستوى المسموح للسائقين الذين يسيرون خلفهم حتى يصعدوا مسافة ما على الميل. وتصل السعة إلى قيمتها القصوى عند انخفاض سرعة الشاحنات حتى 60 كم/ساعة ويعتبر انخفاض سرعة الشاحنات بمقدار 15 كم/ساعة عن معدل سرعة الجريان، الانخفاض العملي الأكثر ملائمة من حيث مستوى الخدمة وشروط السلامة المرورية. لذا يعد الانخفاض في السرعة المساوي 15 كم/ساعة أساساً مقبولاً من أجل تحديد موقع بداية مسرب التسلق. ويمكن تحديد المسافة من بداية صعود الميل الطولي حتى النقطة التي تهبط فيها سرعة الشاحنة بمقدار 15 كم/ساعة تحت معدل سرعة الجريان من خلال الشكل (4–26) أو الشكل (4–30) بالاعتماد على نسبة وزن الشاحنة إلى قدرة محركها. على سبيل المثال، بفرض أن شاحنة نسبة وزنها إلى قدرة محركها تساوي 120 كغ/ك.واط تسير ضمن تيار حركة مرور بمعدل سرعة 110 كم/ساعة فإنه من المتوقع حدوث انخفاض في السرعة بمقدار 15 كم/ساعة على مسافات تتراوح من 175– 350 م تقريباً من أجل ميول طولية تتراوح بين 4 – 7 %. وتزداد هذه المسافة بوجود ميل طولي هابط قبله وتنخفض بوجود ميل صاعد قبله. وهكذا تستخدم هذه المسافات التي تم تحديدها لتعيين النقطة التي يجب أن يبدأ فيها مسرب التسلق. وعند وجود عوائق قبل الميل الصاعد أو أي ظروف أخرى تشير إلى احتمال تخفيض سرعة الشاحنات التي ستشرع بالصعود عندها يجب وضع المسرب الإضافي قرب بداية هذا الميل الطولي. ويجب أن يسبق هذا المسرب الإضافي مسافة انتقالية Tapered Section (متغيرة العرض) بتغير تدريجي في العرض مقداره 25:1 على أن لا يقل طولها عن 50 م.

يتطلب التصميم المثالي مد مسرب التسلق إلى نقطة أبعد من منحنى القمة الرأسي حيث يمكن لشاحنة نمطية أن تحقق تناقصاً في السرعة بمقدار 15 كم/ساعة كحد أقصى مقارنة بسرعات باقي المركبات و يفضل أن لا تقل عن 60 كم/ساعة. وقد لا يكون هذا قابلاً للتطبيق في كثير من الحالات بسبب الطول المفرط للمسافة المطلوبة لتتسارع الشاحنات حتى الوصول للسرعة

المناسبة. في مثل هذه الحالات تكون النقطة العملية التي تشكل نهاية المسرب الإضافي تلك التي تستطيع فيها الشاحنات العودة إلى المسرب النظامي دون حدوث تداخل مزعج مع باقي السيارات، وبشكل خاص عندما تصبح مسافة الرؤية كافية لتسمح بالتجاوز عندما لا يوجد مرور مقترب أو من الأفضل أن لا تقل المسافة عن 60 م وراء تلك النقطة. ويجب تأمين مسافة انتقالية مناسبة Taper تسمح للشاحنات بالعودة بشكل سلس إلى المسرب النظامي. مثلاً لطريق ما عندما تكون مسافة الرؤية المتاحة للتجاوز 30 م بعد منحنى قمة رأسي فيجب مد مسرب التسلق مسافة 90 م وراء منحنى القمة الرأسي مضافاً إليها 60 م. بالإضافة إلى مسافة انتقالية بتغير تدريجي للعرض مقداره 50:1 وبطول لا يقل عن 60 م.

من المفضل أن يكون عرض مسارب التسلق مساوي لعرض مسارب العبور المجاورة. ويجب إنشاؤها بحيث يمكن تميزها مباشرة على أنها مسرب إضافي لاتجاه واحد من الطريق. كما يجب تعليم خط محور المسربين النظاميين بشكل واضح وكذلك الخطوط الخاصة بمناطق عدم التجاوز. ويمكن استخدام إشارات لتوجيه المركبات بطيئة الحركة إلى مسارب التسلق، ومن الأمثلة على ذلك التزام المرور البطيء أو الشاحنات المسرب الأيمن للطريق. ولمزيد من التفاصيل حول اشارات المرور وتحديد مسارب التسلق يمكن العودة إلى دليل تجهيزات السلامة المرورية MUTCD.

تعامل الميول العرضية لمسارب التسلق عادة بنفس أسلوب المسرب الإضافي في الطريق متعدد المسارب. وعادة يوجد حالتين يمكن التعامل معها: إما الاستمرار في الميل العرضي أو إنشاء مسرب بميل عرضي أكبر قليلاً من المسرب المجاور له. وعلى المقاطع ذات التعلية الأفقية يكون الميل العرضي بشكل عام استمراراً للميل العرضي المستخدم للمسارب المجاورة.

يجب أن يكون عرض الأكتاف الجانبية لمسرب التسلق نفس عرض الأكتاف على المقطع العرضي للمسربين النظاميين وخصوصاً عندما توجد حركة مرور للدراجات. ومع ذلك قد يكون هذا غير عملي وخاصة عندما يضاف مسرب تسلق على طريق قائم، حيث يعتبر عرض الكتف الممكن استخدامه المساوي لـــ 1.2 م أو أكبر عرضاً مقبولاً. على الرغم من أن ذلك لا يكفي لتوقف المركبات بعيداً عن مسرب التسلق. إلا أن عرض كتف مساوي لـــ 1.2 م مع مسرب التسلق عادة ما يوفر عرض كافٍ لتوقف المركبات وإتاحة الفرصة للمركبات بطيئة الحركة بتجاوزها دون الحاجة للتعدي على المسرب الجانبي المجاور.

وهكذا توفر مسارب التسلق وسيلة غير مكلفة نسبياً للتغلب على المشاكل المرتبطة بانخفاض السعة وتؤدي إلى تحسين شروط التشغيل عندما تسبب الشاحنات البطيئة في حصول ازدحام على الميول الطولية والمتزامنة مع وجود حجوم المرور الكبيرة، كما تعمل على تحسين شروط السلامة المرورية. ويمكن أن يؤدي إنشاء مسارب تسلق على بعض الطرق القائمة ذات مسربين باتجاهين إلى إرجاء إعادة تأهيله لعدة سنوات أو لأجل غير مسمى. وعند القيام بتصميم جديد يمكن أن يؤدي إضافة مسارب تسلق للطرق بمسربين في الاتجاهين إلى تحسين شروط التشغيل مما يغني عن اللجوء إلى طريق بمسربين في كل اتجاه يكون أعلى كلفة بكثير.

4-3-3-2 مسارب التسلق على الطرق الحرة والطرق متعددة مسارب المرور

Climbing Lanes on Freeways and Multilane Highways

عموميات: على الرغم أن مسارب التسلق قد أصبحت أكثر انتشاراً غير أنها لم تستخدم إلى حد بعيد على الطرق الحرة والطرق متعددة المسارب كما هي الحال على الطرق ذات مسربي مرور بالاتجاهين، ويعود السبب إلى أن لهذا النوع من الطرق سعات أكبر للتعامل مع متطلبات المرور بما فيه نسب مئوية نمطية للمركبات بطيئة الحركة تتصف بنسب عالية لوزنها منسوبة إلى قدرة محركها، دون أن يؤدي ذلك إلى حدوث إزدحام. وليس من السهل عادة تبرير إنشاء مسارب تسلق على الطرق متعددة المسارب كما على الطرق ذات مسربي المرور في الاتجاهين لأن في الأخيرة كثيراً ما يمنع المرور في الإتجاه المعاكس على المسرب المجاور للمركبات من تجاوز المركبات الأخرى بطيئة الحركة على الميول الطولية الصاعدة، في حين هذا النوع من الإعاقة غير موجود على الطرق متعددة المسارب. ولا تعيق المركبات البطيئة على المسرب النظامي الأيمن المركبات الموجودة وراءها لأن الأخيرة تستطيع الانتقال سريعاً إلى اليسار نحو المسرب المجاور ومواصلة طريقها بدون معوقات، مع العلم أن شروط السلامة تتعزز عندما تسير كل المركبات في التيار المروري بنفس السرعة.

بما أن الطرق تصمم في العادة لـــ 20 سنة مستقبلية أو أكثر، لذا يكون احتمال تبرير مسارب التسلق على الطرق متعددة المسارب أقل منها على الطرق ذات مسربي المرور في الاتجاهين حتى بعد عدة سنوات من الإنشاء، رغم أنه هناك اعتقاد أنه من الأفضل تصميمها من أجل ساعة الذروة للسنة التصميمية.

على الرغم من أن مسارب التسلق تلاءم المناطق الخلوية إلا أنه لحد ما قد نحتاجها في المناطق الحضرية فهي مهمة خصوصاً لحرية الحركة على الطرق الحرة عندما تكون حجوم المرور كبيرة وقريبة من السعة.

الشاحنات: إن مبادئ تعيين مدى الحاجة لمسارب تسلق على الطرق متعددة المسارب هي: الأطوال الحرجة للميل الطولي، تأثير الشاحنة على الميول الطولية من خلال تحويلها إلى عدد من سيارات الركوب الصغيرة المكافئة، وحجوم المرور التخديمية لمستوى الخدمة المرغوب ومستوى الخدمة الأقل التي تليها.

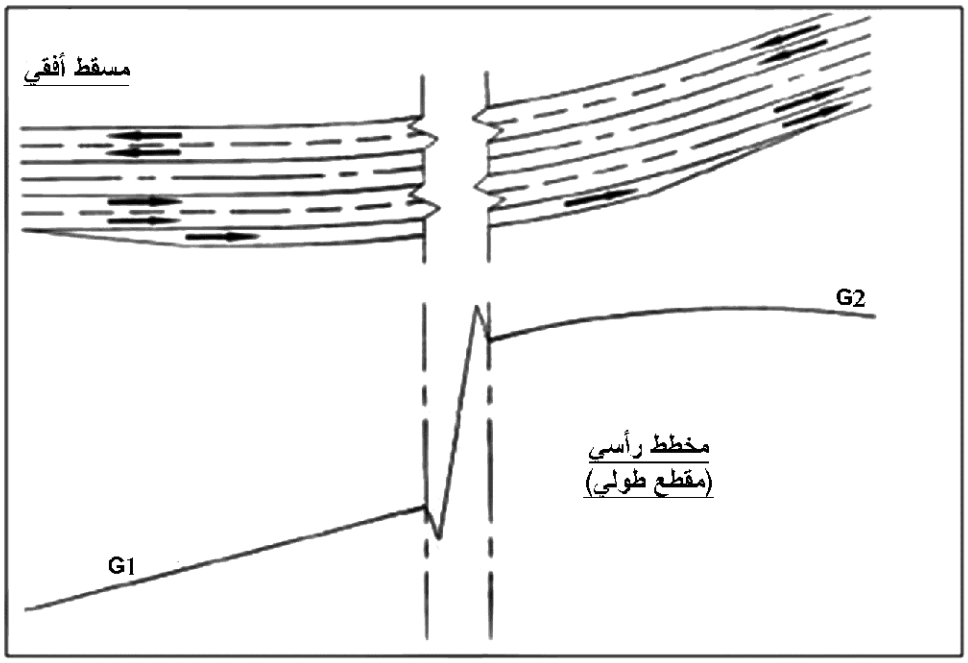
لقد تم تعريف الطول الحرج للميل الطولي بأنه طول معين من ميل صاعد تنخفض خلاله سرعة المركبة الشاحنة 15 كم/ساعة تحت معدل سرعة جريان باقي المرور، والذي يمكن استنتاجه من الشكل (4–30) ومقارنته مع الطول الفعلي للميل الطول الذي يجري تقييمه، فإذا كان الطول الحرج أقل من الطول الفعلي فإن إنشاء مسرب تسلق يكون عملاً مبرراً.

عند تحديد حجم المرور التخديمي يكون تحويل الشاحنات إلى سيارات ركوب صغيرة مكافئة هاماً جداً ومن المعروف بشكل عام أن للشاحنات على الطرق متعددة المسارب تأثير أقل في إعاقة المركبات التي تسير وراءها من الطرق ذات المسربين باتجاهين. ويعطي دليل سعة الطريق

الأمريكي HCM مقارنة مفصلة لتحويل الشاحنات إلى سيارات ركوب صغيرة مكافئة لمقاطع بنفس الميل الطولي ونفس الطول على هذين النوعين من الطرق (طرق بمسربين وطرق متعددة المسارب).

بشكل عام لا ينبغي اعتبار مسارب تسلق ما لم يكن حجم المرور في الاتجاه الصاعد مساوياً لحجم المرور الخدمي عند مستوى الخدمة D. في أغلب الحالات عندما يكون حجم المرور الخدمي بما فيه الشاحنات أكثر من 1700 مركبة/ساعة/مسرب وكان طول الميل الطولي ونسبة الشاحنات كافية لتنفيذ مسارب تسلق عندها، فمن المحتمل أن يقترب أو يتجاوز حجم المرور (معبر عنه بسيارات ركوب صغيرة مكافئة) السعة. في هذه الحالة فإن زيادة عدد المسارب على مثل هذه المقاطع من الطريق يمثل استثمار أفضل من توفير مسارب التسلق من حيث ضمان مستوى خدمة أفضل. كما يعد وجود مسارب التسلق على الطرق ذات أربع مسارب بالاتجاهين غير مبرراً عندما يكون حجوم المرور في الاتجاه الواحد أقل من 1000 مركبة/ساعة/مسرب بغض النظر عن نسبة الشاحنات.

في العادة توضع مسارب التسلق على الطرق متعددة المسارب إلى الخارج أو الجانب الأيمن من الطريق كما هو موضح في الشكل (4-33). وقد نوقشت مبادئ المقطع العرضي وتعيين النقاط الطرفية (بداية ونهاية مسرب التسلق) ومخطط المسافات الانتقالية لمسارب التسلق سابقاً في هذا الفصل فيما يتعلق بالطرق ذات مسربي مرور بالاتجاهين حيث تطبق المبادئ نفسها على الطرق متعددة المسارب. والاعتبار الأساسي هو تحديد نهاية الصعود لمسرب التسلق ويكون عادة عند النقطة التي تصل فيها سرعة الشاحنات إلى قيمة ملائمة والتي عادة تكون أقل بـــ 15 كم/ساعة من معدل سرعة الجريان على الطريق. وليس هناك حاجة لمراعاة مسافة الرؤية للتجاوز في الطرق متعددة المسارب.

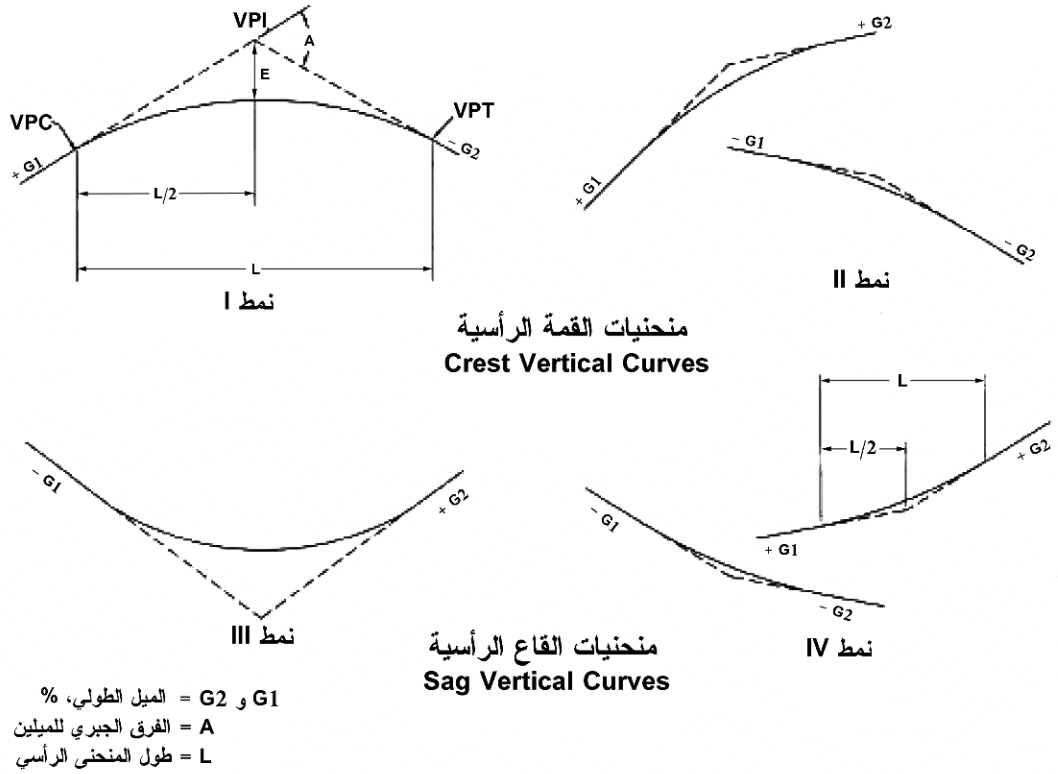


الشكل (4-33) مسارب التسلق على الطرق الحرة أو الطرق متعددة المسارب

4-3-4 المنحنيات الرأسية Vertical Curves

1-4-3-4 اعتبارات عامة General Considerations

تستخدم المنحنيات الرأسية لتأمين تغيير تدريجي بين استقامتي الميلين الطوليين والتي يمكن أن تكون ضمن نمطين هما منحنيات القمة الرأسية أو منحنيات القاع الرأسية التي يوضحهما الشكل (4-34). ويجب أن تكون المنحنيات الرأسية بسيطة في الاستخدام كما يجب أن تؤدي إلى تصميم آمن ومريح من ناحية التشغيل وممتع بالمظهر وملائم للتصريف. والعامل الرئيسي لتوفير حركة آمنة على منحنيات القمة الرأسية هو تأمين مسافات رؤية كبيرة من أجل السرعة التصميمية والتي يجب أن توفر الحد الأدنى من مسافة الرؤية للتوقف كما هو موضح في الجدول السابق (4-1). ويجب استخدام مسافات رؤية كبيرة كلما أمكن ذلك، كما يجب إضافة مسافة رؤية للقرار.



الشكل (4-34) أنماط المنحنيات الرأسية

ومن أجل الحفاظ على راحة السائق يجب أن يكون معدل تغير الميل الطولي ضمن الحدود المسموحة. وهذا الاعتبار هو الأكثر أهمية في منحنيات القاع الرأسية حيث تعمل قوة الجاذبية والقوى النابذة الشاقولية باتجاهين متعاكسين. كما يجب مراعاة المظهر في تصميم المنحنيات الرأسية فالمنحنيات الرأسية الطولية ذات مظهر أكثر متعة من القصيرة حيث يمكن أن تعطي هذه الأخيرة شعوراً بالانكسار المفاجئ في المقطع الطولي نظراً لقصرها.

يحتاج التصريف على منحنيات القاع الرأسية في الطرق ذات الأطاريف (نمط III من الشكل 4-34) لتصميم مقطع طولي لا يقل ميله عن 0.5 % وفي أقصى الحالات لا يقل عن 0.3 % .

من أجل التبسيط يتم عادة استخدام منحنى على شكل قطع مكافئ ذو محور تناظر رأسي يمر من ذروته Vertical Point of Intersection (VPI) في تصميم المقطع الطولي للطريق. وتتزايد الازاحة الرأسية (السهم الرأسي) على المماس بشكل يتناسب طرداً مع مربع المسافة الأفقية من نهاية المنحنى (نقطة التماس). وتحسب الازاحة الرأسية لأي نقطة على طول المنحنى بالنسبة للمماس كنسبة من الازاحة الرأسية عند الذروة الذي يساوي AL/800 كما هو موضح في الشكل (4-34). ويكون معدل تغير الميل الطولي على نقاط متتالية من المنحنى ثابت القيمة من أجل زيادات متساوية للمسافات الأفقية ويساوي الفرق الجبري بين المماسين المتقاطعين (A) مقسوماً على طول المنحنى (L) بالمتر أو A/L كنسبة مئوية بالمتر. أما المقلوب L/A فهو المسافة الأفقية بالمتر المطلوبة من أجل تغير مقداره 1% من الميل الطولي ولذا فهو يعبر عن درجة الانحناء وبتعبير آخر هو نصف قطر القطع المكافئ في منتصفه مضروب بـــ 100 أي: R=100 x K . ويصطلح على ترميز هذه النسبة بـــ K والذي يفيد في تحديد المسافة الأفقية من نقطة بداية المنحنى الرأسي Vertical Point of Curvature (VPC) إلى أعلى نقطة من منحنيات القمة الرأسية (نمط I) أو إلى أخفض نقطة من منحنيات القاع الرأسية (نمط III) والتي يكون الميل عندها مساوٍ لصفر. وتبعد هذه النقطة عن بداية المنحنى الرأسي مسافة أفقية تساوي K مضروباً بالميل الطولي للاستقامة ما قبل المنحنى. كما تعد K مفيدة أيضاً في تحديد الأطوال الدنيا للمنحنيات الرأسية من أجل مختلف السرعات التصميمية.

2-4-3-4 منحنيات القمة الرأسية Crest Vertical Curves

تعتبر الأطوال الدنيا لمنحنيات القمة الرأسية التي تستند على معيار مسافة الرؤية الكافية لتحقيق السلامة والراحة والمظهر. ويوضح الشكل (4-35) العوامل المستخدمة في تحديد طول القطع المكافئ لمنحنى القمة الرأسي المطلوب لتأمين أي قيمة محددة لمسافة الرؤية. ونجد فيما يلي المعادلات الأساسية لطول منحنى القمة الرأسي بدلالة الفرق الجبري للميل الطولي ومسافة الرؤية:

عندما: S < L

$$L = \frac{A S^2}{100\left(\sqrt{2h_1} + \sqrt{2h_2}\right)^2} \quad \text{.....}(4-35)$$

عندما: S > L

$$L = 2S - \frac{200\left(\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2}\right)^2}{A} \quad \text{.....}(4-36)$$

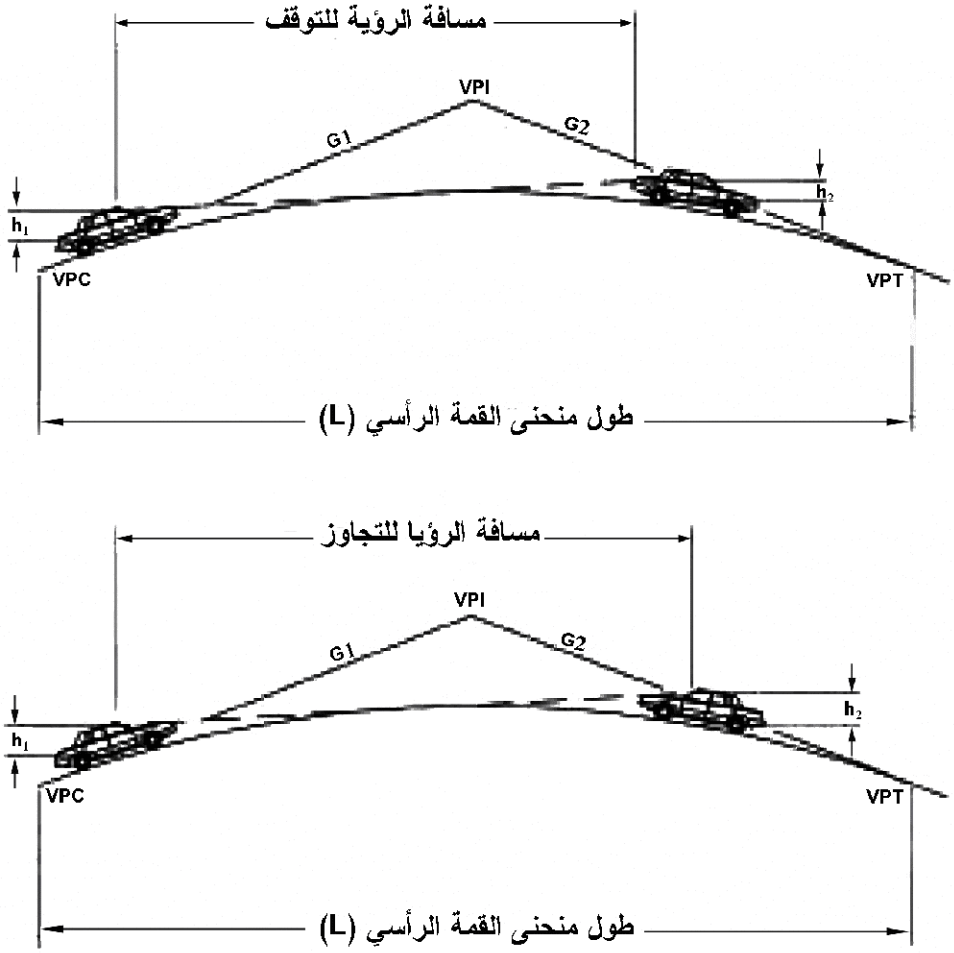
حيث أن:

L = طول المنحنى الرأسي، م. S = مسافة الرؤية، م.

A = الفرق الجبري للميلين الطوليين، %.

h_1 = ارتفاع عين السائق عن سطح الطريق، م.

h_2 = ارتفاع العقبة (العائق) عن سطح الطريق، م.



الشكل (4-35) ضوابط تصميم منحنيات القمة الرأسية وفق شروط الطرق المفتوحة

وبفرض أن ارتفاع العين 1080 مم وارتفاع العقبة 600 مم كما هو مستخدم لمسافة الرؤية للتجاوزتصبح المعادلات:

عندما: $S < L$

$$L = \frac{A S^2}{658} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (37-4)$$

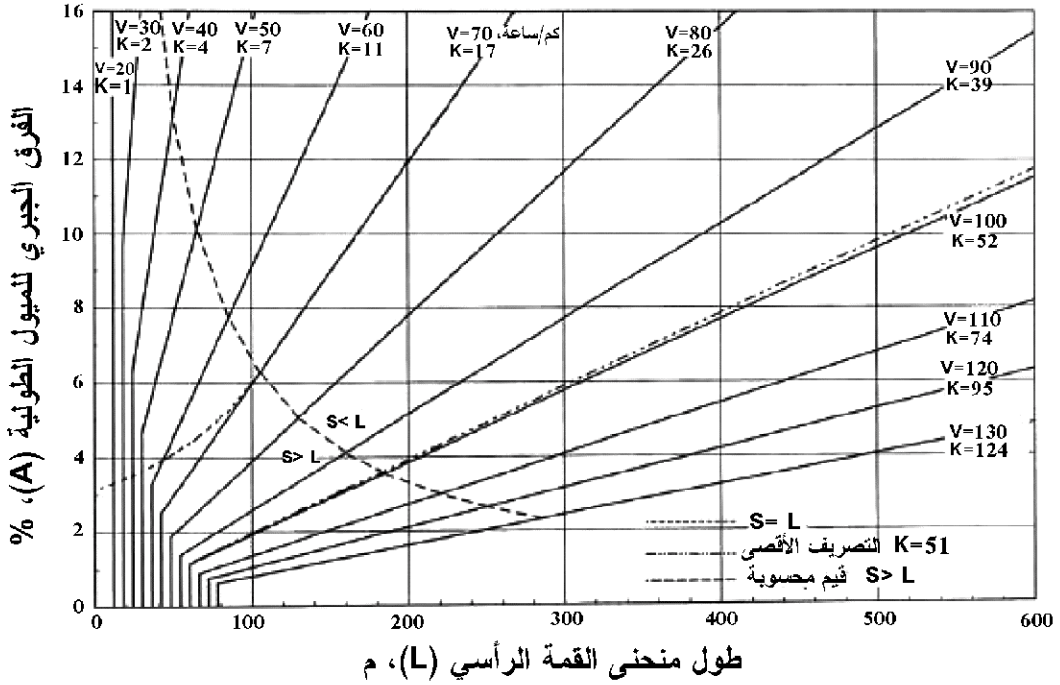
عندما: $S > L$

$$L = 2S - \frac{658}{A} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (38-4)$$

معايير التصميم لمسافة الرؤية للتوقف: يبين الشكل (4-36) الأطوال الدنيا للمنحنيات الرأسية من أجل قيم مختلفة للفرق الجبري A لتأمين أصغر مسافة رؤية للتوقف لكل سرعة تصميمية. وتعطي الخطوط المستمرة الأطوال الدنيا للمنحنيات الرأسية بعد تدوير قيم K المحسوبة بموجب المعادلتين (4-37) و (4-38).

يشير المنحنى القصير المتقطع في الزاوية اليسارية السفلى من الشكل (4-36) والمتقاطع مع الخطوط المستمرة إلى أن $S = L$. كما نلاحظ أن قيم K إلى اليمين من $S = L$ أو طول المنحنى الرأسي لكل واحد بالمائة من الفرق الجبري A وهو تعبير سهل ومناسب لمعيار التصميم، حيث

لكل سرعة تصميمية تكون هذه القيمة الأحادية عبارة عن رقم صحيح موجب يدل على معدل الانحناء الرأسي حيث R = 100 x K ، ويغطي معيار التصميم K قيم كل من A و L لأي سرعة تصميمية، لذا لا نحتاج الإشارة إلى A و L بشكل منفصل في جدول القيم التصميمة. كما تبسط اختيار المنحنيات التصميمية لأن أطوال المنحنيات الدنيا بالمتر تساوي قيم K مضروبة بالفرق الجبري للميول الطولية كنسبة مئوية L = K x A. ومن جهة أخرى يتم تبسيط تدقيق المخططات بمقارنة كل المنحنيات مع القيم التصميمية لـــ K.



الشكل (4–36) معايير تصميم منحنيات القمة الرأسية ضمن شروط الطرق المفتوحة

يوضح الجدول (4–27) قيم K المحسوبة لأطوال المنحنيات والمرتبطة مع مسافات الرؤية للتوقف الواردة في الجدول (4–1) من أجل كل سرعة تصميمية. ومن أجل استخدام الجدول بشكل مباشر في التصميم يتم تدوير قيم K كما هو موضح بالحقل اليميني من الجدول. وهذه القيم المدورة مشار إليها بالخط المستمر في الشكل (4–36).

عندما تكون S أكبر من L (الزاوية اليسارية السفلية من الشكل 4–36) فإن القيم المحسوبة والمرسومة كمنحنى (كما هي مبينة بالخط المتقطع لسرعة 70 كم/ساعة) ينحني نحو اليسار ومن أجل قيم صغيرة لـــ A تصبح أطوال المنحنيات الرأسية مساوية للصفر لأن خط الرؤية يمر فوق أعلى نقطة على المنحنى. الأمر الذي يعد غير عملي من الناحية التصميمية، ولذلك تستخدم عادة قيم دنيا للمنحنى الرأسي يعبر عنها إما بقيم مفردة حسب السرعة التصميمية أو بدلالة الفرق الجبري للميلين الطوليين المتقاطعين لـــ A. وتتباين القيم الدنيا المستخدمة لطول المنحنى الانتقالي من 30 – 100 م. كما يمكن إعطاء الطول الأدنى للمنحنى الرأسي كنسبة من السرعة التصميمية (0.6V) أي : $L_{min} = 0.6\ V$

حيث أن: L_{min} = الطول الأدنى للمنحنى الرأسي المحدب،م

V = السرعة التصميمية ، كم/ساعة

الجدول 4-27 معايير التصميم لمسافات الرؤية للتوقف ولمنحنيات القمة والقاع الرأسية

السرعة التصميمية كم/ساعة	مسافة الرؤية للتوقف، م	معدل الانحناء الرأسي، K[a]	
		حسابي	تصميمي (حسابي مدور)
20	20	0.6	1
30	35	1.9	2
40	50	3.8	4
50	65	6.4	7
60	85	11	11
70	105	16.8	17
80	130	25.7	26
90	160	38.9	39
100	185	52	52
110	220	73.6	74
120	250	95	95
130	285	123.4	124

[a] معدل الانحناء الرأسي K يساوي طول المنحنى الرأسي (م) مقسوماً على الفرق الجبري للميلين الطوليين المتقاطعين (A, %) أي K = L/A.

يمكن أيضاً استخدام قيم K المشتقة أعلاه عندما تكون S أصغر من L دون خطأ يذكر، تماماً كما هي الحال عندما كانت S أكبر من L . ويختلف طول المنحنى الناتج من مد الخط القطري ليتقاطع مع الخطوط الرأسية للأطوال الدنيا للمنحنيات الرأسية المبينة بالشكل (4-36) اختلافاً ملموساً عن القيم النظرية للطول المحسوب عندما تكون قيم الفرق الجبري للميليين الطوليين المتقاطعين A صغيرة فقط، ومن الجدير بالذكر أن زيادة الكلفة قد تكون طفيفة أو معدومة عند توفير منحنيات رأسية أطول من الحدود الدنيا.

وعند قيادة السيارة ليلاً على الطرق غير المنارة، تكون مسافة الرؤية على الطريق هي المضاءة بشكل مباشر بواسطة مصابيح السيارة الأمامية ، وفي بعض الظروف قد تزيد مسافة الرؤية الدنيا اللازمة للتوقف المستخدمة في التصميم عن المسافة المرئية من الطريق والمضاءة بواسطة مصابيح السيارة الأمامية وذلك لمحدودية قدرة مصابيح السيارة على انارة مسافة من الطريق بوضوح. وفي حال تشغيل الضوء المنخفض للمصابيح تقل شدة الاضاءة كما تنخفض زاوية اسقاط الاشعة مما يؤدي الى تقليل المسافة المرئية من الطريق الى حد كبير. لذلك وبشكل خاص في ظروف الطرق ذات السرعة العالية تتجاوز مسافة الرؤية للتوقف المسافات المرئية من سطح الطريق التي توفرها المصابيح الأمامية ذات الأشعة المنخفضة بصرف النظر فيما إذا كان المقطع الرأسي للطريق على شكل استقامة أو منحنى رأسي.

معايير التصميم لمسافة الرؤية للتجاوز: تختلف قيم تصميم منحنيات القمة الرأسية التصميمية من أجل مسافة الرؤية للتجاوز عنها من أجل التوقف بسبب اختلاف قيمتيهما ومعيار ارتفاع العائق (العقبة). وتطبق المعادلتين (4-35) أو (4-36) لكن بفرض ارتفاع العقبة مساوياً لـــ 1080 مم لتصبح المعادلتين المذكورتين على النحو التالي:

عندما: $S < L$

$$L = \frac{A S^2}{864} \quad \text{.....} (39-4)$$

عندما: $S > L$

$$L = 2S - \frac{864}{A} \quad \text{.....} (40-4)$$

اعتماداً على مسافة الرؤية للتجاوز المبينة بالجدول السابق (4–5) تكون الأطوال الدنيا لمنحنيات القمة الرأسية فعلياً أكبر بكثير من مسافات الرؤية للتوقف. ويتضح مدى التباين في مسافات الرؤية للتجاوزالمبينة في الجدول (4– 28) من خلال قيم K أو طول المنحنى الرأسي لكل واحد بالمائة من الفرق الجبري للميلين الطوليين من اجل مسافات الرؤية للتجاوز، وتساوي هذه الأطوال 7 – 10 أضعاف أطوال مسافات الرؤية للتوقف.

الجدول (4–28) معايير التصميم لمنحنيات القمة الرأسية اعتماداً على مسافة الرؤية للتجاوز

السرعة التصميمية كم/ساعة	مسافة الرؤية للتجاوز، م	معدل الانحناء الرأسي، K[a] (قيم التصميم)
30	200	46
40	270	84
50	345	138
60	410	195
70	485	272
80	540	338
90	615	438
100	670	520
110	730	617
120	775	695
130	815	769

[a] معدل الانحناء الرأسي K يساوي طول المنحنى الرأسي (م) مقسوماً على الفرق الجبري للميلين الطوليين المتقاطعين (A, %) أي K = L/A.

بشكل عام من غير العملي تصميم منحنيات قمة رأسية لتأمين مسافة رؤية للتجاوزلأنها عالية الكلفة في مناطق الحفر وصعوبة مسايرة التضاريس عندما تكون المنحنيات الرأسية طويلة خصوصاً في الطرق عالية السرعة. وقد تكون مسافة الرؤية للتجاوزفي منحنيات القمة الرأسية عملية على الطرق ذات السرع التصميمية المنخفضة والميول الطولية الخفيفة (البسيطة) أو أنها ذات سرع تصميمية عالية وفرق جبري صغير جداً للميلين الطوليين. ويتم تامين مسافة رؤية للتجاوز فقط في الأماكن التي يكون مسقطها الافقي ومخططها الرأسي (مقطعها الطولي) ليست بحاجة لاستخدام منحنيات قمة رأسية.

3-4-3-4 منحنيات القاع الرأسية Sag Vertical Curves

هناك أربعة معايير مختلفة لتعيين أطوال منحنيات القاع الرأسية هي:

1. مسافة الرؤية بواسطة مصابيح المركبة ليلا.
2. راحة الركاب.
3. تنظيم التصريف.
4. المنظر العام.

يمكن حساب طول منحنى القاع انطلاقاً من مسافة الإنارة بواسطة مصابيح المركبة ليلاً. وعندما تجتاز المركبة منحنى قاع رأسي ليلاً يتعلق الجزء المضاء من الطريق أمامها على ارتفاع المصابيح الأمامية واتجاه حزمة الأشعة الضوئية. ونعتبر عادة ارتفاع المصابيح الأمامية 600 مم عن سطح الطريق وأن زاوية انتشار حزمة الأشعة الضوئية للمصابيح درجة واحدة نحو الأعلى عن المحور الطولي للمركبة. وتؤمن زاوية انتشار أكبر من درجة واحدة نحو الأعلى مسافة إضافية للرؤية لكن لا يوصى بها عموماً في التصميم. وتبين المعادلات التالية العلاقة بين S و L و A باعتبار S المسافة بين المركبة والنقطة التي تتقاطع أشعة الضوء ذات زاوية انحراف نحو الأعلى م درجة واحدة مع سطح الطريق:

عندما: $S < L$

$$L = \frac{AS^2}{200[0.6 + S(\tan 1^\circ)]} \quad \text{.....} (41-4)$$

أو

$$L = \frac{AS^2}{120 + 3.5S} \quad \text{.....} (42-4)$$

عندما: $S > L$

$$L = 2S - \frac{200\left[0.6 + S\left(\tan 1^\circ\right)\right]}{A} \quad \text{.....} (43-4)$$

أو

$$L = 2S - \left[\frac{120 + 3.5S}{A}\right] \quad \text{.....} (44-4)$$

حيث أن:

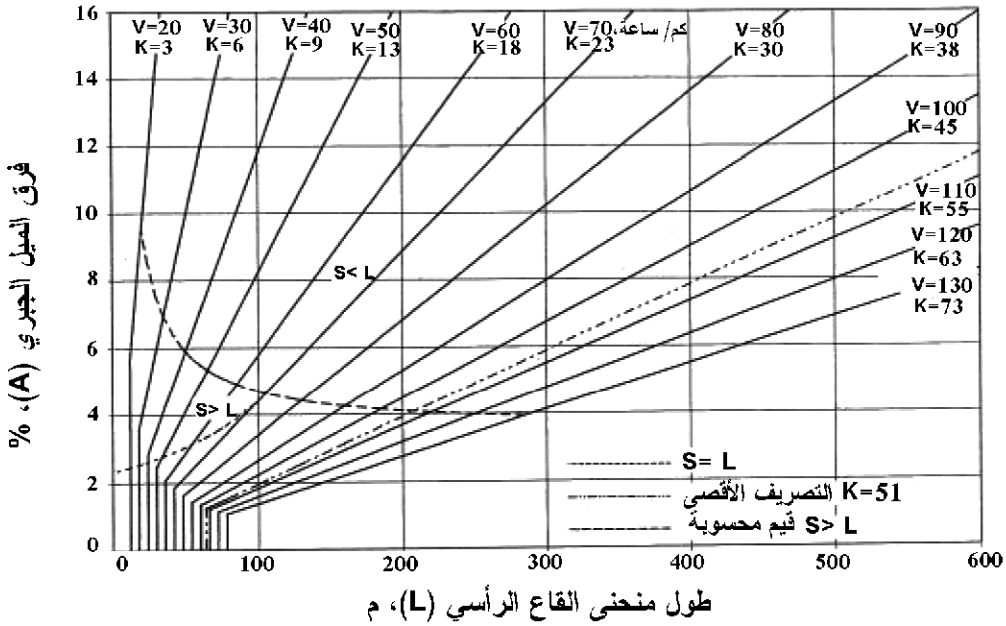
L = طول منحنى القاع الرأسي، م.

S = مسافة حزمة الضوء، م.

A = الفرق الجبري للميلين الطوليين، %.

من أجل سلامة المرور على الطرق يجب أن يكون طول منحنيات القاع الرأسية كافياً بحيث تكون المسافة التي تنيرها مصابيح المركبة مساوية تقريباً مسافة الرؤية للتوقف. ووفقاً لذلك من المناسب استخدام مسافات رؤية للتوقف من أجل سرعات تصميمية مختلفة كقيم S في المعادلات أعلاه. ويبين الشكل (4-37) الأطوال الناتجة لمنحنيات القاع الرأسية من أجل مسافات الرؤية

للتوقف لأي سرعة تصميمية من خلال الخط المستمر واستخدام قيم لـــ K بعد تدويرها إلى اقرب رقم نحو الأعلى.



الشكل (4–37) معايير تصميم منحنيات القاع الرأسية ضمن شروط الطرق المفتوحة

إن تأثير تغيير الحركة في الإتجاه الرأسي على راحة الركاب تكون أكبر على منحنيات القاع الرأسية منها على منحنيات القمة الرأسية لأن اتجاه قوة الجاذبية عكس اتجاه القوة النابذة (الطاردة) على منحنيات القمة الرأسية. ولا يمكن قياس الراحة تبعاً لتغير الاتجاه الرأسي بسهولة لأنها تتأثر إلى حد بعيد باجهزة تعليق المركبة ووزنها ومرونة إطارات الدواليب وغيرها من العوامل. وقد اظهرت الابحاث انه حتى يكون السفر مريحا على منحنيات القمة الرأسية يجب الا يتجاوز تسارع القوة النابذة 0.3 م/ثانية^2. ويمكن التعبير عن هذا الحالة بالمعادلة التالية :

$$L = \frac{AV^2}{395} \quad \text{.....} (45-4)$$

حيث أن:

L = طول منحنى القاع الرأسي، م.

A = الفرق الجبري للميلين الطوليين، %.

V = السرعة التصميمية، كم/ساعة.

إن طول المنحنى الرأسي اللازم لتحقيق هذا المستوى من الراحة عند سرعات تصميمية مختلفة يبلغ حوالي 50% من ذلك الطول المطلوب لتحقيق معيار مسافة الرؤية بواسطة مصابيح المركبة ليلا ضمن المجال النظامي لشروط التصميم.

يؤثر التصريف على تصميم المنحنيات الرأسية من النمط III عند استخدام الأطاريف (انظر الشكل 4–34). وتطبق معايير شروط منحنيات القمة الرأسية على منحنيات القاع الرأسية (مثل

استخدام ميل طولي لايقل عن 0.3 % ضمن 15 م من اخفض نقطة من المنحنى). وهذا المعيار يوافق قيمة لـــ K تساوي 51 م مضروبة بالفرق الجبري A والمرسوم بالشكل (4–37) لتحقيق أقصى تصريف. ويختلف معيار التصريف عن المعايير الأخرى من حيث أن طول منحنى القاع الرأسي يكون في الحدود القصوى، بينما الطول لأي معيار آخر يكون أدنى طول مطلوب. ويكون الطول الأقصى الذي يحقق معيار التصريف أكبر من الطول الأدنى المطلوب لباقي المعايير لحدود سرعة أقصاها حتى 100 كم/ساعة.

انطلاقاً من المنظر العام لمنحنيات القاع الرأسية فقد تبين أنه يجب ألا يقل الطول عن 30A أي K = 30 كما هو مبين في الشكل (4–37). ويمكن تعميم هذا التقدير التقريبي من أجل القيم الصغيرة والمتوسطة لـــ A. وبالمقارنة مع مسافة الرؤية بواسطة مصابيح المركبة الأمامية ليلاً نجد أنها تتوافق مع سرعة تصميمية حوالي 80 كم/ساعة. كما نجد أن مظهر الطرق ذات الاداء العالي يتحسن كلما كان طول منحنياتها أكبر.

ويبين الجدول (4–29) مجال القيم المحسوبة وقيم K المدورة المختارة كمعيار تصميم. ويمثل الخط المستمر في الشكل (4–37) أطوال منحنيات القاع الرأسية على أساس قيم السرعات التصميمية لـــ K. ويجب التأكيد على أن هذه الأطوال هي القيم الدنيا المعتمدة على السرعات التصميمية ويفضل استخدام منحنيات أطول حيثما أمكن مع إيلاء جودة التصريف الاهتمام الكافي عند استخدام قيم لـــ K تتجاوز 51.

يجب استخدام أطوال دنيا لمنحنيات القاع الرأسية في حالة الميول الصغيرة كما هو الحال من أجل شروط منحنيات القمة الرأسية. وتكون أطوال هذه المنحنيات والمرسومة على شكل خطوط عمودية كما في الشكل (4–37) مساوية لـــ 0.6 مرة السرعة التصميمية المقدرة بالكم/ساعة.

إن استخدام منحنيات القاع الرأسية بأطوال أقصر من الأطوال المبينة في الجدول (4–29) يمكن تبريرها لأسباب اقتصادية أو وجود حالات خاصة تحكم تصميم المقطع الرأسي كوجود منشأة ليس من السهل نقلها. وفي حالات معينة قد تصمم الرامبات (طرق الوصلات الجانبية) بمنحنيات قاع رأسية أقصر من المطلوب، إلا أنه من المفضل في مثل هذه الحالات استخدام الإضاءة الثابتة لانارة الطريق. وعند تصميم الشوارع الحضرية يمكن إلغاء المنحنيات الرأسية حينما تكون قيمة A أقل أو تساوي 1% .

الجدول (4-29) معايير تصميم منحنيات القاع الرأسية

السرعة التصميمية كم/ساعة	مسافة الرؤية للتوقف، م	معدل الانحناء الرأسي، K[a]	
		حسابي	تصميمي
20	20	2.1	3
30	35	5.1	6
40	50	8.5	9
50	65	12.2	13
60	85	17.3	18
70	105	22.6	23
80	130	29.4	30
90	160	37.6	38
100	185	44.6	45
110	220	54.4	55
120	250	62.8	63
130	285	72.7	73

[a] معدل الانحناء الرأسي K يساوي طول المنحنى الرأسي (م) مقسوماً على الفرق الجبري للميلين الطوليين المتقاطعين (A, %) أي K = L/A.

4-4 التنسيق بين التخطيط الأفقي والرأسي

Combinations of Horizontal and Vertical Alignment

4-4-1 معايير عامة في التصميم General Design Controls

من الصعب مناقشة التنسيق بين التخطيط الأفقي والرأسي (المقطع الطولي) دون الرجوع إلى المسألة المتعلقة بموقع الطريق، حيث تعد هذه المواضيع مترابطة بشكل وثيق وما يقال عن أحدها يطبق عموماً على الآخر. ويفترض من خلال هذه المناقشة أن الموقع العام للطريق قد تم تثبيته والمهمة المتبقية هي تطوير تصميم خاص يتوافق فيه التخطيط الأفقي مع التخطيط الرأسي كأن يكون الطريق أو الشارع بعد انتهائه اقتصادياً وجميلا وآمنا.

وتعمل القيود الفيزيائية (المادية) أو تأثيراتها بشكل منفرد أو مجتمعة لتحديد مسار الطريق مثل خصوصية الطريق المستندة على حجم حركة المرور، وطبوغرافية الموقع، والمرافق الخدمية، والتطور الثقافي الموجود، والتطور المستقبلي المحتمل، والمواقع التي سيخدمها الطريق. كما تؤثر السرعة التصميمية على تحديد موقع الطريق العام لكنها تعتبر أكثر أهمية من ناحية اختيار حدود ومعايير العديد من العناصر الهندسية كالانحناء ومسافة الرؤية، كما تؤثر على عدة عناصر أخرى كالعرض وعدم وجود العوائق والميل الطولي الأقصى. ومن أجل التنسيق المناسب بين التخطيط الأفقي والرأسي يجب مراعاة القواعد العامة التالية:

- يعتبر التخطيط (المسار) الأفقي أو الرأسي فقيراً (سيئاً) عندما يكون على شكل استقامات أو منحنيات واسعة مترافقة مع ميول طولية حادة وممتدة لمسافات طويلة، كما

يعتبر التخطيط فقيراً عندما تكون الانحناءات كثيرة والميول الطولية بسيطة. أما التصميم المنطقي فهو الذي يجمع بأفضل شكل ممكن بين السلامة، والسعة، والراحة وانتظام التشغيل، والمنظر الممتع وذلك ضمن الحدود المتاحة العملية للتضاريس والأراضي التي يمر بها الطريق.

- تعطي المنحنيات الرأسية المركّبة ضمن المنحنيات الأفقية أو العكس مرفقاً أكثر جمالاً، ولكن يجب تحليل أثر هذا الجمع على المرور. فقد تؤدي التغيرات المتلاحقة في المقطع الرأسي غير المتوافقة مع المنحنيات الأفقية إلى سلسلة من الحدبات يراها السائق من مسافة قريبة، الامر الذي يعد مزعجا.
- يجب عدم وضع منحنى أفقي حاد على أو بالقرب من ذروة منحنى القمة الرأسي الحاد. وتعد هذه الحالة غير مرغوبة لأن السائق قد لا يدرك التغير الأفقي في المسار وخصوصاً في الليل. ويمكن تجنب سلبية هذا الإجراء إذا قاد المنحنى الأفقي المنحنى الرأسي (أي جعل المنحنى الأفقي أطول من المنحنى الرأسي). وكما أنه يمكن تطوير تصاميم مناسبة من خلال استخدام قيم تصميمية أعلى كثيراً من القيم الدنيا المسموحة للسرعة التصميمية.
- يجب عدم وضع منحنى أفقي حاد قريباً من أسفل الميل الطولي الحاد الذي يقع قبل المنحنى الرأسي أو قرب أسفل منحنى القاع الرأسي الحاد، لأن ذلك يقلل من مجال الرؤية الأمامية للطريق، حيث أن أي منحنى أفقي عدا المنحنيات الكبيرة جداً هو مظهر مشوه غير مرغوب فيه. في الغالب تكون سرعة المركبات وبشكل خاص الشاحنات منها عالية عند أسفل الميل الطولي الهابط وقد ينتج عن ذلك ظروف تشغيل خاطئة خصوصاً في الليل.
- تتطلب الحاجة على الطرق والشوارع ذات المسربين بالاتجاهين توفير مقاطع تجاوز على مسافات متكررة بنسبة مئوية يمكن تقديرها من طول الطريق والتي غالباً ما تحل محل الارشادات العامة للجمع بين التخطيط الأفقي والرأسي. ففي مثل هذه الحالات يعد من المناسب تبني استقامات طويلة لضمان مسافة رؤية كافية للتجاوز تلبي الغاية من التصميم.
- يجب اختيار المنحنيات الأفقية والرأسية منبسطة قدر الإمكان على التقاطعات حيث تكون مسافة الرؤية على طول كل من الطرق والشوارع مهمة لأن المركبات قد تضطر للتباطؤ أو التوقف.
- قد يكون من المفضل أحياناً تغيير عرض الجزيرة الوسطية واستخدام مسار أفقي ومقطع رأسي لكل اتجاه بشكل مستقل وذلك على الطرق والشوارع مفصولة الاتجاه (الأتوسترادات). حيث يمكن زيادة عدد المسارب عندما تتطلب حركة المرور ذلك بأقل كلفة ممكنة.

- في المناطق السكنية يجب تصميم المسار الأفقي مع مراعاة تقليل الإزعاج إلى أقصى حد ممكن للجوار. وبشكل عام فإن الطرق ذات المنسوب المنخفض (Depressed) تجعل رؤيته ومستوى الضجيج أقل بالنسبة للسكان المجاورين له. ويمكن في بعض الأحيان القيام بتعديلات أفقية ثانوية لزيادة المنطقة الفاصلة بين الطرق وكتل الأبنية المجاورة.
- يجب تصميم المسار الأفقي ليعزز من جاذبية المناظر الطبيعية والبيئة المشكلة من قبل الإنسان مثل الأنهار والتشكلات الصخرية والحدائق والمنشآت المميزة وعلى أن يكون منسجماً مع البيئة المحيطة وليس نافراً عنها.

2-4-4 تنسيق أعمال التخطيط عند التصميم Alignment Coordination in Design

يجب ألا يترك تنسيق أعمال التخطيط الأفقي والرأسي للمصادفة بل يجب أن يكون حاضراً عند القيام بالتصميم الأولي، حيث يمكن إجراء التعديلات اللازمة بسهولة. وعلى الرغم من أنه لاتوجد خطوات دراسة محددة لكل الطرق لكن توجد منهجية عامة ملائمة للتطبيق على أغلب الطرق فيما يلي وصفاً لها.

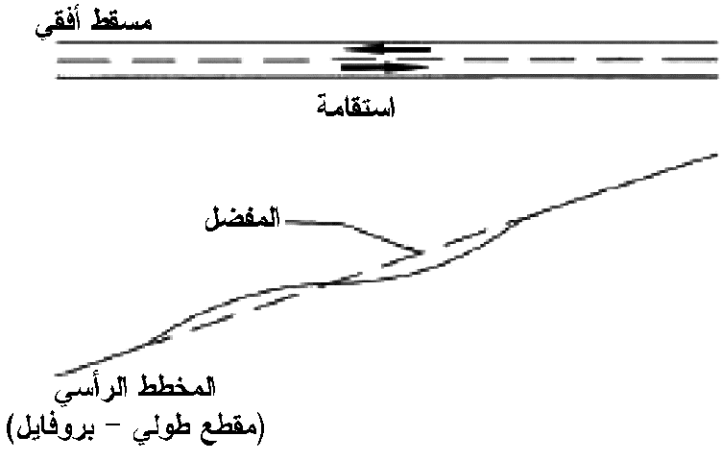
يجب على المصمم استخدام مخططات تنفيذية ذات حجم ومقياس وتنظيم بحيث يتمكن أي شخص من دراسة الطريق على كامل طوله في المسقط الأفقي والمقطع الرأسي وأن يتخيل جميع العناصر الهندسية بالأبعاد الثلاثة. ويجب أن تكون المخططات التنفيذية بأصغر مقياس ممكن من الناحية العملية وبحيث يكون المقطع الرأسي مرسوماً مع المسقط الأفقي (فوق بعضهما). وللمساعدة في عملية التخيل هذه يوجد بعض البرامج التي تعمل على الحواسب الشخصية مما يتيح للمصمم رؤية مسار الطريق المقترح بثلاثة أبعاد.

بعد دراسة التخطيط الأفقي والرأسي دراسة أولية يتم إجراء تعديلات مرتبطة لأحدهما أو كلاهما للحصول على التنسيق الأفضل. وفي هذه المرحلة يجب أن يهتم الدارس بوضع معايير التصميم الرئيسية أكثر مما يهتم بالحسابات التفصيلية للعناصر الهندسية. ويجب إجراء الدراسة في أغلب الأحيان على أساس بياني أو تحليل بالحاسب. كما يجب أن يبقى حاضراً في الذهن الأخذ بمعايير وعناصر التصميم التي تم تغطيتها بهذا الدليل. ومن أجل السرع التصميمية المختارة يجب الحصول على القيم التي تحكم المنحنيات والميل الطولي ومسافة الرؤية والتعلية الأفقية ومسافة التعلية الأفقية ضمن المنحنى وتدقيقها بيانياً أو بالحاسب أو باستخدام نظام (CAAD) Computer- Aided Architicural Design. وقد يكون هناك ضرورة لتعديل السرعة التصميمية خلال عملية المعالجة على بعض الأجزاء للتوافق مع التغيرات المحتملة في سرعات التشغيل. وقد تظهر هذه الحاجة عندما يكون ضرورة لإجراء تغيرات لافتة للنظر في خصائص التخطيط ليتوافق مع التضاريس غير العادية أو حدود حرم الطريق. يضاف إلى ذلك وجوب التقيد بمعايير وشروط التناسق بين التخطيط الأفقي والرأسي والجمع بينهما. كما يجب مراعاة سمات التضاريس وحجم المرور والمظهر ويجب تعديل

التخطيط الأفقي والرأسي وتنسيقهما قبل إجراء الحسابات التفصيلية المكلفة والتي تستغرق وقتاً طويلاً وقبل البدء بتحضير المخططات التنفيذية بمقياس كبير.

يمكن إنجاز التنسيق بين التخطيط الأفقي والرأسي (المقطع الطولي) من وجهة نظر المظهر بالعين المجردة على المخططات الأولية أو بمساعدة البرامج الحاسوبية والتي تم تطويرها لهذه الغاية. وبشكل عام تؤدي مثل هذه الطرق لتصميم مرضي عندما تطبق من قبل مصمم خبير.

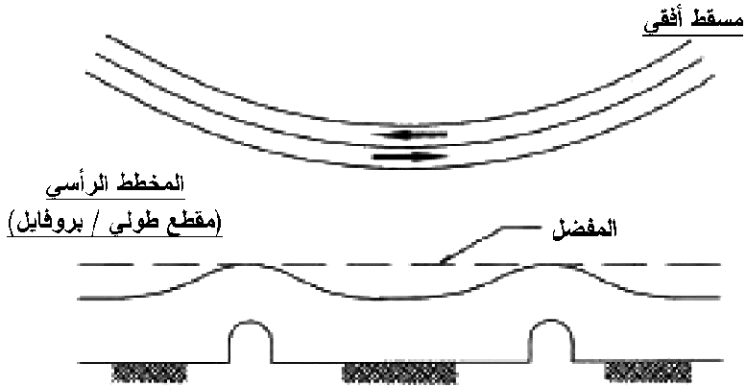
يجب تعديل بعض الإجراءات المشروحة أعلاه من أجل تصميم الطرق والشوارع المحلية النمطية بالمقارنة مع الطرق ذات النمط الأعلى. ويحكم تخطيط أي طريق أو شارع محلي سواء كان جديداً أو معاد بناؤه التطور الحالي أو المحتمل مستقبلاً على طوله، كما تهيمن مفارق وتقاطعات الشوارع على تصميمه. ويوضح الشكل (4-38) بعض الأمثلة عن التطبيق الجيد والفقير للتصميم.



مقطع رأسي لمسار مستقيم

- أ -

الشكل (4-38) العلاقة بين تصميم المسقط الأفقي والمخطط الرأسي (المقطع الطولي) للطرق

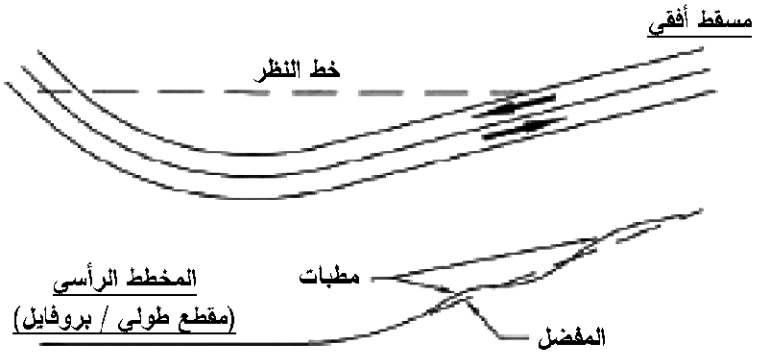


* يجب تجنب تشكيل مطبات رأسية في تصميم المقطع الطولي

مقطع رأسي لمسار أفقي منحني

- ب -

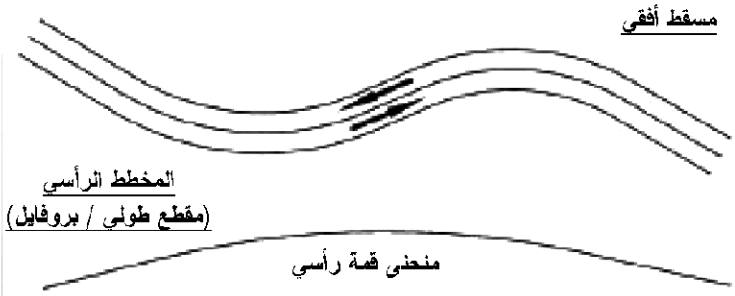
الشكل (4-38) العلاقة بين تصميم المسقط الأفقي والمخطط الرأسي (المقطع الطولي) للطرق (تابع)



منظر عن بعد يبين وجود مطبات في المقطع الطولي

- ج -

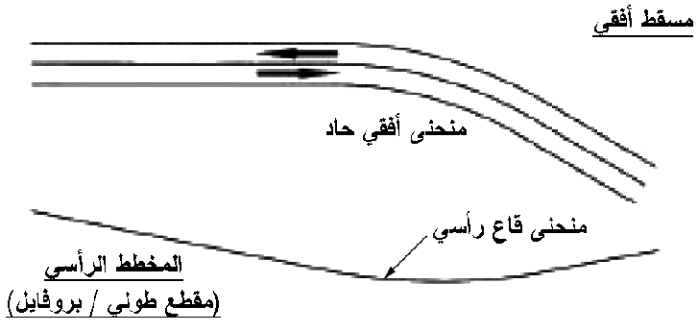
الشكل (4-38) العلاقة بين تصميم المسقط الأفقي والمخطط الرأسي (المقطع الطولي) للطرق (تابع)



استقامة قصيرة على منحنى قمة رأسي بين منحنيين أفقيين

- د -

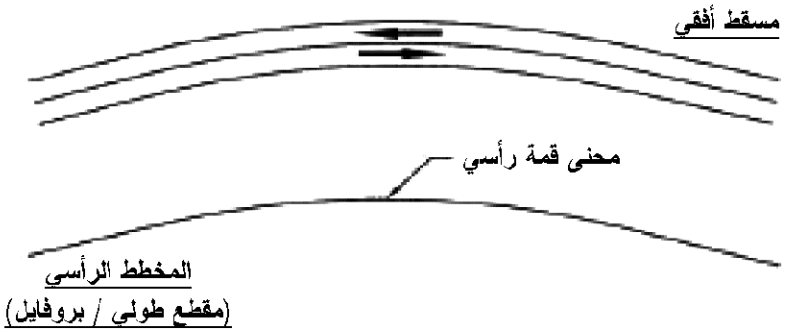
الشكل (4-38) العلاقة بين تصميم المسقط الأفقي والمخطط الرأسي (المقطع الطولي) للطرق (تابع)



زاوية رؤية حادة

- هـ -

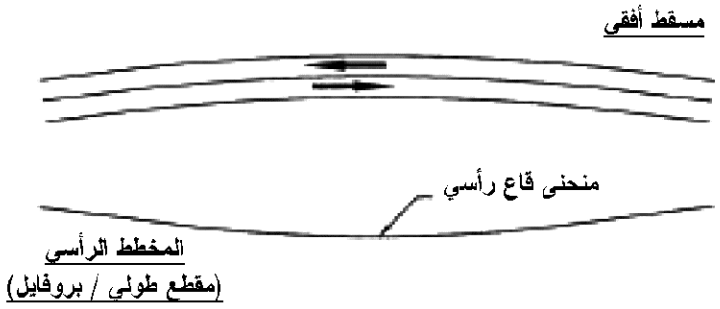
الشكل (4-38) العلاقة بين تصميم المسقط الأفقي والمخطط الرأسي (المقطع الطولي) للطرق (تابع)



تطابق كامل بين المنحنيات الأفقية والرأسية

- و -

الشكل (4-38) العلاقة بين تصميم المسقط الأفقي والمخطط الرأسي (المقطع الطولي) للطرق (تابع)



المنحنيات الأفقية والرأسية المتقابلة

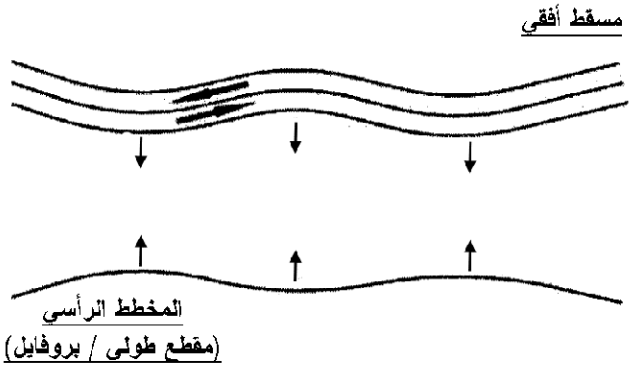
- ز -

الشكل (4-38) العلاقة بين تصميم المسقط الأفقي والمخطط الرأسي (المقطع الطولي) للطرق (تابع)

تخطيط أفقي باستخدام زوايا مركزية صغيرة

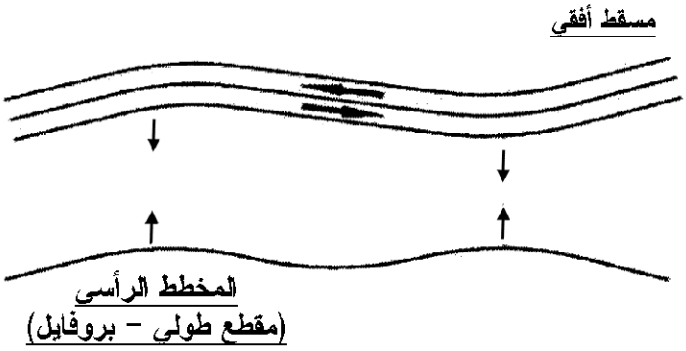
- ح -

الشكل (4-38) العلاقة بين تصميم المسقط الأفقي والمخطط الرأسي (المقطع الطولي) للطرق (تابع)



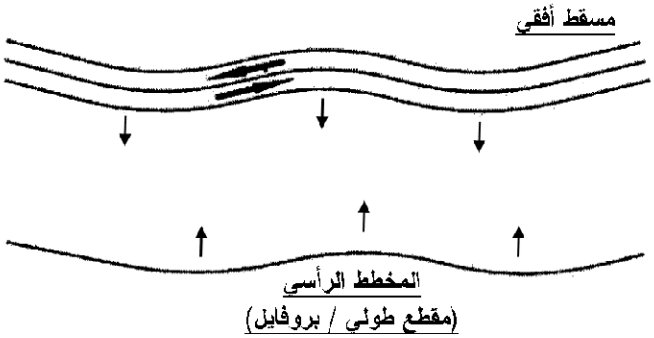
تطابق منتصفات المنحنيات الأفقية والرأسية
- ط -

الشكل (4-38) العلاقة بين تصميم المسقط الأفقي والمخطط الرأسي (المقطع الطولي) للطرق (تابع)



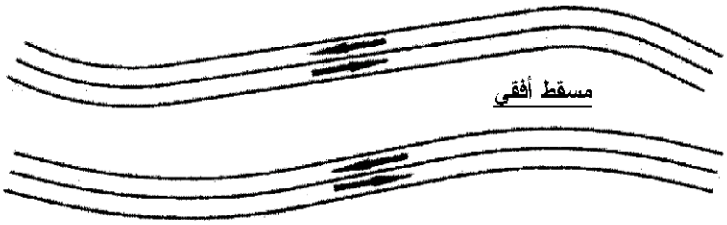
تطابق منتصفات المنحنيات الأفقية والرأسية
ما عدا منحنى واحد
- ي -

الشكل (4-38) العلاقة بين تصميم المسقط الأفقي والمخطط الرأسي (المقطع الطولي) للطرق (تابع)



تنسيق ضعيف بين التخطيط الأفقي والتخطيط الرأسي
- ك -

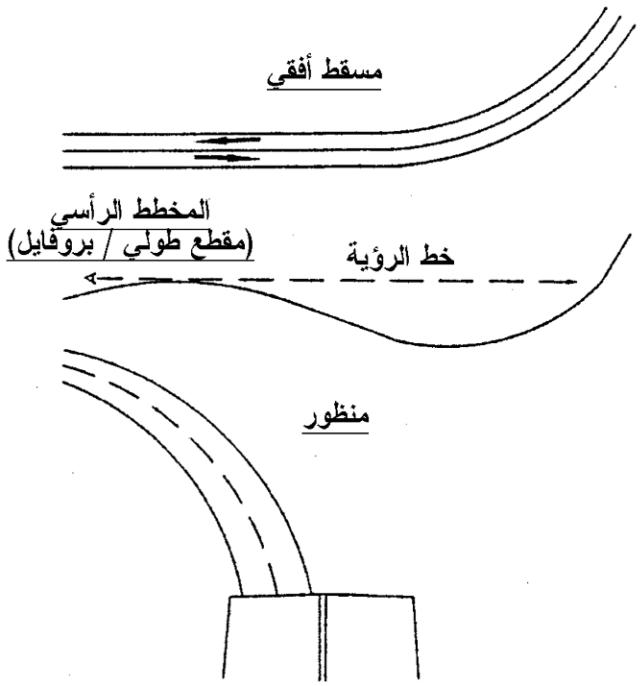
الشكل (4-38) العلاقة بين تصميم المسقط الأفقي والمخطط الرأسي (المقطع الطولي) للطرق (تابع)



يجب تحقيق التوازن في التخطيط الأفقي

- ل -

الشكل (4-38) العلاقة بين تصميم المسقط الأفقي والمخطط الرأسي (المقطع الطولي) للطرق (تابع)



احساس بالانقطاع

- م -

ضرورة تحقيق التنسيق الجيد بين التخطيط الأفقي ولرأسي

- ن -

الشكل (4-38) العلاقة بين تصميم المسقط الأفقي والمخطط الرأسي (المقطع الطولي) للطرق (تابع)

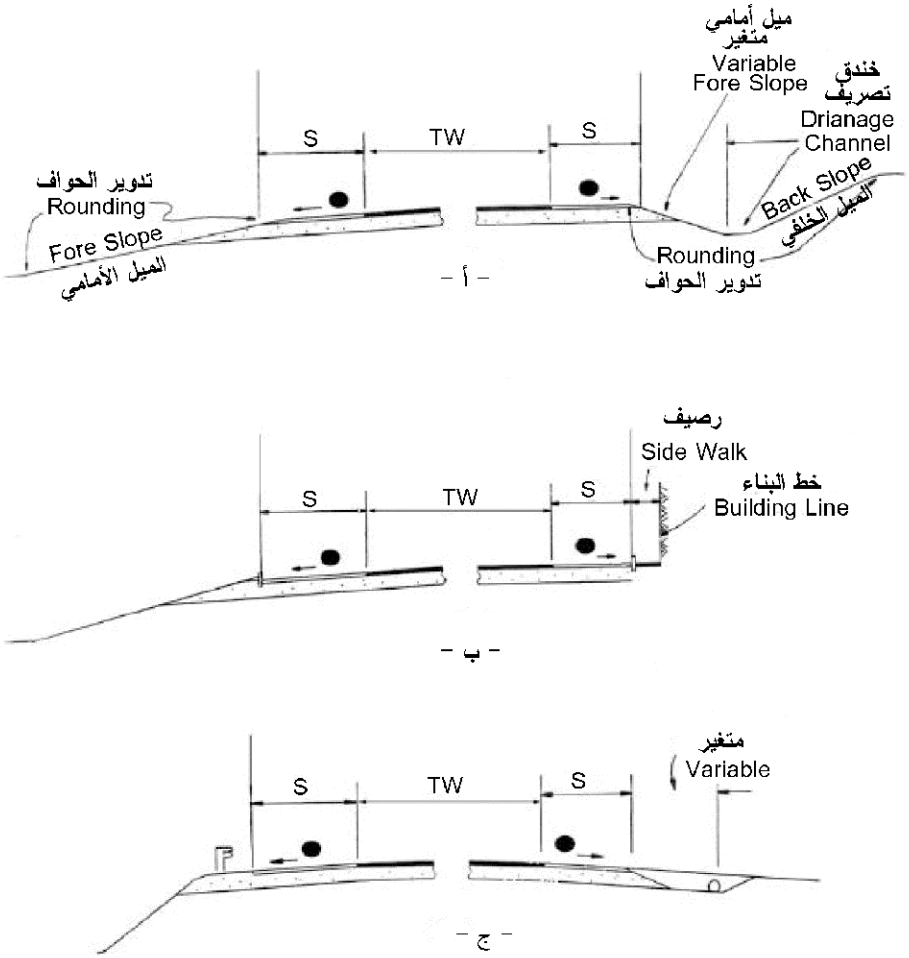
الفصل الخامس

عناصر المقطع العرضي Cross Section Elements

1-5 عموميات General

يعرف ممر أو مسلك الطريق Roadway: بالجزء المخصص لاستخدام المركبات بما فيها الأكتاف ، وقد يكون للطريق متعدد المسارب المفصول بجزيرة وسطية، مسارين أو أكثر. انظر الشكلين (5-1) و(5-2).

ويقصد بحارات أو مسارب المرور Traveled way: بجزء الطريق المخصص لحركة المركبات ولا يشمل ذلك الأكتاف. انظر الشكلين (5-1) و(5-2).



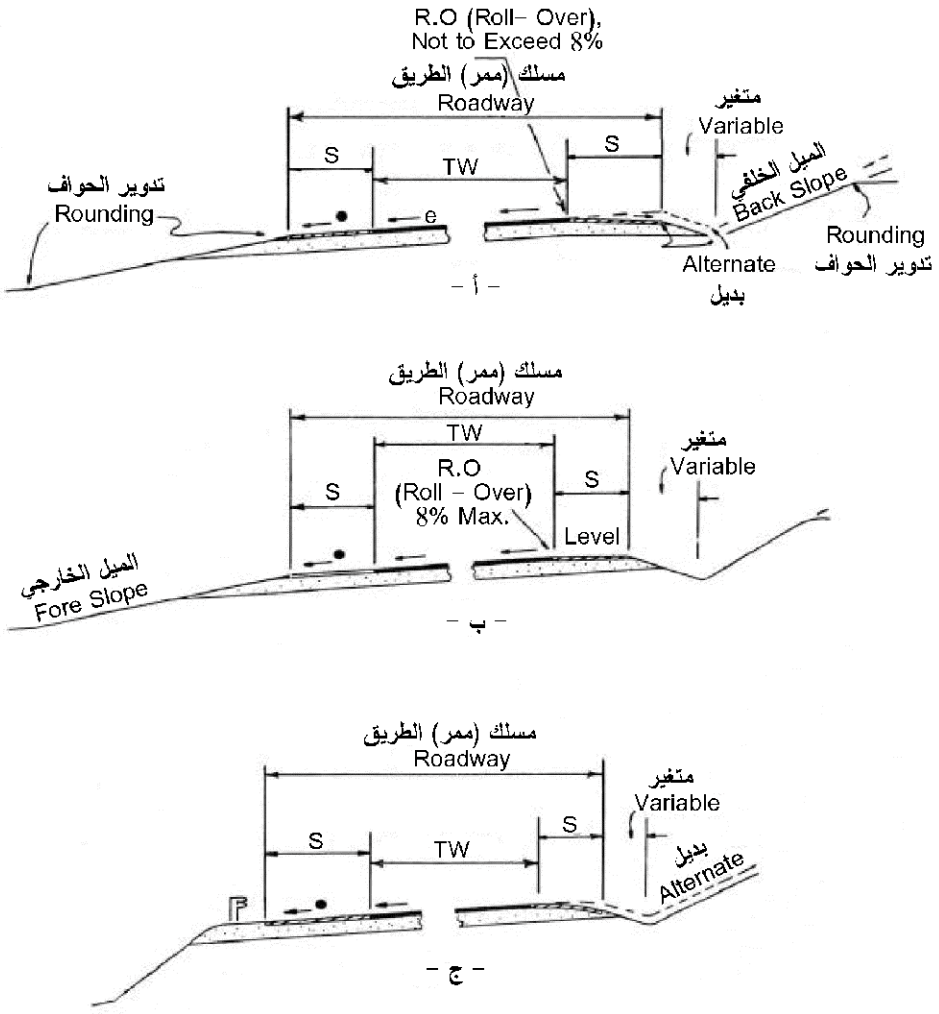
NOTE: ملاحظة:

TW = Traveled Way حارات (مسارب المرور)

S= Usable Shoulder كتف الطريق الفعال (القابل للاستخدام)

● **= Rate of Slope 2 to 6 Percent** الميل العرضي للأكتاف 2 - 6 %

الشكل (5-1) مقطع عرضي نمطي بذروة نظامية (قمة إعتيادية) **Normal Crown** (مقطع عرضي نظامي)



NOTE:

TW = Traveled Way

S= Usable Shoulder

• = Superelevation Rate (e) Where Greater Than Normal Shoulder Slope

R.O (Roll– Over)= Algebric Diffrence in Rate of Cross Slope. Not to Exceed 8%

ملاحظة:

حارات (مسارب) المرور

كتف الطريق الفعال (القابل للاستخدام)

نسبة التعلية الأفقية أكبر من الميل العرضي للأكتاف

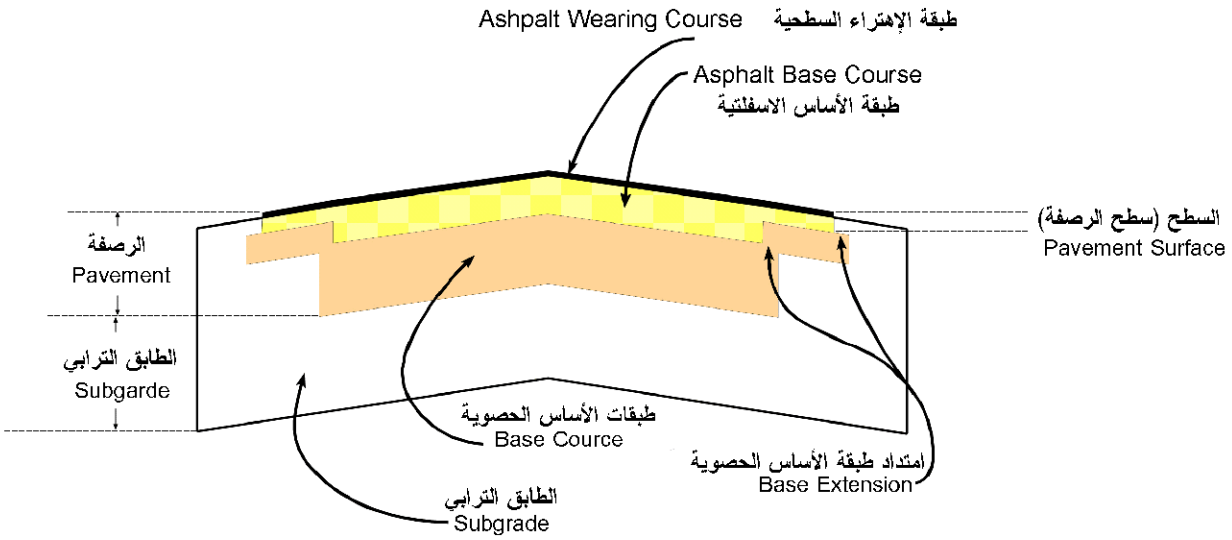
عند التعلية الأفقية يجب أن لا يزيد الفرق الجبري للميل العرضي بين المسار والكتف 8%

الشكل (5–2) مقطع عرضي نمطي بتعلية أفقية

2-5 الرصفة Pavement

1-2-5 نوع طبقة سطح الرصفة Pavement Surface Type

يتم اختيار نوع طبقة سطح الرصفة المبين بالشكل (5–3) اعتماداً على حجم ومكونات المرور والتأثير المشترك لكل من خواص التربة والطقس وأداء طبقات رصف الطريق، وتوافر مواد البناء واساليب توفير الطاقة الممكنة، والتكاليف الأولية والصيانة السنوية العامة والتكاليف خلال عمر الخدمة للطريق. وللاطلاع على التصميم الإنشائي لطبقات الرصف يمكن الرجوع إلى دليل AASHTO لتصميم طبقات الرصف.



الشكل (5-3) مقطع نموذجي لطبقات الرصفة

من الخصائص الهامة لرصفة الطريق والتي لها علاقة بتصميم العناصر الهندسية تلك المرتبطة بتأثيرها على سلوك السائق وإمكانية احتفاظ السطح بشكله وأبعاده الأصلية وتصريف المياه والحفاظ على مقاومة كافية للانزلاق. حيث أن الرصفة ذات النوعية الجيدة تحافظ على شكلها الأصلي ولا تتكسر حوافها فيما لو رصفت على طابق ترابي مستقر. إن تصميم مقاطع عرضية بسطوح منتظمة ومستوية غير متموجة وبميول عرضية مناسبة تمكن السائق من القيادة بسهولة والحفاظ على حركة المركبات ضمن المسار الصحيح. وعلى العكس فإن بعض أنواع الرصفات ذات النوعية المتدنية قد تتكسر حوافها وتفكك، وبالتالي يقل عرضها الفعال وتحتاج إلى جهد وانتباه السائق بشكل أكبر في القيادة للحفاظ على المسار الصحيح. ولذلك تستخدم طبقات الرصفة متدنية النوعية في الطرق التي يكون حجم المرور عليها خفيفاً.

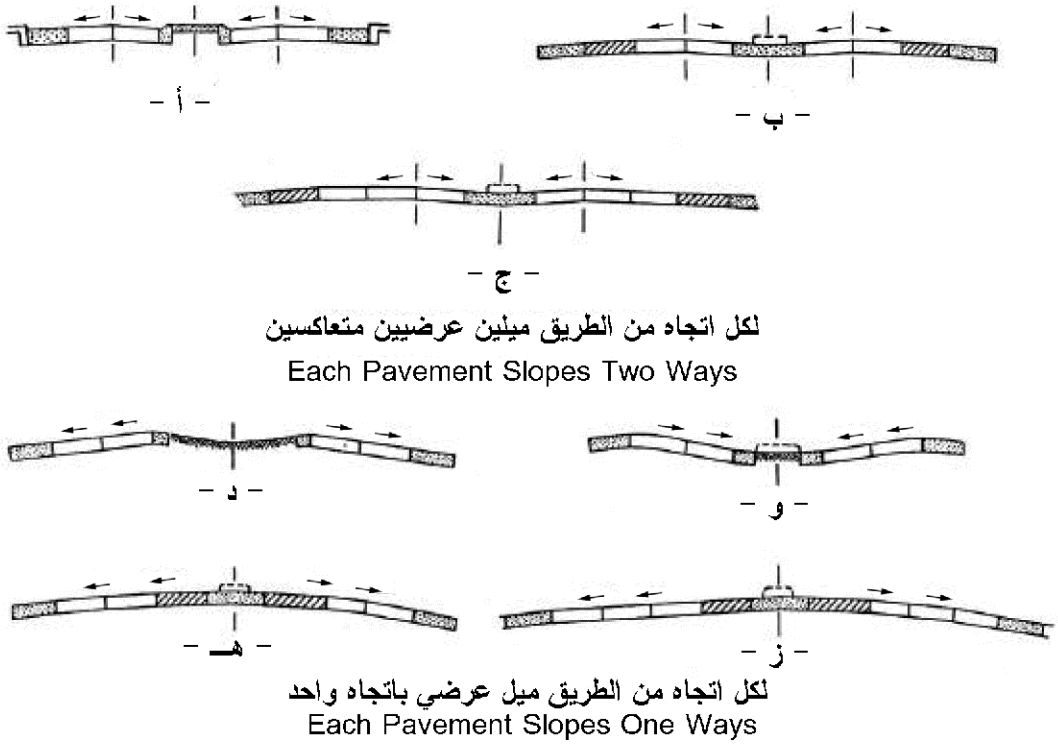
طالما أن اختيار السرعة التصميمية يعتمد على عدة عوامل إضافة إلى نوع طبقة سطح الرصفة، تستخدم الطبقات السطحية جيدة النوعية لتأمين سرعة تشغيلية أعلى من السرعة التي توفرها الطبقات السطحية المتدنية النوعية ، لذلك ينبغي أن يتم اختيار نوع طبقة السطح لتتلائم مع السرعة التصميمية للطريق.

5-2-2 الميول العرضية Cross Slope

في الطرق غير مفصولة الاتجاه وعلى الاستقامات أو على المنحنيات المنبسطة (ذات انصاف الاقطار الكبيرة) تكون ذروة المقطع العرضي في وسطه، أي أن تكون النقطة الأعلى في الوسط وميل عرضي هابط باتجاه الحواف في الجانبين. وقد تستخدم الميول العرضية باتجاه واحد على كامل عرض مسارب (حارات) المرور. كما قد يكون الميل العرضي الهابط مستوياً أو منحنيا أو كلاهما. وفي المقاطع ذات الميول العرضية المستوية يوجد انكسار متناظر على جانبي الخط المار بالقمة (الذروة) الوسطية. وغالباً ما تكون المقاطع العرضية المنحنية على شكل قطع مكافئ وبسطح

خفيف الاستدارة على الخط المار بالقمة (الذروة) وزيادة بالميل العرضي باتجاه طرف رصفة الطريق. وبما أن الميل العرضي متغير عند استخدام القطع المكافئ لذلك يتم تمييزه بارتفاع القمة (الذروة) – (مثلاً الهبوط العامودي من الخط المركزي المار بالذروة إلى طرف رصفة الطريق). وتعد هذه المقاطع (المنحنية) فعالة من ناحية التصريف بسبب زيادة الميل العرضي باتجاه طرف الرصفة. أما سلبيات هذا النوع من المقاطع فتتمثل بكونها أكثر صعوبة بالتنفيذ وقد يكون الميل العرضي للمسارب الخارجية شديداً، كما قد يكون التواء مناطق سطح الرصف في التقاطعات مربكاً أو صعب الإنشاء.

يمكن توفير قمة (ذروة) منفصلة لكل اتجاه على الطرق المفصولة متعددة المسارب وكما على الطرق ذات المسربين أو قد يكون الميل العرضي باتجاه واحد على كامل عرض مسارب المرور وعلى الأغلب منحدر باتجاه الحافة الخارجية. ويتميز المقطع العرضي للطرق المفصولة والتي لها قمة (ذروة) في كل اتجاه وكما هو موضح في الأشكال (5–4–أ، 5–4–ب، 5–4–ج) بفعاليتها من ناحية سرعة تصريف المياه عن سطح الرصف خلال العواصف المطرية، إضافة إلى كون فرق المنسوب بين أعلى وأخفض نقطة في المقطع العرضي ضمن الحد الأدنى. أما سلبيات هذا النوع من المقاطع العرضية فهي الحاجة إلى مزيد من المآخذ (المداخل) وخطوط التصريف المطمورة. كما أن التعامل مع التقاطعات يصبح أكثر صعوبة بسبب عدد النقاط المرتفعة والمنخفضة على المقطع العرضي. ويجب الحد من استخدام مثل هذه المقاطع في المناطق التي يكون هطول الأمطار فيها غزيراً أو حيث يسود الثلج والجليد شتاءً. وتعتبر المقاطع التي ليس لها أطاريف وإنما لها جزيرة وسطية عريضة ومنخفضة مناسبة جداً من الناحية العملية لمثل هذه الشروط.



الشكل (5–4) مقاطع عرضية لطرق مفصولة الاتجاهين مبيناً عليها ترتيبات الميول العرضية

تتميز مسالك الطرق ذات الميول العرضية في الاتجاه الواحد كما هو وارد بالأشكال ذات الأرقام (5-4- د، 5-4- هـ، 5-4- ز) بتوفير راحة أكبر للسائقين عندما يعمدون إلى تغيير مساربهم، كما تتميز بسرعة تصريف المياه إما بعيداً عن الجزر الوسطية أو في اتجاهها. ويؤدي التصريف بعيداً عن الجزر الوسطية إلى توفير في منشآت التصريف الواقعة ضمنها إلى أقصى حد ممكن وتقليل زمن التصريف، توفير مسارب ذات سرعات أعلى وتبسيط التعامل عند التقاطعات مع الطرق والشوارع الأخرى. ويعتبر التصريف باتجاه الجزر الوسطية كما هو موضح في الشكل (5-4- و) مفيداً للمسارب الخارجية والمستخدمة من قبل أغلب السائقين من حيث سرعة تصريف المياه عن سطحها والتي تتجمع على الطرف الداخلي لرصفة الطريق، ليتم بعد ذلك تصريفها من خلال مجاري للتصريف تحت الجزيرة الوسطية. وفي وجود جزر وسطية بأطاريف خرسانية، يتمركز التصريف بجوار أو على مسارب السرعة العالية. وعندما تكون الجزر الوسطية ضيقة يؤدي هذه التصريف إلى رشق المياه على نوافذ المركبات المقابلة.

يعد الميل العرضي عنصراً هاماً في تصميم المقطع العرضي. ويتم تعيين قيمة التعلية الأفقية على المنحنيات حسب السرعة التصميمية المعتمدة. ويعتبر الميل العرضي النظامي على الاستقامات أو المنحنيات ذات أنصاف الأقطار الكبيرة معقداً من خلال عنصري ضبط متناقضين. حيث انه من المفضل استخدام ميل عرضي بالحد الأعلى المقبول لمنع تشكل برك مياه على سطح الطرق التي تتصف بمقطع طولي خفيف الميل الناتجة عن عيب في سطح الرصف أو الهبوط غير المنتظم، كما أنه من المفضل استخدام المقاطع العرضية شديدة الميل على الطرق المزودة بأطاريف جانبية لحصر جريان المياه ضمن عرض ضيق متاخم للأطاريف وفي المقابل تعد المقاطع العرضية شديدة الميل غير مرغوبة على الاستقامات بسبب ميل السائقين للانسياق باتجاه الحافة الأخفض من رصفة الطريق مما يسبب مشكلة رئيسية في المناطق التي تتعرض الى الثلج والجليد شتاءً. ولا يكاد السائق يشعر بالميل العرضي الذي يقل أو يساوي 2 % عند قيادة المركبات. وتصبح الميول العرضية الأعلى من 2 % لافتة للنظر وتتطلب جهدا أكبر عند القيادة. وتؤدي الميول العرضية الحادة إلى زيادة القابلية للانزلاقات الجانبية عند الفرملة على سطوح رصف متجمدة أو رطبة أو حتى عند الاضطرار إلى التوقف فجأة على سطح رصف جاف في حالات الطوارئ. وكما يؤدي وجود رياح شديدة إلى زيادة التأثير السيء للميل العرضي وبالتالي إلى صعوبة التحكم بالمقود.

يتراوح الميل العرضي المقبول للطرق ذات المسربين التي تتمتع بمقاييس اداء عالية، والتي تكون قمة (ذروة) المقطع العرضي في منتصفها من 1.5 حتى 2 %. أما على الطرق متعددة المسارب (ذات ثلاثة مسارب أو أكثر في كل اتجاه) والتي يميل مقطعها العرضي باتجاه واحد فنعمد إلى إعطاء ميل أقل للمسربين على الطرف الايسر وبعد ذلك يتم زيادة الميل للمسرب الثالث أو الرابع بمعدل 0.5 حتى 1 %. وكما هو واضح في الشكل(5-4- ز) فإن المسربين على الطرف الايسر لهما ميل واحد أقل من ميل المسرب الثالث الايمن .

من غير المفضل استخدام مقاطع عرضية بميل أكبر من 2 % على الطرق عالية الأداء ذات السرعة العالية، لأن ذلك يؤدي إلى عدم ثبات الشاحنات ذات مركز الثقل المرتفع والتي تسير بسرعة عالية عند عبورها خط قمة (ذروة) المقطع العرضي من طرف إلى آخر مما يؤدي إلى صعوبة في السيطرة على المقود. ويوضح الشكل من (5-4- أ) حتى (5-4- ج) أمثلة عن شروط الحركة لمثل هذه الحالات. وتلائم الميول العرضية المذكورة أعلاه الطرق ذات الأداء العالي بينما تستخدم الميول العرضية الأكبر على الطرق ذات الأداء المنخفض. ويوضح الجدول (5-1) مجال القيم الملائمة لكل نوع من انواع الطرق .

الجدول (5-1) الميول العرضية للطرق

نوع الطريق	مجال الميل العرضي %
عالي الأداء	1.5 – 2%
منخفض الأداء	2 – 6%

عند تصميم طرق بأطاريف خارجية لا ينصح باستخدام القيم الدنيا من مجالات الميول العرضية الواردة في الجدول (5-1) على الطرف الايسر بسبب احتمال زيادة عرض المياه أثناء العاصفة المطرية على جزء كبير من مسرب المرور المتاخم للأطاريف.

3-2-5 مقاومة الانزلاق Skid Resistance

تعتبر حوادث الانزلاق مشكلة أساسية في سلامة المرور على الطرق . ولا يمكن أن نعزو حوادث الانزلاق للسائق أو القيادة بسرع عالية ضمن ظروف قائمة إنما يجب أن يتمتع الطريق بسطح مقاوم للانزلاق يلائم الفرملة والقيام بالمناورة اللازمة في موقع معين.

تؤثر خشونة سطح الرصف على مقاومة الانزلاق على الطرق. وتوجد أربع أسباب رئيسية تؤدي إلى تقليل مقاومة الانزلاق للسطح الرطب للرصفة هي:

- التخدد Rutting
- الصقل Polishing
- النزف Bleeding
- توسخ سطح الرصف Dirty Pavement .

ويسبب التخدد وتجمع المياه ضمن مسار إطارات المركبات بينما يقلل صقل المادة الحصوية في طبقة الرصف السطحية من خشونة سطح الرصف، ويغطي النزف سطح الرصف بالمادة البيتومينية الرابطة وفي كلا الحالتين الأخيرتين يصبح من الضروري تخشين السطح لرفع كفاءة مقاومة الانزلاق.

وتفقد سطوح الرصف مقاومتها للانزلاق عندما تتلوث بقطرات الزيوت أو طبقات الغبار أو المواد العضوية. ويجب أن تهدف الاجراءات المأخوذة لتصحيح أو تحسين مقاومة الانزلاق إلى:

1. توفير مقاومة انزلاق ذات ديمومة أولية عالية.
2. زيادة إمكانية الاحتفاظ بمقاومة الانزلاق مع الزمن وحركة المرور.
3. التقليل ما أمكن من الانخفاض في مقاومة الانزلاق مع زيادة السرعة.

ويعد استخدام طبقات تقوية سطحية مكونة من حصويات خشنة مقاومة للصقل من أكثر الطرق انتشاراً لرفع خشونة سطح رصفة الطريق. كما يؤدي استخدام خلطات إسفلتية بتدرج حبي مفتوح وحصويات مكسرة قاسية إلى الحصول على خشونة فعالة تماماً بسبب خواصها الاحتكاكية والهيدروليكية.

3-5 عرض المسارب Lane Widths

إن لعرض مسرب (حارة) المرور تأثير كبير على أمان وراحة القيادة. وبشكل عام يتراوح عرض مسرب الطريق من 2.7 حتى 3.6 م. ويستخدم 3.6 م كعرض المسرب على أغلب الطرق ذات الأداء العالي.

وتُعَوض التكاليف الإضافية الناجمة عن زيادة عرض مسرب المرور من 3 م إلى 3.6 م إلى حد ما بتقليص التكاليف اللازمة لصيانة الأكتاف والطبقة السطحية للرصفة من خلال إبعاد تمركز مرور إطارات المركبات عن حواف الرصف. كما يوفر هذا العرض مسافة مناسبة للفصل بين المركبات التجارية الكبيرة (الشاحنات) والمتحركة باتجاهين متعاكسين على الطرق الخلوية ذات المسربين في الاتجاهين وخاصة عندما تكون حجوم المرور كبيرة ونسبة الشاحنات التجارية عالية.

يؤثر عرض المسرب أيضاً على مستوى خدمة الطريق. حيث تجبر المسارب الضيقة السائق على قيادة المركبة بشكل أقرب إلى المركبات المجاورة مما هو مرغوب فية بالعادة. ومن ناحية السعة فإن عرض مسرب المرور الفعال ينخفض عند وجود عوائق مجاورة له كالجدران الاستنادية وجوائز(أعمدة) الجسور والجدران القائمة والسيارات المتوقفة مما يحد من مسافة الاخلاء الجانبية (الخلوص). وبالإضافة إلى التأثير على السعة فإن لشروط التشغيل الخاطئة والناجمة عن انخفاض عرض مسرب المرور لها تأثير سلبي على راحة السائق ونسبة الحوادث.

عند استخدام مسارب بعرض غير متساوي، يوفر المسرب الأعرض الواقع إلى (اليمين) مساحة أكبر لحركة الشاحنات الكبيرة كما توفر مساحة أكبر لحركة الدراجات وتسمح للسائقين بالحفاظ على مسافة أكبر لمركباتهم عن الحافة اليمينية. وعند استخدام أطاريف محاذية لطرف واحد فقط يجب وضع المسرب الأعرض محاذياً لتلك الأطاريف. ويهدف التصميم عادة إلى تحديد عرض الطريق الكلي بينما يتم تحديد عرض المسارب بواسطة خطوط الدهان. غالباً ما تساعد المسارب الإضافية على التقاطعات والعقد على سهولة حركات المرور. ويجب أن يكون عرض المسرب المضاف يساوي عرض مسرب المرور الأساسي على ألا يقل عن 3.0 م. ويوفر عرض مسرب من 3.0 – 4.8 م تصميماً مثالياً عند إضافة مسربي التفاف نحو اليسار كل منهما باتجاه.

قد تكون التكاليف غير مبررة عند تصميم المسرب والأكتاف للطرق والشوارع المحلية والتجميعية ذات حجم المرور الأقل من 400 مركبة/ ساعة بنفس العرض وفق المعايير المطبقة للطرق ذات الحجوم الأكبر.

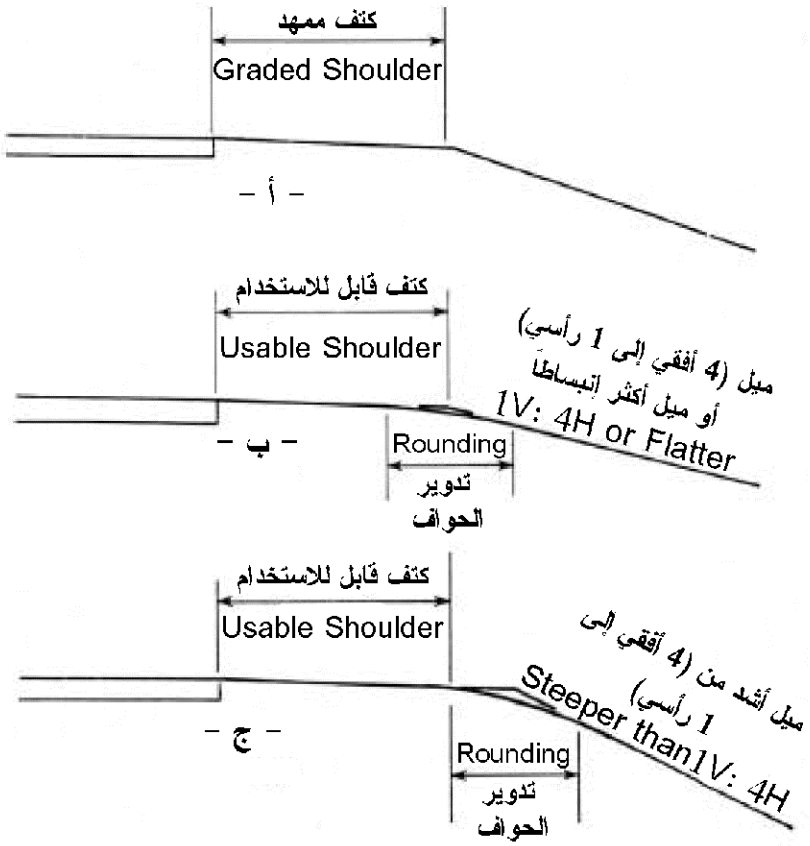
4-5 الأكتاف الجانبية Shoulders

1-4-5 خواص عامة General Characteristics

الأكتاف هي قسم الطريق الملاصق لمسارب المرور والمخصص لوقوف المركبات في حالات الطوارئ وكدعم جانبي لطبقات الرصف من طبقة السطح الاسفلتية و طبقات الاساس وما تحت الأساس الحصوية. وفي بعض الأحيان يمكن أن تستخدم الأكتاف لحركة الدراجات. ويتراوح عرض الأكتاف من 0.6 م على الطرق الخلوية الثانوية وحتى 3.6 م على الطرق الرئيسية حيث يمكن أن تكون الأكتاف كلها مثبتة بمواد إضافية أو معبدة.

ويقصد بعرض الكتف الجانبي الممهد (Graded) بالمسافة من حافة حارة المرور الخارجية (مسرب المرور الخارجي) حتى نقطة تقاطعه مع بداية الميل الأمامي (Fore-slope) وكما هو واضح في الشكل (5-5- أ).

يعرف العرض القابل للاستخدام من الكتف (Usable Shoulder) بالعرض الفعلي والذي يمكن استخدامه لوقوف المركبات في الحالات الطارئة. وعندما يساوي ميل المنحدر الداخلي لـــ 4 أفقي : 1 رأسي (1V:4H) أو أقل يكون العرض القابل للاستخدام مساوياً لعرض الكتف الممهد طالما أن السطح المدور الذي هو عادة بعرض 1.2 حتى 1.8 م لا يقلل من العرض القابل للاستخدام بشكل محسوس عند نقطة انكسار الكتف. وتوضح الأشكال (5-5- ب) و (5-5- ج) عرض الكتف القابل للاستخدام.



الشكل (5-5) الأكتاف الممهدة والقابلة للاستخدام

يمكن رصف الأكتاف على كامل عرضها أو لجزء منها لإعطائها مقاومة على الأحمال في كافة الظروف المناخية بشكل أكبر مما تعطيه التربة الأصلية. وتستخدم أنواع مختلفة من المواد تتراوح من المواد الحصوية الطبيعية أو المكسرة أو المقوية بمواد كيماوية، والمعالجات البيتيومنية السطحية (الوجه التأسيسي) وطبقات الرصف السطحية بالأشكال المختلفة الإسفلتية أو الخرسانية (البيتونية).

تقوم أكتاف الطرق الخلوية الثانوية ذات حجم المرور المنخفض بدعم جانبي إنشائي لطبقات الرصف المعبدة وكعرض إضافي لمسارب المرور، وهذا يسمح للسائقين حين التقابل مع المركبات الأخرى أو التجاوز بالقيادة على حافة الطريق دون أن يغادروا الجزء المعبد من طبقات الرصف من خلال الاستفادة من الكتف نفسه. وتتصف الطرق ذات مسارب المرور الضيقة والأكتاف الضيقة أيضاً وذات حجم مرور كبير بتوفير مستوى خدمة ضعيف ونسبة عالية من الحوادث وحاجة للصيانة بشكل متكرر ومكلف.

يؤدي استخدام أكتاف مصممة بشكل جيد ومصانة كما ينبغي على الطرق الخلوية ذات حجوم المرور الكبيرة وعلى الطرق الحرة وعلى بعض أنماط الطرق الحضرية إلى ميزات كثيرة أهمها:

- تأمين فضاء (مكان) بعيداً عن مسارب المرور لتوقف المركبات عليها بسبب الأعطال الميكانيكية أو أعطال العجلات (الإطارات) أو حالات الطوارئ الأخرى.
- تأمين فضاء لوقوف السائقون بين الحين والآخر لمراجعة خرائط الطريق أو لأسباب أخرى.
- تأمين فضاء من أجل مناورات الهروب لتجنب حوادث محتملة أو لتقليل خطورتها.
- تأمين فراغ مفتوح يعطي شعوراً بالرحابة الناجمة عن عرض الأكتاف المناسبة وبالتالي القيادة بطمأنينة أكبر وتوتر أقل.
- تحسين مسافة الرؤية في مقاطع الحفر مما يؤدي لتحسين السلامة المرورية.
- تزيد بعض أنماط الأكتاف من جمالية الطريق.
- تحسين سعة الطريق لأنها تشجع على القيادة بسرعة منتظمة.
- تأمين مساحة لازمة لعمليات الصيانة كإزالة وتجميع الثلج.
- تأمين خلوص جانبي (مسافة الاخلاء الجانبية) للإشارات وحواجز الحماية.
- يمكن تصريف مياه الأمطار بعيداً عن مسارب المرور مما يؤدي إلى التقليل من تشقق سطح الرصف.
- إعطاء دعم إنشائي لطبقات الرصف.
- تأمين مساحة لاستخدام المشاة والدراجات وتوقف الباصات ومركبات تسليم البريد وتحويلات المرور أثناء عمليات الصيانة والإنشاء.

2-4-5 عرض الأكتاف Width of Shoulders

يجب أن لا تقل المسافة الصافية بين المركبات المتوقفة على الأكتاف وحافة مسرب المرور عن 0.3 م ويفضل ألا تقل عن 0.6 م. وتقود هذه الأفضلية لتبني عرض أكتاف مقداره 3 م كعرض نظامي يجب تأمينه على طول الطرق ذات الأداء العالي. ويجب ألا يقل عرض الأكتاف المستخدمة على الطرق ذات الأداء المنخفض عن 0.6 م ويفضل استخدام عرض يتراوح من 1.8 حتى 2.4 م، أما في الطرق ذات السرعات العالية وحركة المرور الكثيفة والتي تتضمن نسبة عالية من الشاحنات فيجب ألا يقل عرض الأكتاف القابلة للاستخدام عن 3 م ويفضل 3.6 م. مع العلم أن العروض التي تزيد عن 3 م قد تشجع الاستخدام غير المشروع للأكتاف كمسرب مروري. وعند استخدام الأكتاف من قبل المشاة والدراجات يجب ألا يقل العرض عن 1.2م. وفي حال وجود حواجز أمان جانبية أو جدران أو أي عناصر رأسية للطريق فمن المفضل تأمين كتف ممهد بعرض كاف بحيث لا يقل بعد هذه العناصر الرأسية عن 0.6 م عن الحافة الخارجية للكتف القابل للاستخدام. ولتأمين دعم جانبي لحواجز الأمان من المفضل أن تكون الأكتاف الممهدة أعرض من الأكتاف دون وجود عناصر رأسية. وعلى الطرق ذات حجم المرور المنخفض يمكن وضع حواجز الأمان على الحافة الخارجية للكتف بحيث لا تقل المسافة ما بين الطرف الخارجي لحارة المرور والعائق عن 1.2 م.

على الرغم من أنه من المفضل أن يكون عرض الكتف كافياً لتوقف المركبات بشكل كامل عليه بمعزل عن مسرب المرور فإن وجود الأكتاف الضيقة أفضل من عدمها. فعلى سبيل المثال إذا اضطرت المركبة للتوقف في الحالات الطارئة فسوف تشغل من 0.3 – 1.2 م فقط من مسرب المرور بحيث يمكن استخدام العرض المتبقي لمرور المركبات الأخرى. وتستخدم الأكتاف الضيقة حين يكون استخدام أكتاف عريضة مكلفاً على نحو مفرط كتلك المستخدمة على الجسور التي يزيد طولها عن 60 م أو الطرق في المناطق الجبلية.

ينبغي أن تتمتع الأكتاف بالاستمرارية بغض النظر عن عرضها. ولا تتحقق الفائدة الكاملة للكتف ما لم يؤمن ملجأ للسائق في أي نقطة على طول الطريق. وتعطي الأكتاف المستمرة إحساساً بالأمان لأن أغلب السائقين يضطرون لاستخدامها في الحالات الطارئة. أما في حال استخدام الأكتاف المتقطعة فسوف يضطر السائقون للوقوف على المسرب المروري مما يخلق وضعاً غير مستحسن. بينما توفر الأكتاف المعبدة والمستمرة فضاء لحركة الدراجات دون إعاقة مرور المركبات الأسرع. مع أنه من المفضل دوماً استخدام أكتاف مستمرة إلا أن وجود الأكتاف الضيقة أو المتقطعة أفضل من عدم وجودها.

3-4-5 المقاطع العرضية للأكتاف Shoulder Cross Sections

تعتبر الأكتاف جزءاً هاماً من منظومة تصريف المياه جانبيا عن سطح الطريق، ولذلك يجب إعطاء ميل عرضي كافي لتصريف المياه بعيداً عن مسارب حركة المرور على الطرق المفصولة بجزيرة وسطية منخفضة. وعندما تكون الجزيرة الوسطية ضيقة ومنسوبها أعلى من منسوب مسارب (حارات) المرور يمكن أن يكون ميل الأكتاف المحاذية لها باتجاه ميل حارات (مسارب) المرور

لتصرف المياه باتجاه الطريق نفسه ومن ثم إلى الخارج. وفي المناطق التي يتساقط فيها الثلج يجب أن تكون الأكتاف المحاذية للجزيرة الوسطية مائلة بحيث تؤمن تصريف المياه بعيداً عن الطريق لتجنب ذوبان الثلج وتسربه إلى طبقات الرصف وتجمده ثانية. ويجب أن تكون كافة الأكتاف مائلة بشكل كاف لتصريف مياه السطح بسرعة لكن ليس إلى الحد الذي يعيق حركة المركبات. وبما أن لنمط إنشاء الكتف تأثيراً على ميله العرضي لذا يجب تحديد نمط سطح الكتف وميله العرضي في آن واحد. ويتراوح الميل العرضي للكتف ذي السطح الاسفلتي والخرساني (البيتوني) بين 2 – 6 % ويتراوح ميل الكتف المؤلف من مواد حصوية أو صخور من 4 – 6 %، أما بالنسبة للأكتاف المكونة من تربة طبيعية مكسية بالأعشاب فيتراوح ميلها بين 6 – 8 %. وعند استخدام الأطاريف على الطرف الخارجي للأكتاف فيجب اعتماد ميل عرضي بالتصميم يتناسب مع منظومة التصريف لمنع تشكل برك المياه على طول الطريق. وعلى الاستقامات أو المنحنيات الأفقية ذات أنصاف الأقطار الكبيرة من الطرق حيث المقطع العرضي مصمم بذروة في منتصفه وبأكتاف من تربة طبيعية مكسوة بالأعشاب (معشبة) فيجب ألا يزيد الفرق الجبري للميل العرضي بين الكتف والمسرب المروري المجاور عن 6 – 7 %.

في الأجزاء المنحنية من الطرق التي نضطر لاستخدام التعلية الأفقية عليها يجب تصميم الميول العرضية للأكتاف بحيث تؤمن تصريف المياه دون تشكل حدبة (انكسار) حادة بين الكتف والمسرب المروري المجاور. وعلى سبيل المثال ينجم عن استخدام ميل عرضي للكتف مقداره 4% على منحنى ذو تعلية أفقية قصوى مساوية لـــ 8% الى حدوث فرق جبري مقداره 12% ومثل هذا الانكسار غير مقبول ، لذلك من المفضل رفع الكتف الجانبي بنفس ميل التعلية الأفقية أو أقل كما هو موضح في الشكل (5–2– أ الخط المنقط كحل بديل). وفي كل الأحوال من المفضل ألا يزيد الفرق الجبري للمقطع العرضي عند التعلية الأفقية بين الكتف والمسرب المجاور عن 8% من خلال تخفيض ميل الكتف الواقع إلى خارج الانحناء الأفقي كما هو موضح في الشكل (5–2– ب).

أحد الوسائل المستخدمة لتجنب الانكسار الشديد للميول عند التعلية الأفقية هو استخدام أكتاف ذات مقطع عرضي مستدير عند الحافة الخارجية كما في الشكل (5–2– ج)، حيث تصبح الأكتاف في هذه الحالة محدبة. وعلى الرغم من أن بعض المياه السطحية ستنساب على المسرب المروري المجاور فإنه يمكن تعويض هذه السلبية من خلال الإيجابية الناجمة عن الانتقال السلس للمركبات التي قد تخرج بشكل مقصود أو غير مقصود للمسير على الأكتاف. إلا أن مثل هذه الأكتاف المحدبة تشكل صعوبة في الإنشاء أكثر من تلك المقاطع الخطية.

4-4-5 ثبات الأكتاف Shoulder Stability

لكي تؤدي الأكتاف وظيفتها بفعالية يجب أن تتمتع بالثبات الكافي لتحمل أوزان (حمولات) المركبات في كافة الظروف المناخية دون حدوث تخدد. في حال وجود شواهد على ظهور تخدد أو انزلاق أو انغراس إطارات المركبة بالوحل حتى ولو لفترة موسمية وجيزة قد يعوق أو يمنع الكتف من تأدية وظيفته، ولذا يجب إجراء عمليات صيانة دورية لكي يبقى الكتف بحالة ثابتة وبسطح ذو منسوب

متوافق مع منسوب حارات المرور، حيث أن الأكتاف غير المثبتة عُرضه للهبوط مع مرور الزمن وينخفض منسوبها عن منسوب حافة مسرب المرور المجاور مما يؤثر سلباً على تحكم السائق بالمركبة حين اضطراره للانتقال إلى الكتف بسرعة عالية. وتتمتع الأكتاف المثبتة أو المعبدة بالعديد من الحسنات منها:

1. توفير ملاذ احتياطي للمركبات خلال الحالات الطارئة.
2. التخلص من التخدد أو الهبوط قرب حافة مسرب المرور.
3. ميل عرضي مناسب لتصريف مياه الطريق.
4. تقليص الصيانة.
5. توفير دعم جانبي لطبقات أساس وسطح الطريق.

يلائم الكتف الذي تنمو عليه الأعشاب ضمن شروط طقس وتربة مناسبين الطرق المحلية وبعض الطرق التجميعية. ويعاني هذا النوع من الأكتاف من نمو العشب التدريجي والتي قد يمنع تصريف مياه مسارب المرور ما لم يتم تأمين ميول عرضية مناسبة. كما أن الأعشاب الرطبة قد تكون زلقة ما لم يتم جزها (تشذيبها) واستخدام تربة حبيبية. إلا أن هذه الأكتاف تعطي تحديداً جيداً لمسرب المرور ولا تشجع على استخدامها كمسرب مروري ويحتاج تثبيتها لقليل من الصيانة فضلاً عن جز أعشابها.

واستناداً إلى الخبرة، يشعر السائقين بالقلق من الأكتاف غير المثبتة خصوصاً على الطرق ذات حجوم المرور العالية كطرق الضواحي السريعة (Expressways)، التي يفضل تبديلها بأشكال أخرى من الأكتاف المثبتة أو المعبدة.

يتم تعبيد الطرق الخلوية ذات مسربي المرور بالاتجاهين في بعض المناطق على كامل العرض بما فيها الأكتاف بحيث يتراوح عرضها من 8.4 إلى 13.2 م. ويقي هذا النمط من المعالجة الأكتاف من التآكل كما يحافظ أيضاً على تربة الطابق الترابي من تسرب الرطوبة ما يؤدي إلى تعزيز متانة وديمومة طبقات الرصف. كما تستخدم عادة خطوط الدهان الجانبية لتحديد حافة مسرب المرور.

5-4-5 الأكتاف المتمايزة Shoulder Contrast

من المفضل أن يكون لون وبنية الأكتاف مختلفاً عن مسرب المرور مما يعطي تحديداً واضحاً لمسرب المرور في كافة الأوقات خصوصاً في الليل والطقس العاصف كما يعوق استخدام الأكتاف كمسارب عبور إضافية. وتحقق الأكتاف ذات أنواع السطوح الإسفلتية أو الحجرية المكسرة أو الحصى أو الترابية تمايزاً ممتازاً عندما يكون سطح باقي الرصف المجاور من الخرسانة. وبالعكس يصبح تحقيق التمايز على نحو مرض أكثر صعوبة عندما يكون سطح الرصف من البيتون الإسفلتي. ويقلل استخدام خطوط الدهان الجانبية المشروحة في دليل تجهيزات السلامة المرورية الحاجة لاستخدام الأكتاف المتمايزة.

5-5 المسافة الأفقية الخالية من العوائق Horizontal Clearance to Obstructions

يستخدم مصطلح "المنطقة الخالية Clear Zone" للدلالة على المنطقة السالكة والمنبسطة نسبياً خارج حافة مسارب المرور والمجهزة لاسترداد المركبات الجانحة. وتتضمن هذا المنطقة أي أكتاف أو مسارب إضافية. ويمكن الاستعانة بدليل تصميم جوانب الطرق AASHTO Roadside Design Guide لتحديد عرض المناطق الخالية من العوائق حسب السرعة وحجم المرور وميول منحدرات الطابق الترابي للطرق الحرة والشريانية والتجميعية الخلوية ذات السرع العالية. ويجب ألا يقل العرض الأدنى للمنطقة الخالية من العوائق عن 3.0 م بالنسبة للطرق التجميعية الخلوية ذات السرعات المنخفضة والطرق المحلية الخلوية.

وفي الشوارع الشريانية والتجميعية والمحلية الحضرية التي تستخدم الأطاريف تكون مساحة المناطق الخالية من العوائق عادة محدودة. ويجب تأمين مسافة أفقية دنيا تساوي 0.5 م مُقاسه من وجه حجر الأطاريف ويفضل استخدام عروض أكبر حين توفر الإمكانية مما يسمح بوقوف المركبات دون أن يؤثر ذلك سلباً على تدفق المرور.

6-5 الأطاريف Curbs

1-6-5 اعتبارات عامة General Considerations

يؤثر نمط وتموضع الأطاريف على سلوك السائق وشروط السلامة ومرافق الطريق. وتخدم الأطاريف بعض أو كل من الأهداف التالية: تنظيم التصريف، وتحديد جوانب الطريق، وتقليص حرم الطريق، واعطاء مظهر جمالي، وتخطيط ممرات المشاة، وتخفيض عمليات الصيانة، والمساعدة في تطوير جوانب الطريق بشكل منظم. والأطاريف بحكم التعريف تتضمن عنصراً رأسيا أو مرتفعاً بعض الشيء.

تستخدم الأطاريف بشكل واسع على كل أنماط الطرق الحضرية منخفضة السرعة. ولصالح الأمان يجب توخي الحذر باستخدام الأطاريف على الطرق الخلوية عالية السرعة، وحين يتطلب الأمر لاستخدامها على طول الطرق لاعتبارات تتعلق بالتصريف أو الحاجة لضبط المداخل أو تضييق حرم الطريق أو لأي أسباب أخرى يمكن وضعها خارج حافة الكتف الجانبي.

تكون الأطاريف عادةً من البيتون الإسمنتي (الخرسانة) كما تستخدم الأطاريف الحجرية المصنوعة من الغرانيت أو البازلت عندما تكون أسعارها منافسة اقتصادياً نظراً لديمومتها.

ولا تتمتع الأطاريف التقليدية من البيتون الإسمنتي أو الاسفلتي بتمايز محسوس في الرؤية عن سطح الرصف الاسفلتي العادي خصوصاً في حالة الضباب ليلاً عندما تكون السطوح رطبة. وقد تتحسن الرؤية على الجزر الفاصلة بين مسارات حركة المرور ذات الأطاريف المستمرة على طول حافة مسرب المرور من خلال استخدام العلامات العاكسة التي يتم لصقها فوق حجر الأطاريف.

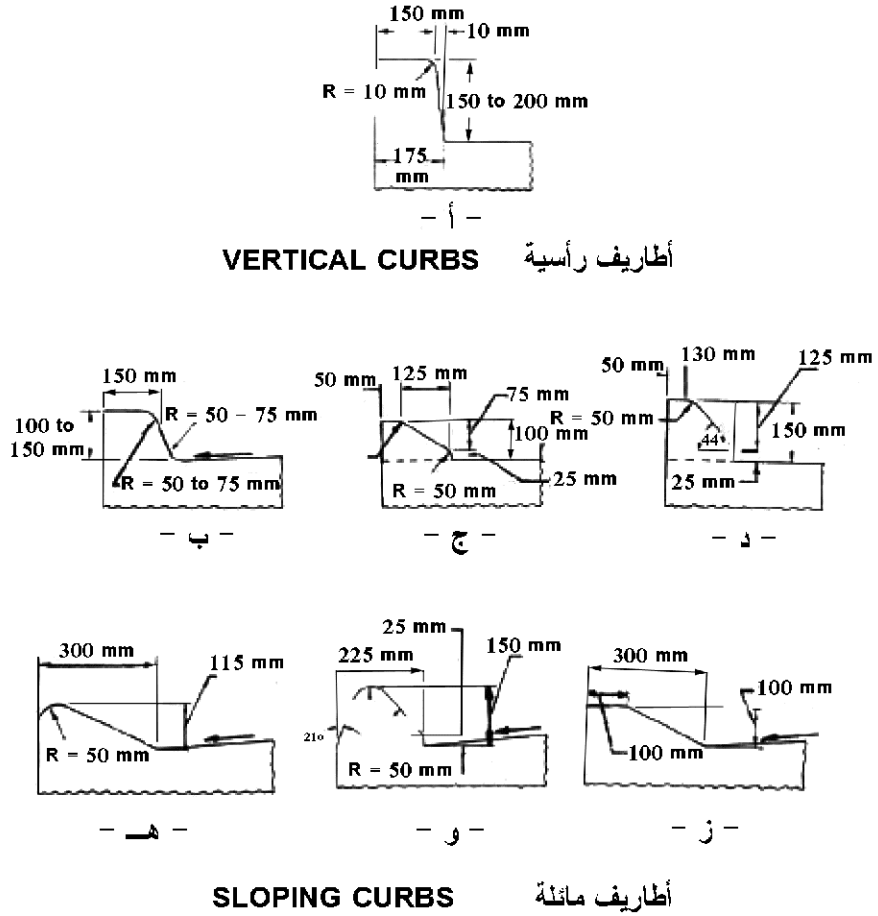
لتحسين الرؤية، يمكن استخدام الدهان العاكس أو أية أسطح أخرى عاكسة كالطلاء بالبلاستيك الحراري لجعل الأطاريف أكثر وضوحاً. ومن أجل الحصول على فعالية كاملة تحتاج الأطاريف العاكسة إلى تنظيف واعادة دهان بشكل دوري وهو مايقتضي تكاليف صيانة عالية. كما يجب التقيد بدليل تجهيزات السلامة المرورية (MUTCD).

2-6-5 أشكال الأطاريف Curb Configurations

تشمل أشكال الأطاريف كلاً من الأطاريف الرأسية والمائلة. ويوضح الشكل (5-6) أشكال متعددة من الأطاريف الشائع استخدامها. ويمكن تصميم الأطاريف كوحدة منفصلة أو متكاملة مع سطح الرصف. وقد يشمل تصميم الأطاريف المائلة والرأسية تصميم المجراية (Gutter) لتشكل مقطع من الأطاريف والمجراية (لتصريف المياه).

قد تكون الأطاريف الرأسية إما رأسية تماماً أو قريبة من الرأسية، وتهدف الى منع المركبات من مغادرة سطح الطريق. ويتراوح ارتفاعها من 15-20 سم كما هو موضح في الشكل (5-6-أ). ويجب عدم استخدام الأطاريف الرأسية على الطرق الحرة أو الطرق الأخرى عالية السرع لأن فقدان السيطرة على المركبة قد يسبب انقلابها أو طيرانها في الهواء نتيجة الاصطدام مع هذا النوع من الأطاريف. وطالما أن هذه الأطاريف غير مناسبة لمنع المركبات من مغادرة سطح الطريق لذلك يجب تأمين حواجز أمان مرورية مناسبة لإعادة توجيه المركبات حين يتطلب الأمر ذلك.

ومن المستحسن وضع الأرصفة مع الأطاريف الرأسية بمحاذاة الجدران الاستنادية أو جدران الأنفاق على طول جوانب الطرق خصوصاً في الأجزاء التي لا تتوفر فيها أكتاف بالعروض المطلوبة. وتعمل هذه الأطاريف على ابعاد سائقي المركبات من القيادة بشكل قريب من الجدارن وتجهيزات ممرات المشاة وبالتالي تقليل مخاطر هذه المركبات على المشاة.



الشكل (5-6) أطاريف طرق نمطية

تصمم الأطاريف المائلة بحيث تستطيع المركبات عبورها بسرعة عند الحاجة الملحة، وتوضح الأشكال (5-6- ب) حتى (5-6- ز) الأطاريف المائلة قليلة الارتفاع بوجه ذو ميل خفيف. ويتم تركيب الأطاريف الواردة في الأشكال (5-6- ب) حتى (5-6- د) بحيث يمكن المرور فوقها في الحالات الطارئة بالرغم من أنها ستخدش أسفل بعض المركبات. ويراعى أن تكون مدورة بشكل جيد لتسهيل العبور فوق الأطاريف كما هو موضح في الأشكال (5-6- ب) حتى (5-6- ز).

عندما يكون ميل وجه الأطروفة أكبر من 1 أفقي : 1 رأسي (1V:1H) تستطيع المركبات المرور فوقها بسهولة شريطة أن لا يزيد ارتفاع الأطروفة عن 10 سم ويفضل أن يكون الارتفاع أقل من ذلك، وعندما يتراوح ميل الوجه بين 1 أفقي : 1 رأسي (1V:1H) و 2 أفقي : 1 رأسي (1V:2H) يجب ألا يزيد الارتفاع عن 15 سم. كما يمكن انهاء الوجه السفلي للأطروفة بشكل رأسي كما هو موضح في الأشكال (5-6- ج) و (5-6- د) و (5-6- و) احتياطاً لوضع طبقة اسفلت سطحية جديدة مستقبلاً. ويجب أن لايتجاوز هذا الجزء الرأسي مقدار 5 سم، كما يجب أن لايتجاوز ارتفاع الأطروفة الكلي 15 سم والتي يمكن اعتبارها أطاريف رأسية نوعاً ما منها أطاريف مائلة.

يمكن استخدام الأطاريف المائلة على أطراف الجزر الوسطية وجزر القنولة (لتحديد الجزر الفاصلة ما بين حركة المرور) عند التقاطع وكذلك على أطراف الأكتاف الخارجية. ويمكن على سبيل المثال استخدام أي من أشكال الأطاريف المائلة الواردة في الشكل (5- 6) للجزر الوسطية.

توضع الأطاريف على الطرف الخارجي للأكتاف لتنظيم التصريف وتحديد المسار وضبط المداخل وتقليل التآكل والنحر. وتصبح هذه الأطاريف جزءاً من منظومة التصريف الطولي عند استخدامها مع المجراية (Gutter). وإذا كان عرض الأكتاف المعبدة غير كاف لتوقف المركبات عليها يجب أن تظهر أطروفة الكتف على أنها سهلة الاجتياز لتشجيع السائقين للوقوف بعيداً عن مسرب المرور. وعندما يكون من المتوقع استخدام الطريق من قبل راكبي الدراجات يجب تأمين مسافة كافية عن وجه الأطروفة بحيث يتجنب سائقي الدراجات التعارض مع سائقي المركبات وبنفس الوقت لا يكونوا مضطرين للبقاء قرب الأطاريف. ولمزيد من المعلومات يمكن مراجعة دليل (AASHTO) لتطوير مرافق الدراجات *AASHTO Guide Development of Bicycle Facilities*.

قد يتم إضافة مجراية على طول الطريق ذات الأطاريف الرأسية أو المائلة لتشكيل نظام تصريف أساسي للطريق. ويتم تزويد المجراية أو الأطروفة أو كلتاهما بمأخذ (مدخل) تصريف (Inlet) مزود بغطاء على شكل شواية (Grill) أو مصبعات (Grates). ويتراوح عرض المجراية عادة من 0.3 – 1.8 م وبميل من 5 – 8 % لزيادة السعة الهيدروليكية لمقطع المجراية. وبشكل عام يجب أن يشمل هذا الميل جوار الأطروفة بمسافة تتراوح من 0.6 – 0.9 م. وعند تركيب المجراية بدون أطاريف وبعمق ضحل فإن سعة الجريان تكون قليلة وبالتالي حجم التصريف محدود. وعادة ليس من العملي تصميم مجراية لتصريف كامل الهطول المطري وبالتالي يمكن توقع بعض الزيادة في التدفق على السطح. ويجب أن يبقى انتشار المياه على سطح مسرب المرور ضمن القيم المسموحة من خلال الحجم والتباعد المناسبين لمآخذ التصريف (البلاليع المطرية- Inlets). ويجب عدم وضع أغطية

البلاليع المطرية في المسارب المرورية بسبب التأثير السلبي على السائقين الذين يحاولون تفاديهم. ويجب استخدام أغطية بلاليع مناسبة لحركة الدراجات على شكل مصبعات في أي مكان يسمح بمرور الدراجات عليها.

يعتبر عرض الأطروفة الرأسية أو المائلة عنصراً قائماً بذاته كمقطع عرضي خارج المسارب المرورية. كما لا تُعد المجراية ذات اللون والنوع المغاير جزءاً من المسارب المرورية. ويمكن اعتبار المجراية كجزء من مسرب المرور عندما يتمتع سطحها بنفس لون ونوع مسرب المرور ولايزيد ميلها العرضي كثيراً عن مسرب المرور المجاور لها. ويستخدم هذا التنسيق عادة في المناطق الحضرية عندما يكون عرض حرم الطريق محدوداً ولايسمح بتوفير مساحة اضافية للمجراية. وعموماً تؤثر الأطاريف مهما كان شكلها على حركة السائقين الذين يميلون للهرب منها مما ينقص العرض الفعال لمسرب المرور.

3-6-5 مواقع الأطاريف Curb Placement

قد يكون لوضع الأطاريف الرأسية أو المائلة على حافة مسرب المرور بعض الأثر على الوضع الجانبي للمركبات المتحركة تبعاً لشكل ومظهر الأطاريف. وقد تشجع الأطاريف المائلة قليلة الارتفاع سائقي السيارات بالحركة بشكل قريب نسبياً منها، بينما تعمل الأطاريف الرأسية على ابعاد السائقين ولذلك يجب توسيع عرض الطريق قليلاً بشكل إضافي. وتوضع الأطاريف المائلة على حافة مسرب المرور مع اعتبار إمكانية اجتيازها في الحالات الطارئة وبدون أضرار عندما تكون السرعة منخفضة. ويمكن وضع الأطاريف على حافة مسرب المرور للشوارع الواقعة داخل المدن ذات السرعات المنخفضة، إلا أنه من المفضل إبعادها لمسافة تتراوح ما بين من 0.3 – 0.6 م.

7-5 خنادق (قنوات) التصريف الجانبية وميول منحدرات الطابق الترابي
Drainage Channels and Side Slopes

1-7-5 اعتبارات عامة General Considerations

يجب أن يجسد تصميم تصريف الطرق العصرية شروط السلامة والمظهر الجيد وضبط التلوث والاقتصاد في الصيانة. ويشمل هذا ميول منحدرات الطابق الترابي وخنادق التصريف العريضة والتدوير لحواف مقطع الطريق.

يرتكز جزء مهم من تصميم الطرق على التواصل والاستمرارية مع البيئة المحيطة دون أن يكون هناك أي انقطاع بينهما مع الأخذ بعين الاعتبار الانسجام بين كافة عناصر الطريق الهندسية. فالعلاقة المتبادلة بين خنادق التصريف وميول منحدرات الطابق الترابي مهمة للسلامة المرورية نظراً لأن الميول الجانبية جيدة التصميم تقلل من الخطورة المحتملة للحوادث الناجمة عن خروج المركبة عن سطح الطريق.

2-7-5 خنادق التصريف Drainage Channels

تقوم خنادق التصريف بوظيفة حيوية لجمع ونقل المياه السطحية من حرم الطريق. ولذلك يجب أن تكون ذات سعة كافية للجريان التصميمي وتحقق الحد الأدنى من الضرر للطريق في حالة العواصف المطرية غير الاعتيادية، ويكون توضعها وشكلها بحيث توفر انتقال آمن نسبياً حين خروج المركبة الاضطراري عن مسارب المرور أو الأكتاف إلى الميل الخلفي (الخارجي) للخندق Back Slopes. ويجب حماية الخنادق من الحت من خلال إكسائها بطبقة حماية قليلة الكلفة بحيث تتحمل سرعة الجريان المتوقعة. ويجب الحفاظ على الخنادق نظيفة وخالية من المواد التي قد تقلل من سعة تصريفها مما قد يؤدي إلى الفيضان المترافق غالباً مع الحت والترسيب في المناطق المتاخمة للخندق.

عندما يشكل انشاء الطريق أثراً سلبياً على ظروف التصريف عند المصب، يكون للخنادق دور فعال في جمع مياه الأمطار ضمن حرم الطريق وتصريفها إلى أقرب مجرى مائي. إن الغاية الأساسية من انشاء الخنادق الجانبية هو تصريف مياه الأمطار السطحية بشكل فعال. والطريقة الأكثر اقتصادية لذلك هو انشاء خنادق جانبية مفتوحة ناجمة عن حفر الأرض الطبيعية المجاورة للطريق. ومن وجهة نظر الفعالية الهيدروليكية يفضل أن يكون للخنادق جوانب منحدرة، ومن وجهة نظر الثبات والأمان أن يكون للميل الأمامي (الداخلي) لخندق التصريف ميلاً منبسطاً. كما تفرض عوامل الانشاء والصيانة قيوداً على درجة انحدار الميل باتجاه تخفيفها على طول جوانب الطريق. ويجب الأخذ بعين الاعتبار تكاليف عامل توسيع عرض حرم الطريق عند اختيار الميول اللازمة.

إن استخدام الميول الأمامية (الداخلية) للخندق (Fore Slope) أكبر من 4 أفقي : 1 رأسي (1V:4H) يقلل من مجال الميول الخلفية (الخارجية) للخندق (Back Slopes) كما يوفر ميل الخندق الجانبي الداخلي الخفيف مساحة أكبر لاستعادة المركبة الجانحة. ولمزيد من المعلومات يمكن العودة إلى دليل (AASHTO) لتصميم جوانب الطرق *AASHTO Roadside Design Guide*.

يجب أن يكون عمق الخندق كافياً لتصريف المياه السطحية دون إشباع الطابق الترابي. ويتعلق عمق الماء المسموح خصوصاً ضمن الخنادق ذات الميول الخفيفة بخواص التربة. وفي المناطق التي يسود فيها طقس شتاء قاسي من المفضل أن يتراوح الميل الجانبي الداخلي للخندق من 5 أفقي : 1 رأسي (1V:5H) حتى 6 أفقي : 1 رأسي (1V:6H) لتقليص تكدس الثلوج.

كما توفر الخنادق العريضة المستديرة النهايات والمنبسطة إحساساً بالرحابة مما يقلل من توتر السائق. ويكون كامل الخندق الجانبي مرئيا من قبل السائق عندما يكون ميله الجانبي 4 أفقي : 1 رأسي (1V:4H) أو أقل حدة (أكثر انبساطاً) من ذلك وبوجود كتف بعرض 3 م، مما يقلل من شعور السائق بالتقييد وإمكانية استعداده لاستخدام الأكتاف في الحالة الطارئة.

يجب أن يعتمد الميل الطولي الأدنى المفضل لخندق التصريف على سرعات التصريف المطلوبة لتجنب الترسيب. كما يجب أن يعتمد الميل الطولي الأقصى المفضل لخندق التصريف غير المكسي (المبطن) على السرعة المسموحة لنمو النباتات والحت على نوع التربة السائدة ولمزيد من

المعلومات في هذا الإطار يمكن العودة إلى دليل التصميم الأمريكي (الآشتو) حول تصريف المياه عن الطرق *AASHTO Highway Drainage Guide*. وليس من الضروري أن يتبع ميل الخندق الطولي ميل الطريق، خصوصاً عندما يكون الميل خفيفاً. كما أنه ليس من الضروري أن يكون المقطع العرضي لخنادق التصريف الجانبية واحداً على طول الطريق على الرغم من أنه يفضل ذلك، لأنه يمكن أن يتغير عرض وعمق الخندق لتصريف كميات مختلفة من المياه.

خنادق التصريف الوسطية هي عبارة عن مناطق ذات عمق ضحل توضع في الجزيرة الوسطية للطرق مفصولة الاتجاهين وتتشكل من ميول جانبية خفيفة للطرف الأيسر على جانبي الطريق. وتميل هذه المنطقة المنخفضة بشكل طولي حتى أقرب نقطة تصريف أو عمل صناعي (عبارة أو مجرى سيل).

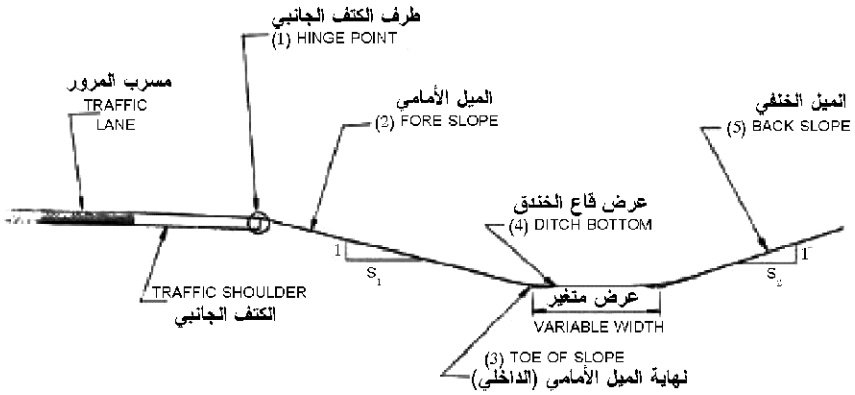
يمكن منع حت وتعرية الخنادق من خلال اكسائها (تبطينها) بمواد تقاوم العوامل الطبيعية وسرعة تدفق مياه العاصفة المطرية. ويعتمد نمط التبطين للخنادق الجانبية للطرق على سرعة الجريان ونوع التربة والميل الطولي والتصميم الهندسي للمجراية. وعادة ما يستخدم التعشيب كبطانة للخندق والذي يعد الاقل كلفة باستثناء الميول الطولية الشديدة عندما تتجاوز سرعة الجريان السرعات المسموحة لنمو الأعشاب. ويمكن استخدام مواد أخرى لتبطين الخنادق كالخرسانة والإسفلت والحجارة والنايلون عندما لايمكن استخدام التعشيب.

3-7-5 الميول الجانبية Side Slopes

يجب تصميم ميول منحدرات الطابق الترابي الجانبية لضمان ثبات الطريق وتوفير فرصة معقولة لاسترداد المركبات التي تم فقدان السيطرة عليها. يوجد ثلاث مناطق لجانب الطريق هامة من ناحية السلامة:

1. نقطة نهاية الكتف الخارجية Hinge Point
2. الميل الأمامي (الداخلي) للخندق Fore Slope
3. نهاية الميل الأمامي (الداخلي) للخندق Toe of Slope (نقطة تقاطع ميل الخندق الداخلي مع قاع الخندق)

ويوضح الشكل (5-7) هذه المناطق الثلاث.



الشكل (5-7) تحديد مناطق جوانب الطريق

تساهم نقطة نهاية الكتف (نقطة المفصل Hinge point) بتقليل التحكم بالقيادة لأن المركبات تبدو محملة بالهواء (طائرة في الهواء) عند عبورها هذه النقطة. وتعد منطقة الميل الأمامي (الداخلي) للخندق مهمة في التصميم، لأن السائق يقوم بمناورة للرجوع إلى الطريق أو إنقاص السرعة قبل أن يصطدم بمنطقة الخندق. وغالباً ما تكون منطقة نهاية الردم ضمن المنطقة الجانبية الخالية من العوائق ولذلك فإن احتمال وصول مركبة في حالة فقدان التحكم يعد احتمالاً كبيراً. وفي هذه الحالة يجب توفير انتقال آمن بين الميل الجانبي الأمامي (الداخلي) Fore Slope والميل الخلفي (الخارجي) للخندق Back Slope.

وقد تبين أن تدوير نهاية (حافة) الكتف يمكن أن يزيد السلامة العامة لجانب الطريق حيث تقلل الزوايا المستديرة من فرص انقلاب المركبات الجانحة عن سطح الطريق وبالتالي توفير قدرة أكثر للسائق على التحكم بمركبته. من المفضل ألا يزيد الميل الداخلي للخندق عن 4 أفقي : 1 رأسي (1V:4H) لأن ذلك يحد بشدة من اختيار ميل مناسب للميل الخارجي للخندق. ويمكن استخدام ميول 3 أفقي : 1 رأسي (1V:3H) أو أكثر حدة عندما لا تسمح شروط الموقع بذلك. وعند استخدام ميل أكبر من 3 أفقي : 1 رأسي (1V:3H) يجب أخذ الاحتياطات لاستخدام حواجز أمان جانبية.

يجب تخفيف ميول منحدرات الحفر والردم وتدوير زواياها بشكل جيد بحيث تتلاءم مع الوضع الطبوغرافي وتنسجم مع مجمل نوع الطريق. وتتعلق فعالية ضبط الحت (النحر)، وانخفاض تكاليف الصيانة، والتصريف المناسب (الكافي) لمياه الأمطار عن الطابق الترابي (طبقة التأسيس الترابية) إلى حد كبير بالميل المناسب لمنحدرات الطابق الترابي الجانبية. وتستخدم الخبرة المكتسبة في استخدام الميول المناسبة ونوع التربة لاختيار الميل المناسب الذي يحقق ثبات ومتانة المنحدرات وتخفيف الحت المحتمل. ولا يتعلق مجمل كلفة الطريق على تكاليف الإنشاء الأساسية فحسب ولكن أيضاً على تكاليف الصيانة التي تتعلق بدورها بثبات المنحدر. علاوة على ذلك تعطي الميول الخفيفة والمستديرة الحواف منظراً طبيعياً ومظهراً عاماً جيداً ملائماً لجوانب الطرق الكائنة بالقرب من الأماكن المأهولة المتطورة.

يجب ألا يزيد ميل المنحدر الخلفي (الخارجي) عن 3 أفقي : 1 رأسي (1V:3H) ليتناسب مع معدات الصيانة. وفي المناطق المطورّة (التجارية، السكنية والصناعية) قد لا يكون من المتيسر تأمين مساحة كافية تسمح باستخدام الميول المفضلة، لذلك يجب تقييم تطبيق ميول أكبر من 3 أفقي : 1 رأسي (1V:3H) انطلاقاً من ثبات التربة والسلامة المرورية. وتستخدم الجدران الاستنادية عندما تكون المساحات المتاحة محدودة والتي لاتسمح باعطاء ميول أقل من 2 أفقي : 1 رأسي (1V:2H). وقد تستلزم خواص التربة أحياناً استخدام ميول أقل من 2 أفقي : 1 رأسي (1V:2H) أو حتى 3 أفقي : 1 رأسي (1V:3H).

ونحتاج للجدران الاستنادية عادةً عندما لا تتوفر عروض كافية لتوضيع المنحدرات بالميول المناسبة. ويجب أن يتوافق نوع الجدران الاستنادية مع طبيعة المنطقة ومنشآت الفصل بين المناسيب في البيئة المحيطة. ولتقليل الشعور بالتقييد إلى حده الأدنى يجب ابعاد هذه الجدران ما أمكن عن مسارب المرور.

على الطرق الحرة والطرق الشريانية الأخرى ذات الجوانب العريضة نسبياً يجب تصميم ميول المنحدرات الجانبية بحيث تؤمن فرص معقولة لاستعادة المركبات الخارجة عن السيطرة. يمكن تفادي العديد من الحوادث المحتملة عندما تكون نقطة الجنوح على جوانب الطريق منبسطة بشكل معقول ومستوية وخالية من الأجسام الثابتة وتصبح فرصة استعادة السيطرة على المركبة مواتية عندما يكون ميل منحدرات الطابق الترابي للطريق 6 أفقي : 1 رأسي (1V:6H)، وعليه يجب استخدام هذا الميل كلما كان ذلك ممكناً من الناحية العملية. ويمكن أيضاً استخدام ميول انحدار 3 أفقي : 1 رأسي (1V:3H) أو أخف حدة في مناطق الردم متوسطة الارتفاع على الرغم من عدم امكانية العودة للطريق.

تُيسر ميول الردميات الجانبية المنبسطة والأطراف (الحواف) المستديرة العشب فوقها وصيانتها اللاحقة عندما لاتتجاوز الميول 2 أفقي : 1 رأسي (1V:2H) أو أكثر في حالة الطقس المواتي و 3 أفقي : 1 رأسي (1V:3H) في حالة الطقس الجاف. وتصبح زراعة العشب صعبة إذا كان الميل 3 أفقي : 2 رأسي (2V:3H) أو أكثر حدة حتى في المناطق ذات الهطول الجيد. و في المنحدرات شديدة الميل لا يتسرب الماء اللازم لري الأعشاب إلى التربة بسبب سرعة الجريان الكبيرة وعندها يكون من المناسب استخدام النباتات ذات الجذور العميقة التي لا تعيش على المياه السطحية فقط كما يمكن جز (قص) الأعشاب بشكل ميكانيكي على الميول من مرتبة 3 أفقي : 1 رأسي (1V:3H) أو أخف حدة.

في بعض أنواع التربة تكون الميول المنبسطة على نحو معقول مسألة أساسية من أجل الثبات. وتكون الترب الغضارية (الطينية) أو السلتية بشكل خاص عرضة للحت (النحر) لذا يجب استخدام ميل 3 أفقي : 1 رأسي (1V:3H) أو أخف حدة. يجب أن تتوافق تقاطعات مستويات الميل في المقطع العرضي للطريق مع تكوين وتضاريس الأرض المجاورة ليصبح السطح قابلاً للعبور، وقد تكون تضاريس الأراضي المجاورة منبسطة بشكل جيد بينما تكون أشكال أخرى مائلة بشكل كبير.

تختلف بشكل واسع الميول التصميمية للصخور وفقاً لطبيعتها. ويستخدم على نحو شائع ميول منحدرات في الحفر مساوية 1 أفقي : 2 رأسي (2V:1H). ويمكن استخدام طرق الحفر الحديثة كالتفجير في الصخور القاسية لاعطاء ميل مساوياً 1 أفقي : 6 رأسي (6V:1H). وغالباً ما تتطلب الحفريات العالية انشاء مصاطب. ويعزز استخدام غطاء نباتي من مظهر وثبات ميول الصخور الضعيفة.

8-5 حواجز الأمان Traffic Barriers

1-8-5 اعتبارات عامة General Considerations

تستخدم حواجز أمان المرور لمنع المركبة التي يمكن ان تخرج عن سطح الطريق من الارتطام بجسم ما مسببة بذلك حادثاً محتملاً أشد خطورة من الارتطام بالحاجز نفسه. وبما أن حواجز الأمان نفسها مصدر محتمل للحادث لذا يجب توخي الحذر عند استخدامها. ولمزيد من التفاصيل يمكن

الرجوع إلى دليل تصميم جوانب الطرق AASHTO Roadside Design Guide. وهناك نوعين من الحواجز:

1. حواجز الأمان الطولية وتستخدم لإعادة توجيه المركبة الجانحة
2. مخدات تخفيف الاصطدام وتستخدم لإبطاء سرعة المركبة الجانحة حتى الوقوف

توضع الحواجز الطولية على طول جانب الطريق وفي الجزيرة الوسطية. وهناك ثلاث أنواع من الحواجز الطولية: مرنة ونصف صلبة وصلبة. والفرق الرئيسي بين هذه الأنواع الثلاثة هو مقدار التشوه الذي يحل بالحاجز عندما يتم الارتطام به.

9-5 الجزر الوسطية Medians

الجزر الوسطية هي ذلك الجزء من الطريق الذي يفصل بين الاتجاهات المتعاكسة لحركة المرور، وهي ضرورية بشكل كبير على الطرق والشوارع الشريانية المؤلفة من أربع مسارب أو أكثر. ويعبر عن عرض الجزيرة الوسطية بالمسافة بين الطرفين الخارجيين للمسربين اليساريين بما فيها الأكتاف اليسارية إن وجدت. والوظائف الأساسية للجزيرة الوسطية هي: الفصل بين حركات المرور المتعاكسة، وتأمين منطقة لاستعادة المركبات التي يمكن أن تخرج عن السيطرة، وتأمين مساحة توقف في الحالات الطارئة، ومساحة تسمح لتغيير السرعات وانتظار للمركبات من أجل حركات الالتفاف نحو اليسار والالتفاف العكسي للعودة نحو الوراء U-turning، والتخفيف إلى الحد الأدنى من الأنوار الأمامية المبهرة، وتأمين عروض احتياطية من أجل المسارب المستقبلية. وهناك ميزات إضافية للجزر الوسطية في المناطق الحضرية وهي افساح المجال لتشكيل مساحات خضراء مفتوحة، وتأمين منطقة يلجأ إليها المشاة عندما يعبرون الشارع. وحتى تكون الجزيرة الوسطية أكثر فعالية، يجب أن تكون مرئية بوضوح عالي ليلاً ونهاراً، كما يجب أن تتمايز مع مسارب المرور. وقد يكون منسوب الجزر الوسطية أعلى أو أخفض أو مساوي لمنسوب سطح الطريق.

عند تحديد عرض الجزيرة الوسطية يجب الأخذ بعين الاعتبار احتمال تزويدها بحواجز حماية. وعندما يكون ذلك ممكناً من الناحية العملية يفضل استخدام جزر وسطية لا تحتاج لحواجز حماية. ويتراوح عادةً عرض الجزر الوسطية من 1.2 – 24 م أو أكثر. وغالباً ما تحد العوامل الاقتصادية من عرض الجزيرة الممكن تأمينه حيث تزداد تكاليف الإنشاء والصيانة بزيادة العرض لكن هذه التكاليف الإضافية لا تضاهي بشكل ملموس تكاليف الطريق الكلية ويمكن تبريرها بالنظر إلى فوائدها.

بشكل عام يجب أن تكون الجزر الوسطية في التقاطعات غير المحكومة بإشارة ضوئية على الطرق السريعة (الشريانية) الخلوية أعرض ما يمكن من الناحية العملية. تعمل الجزر الوسطية الضيقة بشكل أفضل في التقاطعات غير المحكومة بإشارة ضوئية في المناطق الحضرية والضواحي ولذلك يجب عدم استخدام الجزر العريضة فيها. ونلجأ فقط لتعريض الجزر في الطرق الحضرية عندما تكون هناك حاجة لكثير من المركبات للالتفاف واجراء مناورات العبور العرضي بشكل ملائم. كما يجب أن يكون عرض الجزر الوسطية في التقاطعات غير المحكومة بإشارة ضوئية كافي بحيث تسمح للمركبة التصميمية المختارة إجراء المناورة المطلوبة بأمان. ويجب اختيار المركبة التصميمية من أجل تحديد عرض الجزيرة الوسطية بالاعتماد على مزيج المركبات الفعلية أو المتوقعة على التقاطعات أو ضمن المرور الذي يلتف للوراء

بشكل حرف U (U-turn). وعند استخدام الجزر الوسطية العريضة على الطرق عدا السريعة منها يجب الأخذ بعين الاعتبار تأمين مناطق انتظار كافية من أجل أن تعبر المركبات الطريق في التقاطعات غير المحكومة بإشارة ضوئية وعلى الجزر الوسطية المفتوحة التي تخدم الطرق التجارية والخاصة، وفي حالة مثل هذه الجزر المفتوحة هناك حاجة لضبطها كما في التقاطعات. وقد تكون الجزر الوسطية غير مواتية عندما تدعوا الحاجة لتركيب إشارة ضوئية، حيث أنه يمكن أن يؤدي الوقت الزائد اللازم لكي تعبر المركبات الجزيرة الوسطية إلى عدم فاعلية عمل الإشارة.

وإذا كان عرض حرم الطريق محدوداً، يصبح استخدام جزر وسطية عريضة على حساب تضييق المناطق الجانبية من الطريق عملاً غير مبرراً. ويجب توفير مسافة فاصلة بين مسارب حركة المرور وحدود الملكيات المجاورة بعرض معقول لتعمل كمنطقة عازلة. ويجب توفير مساحات على الحدود من أجل الأرصفة وإشارات المرور وخطوط المرافق والمواقف وخنادق التصريف والمنشآت والميول المناسبة ومناطق الاستعادة الخالية وأي نمو قومي دائم. قد يخلق تضييق المناطق المحاذية للطريق عوائق وعقبات على شاكلة تلك الحالة التي تكون فيها الجزر الوسطية مصممة لتفاديها.

من المفضل بشكل عام استخدام الجزر الوسطية ذات المنسوب المنخفض على الطرق الحرة لأنها أكثر فعالية من ناحية التصريف وإزالة الثلج. ومن المفضل أن تكون الميول العرضية لجوانب الجزر الوسطية 6 أفقي : 1 رأسي (1V:6H)، كما يمكن اعتبار الميل 4 أفقي : 1 رأسي (1V:4H) كافياً. ويتم تصريف مياه الأمطار من الجزيرة الوسطية عن طريق سوقها طولياً إلى أقرب منشأة تصريف (عبارة) أو إلى بلاليع مطرية (Inlets) ذات فتحات مغطاة بقضبان حديدية (شوايات – Grill). وتتصل هذه البلاليع عرضياً مع أطراف الطريق الخارجية المنخفضة.

وتستخدم الجزر الوسطية ذات المنسوب المرتفع على الشوارع الشريانية من أجل ضبط حركات الالتفاف نحو اليسار. كما أنها تستخدم كثيراً حيثما يجب زراعة الجزر الوسطية وخصوصاً عندما يكون العرض ضيقاً نسبياً ويجب توخي الحذر إلى مكان ونوع الغرس حيث يمكن أن تخلق وخصوصاً في المناطق الضيقة مشاكلاً لأعمال الصيانة كما أن يمكن لبعض أنواع الغرس كالأشجار في الجزر الوسطية أن يسبب اعاقة لرؤية السيارات الملتفة. وقد تشكل النباتات وعناصر الموقع العام الأخرى في مناطق الجزر الوسطية معيقات جانبية.

تستخدم الجزر الوسطية ذات منسوب واحد مع سطح الطريق بشكل عام على الشوارع الشريانية الحضرية. وعند استخدامها على الطرق الحرة فمن الممكن أن تكون هناك حاجة لحواجز الحماية. وهنا يستخدم كثيراً نوع المقطع العرضي الذي له ذروة وسطية لأنه ينفي الحاجة لجمع مياه التصريف في الجزيرة الوسطية. بشكل عام يفضل تخفيض منسوب الجزر الوسطية بشكل طفيف مع ميل عرضي حوالي 4%.

أصبح مفهوم تحويل الجزر الوسطية التي لها نفس منسوب الطريق المجاور إلى مسارب دوران نحو اليسار باتجاهين على الشوارع الحضرية مقبولاً بشكل واسع. حيث يوفر هذا المفهوم فوائد متعددة عندما يقارن مع الحالة التي تمثل طرقاً بدون جزر وسطية. ومن بين هذه الفوائد: تقليص زمن الرحلة، وزيادة السعة، وتقليل عدد الحوادث. ويعتبر عرض الجزيرة الوسطية الذي يتراوح من 3.0 – 4.8 م تصميماً مثالياً لمسارب الالتفاف نحو اليسار على الطرق ذات الاتجاهين.

عندما لا يوجد إضاءة ثابتة للطريق ليلاً تكون أضواء المصابيح الأمامية الباهرة عبر الجزيرة الوسطية مزعجة خصوصاً عندما تكون المنحنيات حادة أو إذا كان المقطع الطولي للطريق المقابل غير منتظم. يجب اتخاذ الاجراءات اللازمة لتركيب بعض أشكال منع الابهار كجزء متمم لحواجز الحماية للجزر الوسطية.

عندما يكون عرض الجزر الوسطية حوالي 12 م أو أكثر يتولد لدى السائقين شعوراً بالانفصال عن المرور المقابل وينتابهم شعور بالراحة وحرية القيادة، كما لا يمكن الاحساس بالضوضاء وضغط الهواء الناجمين عن المرور المقابل، وتنخفض بشكل كبير الأنوار المبهرة لمصابيح المركبات الأمامية. وعندما يصبح عرض الجزيرة الوسطية 18 م أو أكثر يمكن أن تتحول الجزيرة الوسطية إلى موقع عام جميل على شكل حديقة.

هناك فائدة ظاهرة بوضوح لأي جزيرة فاصلة سواء كان منسوبها أعلى أو أخفض أو مساوي لمنسوب سطح الطريق. وتكون الجزر الوسطية العريضة مفضلة في التقاطعات غير المحكومة بإشارة ضوئية على الطرق الخلوية، بينما تصبح الجزر الوسطية بعرض 18 م أو أكثر غير مرغوبة في تقاطعات الضواحي والمناطق الحضرية أو على التقاطعات المحكومة بإشارة ضوئية أو يمكن أن تحتاج لإشارة ضوئية في المستقبل القريب.

10-5 مواقف المركبات في الشوارع On-Street Parking

يجب تصميم وتطوير شبكة الطرق لتأمين حركة فعالة وآمنة للمركبات التي تسيرعليها. وعلى الرغم من أن تأمين حركة المركبات هي الوظيفة الأساسية لشبكة الطرق أو أجزاء منها إلا أنه نتيجة لاستخدام الأراضي المجاورة لا بد من توفير مواقف انتظار المركبات في الشوارع.

عند تصميم الطرق الحرة أو أي أنماط أخرى مضبوطة المداخل كما في أغلب الشوارع الشريانية والتجميعية والمحلية الحضرية يجب عدم السماح بالوقوف والتوقف إلا في حالات الطوارئ فقط. وتقلل مواقف المركبات في الشوارع عادة من سعة المرور العابر وتعيق تدفقه وتزيد من احتمال وقوع الحادث. وحيث أن الوظيفة الأساسية للشوارع الشريانية هي تأمين حركة المركبات فإنه من المفضل منع وقوف السيارات على أجزاء الشوارع الشريانية الحضرية والخلوية. لذا يجب الأخذ بعين الاعتبار وجود مواقف كجزء من استخدامات أراضي المناطق القائمة ومناطق التوسع ضمن المناطق الحضرية الموجودة قرب الطرق الشريانية. وعادة ما يكون من المتعذر وجود مواقف سيارات مناسبة خارج حرم الشارع، لذلك على المصمم أن يراعي وجود المواقف ضمن الشارع وأن تتوافق مع استخدام الأراضي.

عندما تتطلب التحسينات الطرقية المفترضة تأمين مواقف انتظار المركبات في الشوارع يجب استخدام (تصميم) مواقف للمركبات بشكل موازي للرصيف. وفي بعض الحالات يمكن أن تكون على شكل زاوية مائلة مع الشارع. ويجب أن يعتمد اختيار نمط الموقف على وظيفة وعرض الشارع واستخدامات الأراضي المجاورة وحجم المرور الحالي والمستقبلي. وينجم عن المواقف المائلة بزاوية مشاكل خاصة من حيث تغير أطوال المركبات ومشاكل مسافة الرؤية في مركبات النقل المشترك (الفانات) ومركبات الاستجمام، وقد يتداخل الطول الزائد لمثل هذه المركبات مع مسرب المرور.

إن جزءاً مهماً من مشكلة مواقف المناطق الحضرية هي التوزيع غير المنتظم للمواقف خارج حرم الشارع ضمن مناطق العمل المركزية وغيابها أيضاً في المناطق التجارية المجاورة لهذه المراكز. وكنتيجة يوجد حاجة لمواقف انتظار للمركبات ضمن الشوارع لتأمين توصيل وتحميل البضائع، وغالباً لا يوجد في العديد من هذه المناطق أزقة أو مناطق تحميل خارج الشارع لذا يجب تجهيز مواقف وقوف مؤقت لفترات قصيرة في مناطق العمل أو الأسواق.

يمكن القبول بمواقف ضمن الشوارع الشريانية الحضرية عندما لا يتعارض ذلك مع متطلبات مسارب المرور العابر. أما على الشوارع الشريانية الخلوية فيجب تأمين أماكن احتياطية مخصصة فقط للوقوف في الحالات الطارئة. أما على الشوارع الشريانية الحضرية ضمن مشاريع إعادة الإنشاء أو المشاريع الجديدة حيث يمكن إحراز حرم طريق إضافي عند رفع درجة وظيفة طريق قائم إلى حالة شرياني يجب إزالة المواقف حيثما يؤدي وجودها إلى انخفاض في السعة والأمان. ويجب أخذ الحيطة من تأثير طريقة استخدام الأراضي المجاورة، حيث أن أي نقص في أعداد وجود مواقف السيارات يمكن أن يؤدي إلى خلل في الحالة الاقتصادية للفعاليات التجارية المجاورة.

وقد لوحظ أن أغلب المركبات تقف على بعد 15 – 30 سم عن وجه الأطروفة أو طرف الرصيف مما يجعلها تشغل فعلياً عرض 2.1 م من الشارع. لذلك فإن العرض الأدنى المفضل لمسرب التوقف يساوي 2.4 م، ومع ذلك لتأمين بعد كافي عن مسارب المرور ولتحقيق إمكانية استخدام مسارب التوقف خلال فترات الذروة كمسارب للمرور العابر فمن المفضل أن يكون عرض مسرب التوقف من 3 – 3.6 م. كما أن هذا العرض مناسب جداً لتوقف سيارات تحميل وتنزيل البضائع وتخديم مسالك الدراجات ويسمح لراكبي الدراجات المناورة حول الأبواب المفتوحة للمركبات.

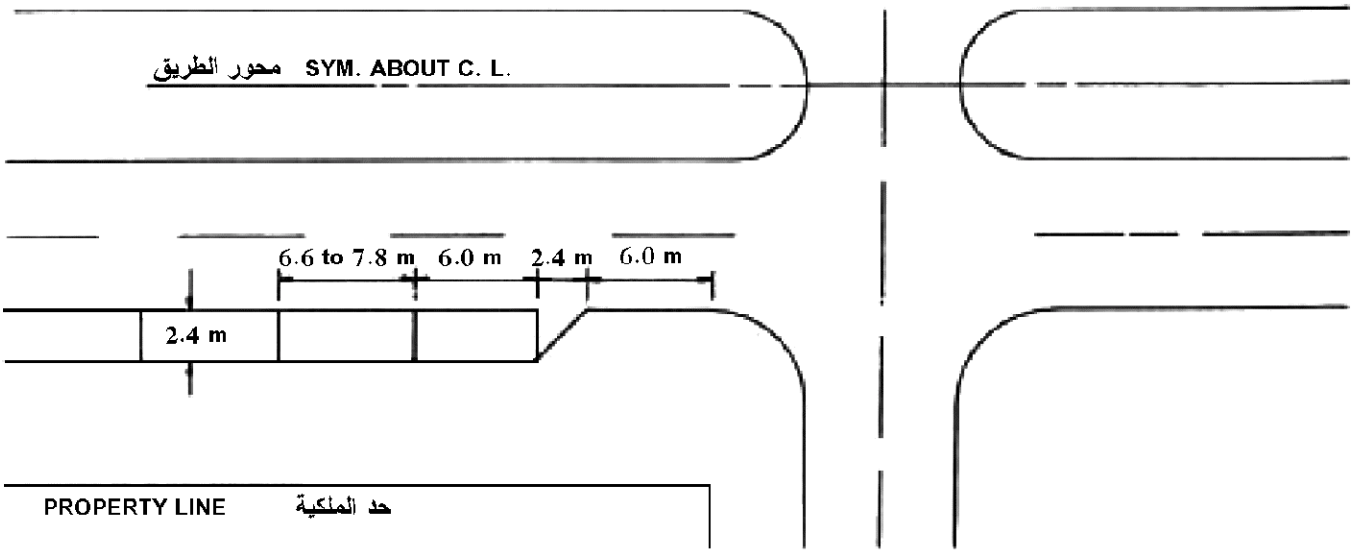
تتساوى الحاجة للتخديم والحركة للشوارع التجميعية الحضرية، لذلك فإن العرض المفضل لمسرب التوقف يساوي 2.4 م ليلائم التنوع الكبير لحركات المرور واستخدامات الأراضي. ومن المفضل أن يكون عرض مسرب التوقف من 3 – 3.6 م من أجل توفير مسافة كافية للفصل عن مسارب حركة المرور وتوفير امكانية استخدام مسارب التوقف خلال فترات الذروة كمسارب للمرور العابر. أما على الشوارع التجميعية ضمن المناطق السكنية حيث تكون المواقف مخصصة فقط لسيارات الركوب الصغيرة فإن عرضاً مقداره 2.1 م لمسرب التوقف يحقق الغاية المطلوبة. ويستخدم عادةً عرض كلي للطريق يساوي 10.8 م يتألف من مسربي مرور بعرض 3.3 م لكل منهما ومسربي توقف بعرض 2.1 م على كل طرف.

ويسمح بشكل عام بوقوف المركبات في الشوارع المحلية. ويستخدم مقطع عرضي نمطي للطريق عرضه 7.8 م في العديد من المناطق السكانية الحضرية. ويؤمن هذا العرض مسرب مرور واحد حتى لو كان التوقف يحدث على الجانبين. ولا يتم عادة تخصيص مسارب مرور خاصة بالتوقف على مثل هذه الشوارع المحلية. قد يكون عدم وجود مسربي مرور غير مناسب للمستخدم في بعض الحالات. وقد ينجم عن المواقف العشوائية المتقطعة على جانبي الشارع إلى امكانية حدوث حركة مرور باتجاهين.

عند انشاء طرق جديدة يجب الأخذ بعين الاعتبار تأمين فواصل طولية على حدود مسرب التوقف المقترح، لأن مثل هذه الفواصل تساعد على تأكيد أن المركبات المتوقفة بعيدة عن مسارب المرور الموازية لها.

ويساعد استخدام علامات من الدهان على سطح الشوارع الإسفلتية على تحديد مسارب التوقف. كما يشجع تخطيط المواقف على استخدام أكثر فعاليةً وانتظاماً لمساحات الموقف ومنع التعدي على مناطق فوهات مياه الحريق ومواقف الباصات ومناطق التحميل والمناطق القريبة من الزوايا (ملتقى الطرق المتقاطعة).

في المناطق الحضرية وأماكن العمل الرئيسية والمناطق التجارية يتواجد عدد كبير من المشاة أثناء العبور، وعندما تصل مسارب التوقف إلى التقاطعات قد يستخدم السائقون هذه المسارب للالتفاف نحو اليمين مما قد يؤدي إلى مشاكل تشغيلية ناجمة عن امكانية مرور المركبة الملتفة فوق الأطاريف أوالاصطدام ببعض عناصر التقاطع كالإشارة الضوئية أو أعمدة المرافق أو غيرها. ولمنع ذلك يجب ايقاف مسرب التوقف قبل مسافة لاتقل 6 م عن التقاطع بحيث يصبح الطريق تدريجياً دون مسرب توقف وذلك على بعد يساوي 6 م من التقاطع، ويوضح الشكل (5-8) مثال عن هذه المعالجة.



Parking Lane Transition at Intersection

الشكل (5-8) كيفية انهاء مسارب الوقوف قبل التقاطع

5-11 أنماط المقاطع العرضية للطرق الخلوية والحضرية

5-11-1 أنماط المقاطع العرضية الخلوية

توضح الأشكال التالية من (5-9) حتى (5-17) بعض المقاطع العرضية النمطية للطرق الخلوية التي يمكن الاستهداء بها أثناء التصميم:

الشكل (5-9) – مقطع عرضي لطريق خلوي محلي ذو حارتي مرور بالاتجاهين

الشكل (5-10) – مقطع عرضي لطريق خلوي تجميعي ذو حارتي مرور بالاتجاهين

الشكل (5-11) – مقطع عرضي لطريق خلوي ذو حارتي مرور بالاتجاهين

الشكل (5-12) – مقطع عرضي لطريق خلوي ذو حارتي مرور بالاتجاهين مع حارة تسلق

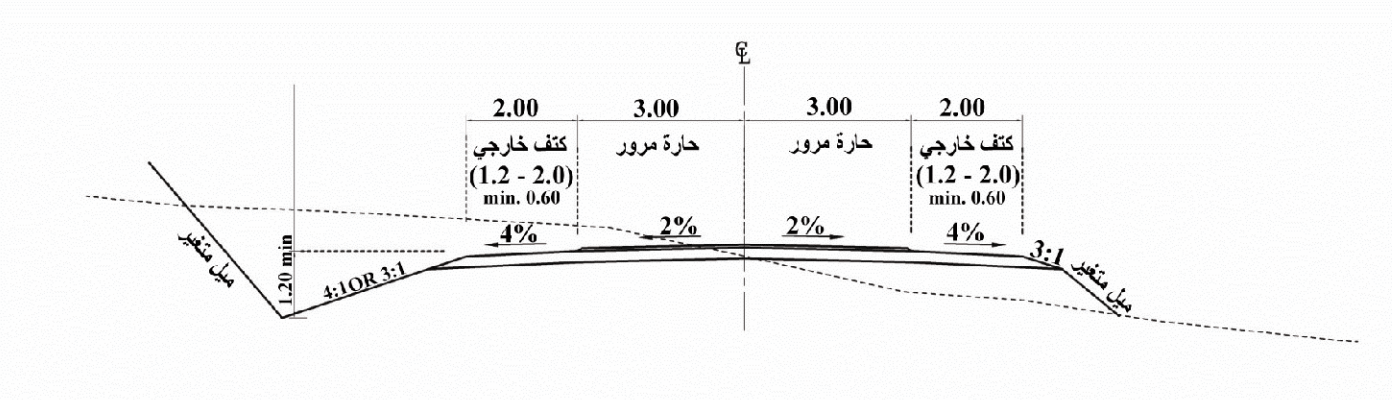
الشكل (5-13) – مقطع عرضي لطريق خلوي شرياني ذو أربع حارات مفصول بجزيرة وسطية (خندق)

الشكل (5-14) – مقطع عرضي لطريق خلوي شرياني ذو أربع حارات مفصول بحاجز أمان خرساني من نوع نيو جرسي (NEW JERSEY)

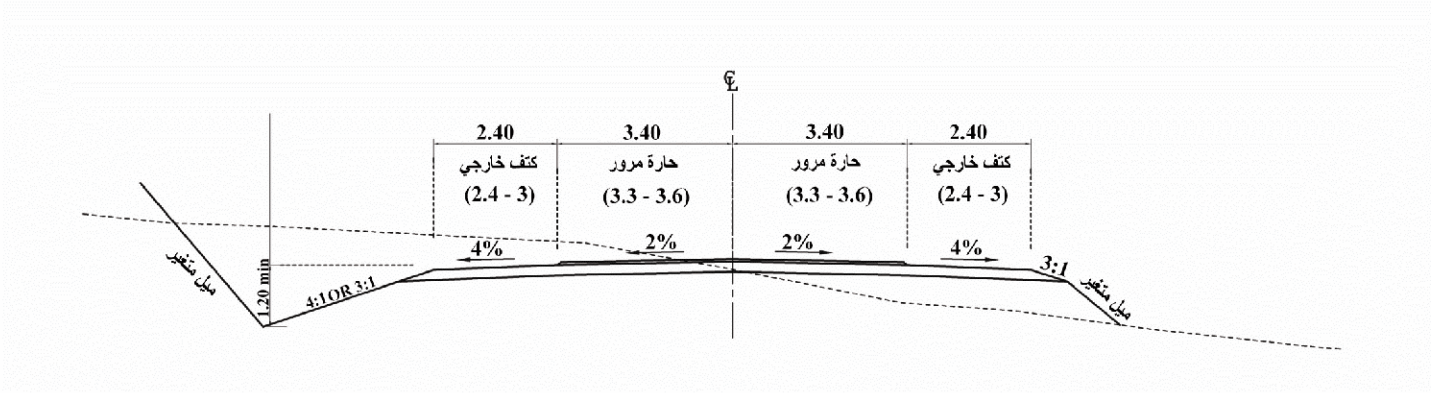
الشكل (5-15) – مقطع عرضي لطريق خلوي شرياني ذو أربع حارات مفصول بحاجز أمان خرساني من نوع نيو جرسي (NEW JERSEY) مع حارة تسلق

الشكل (5-16) – مقطع عرضي لطريق خلوي ذو أربع حارات بالاتجاهين مفصول بجزيرة وسطية مرتفعة مع انارة

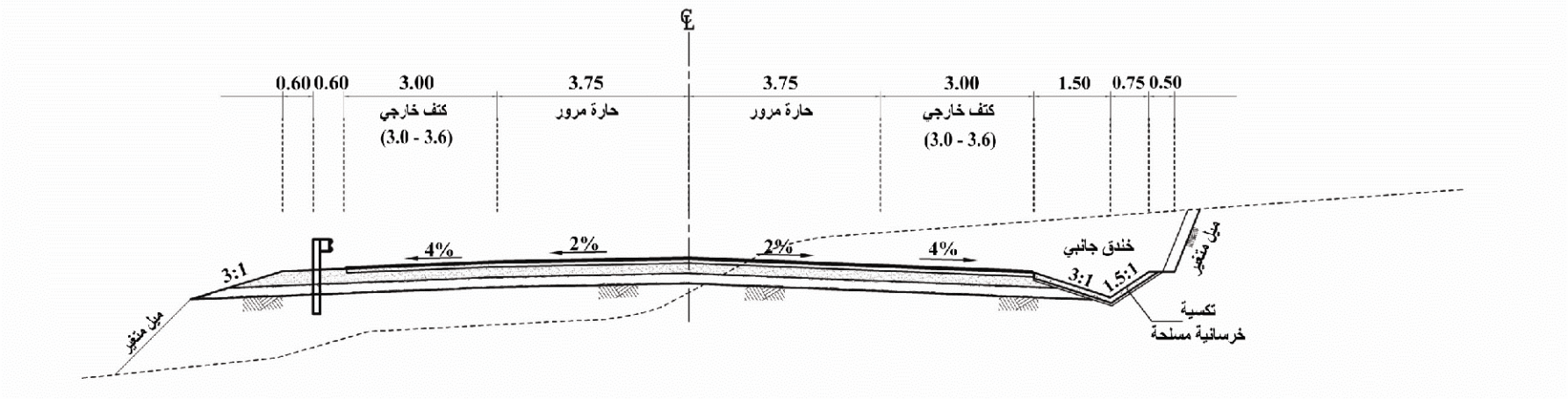
الشكل (5-17) – مقطع عرضي لطريق خلوي شرياني ذو ستة حارات مفصولة بحاجز أمان خرساني



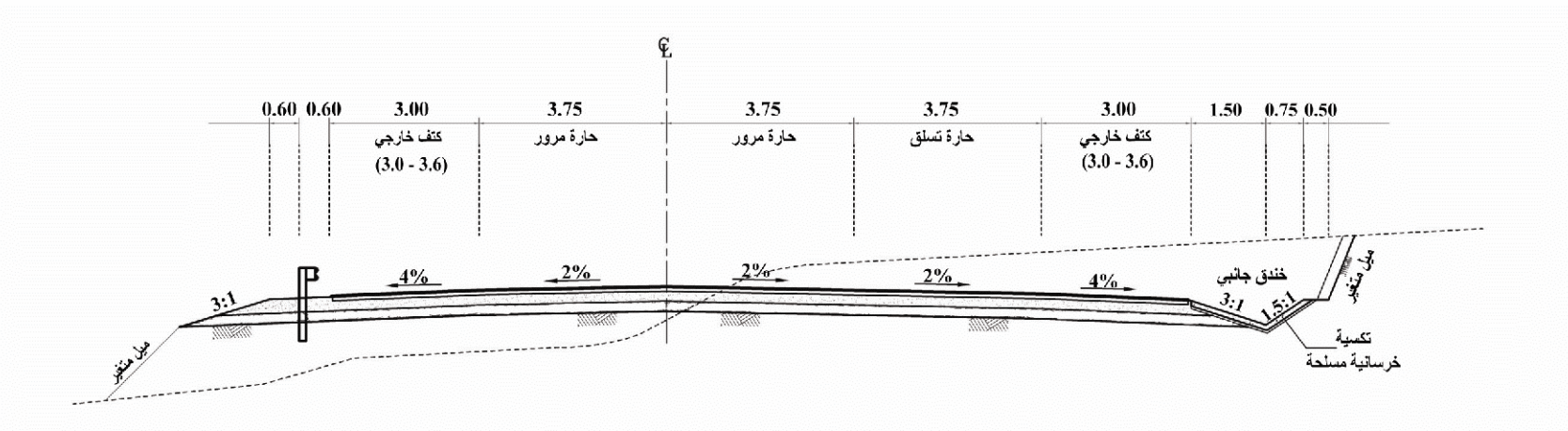
الشكل (5-9) – مقطع عرضي لطريق خلوي محلي ذو حارتي مرور بالاتجاهين



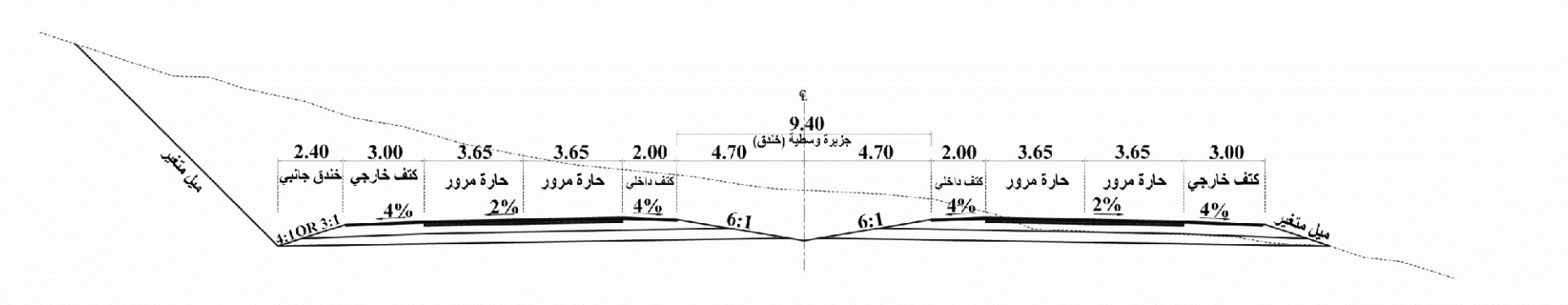
الشكل (5-10) – مقطع عرضي لطريق خلوي تجميعي ذو حارتي مرور بالاتجاهين



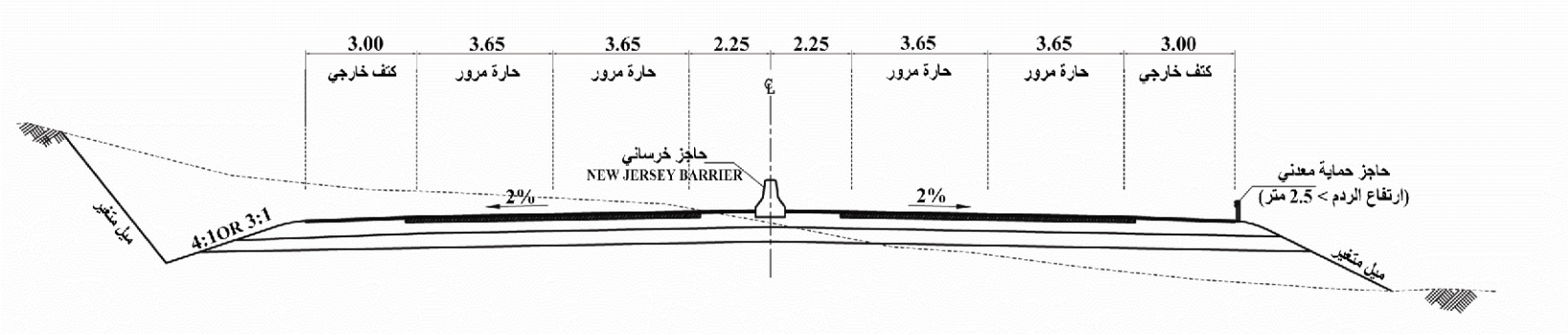
الشكل (5-11) – مقطع عرضي لطريق خلوي ذو حارتي مرور بالاتجاهين



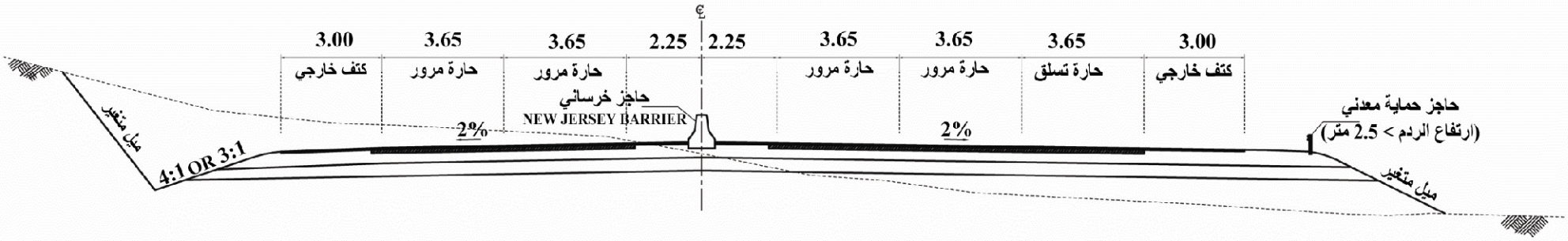
الشكل (5-12) – مقطع عرضي لطريق خلوي ذو حارتي مرور بالاتجاهين مع حارة تسلق



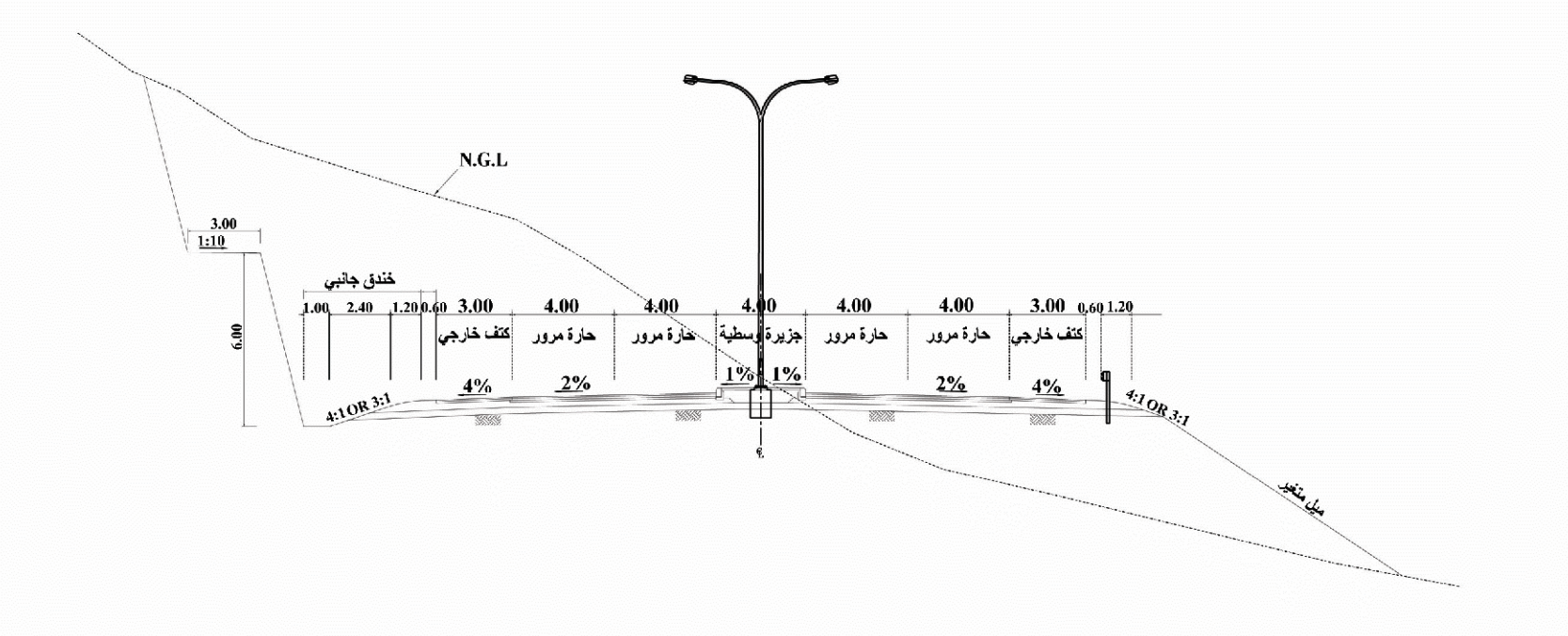
الشكل (5-13) – مقطع عرضي لطريق خلوي شرياني ذو أربع حارات مفصول بجزيرة وسطية (خندق)



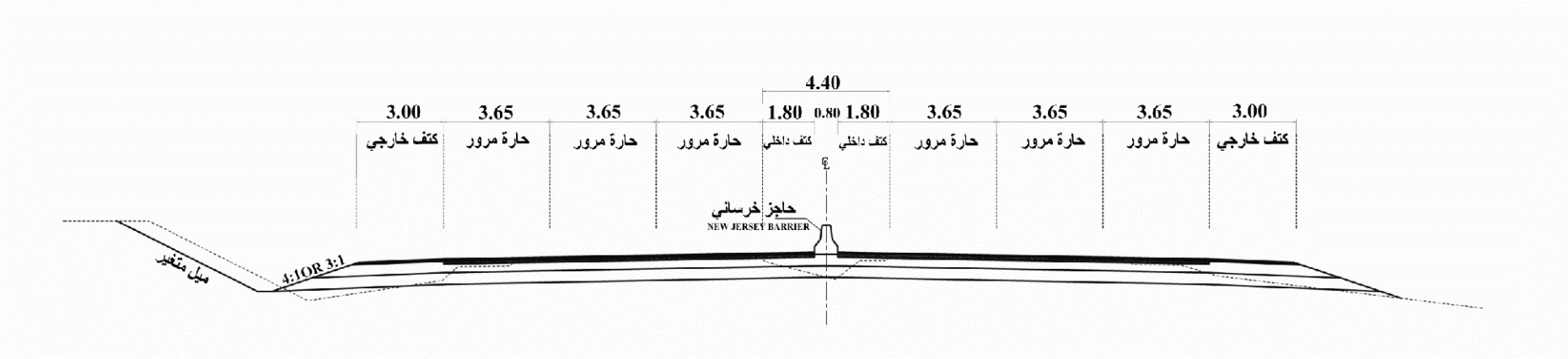
الشكل (5-14) – مقطع عرضي لطريق خلوي شرياني ذو أربع حارات مفصول بحاجز أمان خرساني من نوع نيو جرسي (NEW JERSEY)



الشكل (5-15) – مقطع عرضي لطريق خلوي شرياني ذو أربع حارات مفصول بحاجز أمان خرساني من نوع نيو جرسي (NEW JERSEY) مع حارة تسلق



الشكل (5-16) – مقطع عرضي لطريق خلوي ذو أربع حارات بالاتجاهين مفصول بجزيرة وسطية مرتفعة مع انارة



الشكل (5-17) – مقطع عرضي لطريق خلوي شرياني ذو ستة حارات مفصولة بحاجز أمان خرساني

2-11-5 أنماط المقاطع العرضية الحضرية:

توضح الأشكال التالية من (5-18) حتى (5-33) بعض المقاطع العرضية النمطية للطرق الحضرية التي يمكن الاستهداء بها أثناء التصميم:

الشكل (5-18) – المقطع العرضي (أ) والمسقط الأفقي (ب) لشارع محلي عرض 15 م

الشكل (5-19) – مقطع عرضي لشارع محلي عرض 20 م

الشكل (5-20) – مقطع عرضي لشارع حضري عرض 30 م

الشكل (5-21) – مقطع عرضي لشارع حضري عرض 40 م

الشكل (5-22) – مقطع عرضي لشارع حضري عرض 42 م في منطقة سكنية تجارية

الشكل (5-23) – نصف مقطع عرضي لشارع حضري شرياني ثانوي عرض 50 م

الشكل (5-24) – مقطع عرضي لشارع حضري عرض 52 م في منطقة سكنية تجارية

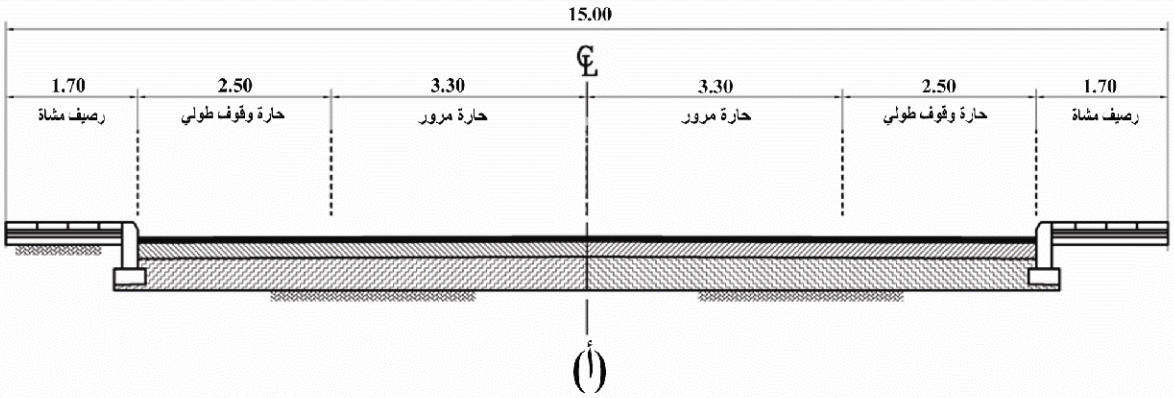
الشكل (5-25) – نصف مقطع عرضي لشارع حضري شرياني ثانوي عرض 60 م

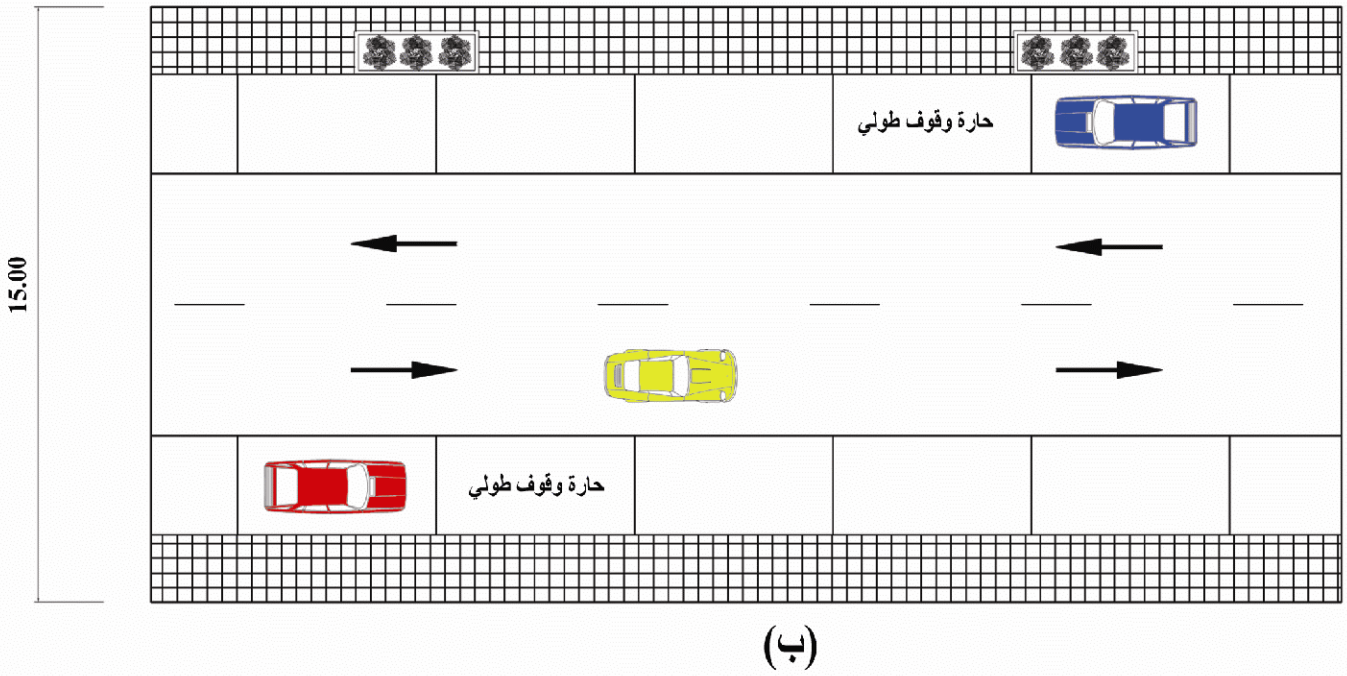
الشكل (5-26) – مقطع عرضي لشارع حضري شرياني ثانوي عرض 60 م مع طرق خدمة

الشكل (5-27) – نصف مقطع عرضي لشارع حضري شرياني ثانوي عرض 80 م

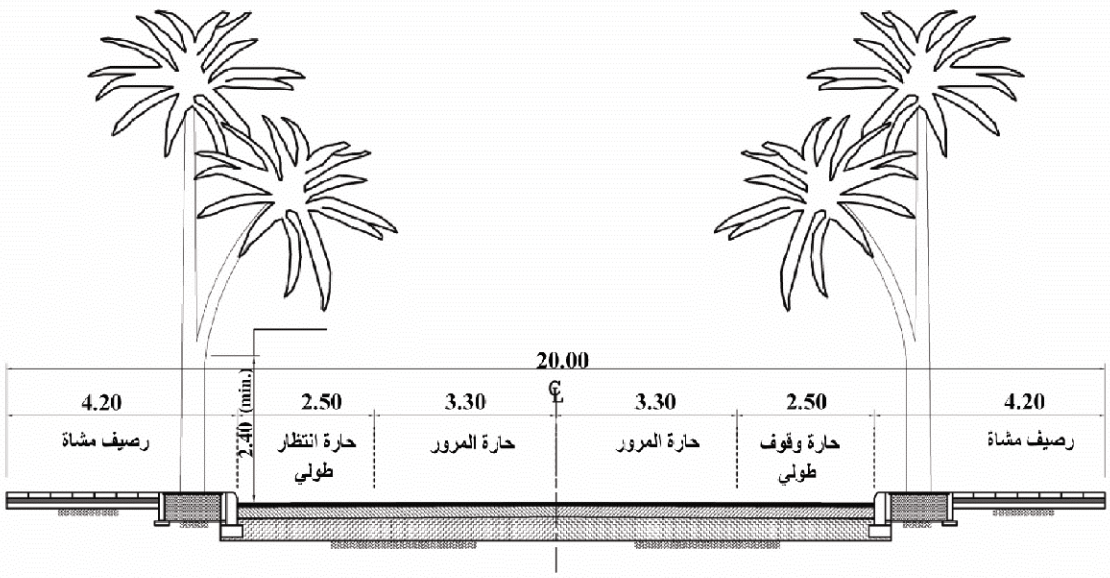
الشكل (5-28) – نصف مقطع عرضي لطريق حر عرض 80 م مع طرق خدمة

الشكل (5-29) – نصف مقطع عرضي لطريق حر عرض 100 م مع طرق خدمة

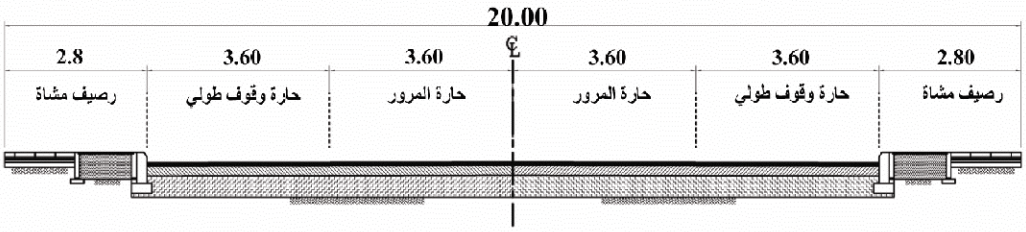




الشكل (5-18) – المقطع العرضي (أ) والمسقط الأفقي (ب) لشارع محلي عرض 15 م

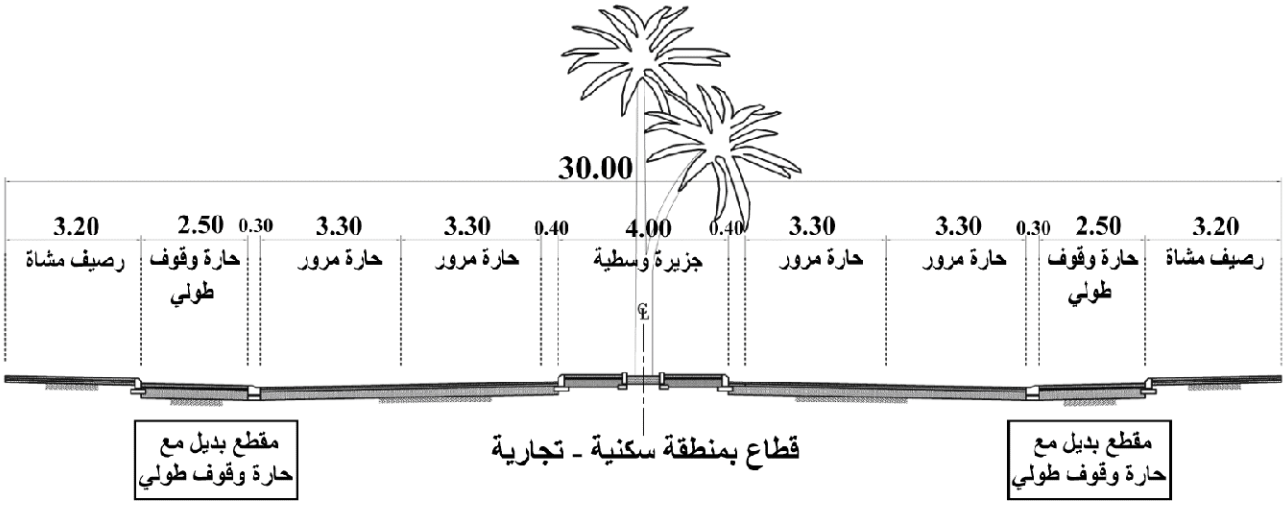


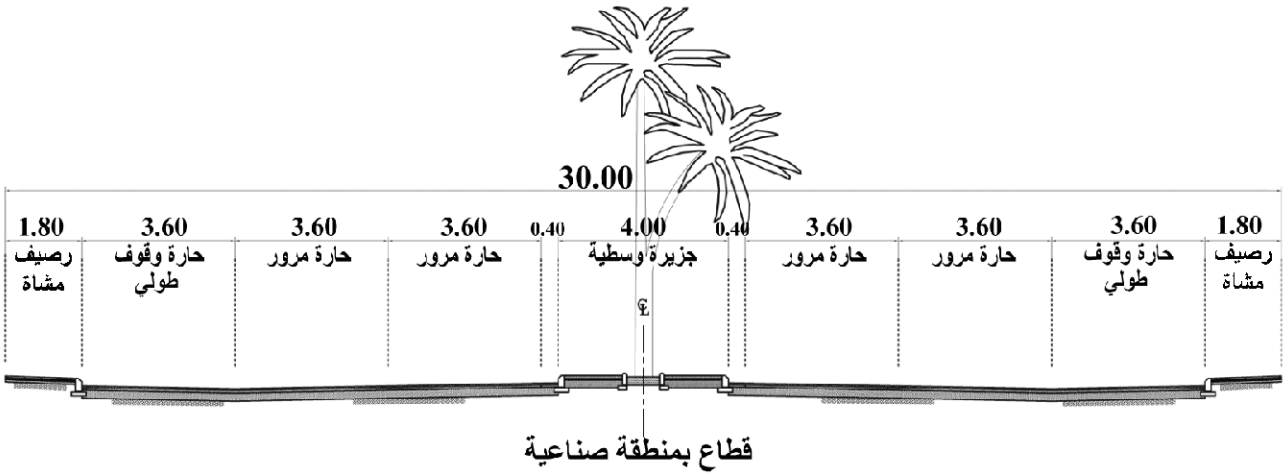
قطاع بمنطقة سكنية



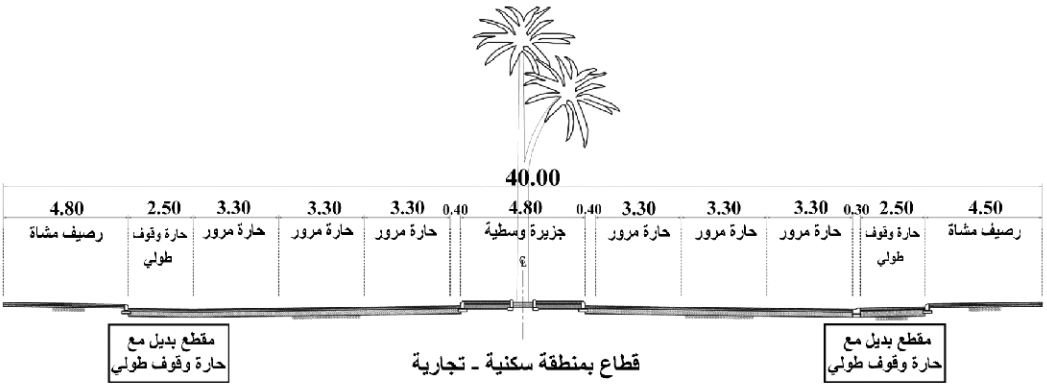
قطاع عرضي بمنطقة صناعية

الشكل (5-19) - مقطع عرضي لشارع محلي عرض 20 م

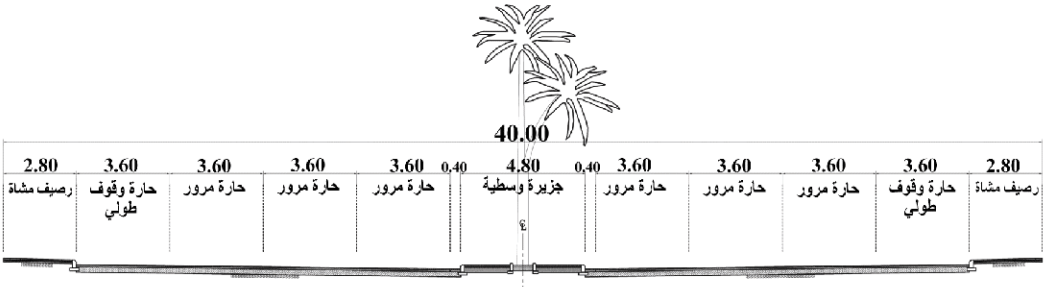




الشكل (5-20) – مقطع عرضي لشارع حضري عرض 30 م

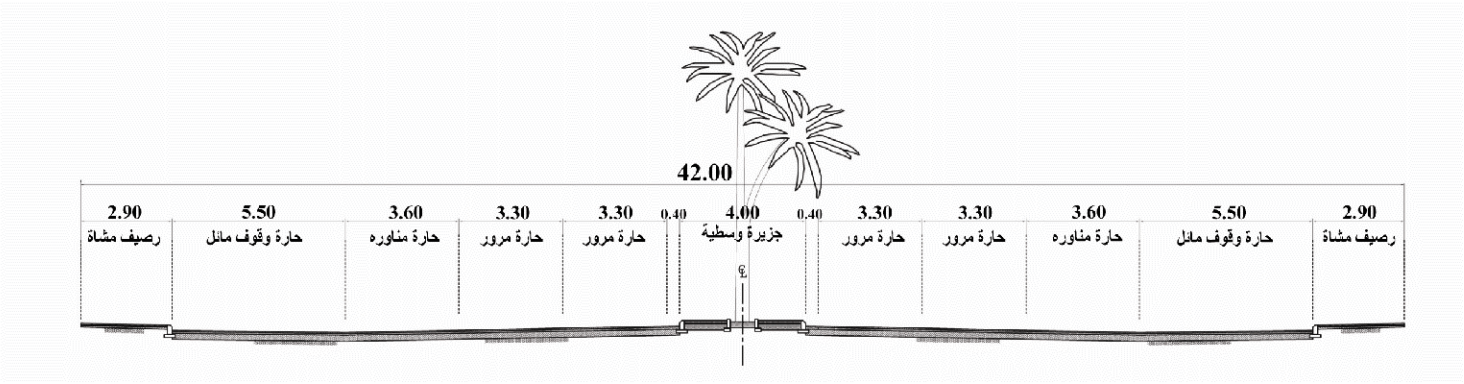


قطاع بمنطقة سكنية ـ تجارية

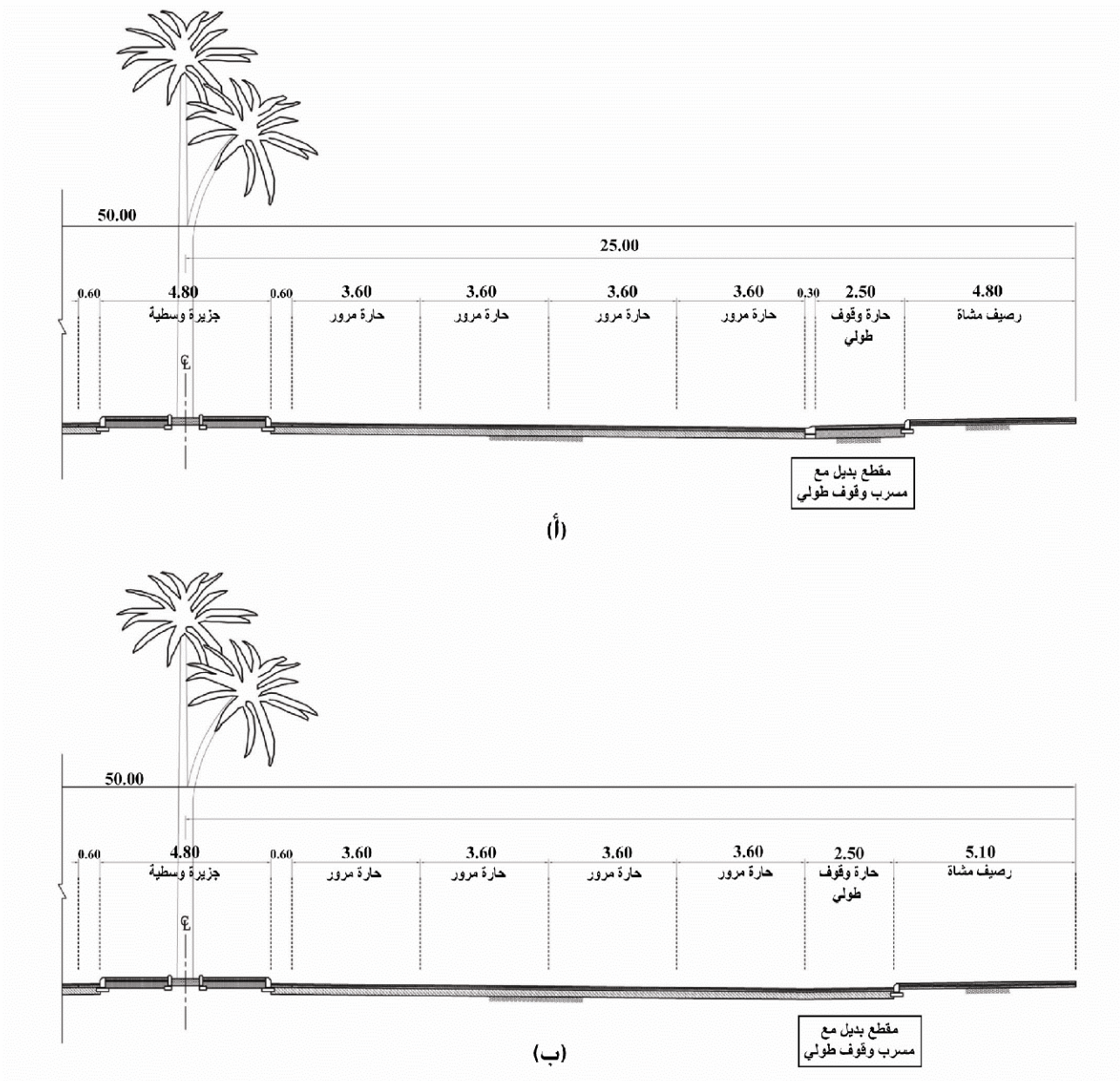


قطاع بمنطقة صناعية

الشكل (5-21) – مقطع عرضي لشارع حضري عرض 40 م



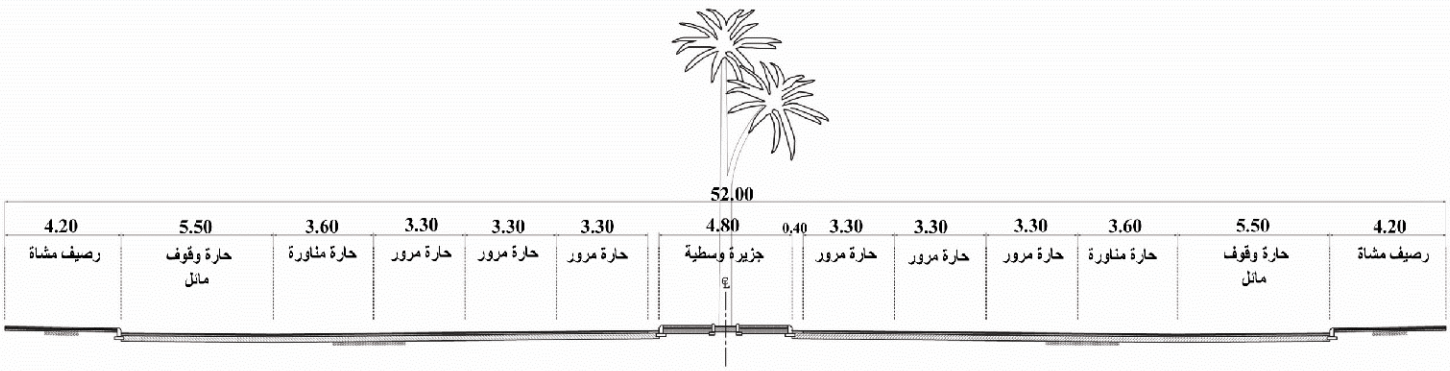
الشكل (5-22) – مقطع عرضي لشارع حضري عرض 42 م في منطقة سكنية تجارية



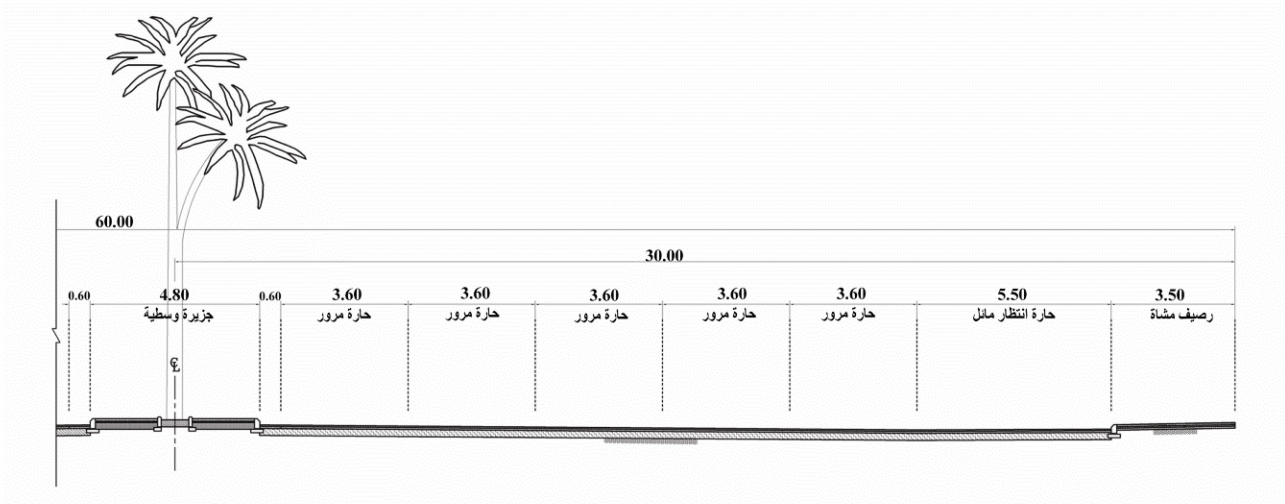
الشكل (5-23) – نصف مقطع عرضي لشارع حضري شرياني ثانوي عرض 50 م

(أ)– مع أطروفة بارزة لتحديد حارة الوقوف الطولي

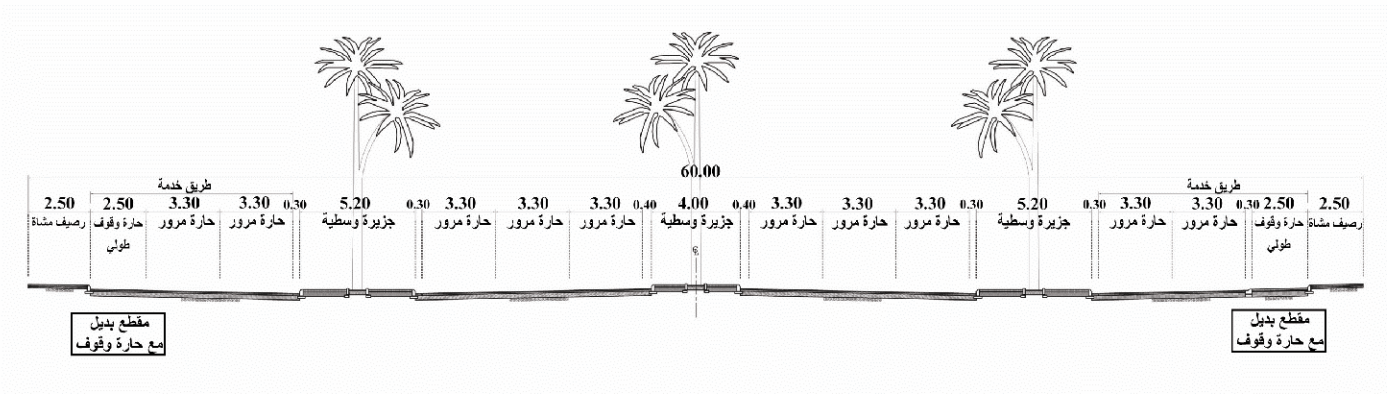
(ب)– بدون أطروفة بارزة لتحديد حارة الوقوف الطولي



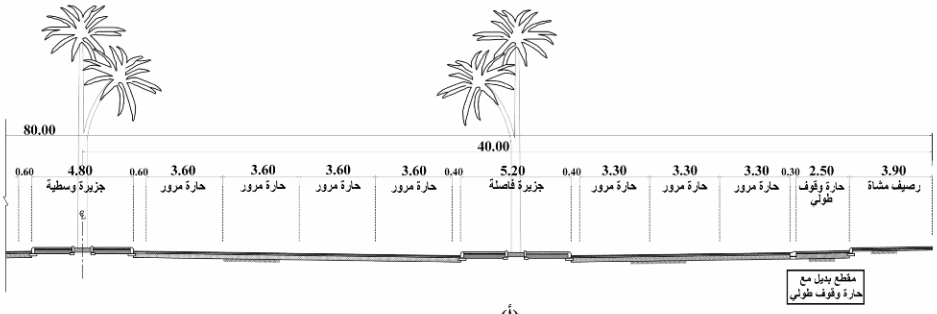
الشكل (5-24) – مقطع عرضي لشارع حضري عرض 52 م في منطقة سكنية تجارية



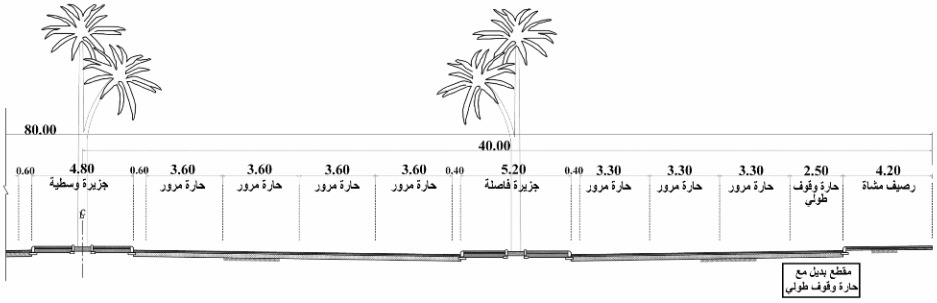
الشكل (5-25) – نصف مقطع عرضي لشارع حضري شرياني ثانوي عرض 60 م



الشكل (5-26) – مقطع عرضي لشارع حضري شرياني ثانوي عرض 60 م مع طرق خدمة



(أ)

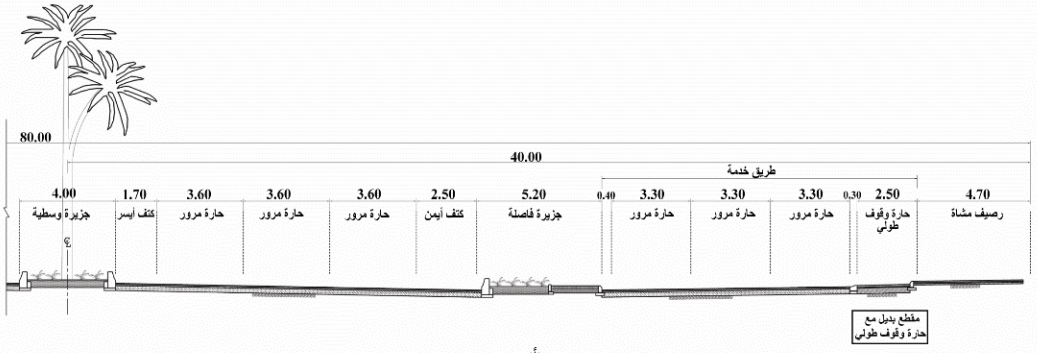


(ب)

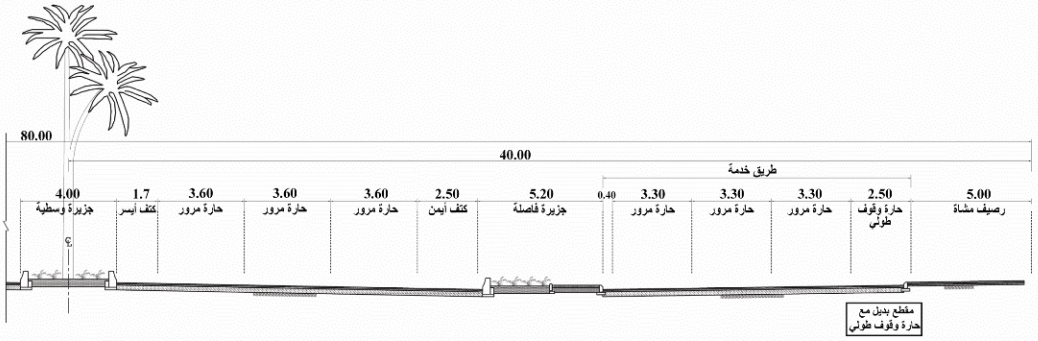
الشكل (5-27) – نصف مقطع عرضي لشارع حضري شرياني ثانوي عرض 80 م

(أ)– مع أطروفة بارزة لحارات الوقوف الطولية

(ب)– بدون أطروفة بارزة لحارات الوقوف الطولية



(أ)

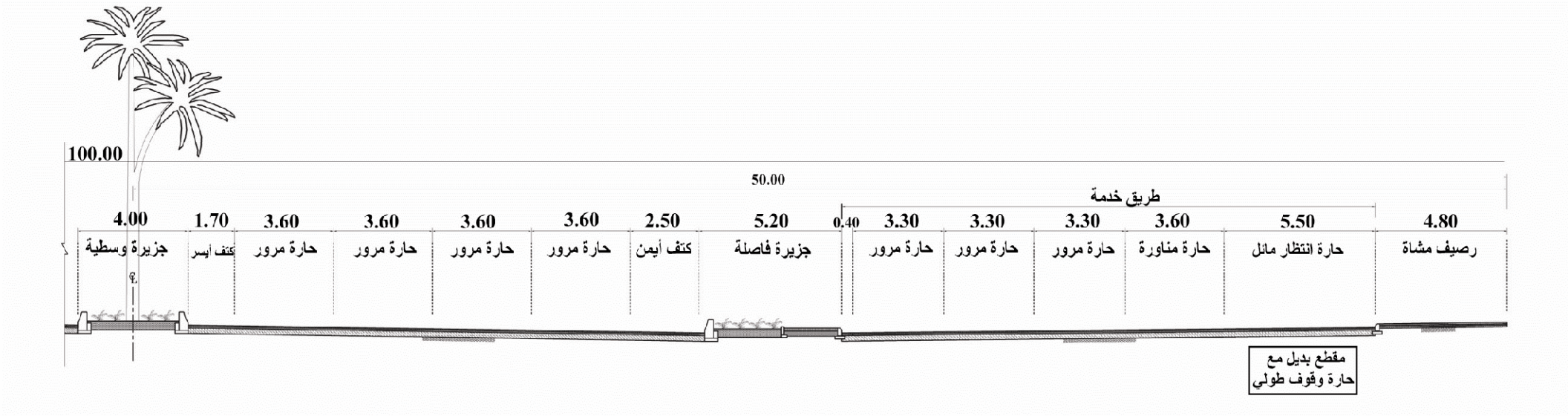


(ب)

الشكل (5-28) – نصف مقطع عرضي لطريق حر عرض 80 م مع طرق خدمة

(أ)– مع أطروفة بارزة لحارات الوقوف الطولية

(ب)– بدون أطروفة بارزة لحارات الوقوف الطولية



الشكل (5–29) – نصف مقطع عرضي لطريق حر عرض 100 م مع طرق خدمة

الفصل السادس

أعمال تصريف المياه عن الطرق Highway Drainage

1-6 المقدمة

يشكل الماء خطراً كبيراً على الطريق لذا يتجنب مصممي الطرق قطع الأنهار والجداول والمجاري المائية الكبيرة عند اختيار المسار الأفقي للطريق قدر الإمكان، ولكن عند تقاطع المجاري المائية مع الطرق لا بد من تنفيذ منشأة تعمل على نقل الماء أسفل الطريق بشكل آمن بحيث لا تؤثر المياه على سلامة الطريق ولا تتسبب بغمر المناطق المجاورة لمنطقة التقاطع.

تتنوع مشاكل الصرف في هيدرولوجيا الطرق بشكل واسع وهي تتضمن تصميم الجسور، العبارات (الأنبوبيه والصندوقيه)، تصميم أقنية مكشوفة ومجمعات مياه الأمطار وأنظمة الحجز وتصميم منشآت هيدروليكية مختلفة. ومن الضروري أيضاً تقييم الآثار الناجمة عن الاستخدامات المستقبلية للأراضي والمشاريع المقترحة بشأن السيطرة على الفيضانات الكامنة والآثار البيئية الممكن وقوعها على الاحواض الصبابة نتيجة إنشاء الطرق.

إن العناصر الأساسية في التصميم الهيدرولوجي تشمل ما يلي :

1- الزيارات الميدانية
2- الاعمال المساحيه
3- الخرائط الطبوغرافيه
4- القياسات المطريه (شدتها، ديمومتها وتكرارها)
5- قياسات الفيضانات وذروات الفيضان
6- تحليل وتفسير البيانات المتوفره لاستخدامها في التصميم

ويعتمد تصميم المنشأت المائيه ومدى توسع المصمم فيها على ما يلي:

1- أهمية وكلفة المنشآت
2- العمر الافتراضي للمنشأت
3- المعطيات المتوافرة للتحليل.
4- الدقة المطلوبة
5- المدة المتاحة للتصميم

تحدد هذه العوامل عادةً مستوى التحليل المطلوب والمبررات من أجل إنجاز التصاميم المحددة. وقد يواجه المصمم الممارس مشاكل عديدة مثل عدم كفاية المعطيات والمعلومات والبيانات ومحدودية الموارد (الزمن، الأيدي العاملة و التمويل). ومن غير المجدي في التصاميم الروتينية استخدام الطرق التحليلية التي تحتاج وقتاً كبيراً وفريق عمل ومعطيات قد تكون غير متوفرة أو يصعب الحصول عليها.

2-6 الأمطار Precipitation (P)

تتساقط الأمطار نتيجة تكاثف الهواء المشبع ببخار الماء، وتقاس الأمطار بعدة طرق منها مقاييس الأمطار اليدوية أو مسجلات الأمطار الآلية، وعادة ما تقاس بوحدة الطول الذي يمثل عمق الماء المتساقط على مساحة معينة، ويعبر عن ذلك بالمليمتر (mm) أو الإنش (in)، ويكون التساقط على شكل رذاذ أو أمطار أو ثلوج أو بَرَد.

1-2-6 حساب معدل الهطول فوق مساحة معينة

إن طريقة تحديد معدل الهطول المطري فوق منطقة ما تتعلق بكل من مساحة وطبوغرافية وشكل الحوض المجمع، وبعدد محطات قياس الهطول المتوفرة في المنطقة.

فمن أجل محطة قياس تغطي منطقة مساحتها 10 كم^2 ($A \leq 10\ km^2$)، نعتبر أن قيم الهطول المطري المقاسة في هذه المحطة تمثل الهطول المطري على كامل المساحة.

ومن أجل المناطق ذات المساحات الأكبر ينبغي اعتماد ثلاث محطات قياس على الأقل لتحديد معدل الهطول على كامل المنطقة. وهناك ثلاث طرق يمكن اتباعها لحساب معدل الهطول فوق مساحة معينة وهي:

1-1-2-6 طريقة المتوسط الحسابي

وهي تصلح للمناطق المستوية التي تكون المحطات فيها موزعة بانتظام بحيث لا يختلف الهطول في أي من المحطات كثيراً عن القيمة الوسطية، بحيث يتم إدخال فقط المحطات الواقعة ضمن المنطقة المدروسة في حساب معدل الهطول المطري. وفق هذه الطريقة تعطى قيمة الهطول الوسطي (معدل الهطول) كوسط حسابي للقيم المقاسة في المحطات الواقعة ضمن المساحة:

$$\overline{P} = \frac{\sum_{i=1}^{n} P_i}{n} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (1-6)$$

حيث أن:

$\overline{P}$ = متوسط سقوط المطر، (ملم)

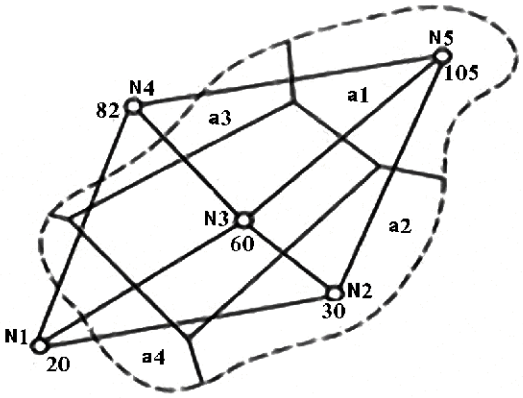
P_i = كمية الهطول المطري المقاسة في المحطة i، (ملم)

n = عدد محطات قياس الهطول المطري.

2-1-2-6 طريقة مضلع تيسن Thiessen Polygons Method

هذه الطريقة ذات دقة أفضل من السابقة لأنها تأخذ بالاعتبار التوزيع غير المنتظم لمحطات قياس الهطول المطري وذلك بإدخال معامل وزن المساحة المتعلقة بكل محطة، وتستخدم عادة عندما يراد تكرار حساب معدل الهطول لسنوات كثيرة فتكون المساحات المقابلة للمحطات ثابتة والمتغير الوحيد هو ارتفاع الهطول. بهذه الطريقة يمكن الاستعانة بالمحطات المطرية الواقعة خارج حدود الحوض.

يعتمد مبدأ الطريقة على الوصل بين محطات القياس بمستقيمات بحيث يتم تشكيل أكبر عدد من المثلثات حادة الزوايا ثم يتم رسم محاور المستقيمات الواصلة بين مختلف المحطات وتمدد المحاور بحيث تحدد مساحات جزئية نتيجة التلاقي مع بعضها أو تقاطعها مع حدود المساحة المدروسة فنحصل على مضلعات بعدد المحطات المطرية كما هو مبين في الشكل (6-1):



الشكل (6-1): مضلع تيسن

وتعتبر كمية الهطول المطري في كل من المحطات يمثل ارتفاع الهطول فوق كامل مساحة المضلع المناظر، بذلك يكون معدل الهطول مساوياً إلى:

$$\overline{P} = \frac{\sum_{i=1}^{n} a_i \cdot P_i}{A} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (2-6)$$

حيث أن:

a_i = مساحة المضلع

P_i = كمية الهطول في المحطة

n = عدد المحطات المطرية

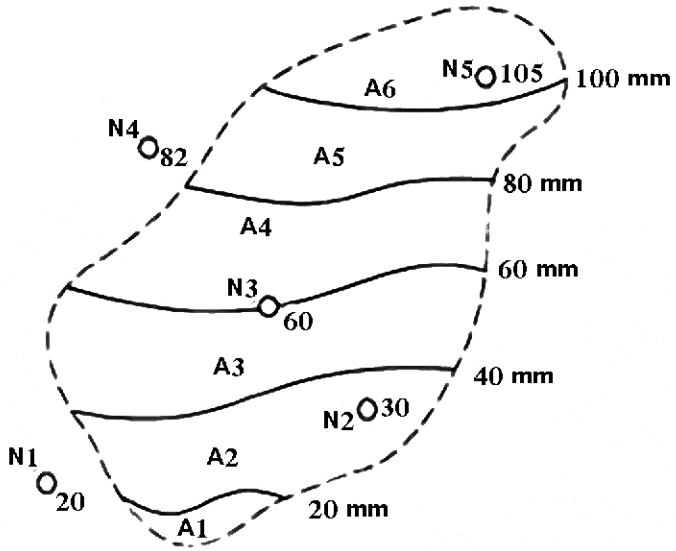
A = المساحة الكلية للمنطقة المدروسة.

في المناطق الجبلية يجب ألا تتجاوز مساحة المضلع المحيط بالمحطة القيمة 10 كم^2.

3-1-2-6 طريقة خطوط تساوي الهطول المطري Isohyetal Line Method

يمكن استخدام هذه الطريقة مهما كانت مساحة المنطقة المدروسة. من المعلوم أن خطوط تساوي الهطول تمثل الخطوط التي يكون عندها ارتفاع الهطول ثابتاً ويتم رسمها إذا علمت كميات الهطول في عدة محطات مطرية موزعة داخل الحوض وحوله كما في الشكل (6-2)، ويمكن حساب معدل الهطول المطري باتباع ما يلي:

- نحدد عدد خطوط تساوي الهطول، أو الفرق بين خطوط تساوي الهطول المتجاورة.
- نقسم فرق الهطول بين محطتين متجاورتين على المسافة بينها، بذلك نحدد أي قيمة لارتفاع الهطول المحصورة بين قيمتي الهطول في المحطتين المتجاورتين.
- نصل بين قيم الهطول المتساوية فنحصل على خطوط تساوي الهطول .



الشكل (6-2) : خطوط تساوي الهطول

ـ نحسب المساحة بين كل خطي تساوي هطول والواقعة ضمن حدود حوض التجميع (الصباب) A_i.

ـ نحسب معدل الهطول بالعلاقة:

$$\overline{P} = \frac{\sum_{1}^{n} A_i \cdot P_i}{\sum_{1}^{n} A_i} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (3-6)$$

حيث أن:

A_i = المساحة المحصورة بين خطي تساوي هطول.

P_i = وسطي قيمة الهطول للخطين المتجاورين.

n = عدد المساحات الجزئية.

A = المساحة الكلية.

بهذه الطريقة يمكن الاستعانة بالمحطات المطرية الواقعة خارج حدود الحوض، وتعتبر أفضل الطرق الثلاث دقة لكنها تحتاج إلى جهد أكبر لأنه في كل مرة ولكل هطول يتوجب رسم خطوط تساوي الهطول.

ويمكن التعبير عن الهطول المطري بالعناصر التالية:

1. الديمومة (D) Duration : وهي المدة الزمنية التي استمر هطول المطر خلالها
2. التكرار (T) Frequency: وهي العودة الزمنية Return Period المتوقعة لسقوط كمية من المطر في زمن معين، ويعني تكرار شدة المطر وديمومته في وحدة من الزمن كأن يقال بأن المطر الذي كانت شدته 50 ملم في الساعة واستمر مدة عشرة دقائق متواصلة يتكرر كل خمس سنوات مرة أو يتكرر في السنتين مرتين وهكذا.

3. الشدة المطرية أو غزارة الهطول (I) : وتعني مقدار المطر الساقط في وحدة الزمن وتساوي كمية (ارتفاع) الهطول مقسوماً على زمن الهطول الفعلي وتقاس بـ ملم/ ساعة (mm/hr) والتي يمكن تمثيلها بالمعادلة التالية:

$$I = \frac{P}{D} \quad \text{.....} (4-6)$$

حيث أن:

P = كمية الهطول (ملم)

D = زمن (استمرار) الهطول

وتتوقف شدة سقوط الأمطار على الفترة الزمنية التي تسقط الأمطار فيها وتكرار الحدث Reoccurrence (العودة الزمنية لها). حيث أنه كلما كانت الشدة المطرية عالية تكون العودة الزمنية لها أطول، وعادة ما يكون هناك منحنيات تسمى منحنيات الشدة – العودة الزمنية – التكرار (IDF-curves) مرسومة لمناطق يتوفر فيها مقاييس الأمطار الآلية كما سيتم توضيحه لاحقاً. ويتم جمع البيانات من السجلات المتوفرة لكل مقياس مطر آلي ومن ثم تعامل احصائياً لرسم منحنيات (IDF) للعودة الزمنية المرغوب فيها، وعند الشروع بتصميم أي نوع من المنشآت يتم اختيار المنحنى المناسب للتصميم باستخدام منحنى العودة الزمنية المناسب.

4. الشدة المطرية المتوسطة ($\bar{i}$): وهي الشدة المطرية المحسوبة خلال كامل فترة هطول عاصفة مطرية معينة:

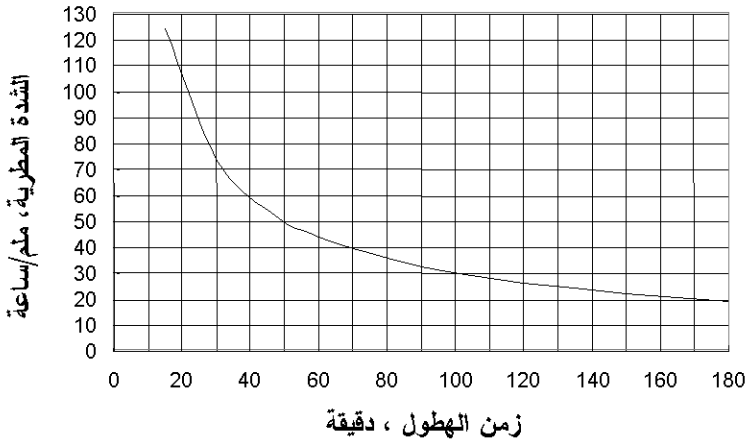
$$\bar{i} = \frac{\Delta P}{\Delta D} \quad \text{.....} (5-6)$$

حيث أن:

ΔP = التغير في كمية المطر.

ΔD = التغير في ديمومة الهطول.

وتتناقص الشدة المطرية المتوسطة بزيادة مدة استمرار هطول العاصفة المطرية كما هو مبين بالشكل (6–3)

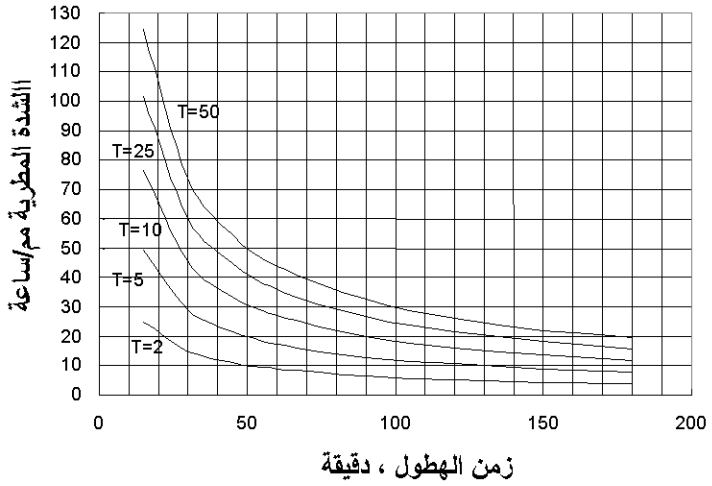


الشكل (6–3) العلاقة بين الشدة المطرية وزمن الهطول

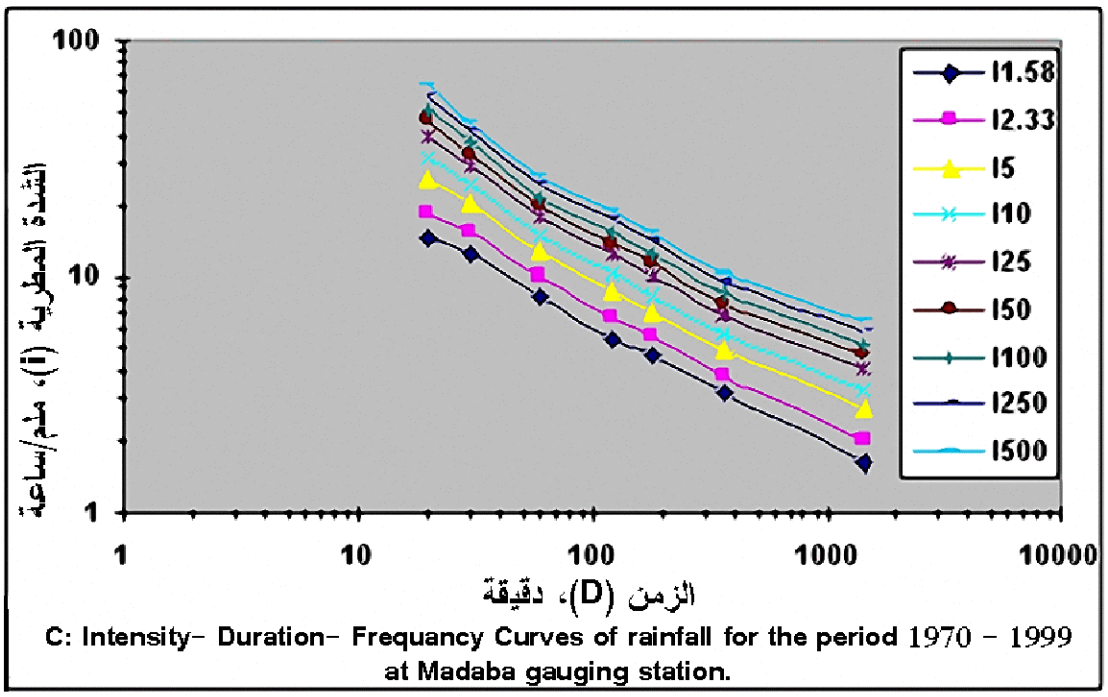
2-2-6 العلاقة بين الشدة المطرية –الديمومة –التكرار

Rainfall Intensity - Duration –Frequency Relationship

من أجل تصميم منشآت التحكم بالمياه فإنه من الضروري ايجاد عدة منحنيات للعلاقة بين الشدة و الديمومة للأحواض الصغيرة ولفترات تكرار مختلفة و تدعى منحيات الشدة – الديمومه – التكرار بمنحنيات IDF، حيث يتم اسقاط الديمومه/ زمن الهطول (D) على المحور الافقي والشدة (I) على المحور العمودي و يكون التكرار (T) الذي يمكن تسميته بفترة الرجوع (Return period) معامل المنحنى (Curve Parameter)، وترسم منحنيات (IDF) على ورق لوغاريتمي أو مليمتري حسب ما هو مبين بالشكل (6–4) و الشكل (6–5).



الشكل (6–4) المنحنيات البيانية لأحد المحطات المطرية تبين العلاقة ما بين الشدة المطرية وزمن الهطول لفترات تكرار مختلفة



الشكل (6–5) منحنيات العلاقة اللوغاريتمية بين الشدة – العودة الزمنية – التكرار لأحد المحطات المطرية

وهناك نموذج للعلاقة بين الشدة المطرية والديمومة:

$$i = \frac{a}{(t_c + b)^n} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (6-6)$$

حيث أن:

i = شدة أو غزارة المطر، ملم/ساعة

t_c = زمن التركيز ويفترض أنه يساوي زمن العاصفة المطرية/ الديمومة (D)، دقيقة

a, b, n = ثوابت، يتم الحصول عليها من المعلومات المقاسة لكل محطة مطرية باستخدام برامج احصائية او تستخرج من تحليل الانحسار Regression Analysis.

ومن الجدير بالذكر أنه من أجل إنشاء منحنيات الشدة – الديمومة – التكرار (IDF Curves) في ليبيا فإنه لا بد من توفير قراءات الهطول المطري القصوى في كل محطة قياس (Rainfall Station) ولفترات هطول قصيرة (10 دقائق، 20 دقيقة، 30 دقيقة، 1 ساعة، 2 ساعة .... 24 ساعة) ولسنوات سابقة لا تقل عن 15 سنة ويفضل 20 سنة.

إن تصريف الذروة (والمسمى أحياناً التصريف الأعظمي الآني) هو تصريف حرج، لأن معظم منشآت التصريف مصممة لتصريف كمية محددة من المياه مع مستوى مقبول من المخاطرة. وتحدد هذه القيمة عادةً باعتماد فترة رجوع محددة (كل 10 سنوات أو كل 50 سنة مثلاً) تتبع درجة المشروع المدروس وأهميته. والجدول (6–1) يعطي أمثلة على بعض التكرارات المستخدمة في تصميم المنشآت المائية.

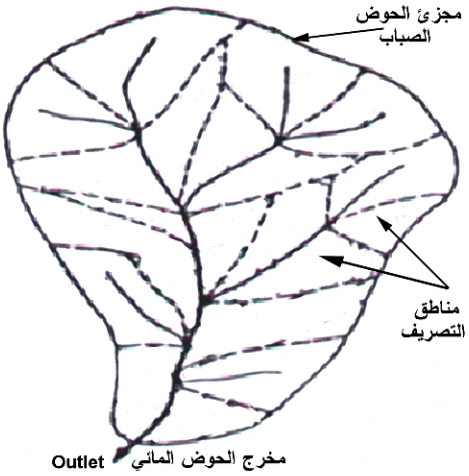
جدول (6–1) التكرارات المستخدمة في تصميم المنشآت المائية حسب تصنيف الطريق

تصنيف الطريق	احتمال التجاوز	فترة الرجوع (التكرار)
طريق شرياني رئيسي خلوي	2%	50 سنة
طريق شرياني ثانوي خلوي	%2 – %4	25 – 50 سنة
طريق تجميعي خلوي رئيسي	4%	25 سنة
طريق تجميعي خلوي ثانوي	10%	10 سنوات
طريق محلي خلوي	%10 – %20	5 – 10 سنوات
طريق شرياني رئيسي حضري	%2 – %4	25 – 50 سنة
شارع شرياني ثانوي حضري	4%	25 سنة
شارع تجميعي حضري	10%	10 سنوات
شارع محلي حضري	%10 – %20	5 – 10 سنوات

3-6 الجريان Runoff

تطلق كلمة الجريان Runoff أو التدفق Water Flow على انسياب المياه و تحركها من مكان لآخر، إما على سطح الأرض و يسمى بالجريان السطحي Surface Runoff وإما تحت سطح الأرض و يسمى بالجريان الداخلي Inter Flow وإما الجريان الجوفي Groundwater Flow. ويعبر عن الجريان بوحدة م^3/ثانية أو م^3 / ثانية / كم^2.

ويبدأ الجريان السطحي من فترة سقوط المطر وحتى يصب في المجرى المائي أو أنابيب التصريف، ويبين الشكل (6-6) العلاقة ما بين منطقة التصريف ومخرج المجرى المائي حيث يسمى الحد الذي يفصل بين حوضين متجاورين بمجزئ الحوض الصباب Catchments Divide.



الشكل (6-6) منطقة الحوض الصباب

وقد لا يتطابق التقسيم الهيدرولوجي للأحواض مع التقسيم الطبوغرافي بسبب تأثير الجريان تحت السطحي Subsurface وجريان المياه الجوفية، وعادة ما يتم تحديد منطقة الحوض الصباب باستخدام الخرائط الطبوغرافية ذات مقياس رسم 1:25000 أو 1:50000 بما يتناسب مع طبيعة العمل المطلوب.

وبمعرفة مساحة مقطع المجرى المائي ومتوسط سرعة جريان المياه فيه يمكن تحديد كمية المياه المتدفقة خلاله في وحدة الزمن وفق المعادلة التالية:

$$Q = VA \qquad (6-7)$$

حيث أن:

Q = تدفق المياه في المجرى المائي، م^3/ثانية (m^3/sec).

A= مساحة مقطع المجرى المائي، م^2 (m^2).

V= متوسط سرعة المياه، م/ثانية (m/s).

4-6 أنواع المجاري المائية Type of Streams

يمكن تقسيم المجاري المائية الى ثلاثة انواع وهي:

1. المجاري المائية الدائمة Perennial

وهي المجاري المائية التي تحتوي على ماء طول الوقت وتستمد مياهها من المياه الجوفية

2. المجاري المائية المتقطعة Intermittent

وهي المجاري المائية التي تحتوي على ماء طول فصل الشتاء حيث تغذيها المياه الجوفية

3. السيول Ephemeral

وهي المجاري المائية التي ليس للمياه الجوفية فيها اي مشاركة

5-6 زمن التركيز Time of Concentration (t_c)

زمن التركيز هو الوقت الذي تحتاجه مياه السيول للتدفق من نقطة إلى أخرى وتتطلب الدراسات الهيدرولوجية للاحواض الصبابة الصغيرة معرفة وقت التدفق ، وغالبا ما تكون التقديرات الدقيقة صعبة، لأن زمن التركيز هو دالة لسرعة الجريان وتستخدم معادلات عديدة لحساب زمن تركيز الجريان في الأحواض الصبابة ومعظمها معادلات تجريبية محددة تعتمد على تقسيم مجرى المياه الأساسي لعدة اجزاء فرعية وتفترض مستوى جريان مناسب لكل فرع. وهذه الطرق مفصلة كما هو مبين بأدناه:

1-5-6 معادلة Manning لحساب معدل سرعة الجريان وزمن الرحلة عبر كل فرع

$$V = \frac{1}{n} R^{2/3} S^{1/2} \quad \text{.....} (6-8)$$

حيث أن:

V = سرعة التدفق، (م/ثانية)

n = معامل الخشونة أو الاحتكاك

R = نصف القطر الهيدروليكي ويساوي حاصل قسمة مساحة المقطع العرضي للمجرى المائي على المحيط المبلل، (م)

S = درجة الميل للمجرى المائي

وتكون قيمة n في القنوات الطبيعية (Natural Channel) عادة أقل من 0.024 للانهار الضخمة الخالية من المزروعات وتكون أكثر من 0.079 للجداول الصغيرة ذات الطبقات المكونة من الجلاميد الحصوية ذي الزوايا الحادة وذي الضفاف المكونة من الصخور المكشوفة والجلاميد Boulders و الأشجار. تتراوح قيم معامل الخشونة أو الاحتكاك (n) المثالية في القنوات الطبيعية والانهار بين 0.03 – 0.04 حسب ما هو مبين بالجدول (6–2) ، ويمكن حساب زمن انتقال الماء (t) بقسمة طول المجرى على سرعة التدفق حسب المعادلة التالية:

$$t = \frac{L}{V} \quad \text{.....} (6-9)$$

حيث أن:

L = طول المجرى، م (m)

V= سرعة التدفق، م/ثانية (m/min)

الجدول (6-2): معامل الخشونة أو الاحتكاك (n)

نوع المجرى	معامل الخشونة أو الاحتكاك (n)
أنابيب خرسانية	0.013
سطح اسفلتي	0.015
مجرى طبيعي	0.04 – 0.03
مجرى ترابي (مُشكل ترابياً)	0.028
مجرى بالقطع الصخري	0.033
مجرى مبطن بالدبش والباطون	0.028
مجرى مشكل بالسلاسل الحجرية (الجابيون)	0.028
مجرى مبطن بالخرسانة	0.016

وبذلك يكون زمن التركيز (t_c) للاحواض الصبابة حاصل جمع أزمنة الفروع، وهذه الطريقة عملية وتعتمد على عدة افتراضات بما فيها مستوى سرعة الجريان وقيم معامل الخشونة (n).

إن هذه الطريقة افترضت أن الجريان ثابت وهو ليس كذلك وهذا يعني أن سرعة الرحلة التي تشبه ملامح الجريان المضطرب يمكن أن تكون أكبر من معدل سرعة الجريان المحسوبة، ويمكن لنظرية الموجه الديناميكية تعديل سرعة الموجه بمقدار $\frac{3}{5}$ معدل سرعة الجريان.

2-5-6 معادلة Kirpich

وهي من المعادلات المعروفة التي تربط زمن التركيز بالميل والطول، وتستعمل للاحواض الصغيرة التي تكون مساحاتها حوالي 200 ايكر (acre) تقريباً. ويعبر عن المعادلة بوحدات SI بالصيغة الآتية:

$$t_c = \frac{0.06628\, L^{0.77}}{S^{0.385}} \quad \text{.....(10 -6)}$$

حيث أن:

t_c = زمن التركيز، بالساعات

L = طول المجرى المائي الأساسي اعتبارا من أعلى منسوب إلى أخفض منسوب في المنطقة المدروسة، بالكم

S = الميل بين أعلى منسوب وأخفض منسوب، م/م (m\m)

ملاحظة: الزمن المحسوب يجب أن يضرب في 0.2 إذا كانت أرضية القناة مبطنة بالخرسانة

3-5-6 معادلة Kerby - Hathaway

ويعبر عنها بوحدات SI بالصيغة الآتية:

$$t_c = \frac{0.606\, (Ln)^{0.467}}{S^{0.234}} \quad \text{.....(11 -6)}$$

حيث أن قيم معامل الخشونة (n) مبينة في الجدول (6-3).

الجدول(6-3): قيم معامل الخشونة المستعملة في معادلة Hathaway

نوع السطح	معامل الخشونة (n)
ناعم وغير منفذ	0.02
ناعم وشبه عاري ،قليل الأعشاب والمحاصيل	0.10
تربه عارية متوسطة الخشونه	0.20
مراعي	0.40
أراضي ذات غابات غير دائمة	0.60
أراضي ذات غابات صنوبرية مع أعشاب	0.80

6-5-4 علاقة جياندوتي

يعطى زمن التركيز بحسب جياندوتي بالعلاقة التالية:

$$t_c = \frac{4\sqrt{A+1.5L}}{0.8\sqrt{H}} \quad \text{.....(12 -6)}$$

حيث أن:

t_c = زمن التركيز، ساعة

L = طول المجرى الرئيسي، كيلومتر

A = مساحة الحوض الصباب، كيلومتر مربع

H = الفرق بين أعلى منسوب وأخفض منسوب في المنقطة المدروسة، متر.

6-5-5 معادلة Soil Conservation Service (SCS) lag formula

يعطى زمن التركيز بالعلاقة التالية:

$$t_c = 0.00526 L^{0.8}\left(\frac{1000}{CN}-9\right)^{0.7} S^{-0.5} \quad \text{.....(13 -6)}$$

حيث أن:

t_c = زمن التركيز، بالدقائق

L = طول المجرى المائي الأساسي اعتبارا من أعلى منسوب إلى أخفض منسوب في المنطقة المدروسة، بالكم

S = الميل بين أعلى منسوب وأخفض منسوب، قدم/قدم

CN = رقم المنحنى (سيتم شرحه لاحقاً)

6-5-6 معادلة Federal Aviation Agency Equation

يعطى زمن التركيز بالعلاقة التالية:

$$tc = 1.8(1.1-C)L^{0.5}\cdot S^{-0.333} \quad \text{.....(14 -6)}$$

حيث أن: C = معامل الجريان السطحي، وباقي المعاملات هي نفسها كما في المعادلة (6-13)

7-5-6 طريقة السرعة

وتعتمد على تعريف زمن التركيز بأنه نسبة الطول الهيدروليكي (L) للجريان على سرعة الجريان (V)، وحسب العلاقة التالية:

$$t_c = \frac{L}{3600 \cdot V} \quad \text{.....} (6-15)$$

حيث أن:

t_c = زمن التركيز، بالساعة

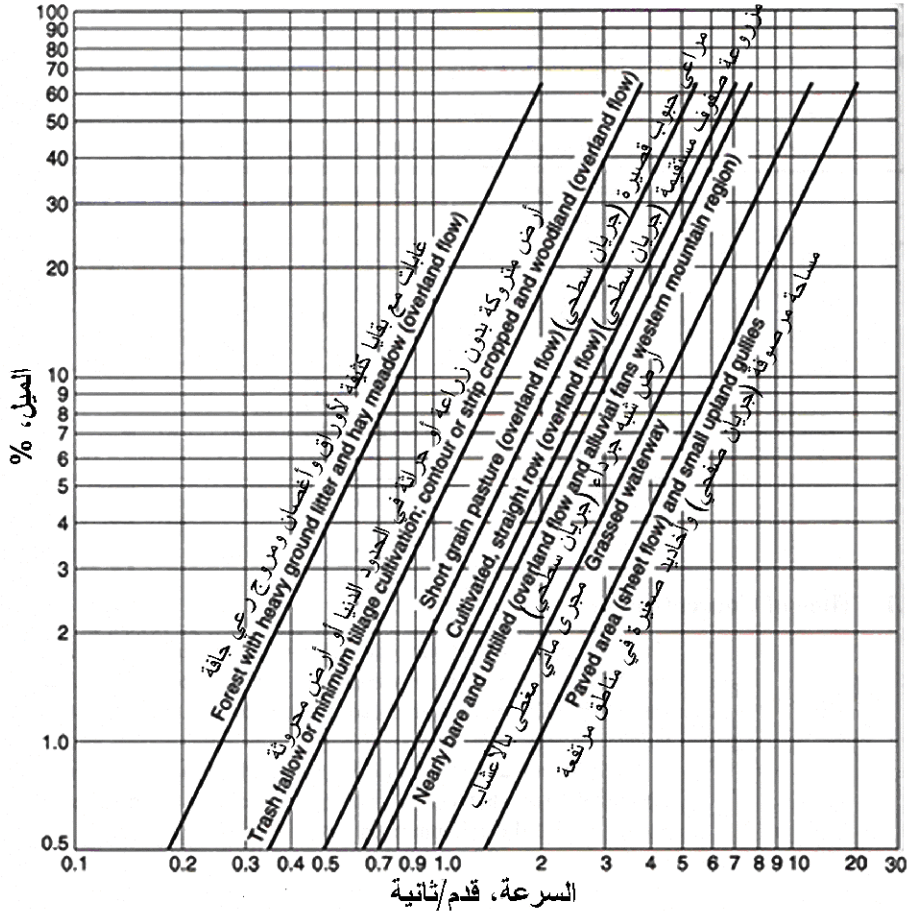
L = طول الجريان من أبعد (أعلى) نقطة إلى أخفض نقطة في المنطقة المدروسة، بالقدم

V = السرعة، قدم/ث

ويمكن تحديد السرعة بمعرفة استخدام الأرض والميل وحسب ما هو مبين بالشكل (6-7)، ونعتبر زمن التركيز هو مجموع أزمنة الجريان للأجزاء المختلفة.

$$t_c = \frac{1}{3600} \sum_{i=1}^{k} \frac{L_i}{V_i} \quad \text{.....} (6-16)$$

حيث أن: k = عدد الأجزاء ويختلف كل منها عن الآخر حسب نوع الأرض.

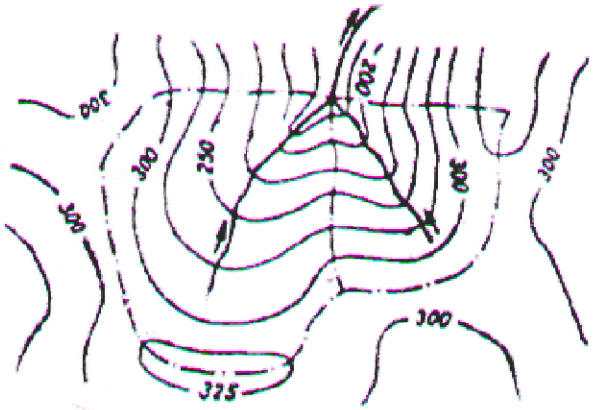


الشكل (6-7) تحديد سرعة الجريان حسب استخدام الأرض والميل في حساب زمن التركيز

وتجدر الإشارة إلى أن قيم زمن التركيز المستخرجه من المعادلات التجريبية السابقة يختلف حسب المعادلة ويوصى باختيار قيمة معقولة عند التصميم ويفضل أن تكون أقل قيمة.

6-6 مساحة الحوض الصباب Catchment Area

تعتبر مساحة الحوض الصباب أو مساحة التصريف من أهم العناصر في حساب كمية التدفق، وهي تبين حجم الجريان السطحي شريطة أن تغطي العاصفة المطرية الحوض الصباب جميعه. ويوضع التقسيم الطوبوغرافي على خرائط طوبوغرافية مناسبة بمقياس رسم 1:25000 او 1:50000 يستهل فيها بالنقاط العالية ويبين عليها اتجاه جريان المياه السطحية بواسطة رسم خطوط عمودية على خطوط الكنتور بحيث تبدأ من النقاط ذي المنسوب العالي باتجاه المنخفض وتكون المساحة المغلقة داخل التقسيم الطوبوغرافي هي مساحة الحوض الصباب كما في شكل (6-8). وعموما كلما كانت مساحة الحوض الصباب كبيرة كانت كمية الجريان السطحي أكبر .



الشكل (6-8) : كيفية تحديد حدود الحوض المجمع لفرع من مسيل

7-6 الطرق المعتمدة في تحليل العواصف المطرية:

بغض النظر عن الطريقة المعتمدة لتحليل مسألة هيدرولوجية معينة فهناك حاجة لمعطيات أو لطرق تحليلية تستند لمعطيات إحصائية. هذه الاحتياجات تأخذ أشكالاً مختلفة ويمكن أن تتضمن معطيات مثل الهطولات و تصاريف المجاري المائية، معلومات حول حوض التجميع (الحوض الصباب) والمشروع المراد تصميمه. إن نوعية، وكمية وتوفر المعطيات هي التي تحدد إلى حد ما الطريقة المختارة للتصميم. ويمكن تصنيف طرق التحليل المعتمدة إلى نوعين رئيسيين:

1-7-6 الطرق المحددة Deterministic Methods

يمكن للطرق المحددة أن تكون إما تصورية (Conceptual) حيث يكون كل عنصر من عناصر الجريان مأخوذاً بعين الاعتبار بشكل أو بآخر، أو يكون تجريبياً. حيث تكون العلاقة بين الهطول والجريان محددة بالاستناد إلى المعطيات المقاسة والتجربة، ومن الامثلة على الطرق المحددة:-

- وحدة الهيدروغراف (المخطط المائي الواحدي) Unit Hydrograph ونعني بمصطلح وحدة الهيدروغراف تغير تصاريف المجرى المائي مع الوقت لفترة زمنية محددة من الأمطار عندما يكون عمق المطر المؤثر وحدة عمق واحدة (سنتيمتراً أو إنشاً واحداً) ومن هنا جاءت تسمية وحدة الهيدروغراف.
- طريقة مسكنغم
- برامج محوسبة مثل HEC-1

2-7-6 الطرق الإحصائية Statistical Methods

لا تحتاج الطرق الإحصائية إلى خبرة كبيرة كما هو الحال في الطرق المحددة. وتتمثل عادةً بتطبيق خطوات رياضية على المعطيات المقاسة والمسجلة. وتكون التنبؤات التي يحصل عليها المصمم قريبة من تلك التي يحصل عليها أي مصمم آخر يطبق نفس الخطوات وباستخدام نفس المعطيات. ويمكن قياس دقة الطرق الإحصائية كماً، لكن هذه الطرق يمكن أن تكون غير مفهومة كفاية مما يؤدي لسوء تفسير النتائج.

8-6 حساب التصاريف القصوى (الأعظمية) Peak Runoff Calculations

إن تصريف الذروة (أو التصريف الأعظمي) هو المعدل الأقصى (الأعظمي) للجريان المار من نقطة محددة أو بعد هطول معين. ويهتم مصممو الطرق بالتصاريف القصوى (الأعظمية) للعواصف في منطقة معينة من أجل تحديد أبعاد منشآت التصريف. وبالطبع فإن تصريف الذروة يتغير لكل عاصفة . وتقع على عاتق المصمم تحديد أبعاد منشآت التصريف لعاصفة محددة بحيث تكون المخاطرة الناتجة مقبولة. وتتأثر تصاريف الذروة بعدد من العوامل في حوض التجميع (الحوض الصباب) بما فيها الهطول، أبعاد الحوض وشكله والتي يمكن تحديدها بأكثر من طريقة حسب الظروف المناخية والجغرافية للمنطقة والمعلومات المتوفرة عن كميات الأمطار والمياه الجارية خلال الفترات الماضية وأهم هذه الطرق:

- الطريقة العقلانية Rational Method
- طريقة أرقام المنحنيات Curve Number (SCS)
- طريقة الرسم المائي (الهيدروغراف)

وسيتم استعراض هذه الطرق بالتفصيل فيما يلي:

1-8-6 الطريقة العقلانية Rational Method

تعتبر الطريقة العقلانية من أكثر الطرق المستعملة شيوعاً واستخداماً في تحليل الجريان السطحي في الاحواض الصبابة الصغيرة. وتستعمل لايجاد ذروة سرعة الجريان السطحي في منشآت التصريف الصغيرة و تعود شعبية هذه الطريقة الى بساطتها و تأخذ بعين الاعتبار الخواص الهيدرولوجية الاتية:

1. شدة الأمطار 2. ديمومة الامطار 3. تكرار أو تردد الامطار 4. مساحة الحوض الصباب

وهذه الطريقة تربط كمية المياه المتدفقة نتيجة الأمطار على مساحة معينة من الأرض وخلال فترة من الزمن وبغزارة أو شدة المطر. إن كمية مياه الأمطار التي تسقط على الأرض لا تتحول في مجملها إلى مياه جارية ، بل هناك كمية مفقودة بسبب عمليات التبخر والنتح ورشح جزء من مياه الأمطار إلى باطن الأرض، وتبقى كمية أخرى على سطح الأرض لتشكل البرك ، وتعتمد كمية المياه المفقودة على عدة عوامل أهمها درجة حرارة الجو ونوع التربة وما تحتويه من مياه وكذلك مدة استمرارية المطر. وتعتمد الطريقة العقلانية على المعادلة الاتية:

$$Q_p = C \cdot I \cdot A \quad \text{.....} (6-17)$$

حيث أن:

Q_p = ذروة التصريف لعاصفة مطريه معينة لها شدة و ديمومة و تكرار

C = معامل الجريان السطحي وهو معامل تجريبي ليس له ابعاد ويعتمد على خواص الانتشار والسحوبات من الحوض الصباب

I = شدة المطر

A = مساحة الحوض الصباب

واذا كانت شدة المطر بالملم لكل ساعه (mm/h) ومساحة الحوض الصباب بالكم^2، وذروة التصريف بالمتر المكعب لكل ثانيه تصبح المعادله:

$$Q_p = 0.278\, C \cdot I \cdot A \quad \text{.....} (6-18)$$

هذه العلاقة استخدمت بشكل واسع في التطبيقات الهندسية لتقدير أقصى تصريف (أعلى تصريف)، حيث C تمثل معامل الجريان السطحي، وهو نسبة الماء الذي ينساب على سطح الارض من مجموع المياه التي تهطل على تلك الارض. والذي يختلف بحسب نوع السطح ويؤخذ من الجدول (6-4). وعندما تحتوي منطقة التصريف على أسطح مختلفة بمعاملات متباينة ، فإن المعامل المناسب لكل سطح يضرب في جزئية مساحته ومن ثم تجمع المعاملات كما في العلاقة:

$$C_{avg} = \frac{\sum_{i=1}^{k} C_i \cdot A_i}{\sum_{i=1}^{k} A_i} \quad \text{.....} (6-19)$$

حيث أن: k = عدد الأجزاء ويختلف كل منها عن الآخر حسب نوع الأرض.

الجدول (6-4) : معامل الجريان السطحي

نوع السطح	معامل الجريان السطحي (C)
أسقف مانعة للماء (مثل أسقف المباني)	0.90 – 0.70
شوارع مسفلتة	0.90 – 0.80
حدائق وملاعب رياضية	0.25 – 0.10
ممرات وأرصفة مسفلتة	0.85 – 0.75
ممرات وأرصفة بالركام	0.30 – 0.15
أرض عشبية على تربة رملية وتميل 2%	0.10 – 0.05
أرض عشبية على تربة رملية وتميل بين 2% و 7%	0.15 – 0.10
أرض عشبية على تربة رملية وتميل بنسبة أعلى من 7%	0.20 – 0.15
أرض عشبية على تربة ثقيلة وتميل 2%	0.17 – 0.13
أرض عشبية على تربة ثقيلة وتميل بين 2% و 7%	0.22 – 0.18
أرض عشبية على تربة ثقيلة وتميل بنسبة أعلى من 7%	0.35 – 0.25

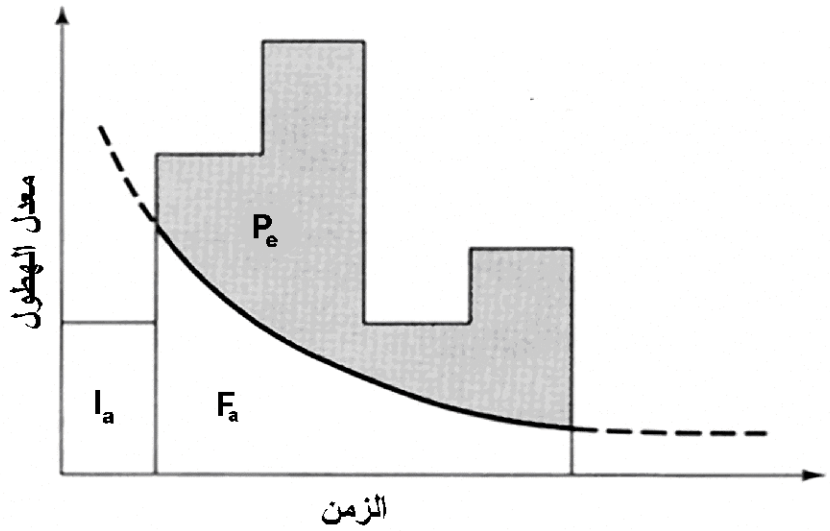
2-8-6 طريقة أرقام المنحنيات Curve Number (SCS)

تقسم حادثة الهطول المطري إلى اقتطاع أولي وتخزين فعلي وجريان مباشر، إن التخزين الفعلي سوف يكون أقل بشكل بسيط من التخزين الأقصى (الأعظمي) الذي يعبر عنه بالرمز (S). يتبع التخزين (S) استخدام الأرض، والاعتراض، والتسرب السطحي، وتخزين المنخفضات، والرطوبة المسبقة للتربة.

وقد طور قسم خدمة المحافظة على التربة الزراعية في أمريكا Soil Conservation Service (SCS) العلاقة بين المطر والجريان في أحواض التجميع (الأحواض الصبابة) لتقدير الجريان ومعدلات التصريف القصوى للجريان في الأحواض المائية الصغيرة لتقييم الفيضانات بطريقة مبسطة. إن المطر الفعال (P_e) من أجل عاصفة معينة هو أقل أو يساوي المطر الكلي (P)، وكذلك الأمر بعد أن يبدأ الجريان، حيث يتم تخزين جزء من المطر في الحوض الصباب (F_a) وهو أقل من التخزين الأقصى (الأعظمي) أو يساويه (S) ، كما هو مبين بالشكل (6−9) .

ولا يحدث الجريان خلال فترة الاقتطاع الأولي (أي قبل تشكل البرك) وهذا الجزء من المطر يرمز له بـI_a، وهكذا يحدث الجريان عندما يزيد المطر على الاقتطاع الأولي (P-I_a) . نفترض بحسب طريقة SCS أن:

$$\frac{F_a}{S} = \frac{P_e}{P - I_a} \quad \text{.....} (6-20)$$



الشكل (6−9) العلاقة بين الاقتطاع الأولي I_a ، والمطر الفعال P_e، والتخزين الفعلي F_a، ومعدل الهطول المطري

وبتطبيق مبدأ الاستمرار نجد أن:

$$P = P_e + I_a + F_a \quad \text{.....} (6-21)$$

ومن المعادلتين السابقتين نحصل على:

$$P_e = \frac{(P - I_a)^2}{P - I_a + S} \quad \text{.....(22 -6)}$$

وهي العلاقة الأساسية لحساب كمية المطر الفعال أو الجريان المباشر الناتج عن عاصفة مطرية بطريقة SCS. تم إيجاد علاقة تجريبية بين التخزين الأقصى (S) والاقتطاع (I_a) بنتيجة العديد من التجارب على أحواض صبابة صغيرة $I_a = 0.2\ S$ وهكذا تصبح العلاقة الأساسية لحساب الجريان المباشر كما يلي:

$$P_e = \frac{(P - 0.2S)^2}{P - 0.8S} \quad \text{.....(23 -6)}$$

لقد أشارت دراسات SCS إلى أن التخزين الأقصى (الأعظمي) يمكن أن يقدر بالعلاقة التالية:

$$S = \frac{1000}{CN} - 10 \quad \text{.....(24 -6)}$$

حيث CN هو رقم منحنى الجريان و يتغير قيمة CN حسب استخدام الأرض، والرطوبة المسبقة في التربة، وعوامل أخرى تؤثر على التخزين والجريان في الحوض. إن رقم منحنى الجريان لا بعدي وهو محصور بين الصفر والمئة $0 \le CN \le 100$، ومن أجل التربة الكتيمة والمياه السطحية فإن CN=100 وفي الحالة الطبيعية CN< 100 .

يتم تقدير رقم المنحنى (CN) في طريقة SCS حسب تصنيف مجموعات التربة واستخدام الأرض، حيث تم تصنيف التربة (Soil Texture) إلى أربع مجموعات وحسب قدرة الرشح وهي:

المجموعة A: تربة رملية عميقة، تربة لوس عميقة، تربة سلتية متكتلة ذات قدرة رشح كبيرة ورطوبة ابتدائية كبيرة (أكبر من 0.3 إنش/ساعة)

المجموعة B: تربة لوس غير عميقة، تربة سلتية رملية، وهي ذات قدرة رشح متوسطة (0.15-0.30 إنش/ساعة) وتكون بنيتها ناعمة إلى خشنة بسماكة متوسطة.

المجموعة C: تربة غضارية سلتية، تربة سلتية رملية غير عميقة، تربة فقيرة بالمواد العضوية، تربة تحتوي على نسبة مرتفعة من الغضار (الطين) وذات قدرة رشح ضعيفة (0.05 – 0.15 إنش/ساعة).

المجموعة D: تربة تنتفخ كثيراً مع الترطيب، تربة غضارية ثقيلة، أنواع معينة من التربة المتملحة، وتكون ذات قدرة رشح ضعيفة جداً (0 – 0.05 إنش/ساعة)

ويبين الجدول (6-5) أرقام منحنيات الجريان (CN) لأنواع مختلفة من التربة وحسب استخدام الأرض.

الجدول (6-5) أرقام منحنيات الجريان بحسب استخدامات الأرض ونوع التربة
(الاقتطاع الأولي الوسطي للحوض Ia= 0.2S)

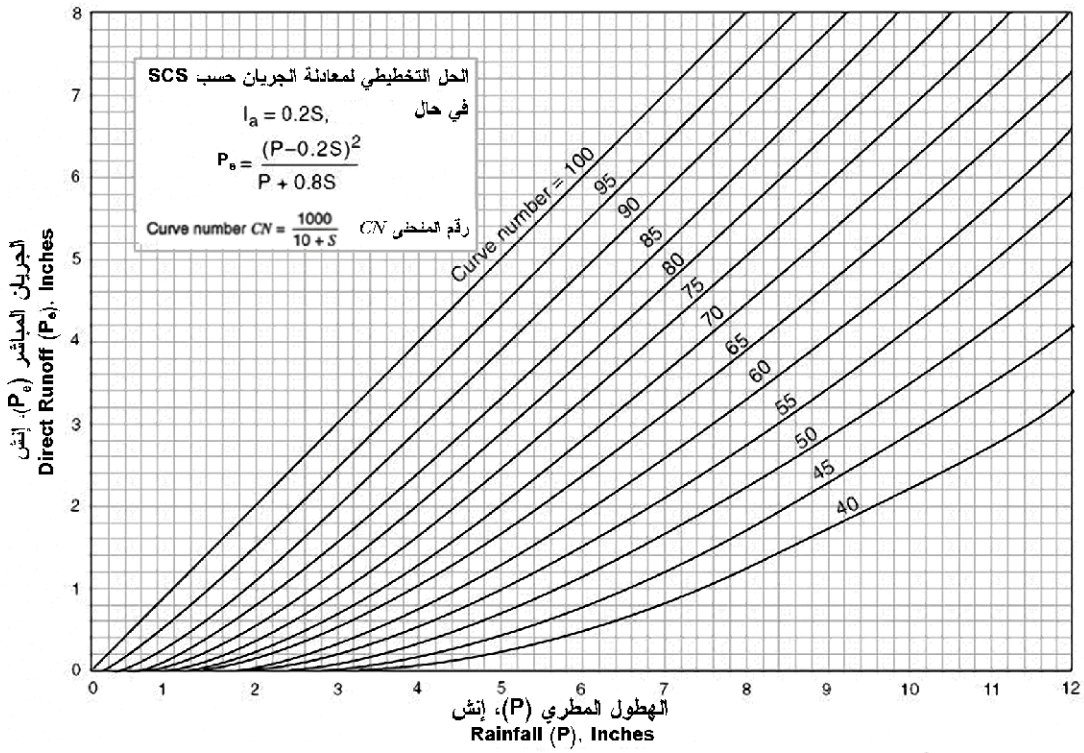
استخدام الأرض	أنواع الترب حسب التصنيف الهيدرولوجي			
	A	B	C	D
مناطق متطورة عمرانياً (المناطق الخضراء محددة) مروج، أماكن مفتوحة، ملاعب غولف، مقابر وغيرها:				
ظروف جيدة يغطي العشب75% أو أكثر من المساحة	39	61	74	80
ظروف مقبولة يغطي العشب بين 50% و 75% من المساحة	49	69	79	84
ظروف سيئة يغطي العشب 50% أو أقل من المساحة	68	79	86	89
مساحات مبلطة مواقف سيارات، أسطح، ممرات وغيرها	98	98	98	98
الشوارع والطرق:				
جدران حجرية بجانب الطريق ومصرف العواصف	98	98	98	98
حصى	76	85	89	91
تربة	72	82	87	89
خنادق	83	89	92	93

استخدام الأرض		أنواع الترب حسب التصنيف الهيدرولوجي			
	نسبة المساحة الكتيمة %	A	B	C	D
مناطق تجارية وأعمال	85	89	92	94	95
مناطق صناعية	72	81	88	91	93
مساكن على صفوف، مساكن ريفية، ومناطق سكنية لا تزيد مساحتها عن 1/8 فدان أو أقل	65	77	85	90	92
مناطق سكنية مساحتها:					
1/4 فدان	38	61	75	83	87
1/3 فدان	30	57	72	81	86
1.0 فدان	20	51	68	79	84
2.0 فدان	12	46	65	77	82
مناطق متطورة عمرانياً (المناطق الخضراء غير محددة) مناطق مفروزة حديثاً		77	86	91	94

الغطاء النباتي	الأعمال الزراعية	الظروف الهيدرولوجية	أنواع الترب حسب التصنيف الهيدرولوجي			
			A	B	C	D
	أرض زراعية					
بور	خطوط مستقيمة	-	77	86	91	94
	المحافظة على الحراثة	ضعيفة	76	85	90	93
	المحافظة على الحراثة	جيدة	74	83	88	90
محاصيل تزرع في خطوط	خطوط مستقيمة	ضعيفة	72	81	88	91
	خطوط مستقيمة	جيدة	67	78	85	89
	المحافظة على الحراثة	ضعيفة	71	80	87	90
	المحافظة على الحراثة	جيدة	64	75	82	85
	كونتورية	ضعيفة	70	79	84	88
	كونتورية	جيدة	65	75	82	86
	كونتورية مع المحافظة على الحراثة	ضعيفة	69	78	83	87
		جيدة	64	74	81	85
	كونتورية ومدرجات	ضعيفة	66	74	80	82
	كونتورية ومدرجات	جيدة	62	71	78	81
	كونتورية ومدرجات مع المحافظة على الحراثة	ضعيفة	65	73	79	81
		جيدة	61	70	77	80
حبوب صغيرة	خطوط مستقيمة	ضعيفة	65	76	84	88
	خطوط مستقيمة	جيدة	63	75	83	87
	المحافظة على الحراثة	ضعيفة	64	75	83	86
	المحافظة على الحراثة	جيدة	60	72	80	84
	كونتورية	ضعيفة	63	74	82	85
	كونتورية	جيدة	61	73	81	84
	كونتورية مع المحافظة على الحراثة	ضعيفة	62	73	81	84
		جيدة	60	72	80	83
غابات للأخشاب		ضعيف	45	66	77	83
		وسط	36	60	73	79
		جيد	25	55	70	77
مزارع		-	59	74	82	86

الغطاء النباتي	الأعمال الزراعية	الظروف الهيدرولوجية	أنواع الترب حسب التصنيف الهيدرولوجي			
			A	B	C	D
مناطق غابات محيطة						
أعشاب نجيلية		ضعيف		79	86	92
		وسط		71	80	89
		جيد		61	74	84
حور – خشب		ضعيف		65	74	
		وسط		47	57	
		جيد		30	41	
عرعر		ضعيف		72	83	
		وسط		58	73	
		جيد		41	61	
أعشاب طرية		ضعيف		67	80	
		وسط		50	63	
		جيد		35	48	

يمكن تمثيل علاقة الجريان مع الهطول ورقم منحنى الجريان كما في الشكل (6–10)، الذي يستخدم مع علاقة الجريان لتحديد الجريان المباشر بمعرفة كمية الهطول (P) ورقم منحنى الجريان (CN).



الشكل (6–10) العلاقة بين المطر الفعال والمطر الكلي استناداً لـــ (CN) حسب الرطوبة المسبقة للتربة

كذلك يمكن استخدام الجدول (6-6) لإيجاد العلاقة بين الأمطار والجريان و قيمة أرقام المنحنى CN (Solution of runoff equation).

الجدول (6-6) العلاقة بين الأمطار والجريان والجريان و قيمة أرقام المنحنى CN

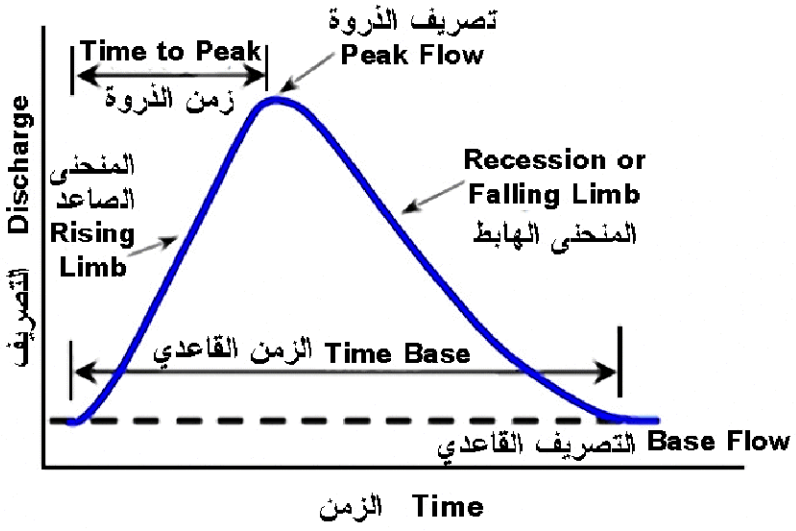
عمق الجريان السطحي لكل رقم منحنى (CN) Runoff depth for curve number of -													الأمطار (إنش) Rainfall
98	95	90	85	80	75	70	65	60	55	50	45	40	
إنش Inches													
0.79	0.56	0.32	0.17	0.08	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	**1.0**
0.99	0.74	0.46	0.27	0.15	0.07	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	**1.2**
1.18	0.92	0.61	0.39	0.24	0.13	0.06	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	**1.4**
1.38	1.11	0.76	0.52	0.34	0.20	0.11	0.05	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	**1.6**
1.58	1.29	0.93	0.65	0.44	0.29	0.17	0.09	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	**1.8**
1.77	1.48	1.09	0.80	0.56	0.38	0.24	0.14	0.06	0.02	0.00	0.00	0.00	**2**
2.27	1.96	1.53	1.18	0.89	0.65	0.46	0.30	0.17	0.08	0.02	0.00	0.00	**2.5**
2.77	2.45	1.98	1.59	1.25	0.96	0.71	0.51	0.33	0.19	0.09	0.02	0.00	**3.0**
3.27	2.94	2.45	2.02	1.64	1.30	1.01	0.75	0.53	0.35	0.20	0.08	0.02	**3.5**
3.77	3.43	2.92	2.46	2.04	1.67	1.33	1.03	0.76	0.53	0.33	0.18	0.06	**4.0**
4.26	3.92	3.40	2.91	2.46	2.05	1.67	1.33	1.02	0.74	0.50	0.30	0.14	**4.5**
4.76	4.42	3.88	3.37	2.89	2.45	2.04	1.65	1.30	0.98	0.69	0.44	0.24	**5.0**
5.76	5.41	4.85	4.30	3.78	3.28	2.81	2.35	1.92	1.52	1.14	0.80	0.50	**6.0**
6.76	6.41	5.82	5.25	4.69	4.15	3.62	3.10	2.60	2.12	1.68	1.24	0.84	**7.0**
7.76	7.40	6.81	6.21	5.63	5.04	4.46	3.89	3.33	2.78	2.25	1.74	1.25	**8.0**
8.76	8.40	7.79	7.18	6.57	5.95	5.33	4.72	4.10	3.49	2.88	2.29	1.71	**9.0**
9.76	9.40	8.78	8.16	7.52	6.88	6.22	5.56	4.90	4.23	3.56	2.89	2.23	**10.0**
10.76	10.39	9.77	9.13	8.48	7.81	7.13	6.43	5.72	5.00	4.26	3.52	2.78	**11.0**
11.76	11.39	10.76	10.11	9.45	8.76	8.05	7.32	6.56	5.79	5.00	4.19	3.38	**12.0**
12.76	12.39	11.76	11.10	10.42	9.71	8.98	8.21	7.42	6.61	5.76	4.89	4.00	**13.0**
13.76	13.39	12.75	12.08	11.39	10.67	9.91	9.12	8.30	7.44	6.55	5.62	4.65	**14.0**

3-8-6 الهيدروغراف Hydrograph

1-3-8-6 وحدة الهيدروغراف Unit Hydrograph

ونعني بمصطلح وحدة الهيدروغراف تغير تصريف المجرى المائي مع الوقت لفترة زمنية محددة من الأمطار عندما يكون عمق المطر المؤثر وحدة عمق واحدة (سنتيمتراً أو إنشاً واحداً) ومن هنا جاءت تسمية وحدة الهيدروغراف، وقد تنوعت هذه الطرق بتنوع البيانات والأنظمة المستخدمة في إيجاد العلاقة بين المطر والجريان.

يتغير الجريان في مجرى مائي من وقت لآخر وخصوصاً كرد فعل على عاصفة مطرية. وبما أن الهطول يتم ويمر عبر الحوض الصباب فإن منسوب الماء يرتفع في المجرى ويمكن أن يستمر في الارتفاع حتى بعد انقطاع الهطول. ويعبر هيدروغراف التصاريف في المجرى المائي عن رد الفعل في المجرى مع الزمن، وهو عبارة عن علاقة ما بين التصاريف والزمن، والشكل (6-11) يوضح ذلك.



الشكل (6-11): العلاقة بين تصاريف التدفق والزمن

6-8-3-2 الهيدروغراف القياسي المصطنع Synthetic Unit Hydrograph

عندما لا تتوفر معلومات عن المطر والجريان. يمكن اشتقاق الهيدروغراف القياسي للحوض الصباب بطرق غير مباشرة دون الحاجة إلى تحليل معلومات المطر- الجريان. ويتم ذلك باستعمال معادلات رياضية يمكن بواسطتها اشتقاق الهيدروغراف القياسي ويسمى عندئذ بالهيدروغراف القياسي المصطنع Synthetic Unit Hydrograph الذي يعتمد على مبدأ ان الحجم تحت الهيدروغراف يساوي حاصل ضرب مساحة الحوض الصباب بوحدة واحدة من عمق الجريان $V = A \times 1$، ويمكن حساب ذروة التصريف بافتراض شكل معين للهيدروغراف القياسي المصطنع، فمثلا في حالة افتراض الهيدروغراف على شكل مثلث كما هو مبين بالشكل (6-12) فان الحجم تحت الهيدروغراف يحسب من المعادلة التالية:

$$V = \frac{Q_p T_{bt}}{2} = A \times 1 \quad \text{.....} (6-25)$$

$$Q_p = \frac{2A}{T_{bt}} \quad \text{.....} (6-26)$$

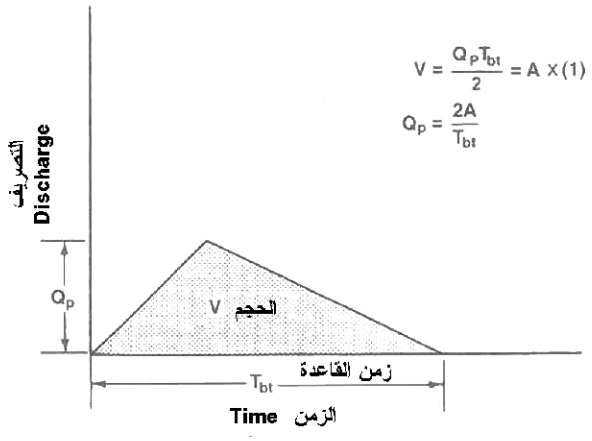
حيث أن:

V= الحجم تحت الهيدروغراف القياسي

Q_p = ذروة التصريف أو الجريان للهيدروغراف القياسي

T_{bt} = زمن القاعدة للهيدروغراف القياسي المصطنع

A = مساحة الحوض الصباب



الشكل (6-12): الهيدروغراف القياسي المصطنع على شكل مثلث

باستخدام الطريقة العقلانية يمكن الحصول على هيدروغراف على شكل مثلث، و ذروة التصريف هي نتاج ضرب لمعامل الجريان السطحي و شدة المطر و مساحة الحوض الصباب . وهذه العوامل من السهل الحصول عليها. و تجدر الاشارة الى أن الطريقة العقلانية لا تأخذ بالاعتبار التغيرات الدائمة و المؤقته للمطر الكلي أو للمطر المؤثر، بالاضافة لذلك فانها لا تأخذ بعين الاعتبار رطوبة التربه وهذا يؤثر على تغير قيمة معامل الجريان السطحي . لذلك فان الطريقة العقلانية تناسب الأحواض الصبابة الصغيرة التي لا تزيد مساحاتها عن 12.5 كم^2.

6-8-3-3 الهيدروغراف القياسي المصطنع لسنايدر Snyder's Synthetic Unit Hydrograph

لقد عرض سنايدر أول معادلة لحساب زمن التخلف (Lag Time) للحوض المائي الصباب t_l الذي اعتبر أنها الفترة الزمنية من نقطة منتصف الزيادة المطرية الى ذروة التصريف بالصيغة التالية:

$$t_l = C_t (L.Lc)^{0.3} \quad \text{.....} (6-27)$$

حيث أن:

t_l = زمن التخلف، الساعات.

L = طول الحوض الصباب وتقاس على امتداد المجرى الرئيسي من خط التقسيم Basin Divide إلى محطة القياس عند المخرج، بالكيلومتر.

Lc = الطول على امتداد المجرى الرئيسي من محطة القياس عند مخرج الحوض الصباب (Outlet) وحتى أقرب نقطة إلى مركز الحوض الصباب (Centroid)، بالكيلومتر.

C_t = معامل يعتمد على ميل الحوض الصباب وخزنها وتتراوح قيمته بين 1.35 – 1.65 بمعدل 1.5.

ووجد لنسلي وآخرون ان تخلف الحوض الصباب يعتمد على $\frac{L.Lc}{\sqrt{S}}$

حيث أن: S = ميل الحوض الصباب

لذلك يمكن صياغة المعادلة بالشكل التالي:

$$t_l = C_{tL}\left(\frac{L.L_c}{\sqrt{S}}\right)^n \quad .....(6-28)$$

حيث أن C_{tL} و n ثوابت للحوض الصباب .ووجد إن قيمة n للأحواض الصبابة في الولايات المتحدة تساوي 0.35 وقيمة C_{tL} تساوي 1.715 للمناطق الجبلية و 1.03 للتلال و 0.5 للوديان.

وقد عرض سنايدر المعادلة التالية لحساب ذروة التصريف:

$$Q_p = \frac{C_p A}{t_l} \quad .....(6-29)$$

$$C_p = \frac{2t_l}{T_{bt}} \quad .....(6-30)$$

حيث أن: C_p = معامل تجريبي يعتمد على النسبة بين زمن قاعدة المثلث (T_{bt}) الى زمن التخلف t_l وتتراوح قيمة C_p بين 0.56- 0.69 عندما تتراوح النسبة $\frac{T_{bt}}{t_l}$ ما بين 2.90-3.57.

وكلما قلت C_p قلت ذروة التصريف وكلما زادت النسبة $\frac{T_{bt}}{t_l}$ زادت قدرة التخزين للحوض الصباب. ويمكن صياغة معادلة ذروة الجريان لسنايدر كما يلي:

$$Q_p = \frac{2.78 C_p A}{t_l} \quad .....(6-31)$$

حيث أن:

Q_p = ذروة التصريف أو الجريان للهيدروغراف القياسي (عمق مطر مؤثر مقداره 1سم) ، (م^3/ثانية)

A = مساحة الحوض الصباب، بالكيلومتر مربع.

t_l = زمن التخلف، بالساعات

وقد عرض سنايدر المعادلة التالية لحساب ديمومة الهيدروغراف القياسي التي هي دالة خطية لزمن التخلف بالشكل التالي:

$$t_r = \frac{t_l}{5.5} \quad .....(6-32)$$

حيث أن: t_r = المدة الزمنية من ذروة التدفق وحتى انحساره (اضمحلاله) على منحنى الهيدروغراف القياسي.

وقد وجد سنايدر عند تطبيق الطريقة للفيضان أن الديمومة الحقيقية للعاصفة المطرية تكون أكبر من الديمومة المحسوبة، لذلك إشتق معادلة لزيادة زمن التخلف تعتمد على الزيادة في ديمومة العاصفة المطرية كما يلي:

$$t_p = \frac{12}{11} t_l \quad .....(6-33)$$

وقد جعل سنايدر الجريان الداخلي جزءا من الجريان المباشر وهذا يسبب زيادة زمن القاعدة عن ذلك الناتج من الجريان المباشر فقط، لذلك يتم حساب زمن القاعدة الحقيقي وفقاً للمعادلة التالية:

$$T_b = 72 + 3t_l \quad \text{.....} (6-34)$$

حيث أن: T_b = زمن القاعده الحقيقي، بالساعه (متضمناً الجريان الداخلي)

t_l = زمن التخلف، بالساعه

ان المعادله (6-34) تعطي تخمينا معقولاً لزمن القاعده T_b للأحواض الصبابة الكبيره في حين تعطي قيما كبيره لزمن القاعده للأحواض الصبابة الصغيره، وقد بينت التجارب قيمة $\frac{T_b}{t_l}$ حوالي 5 وأن قيمة $\frac{T_b}{t_l}$ حوالي 5.45 تكون اكثر واقعيه واقرب الى الحقيقه.

وعليه يمكن حساب ذروة الجريان او التصريف للهيدروغراف القياسي (Q_p) حسب طريقة سنايدر بالاستعانه بالمعادلات التجريبيه التاليه لايجاد شكل الهيدروغراف القياسي المصطنع لسنايدر:

$$W_{50} = \frac{5.87}{(Q_P / A)^{1.08}} \quad \text{.....} (6-35)$$

$$W_{75} = \frac{3.35}{(Q_P / A)^{1.08}} \quad \text{.....} (6-36)$$

حيث أن:

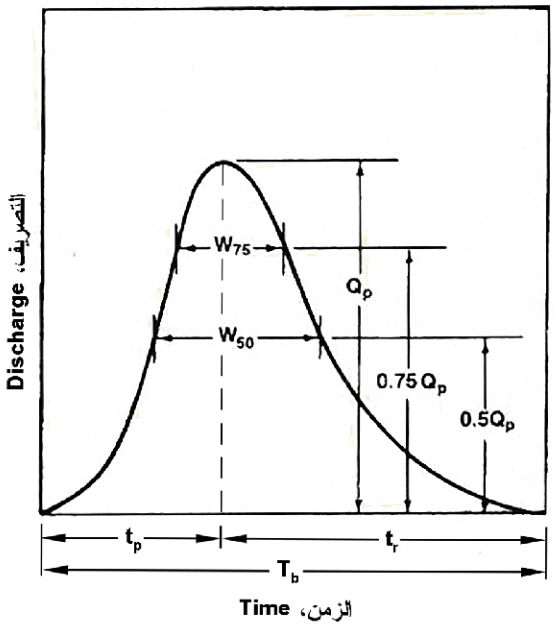
W_{50} = عرض الهيدروغراف القياسي عند 50% من ذروة التصريف، بالساعات

W_{75} = عرض الهيدروغراف القياسي عند 75% من ذروة التصريف، بالساعات

Q_p = ذروة التصريف، م^3 / ث

A = مساحة الحوض الصباب، بالكم^2

وتجدر الاشاره إلى أن هذه العروض للهيدروغراف يجب ان تكون بطريقه مناسبه بحيث يقع ثلثها قبل الذروه وثلثيها بعد الذروة، وحسب ما هو مبين بالشكل (6-13).



الشكل (6-13): الهيدروغراف القياسي المصطنع لسنايدر

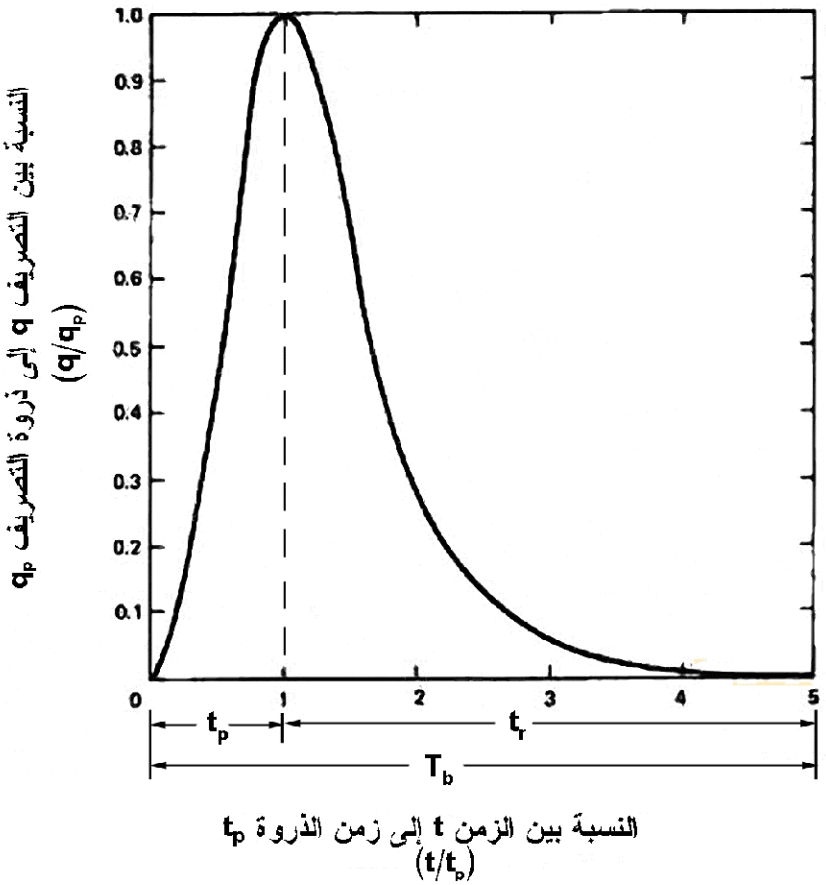
4-3-8-6 الهيدروغراف القياسي اللابعدي Dimensionless U.H

يعتمد الهيدروغراف القياسي اللابعدي على دراسة عدد كبير من الهيدروغرافات القياسيه وتم اقتراحه من قبل هيئه حفظ التربه Soil Conversation Service (SCS) في الولايات المتحده الامريكيه والشكل (6-14) يوضح الهيدروغراف القياسي اللابعدي، حيث يظهر الاحداثي الصادي كنسبه بين التصريف وذروة التصريف $\frac{q}{q_p}$ ويظهر الاحداثي السيني كنسبه بين الزمن وزمن الذروه $\frac{t}{t_p}$.

اما احداثيات الهيدروغراف القياسي اللابعدي المقترحه من قبل SCS فتظهر في الجدول (6-7) وتستعمل لغرض اشتقاق الهيدروغراف القياسي اللابعدي بدلاً من استخدام معادلات سنايدر.

الجدول (6-7): احداثيات الهيدروغراف القياسي اللابعدي المقترحه من قبل SCS

نسبة الزمن إلى زمن الذروة t/t_p	نسبة التصريف إلى تصريف الذروة q/q_p
0	0.000
0.1	0.030
0.2	0.100
0.3	0.190
0.4	0.310
0.5	0.470
0.6	0.660
0.7	0.820
0.8	0.930
0.9	0.990
1.0	1.000
1.1	0.990
1.2	0.930
1.3	0.860
1.4	0.780
1.5	0.680
1.6	0.560
1.7	0.460
1.8	0.390
1.9	0.330
2.0	0.280
2.2	0.207
2.4	0.147
2.6	0.107
2.8	0.077
3.0	0.055
3.2	0.040
3.4	0.029
3.6	0.021
3.8	0.015
4.0	0.011
4.5	0.005
5.0	0.000



الشكل (6-14): الهيدروغراف القياسي اللابعدي المقترحه من قبل SCS

يتم حساب كمية التدفق القصوى باستخدام طريقة SCS كما يلي:

1. الخطوة الأولى: حساب زمن التركيز (t_c) – من المعادلة (6- 13)
2. الخطوة الثانية : تحديد زمن الذروة (t_p)

$$t_p = 0.67\ t_c \quad \text{.....(6- 37)}$$

3. الخطوة الثالثة: حساب زمن القاعدة (T_b)

$$T_b = 2.67\ t_p \quad \text{.....(6- 38)}$$

4. الخطوة الرابعة : حساب تدفق الذروة في المخطط المائي الواحدي (Q= 1.0).

$$q_p = \frac{2.08 A \cdot Q}{t_p} \quad \text{.....(6- 39)}$$

حيث أن:

q_p = تدفق الذروة، م^3/ثانية

Q = عمق المطر المؤثر (الفعال) والذي يساوي واحد (1 سنتيمتراً أو إنشاً)

9-6 الجريان في القنوات

تستعمل الخواص الاتية في وصف قنوات الجداول :

1) مساحة الجريان (A): وهي مساحة المقطع العرضي للجريان .
2) عرض القمة (Top width): وهي عرض القناة عند منسوب سطح الماء، وتتغير عروض قمة الجريان بشكل واسع وتتراوح من بضعة أمتار في المجاري المائية الصغيرة الى عدة كيلومترات في المجاري المائية الكبيرة.
3) المحيط المبلل (P): وهو محيط مساحة الجريان باستثناء عرض القمة.
4) العمق الهيدروليكي: وهو النسبة بين مساحة الجريان الى عرض القمة، ويتراوح معدل أعماق الجريان من أقل من متر واحد في المجاري المائية الصغيرة بالمناطق الجبلية الى ما يزيد عن 50 إلى 80 مترا في المجاري المائية الكبيرة.
5) نصف القطر الهيدروليكي (R) وهو النسبة بين مساحة الجريان الى المحيط المبلل

$$R = \frac{A}{P} \quad \text{.....} (6-40)$$

6) الميل أو الانحدار الطولي (S) لأرضية القناة

ويتم حساب كمية المياه المتدفقة في القنوات من المعادلة التالية:

$$Q = A\frac{R^{2/3}\,S^{1/2}}{n} \quad \text{.....} (6-41)$$

1-9-6 الجريان في أنابيب تصريف مياه الأمطار Flow in Sewers

عندما تصل مياه السيول إلى أنابيب الصرف تبدأ في التدفق بشكل منتظم تحت تأثير الجاذبية الأرضية، إلا أن ذلك التدفق يعتمد على عدة عوامل منها : ميول أنابيب الصرف ، مساحة مقطعها ، خشونة الأنابيب ، حالة التدفق ، وجود عوائق بأنظمة الصرف. إن تدفق المياه في الأنابيب بشكل جزئي يكون أشبه بالقنوات المائية المفتوحة ، بحيث تطبق عليها معادلة *Manning* والتي تأخذ الصيغة التالية:

$$V = \frac{1}{n}R^{2/3}\,S^{1/2} \quad \text{.....} (6-42)$$

حيث أن:

V= سرعة تدفق المياه في الأنبوب، م/ثانية

n = معامل الخشونة أو الاحتكاك للأنبوب

R = نصف القطر الهيدروليكي، م

S = درجة ميل الأنبوب، م/م

وبمعرفة سرعة التدفق في أنبوب الصرف ومساحة الأنبوب يمكن حساب كمية المياه المتدفقة من المعادلة:

$$Q = A\frac{R^{2/3}\,S^{1/2}}{n} \quad \text{.....} (6-43)$$

أما إذا كان أنبوب التصريف مملوء بالكامل فإن سرعة تدفق المياه خلاله وكميتها يتم حسابهما من المعادلتين التاليتين:

$$V = \frac{0.397}{n} D^{\frac{2}{3}} S^{\frac{1}{2}} \quad \text{.....} (6-44)$$

$$Q = \frac{0.312}{n} D^{\frac{8}{3}} S^{\frac{1}{2}} \quad \text{.....} (6-45)$$

ويختلف معامل الاحتكاك بحسب طبيعة المادة المصنوعة منها الأنبوبة ، وتتغير مع عمر استخدام الأنبوب وتتراوح قيم معامل الاحتكاك للانابيب الخرسانية ما بين 0.011 – 0.014.

6-10 منشآت تصريف المياه عند التقاطع مع الطرق

6-10-1 مقدمة

عند نقاط تقاطع المجاري المائية ومجاري الأودية والسيول مع الطرق لا بد من تنفيذ منشأة تعمل على نقل الماء أسفل الطريق بشكل آمن بحيث لا تؤثر المياه على سلامة الطريق ولا تتسبب بغمر المناطق المجاورة لمنطقة التقاطع.

يختلف منسوب تقاطع المجاري المائية مع الطرق من موقع لآخر ضمن مسار الطريق كما أنه يختلف من طريق لآخر، لذلك فإن منشأة التقاطع يمكن أن تكون على شكل جسر أو عبارة.

تستخدم الجسور عادة في المجاري المائية العريضة بحيث لا تعمل على تصغير المقطع المائي بشكل كبير، وبشكل عام لا يتم تصغير المقطع المائي أسفل الجسور إلى أقل من 60%. ويكون الجريان تحت الجسور بسطح حر، والمسافة بين منسوب الماء المقابل للتصريف التصميمي وأسفل الجسر (الارتفاع الحر) لا تقل عن 0.5 م، ويمكن لهذه المسافة أن تزيد عن ذلك بحسب الظروف المناخية والهيدرولوجية من جهة ولتجنب الأخطار الناتجة عن الأجسام الطافية الكبيرة المنقولة مع مياه الفيضان كالأشجار.

6-10-2 تصميم العبارات:

العبارة هي المنشأة التي تقوم بتصريف مياه السيول أو مياه قنوات الري تحت الطريق دون إلحاق الضرر بردمية الطريق نتيجة تشكل خط رد الماء أو نشوء سرعة جريان كبيرة سواء عند مدخل العبارة أو عند مخرجها.

إن تحديد التصاريف التصميمية والكفاءة الهيدروليكية للعبارة تعتبر عوامل هامة في تصميم العبارة إضافة إلى عوامل أخرى تتضمن الناحية الاقتصادية من حيث تحديد مادة صنع العبارة وأبعاد مقطع العبارة وشكل العبارة في المسقط الأفقي وفي المقطع الطولي والاعتبارات البيئية والمعالجة الضرورية لمخرج العبارة ومدخلها. وغالباً ما تنفذ العبارة من الخرسانة المسلحة وقد يكون المقطع العرضي لها إما دائري أو صندوقي (مربع أو مستطيل) بفتحة واحدة أو بعدة فتحات. وتتضمن البيانات المطلوبة للتحليل الهندسي ما يلي:

1- مخطط طبوغرافي يبين خطوط الكونتور وفوهة حوض التجميع (الحوض الصباب)،
2- توصيف حوض التجميع (الصباب) من حيث استخداماته وطبيعة سطحه،
3- تحريات التربة عند موقع العبارة،
4- المقطع الطولي للطريق عند موقع العبارة،
5 المقطع العرضي للطريق عند موقع العبارة،
6- التصريف التصميمي،
7- أي عامل يمكن أن يؤثر على التصميم، مثل وجود منشآت منخفضة قد تتأثر بمنسوب التخزين أمام العبارة.

6-10-3 التحليل الهندسي:

تستخدم البيانات الحقلية التي تم الحصول عليها في إنجاز التحليل الهندسي الذي يهدف إلى أن يأخذ المصمم بالاعتبار عدداً من المسائل تتضمن شروط الانسياب السطحي والتصريف وشروط التأسيس وتصميم المنحدرات ومواصفات التربة في الموقع والمشاكل التي يمكن أن تظهر أثناء التنفيذ والكلفة التقديرية والأمور البيئية وأية أمور أخرى ذات الصلة بالموضوع.

يعتبر التحليل الهندسي جزءاً من التقرير الهيدروليكي للمشروع، ويجب أن يتضمن ما يلي:

1- البيانات الحقلية،
2- الحسابات الهيدروليكية للعبارة،
3- موقع العبارة على مسار الطريق،
4- مسقط العبارة والمقاطع الطولية والعرضية للعبارة،
5- المواد المستخدمة في تنفيذ العبارة،
6- عمق الماء أمام العبارة الموافق للتصريف التصميمي،
7- المقطع الطولي والعرضي للطريق الذي يبين ارتفاع الردم فوق العبارة،
8- طريقة معالجة مدخل ومخرج العبارة.

6-10-4 شروط تصميمية:

1- يتم تصغير المقطع المائي في العبارات إلى حوالي 40 – 60%، وبشكل عام يكون الجريان ضمنها بمقطع مليء كلياً أو جزئياً.
2- أصغر ارتفاع للعبارات الصندوقية 1.0 م وأصغر عرض لها 1.0 م.
3- لتأمين الدخول ضمن العبارة الصندوقية من أجل تنظيفها يجب ألا يقل ارتفاعها عن 1.5 م.
4- القطر الأدنى للعبارات الأنبوبية 0.75 م إذا كان طول العبارة يساوي أو أقل من 50 م، وإذا كان طول العبارة يتراوح بين 50 م و 100 م يكون القطر الأدنى 0.9 م، أما إذا كان طول العبارة يزيد عن 100 م فيكون القطر الأدنى 1.2 م.

5- يتم تغليف أو حماية العبارات الأنبوبية بطبقة من الخرسانة المسلحة من كل الجوانب في حال أن ارتفاع الردم (بما في ذلك طبقات رصف الطريق) فوق العبارة أقل من 1.0 م.

يجب أن يتطابق خط منتصف العبارة مع خط منتصف المجرى المائي، ويتم إنشاء العبارة على الأرض الطبيعية دون إحداث حفريات في أرضية الوادي أو المجرى المائي قدر الإمكان.

5-10-6 التدفق التصميمي

الخطوة الأولى في تصميم العبارات هي تحديد التدفق التصميمي على النحو التالي:

- ❖ تصمم العبارات الانبوبية والقنوات المفتوحة على فترة تكرار 10 سنوات (التدفق Q10)
- ❖ تصمم العبارات الصندوقية على فترة تكرار 25 سنة (التدفق Q25)
- ❖ تصمم العبارات الصندوقية الكبيرة على فترة تكرار 50 سنة (التدفق Q50) أو 100 سنة (التدفق Q100) اعتمادا على أهمية وكلفة المنشأة.

وقبل تحديد سعة العبارة لا بد من تقدير كميات الماء التي ستمر بالعبارة، ولمعرفة ذلك لا بد من القيام بعملية مسح مائي تتلخص فيما يلي:

- تحديد مساحة الحوض الصباب الذي يزود العبارة او الجسر بالماء،
- تقدير كمية الامطار التي تهطل على تلك المساحة ومدة هطولها وتكرارها،
- تحديد معامل الانسياب السطحي،
- حساب كمية التدفق الذي سيمر في العبارة .

1-5-10-6 عمق الماء عند مدخل العبارة

يجب ألا يتجاوز عمق الماء عند مدخل العبارة القيمة المسموحة والتي تؤخذ عادة 1.25 من قطر العبارة الأنبوبية أو 1.25 من ارتفاع العبارة الصندوقية حسب الشكل (6-15).

أي أن: $\frac{HW}{D} \leq 1.25$

حيث أن:

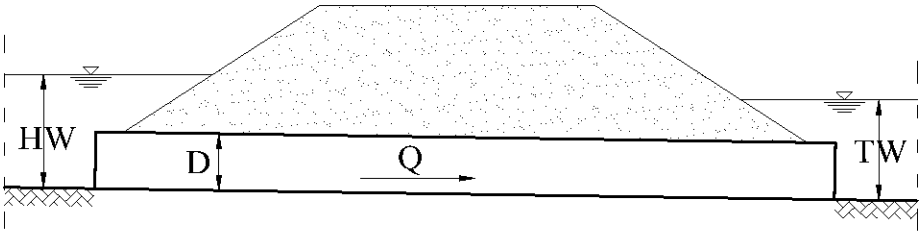
HW = عمق الماء عند مدخل العبارة.

D = قطر العبارة الأنبوبية أو ارتفاع العبارة الصندوقية.

يمكن السماح بأن يكون $\frac{HW}{D} > 1.25$ إذا كانت شروط الموقع تسمح بذلك. يجب التحقق من عمق الماء عند مدخل العبارة HW بشكل عام من أجل التدفق التصميمي (Q100) و يجب ألا يرتفع منسوب الماء أمام مدخل العبارة عن 0.3 م .

6-10-5-2 عمق الماء عند مخرج العبارة:

من الضروري تحديد عمق الماء عند مخرج العبارة TW لأنه يؤثر على عمق الماء الأمامي HW اللازم لجريان التصريف التصميمي خاصة في حالة العبارات التي تصمم بمقطع تحكم عند مخرجها، وكما هو مبين بالشكل (6-15):



الشكل (6-15) مقطع طولي في عبارة يوضح عمق الماء في مدخلها ومخرجها

وعادة ما نجد إحدى الحالات التالية لشروط الجريان خلف العبارة:

1- إذا كان المجرى خلف العبارة غير محدد المقطع وعمق الجريان الموافق للتصريف التصميمي أقل من ارتفاع العبارة بشكل ملحوظ يمكن إهمال عمق الماء عند مخرج العبارة TW، كمثال على ذلك العبارة التي تصرف مياه السيول الناتجة من حوض صباب عريض ومسطح. في هذه الحالة لا يؤثر الماء الخلفي على قدرة التصريف وعلى عمق الماء الأمامي أو يكون تأثيرها قليل.

2- إذا كان المجرى خلف العبارة منتظماً إلى حد ما من حيث المقطع العرضي والميل الطولي والخشونة، في هذه الحالة يمكن استخدام علاقة Manning للجريان في الأقنية المكشوفة لحساب العمق النظامي الذي يمثل عمق الماء الخلفي الذي قد يؤثر على قدرة التصريف أو على عمق الماء أمام العبارة.

6-10-6 سرعة الجريان ضمن العبارة

عند تحديد المقطع العرضي لمنشآت التقاطع مع الطرق يجب ألا تزيد سرعة الجريان عن (3 -4 م/ثانية) وذلك للحد من قيم ضياع الطاقة وللحد من التخزين أمام العبارة نتيجة ارتفاع الماء أمام العبارة.

كما يجب ألا تقل سرعة الجريان ضمن العبارة عن القيمة الدنيا بحيث تمنع ترسب المواد الصلبة المنقولة مع الماء ضمن جسم العبارة. وفي حال عدم معرفة حجم المواد المشكلة لمقطع المجرى المائي يجب ألا تقل سرعة الجريان ضمن العبارة عن 0.6 م/ثانية.

6-10-7 سرعة الجريان عند مخرج العبارة:

يجب أن تكون سرعة الجريان عند مخرج العبارة مساوية لسرعة الجريان في المجرى خلف العبارة وذلك لنتمكن من اتخاذ تدابير الحماية المناسبة للمجرى. لكن بشكل عام وبسبب التضيّق الحاصل في مقطع العبارة، فإن سرعة الجريان عند مخرج العبارة تكون أكبر منها في المجرى خلف العبارة. في هذه الحالة يمكن تخفيض سرعة الجريان بعدة طرق منها:

- تثبيت قاع وجوانب المجرى.
- تنفيذ منشآت تبديد الطاقة، مثل تنفيذ أحواض التهدئة أو المساقط المائية أو طبقة حماية حجرية RipRap.
- تغيير مقطع العبارة أو تخشين أرضيتها (Roughness Elements)، حيث أنه من المعلوم أن سرعة الجريان الأصغر من 0.5 م/ثانية تؤدي إلى ترسيب المواد الصلبة منقولة مع المياه لذلك يجب أن لا تقل سرعة الجريان عن 0.6 م/ثانية.

8-10-6 أشكال الجريان في العبارة:

يتم التحكم بالجريان ضمن العبارة من خلال التحكم بالتصريف إما بمدخل العبارة أو مخرجها وحسب الآتي:

- ❖ بالنسبة لمقطع التحكم عند المدخل (Inlet Control) تكون العناصر المؤثرة في الدراسة: المقطع العرضي لجسم العبارة والمواصفات الهندسية للمدخل وعمق الماء الأمامي (HW).
- ❖ بالنسبة لمقطع التحكم عند المخرج (Outlet Control) تكون العناصر المؤثرة في الدراسة: منسوب الماء في المجرى خلف العبارة، طول العبارة والميل الطولي لها وخشونة جدرانها وأرضيتها.
- ❖ عندما يعتمد عمل العبارة على مقطع التحكم الأمامي يكون الجريان ضمن العبارة بمقطع مليء جزئياً ويتعلق بعمق الماء الأمامي.
- ❖ عندما يعتمد عمل العبارة على مقطع التحكم الخلفي يكون الجريان ضمن العبارة بمقطع مليء من أجل الشروط التصميمية، ويعتبر تصميم العبارات المستند على مقطع التحكم الخلفي نادر الحدوث في المناطق الجافة وشبه الجافة. ولذلك سيتم استعراض تصميم العبارات على مبدأ مقطع التحكم الأمامي.

- **مقطع التحكم الأمامي (عند المدخل):**

يكون مقطع التحكم عادة عند المدخل إذا كان الميل الطولي للعبارة أكبر من 1% وعمق الماء ضحلٍ في نهاية مخرج العبارة. بذلك تكون قدرة تصريف جسم العبارة أكبر من قدرة تصريف المدخل. في هذه الحالة يكون عمق الماء بعد المدخل مباشرة مساوياً للعمق الحرج (h_c) Critical Flow والتي تساوي :

$$h_c = \left(\frac{q^2}{g}\right)^{\frac{1}{3}} \quad \text{.....} (6-46)$$

حيث أن:

q = Q/B = التدفق لوحدة العرض، م^3/ثانية/م.

Q = التدفق، م^3/ ثانية B = عرض سطح الماء في العبارة، م

g = تسارع الجاذبية الأرضية (9.81 م/ثانية^2)

ويسيطر الجريان فوق الحرج (Super-critical Flow) ضمن العبارة، وتحدث القفزة المائية (Hydraulic Jump) بعد المدخل ومكان حدوثها يتعلق بعمق الماء الخلفي.

في حالة الجريان بمقطع تحكم أمامي يتحكم المدخل بكمية التصريف المار ضمن العبارة ولا يكون لأبعاد مقطع العبارة والخشونة التأثير المباشر على الخصائص الهيدروليكية للجريان، بينما يكون لشكل المدخل التأثير الكبير على السلوك الهيدروليكي نتيجة التضيّق الملحوظ للجريان عند المدخل. لذلك يجب العناية بتصميم وتنفيذ مدخل العبارة من أجل زيادة قدرة التصريف.

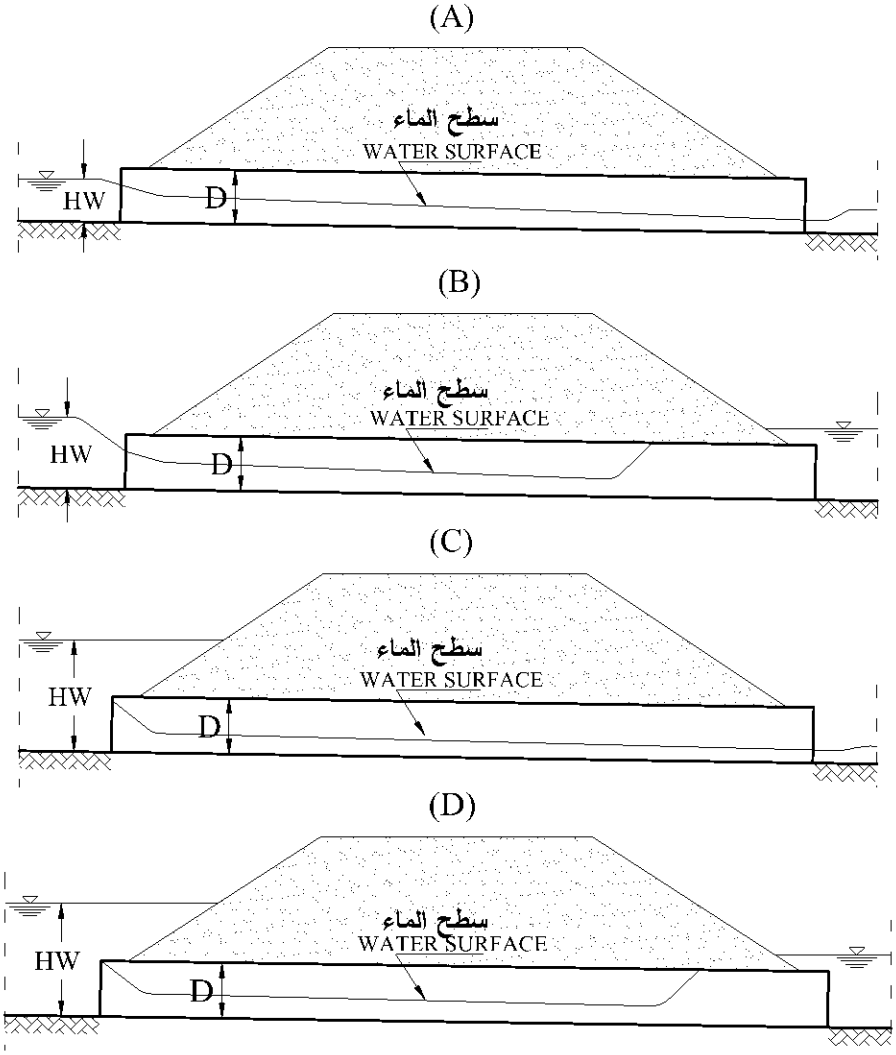
بشكل عام يتم دراسة العبارات، سواءً أكان مقطع التحكم أمامي أم خلفي، من أجل الحالات التالية، وكما هو مبين بالشكل (6-16) :

A : مدخل ومخرج العبارة غير مغمورين.

B : المدخل غير مغمور بينما المخرج مغمور.

C : المدخل مغمور بينما المخرج غير مغمور.

D : المدخل والمخرج مغمورين.



الشكل (6-16) الحالات المختلفة لجريان الماء ضمن العبارات ذات التحكم الأمامي

وقد بينت التجارب المخبرية أنه لكي يكون كلا من المدخل والمخرج غير مغمورين يجب أن يكون عمق الماء الأمامي (HW) أقل من الارتفاع الحرج Critical Depth (h_c)، وبشكل تقريبي تساوي D x (1.2 - 1.5).

تبين الحالة الثالثة C (النموذج الأكثر شيوعاً) أن المدخل مغمور بينما المخرج غير مغمور، حيث أنه مباشرة بعد عبور الماء للمدخل يظهر العمق (الارتفاع) الحرج ويستمر الجريان المنتظم فوق الحرج (Super-critical) بسطح حر بمقطع مليء جزئياً على طول العبارة. وتتشابه شروط الجريان في الحالة الأولى (المدخل والمخرج غير مغمورين) الممثلة بالحالة الأولى A إلى حد كبير مع الحالة الثالثة. وفي الحالة الثانية B (المدخل غير مغمور بينما المخرج مغمور) لا يؤثر عمق الماء العالي في المجرى الخلفي على شروط مقطع التحكم الخلفي وتحدث القفزة المائية ضمن جسم العبارة. وبشكل مشابه لما سبق يعبر الماء المدخل بالعمق الحرج، لكن يكون مقطع مليء جزئياً فقط قبل القفزة المائية.

تعتبر الحالة الرابعة D (المدخل والمخرج مغمورين) نادرة الحدوث ويكون الجريان بسطح حر بمقطع مليء جزئياً وتحدث القفزة المائية ضمن جسم العبارة.

6-10-9 الدراسة الهيدروليكية للعبارة – التحكم الأمامي Inlet Control

6-10-9-1 حساب عمق الماء الأمامي لحالة مقطع التحكم الأمامي:

عندما يخضع الجريان لمقطع التحكم الأمامي ينشأ نوعين أساسيين للجريان من الناحية الهيدروليكية. فإذا كان المدخل مغموراً يكون الجريان خلاله من الناحية الهيدروليكية كالجريان من فتحة، وبالعكس إذا كان المدخل حراً يسلك المدخل سلوك الهدارات.

لقد تم اشتقاق العلاقات الرياضية التي تربط بين عمق الماء أمام المدخل والتصريف لكلا الحالتين، وللسهولة تم التعبير عن هذه العلاقات بمخططات بيانية، كما هو مبين بالأشكال (6–17) و (6–18).

6-10-9-2 تحديد عمق الماء الأمامي HW:

1– يتم فرض أبعاد العبارة المقترح انشاؤها.

2– يتم مد خط مستقيم بين القيمة المقترحة والممثلة لقطر العبارة أو ارتفاعها D والتصريف Q أو $\frac{Q}{B}$ للعبارة الصندوقية ويتم مد خط مستقيم حتى يتقاطع مع الشاقول رقم (1) الممثل لقيمة $\frac{HW}{D}$.

3– إذا كان الشاقول رقم (1) يمثل نوع المدخل المستخدم يتم قراءة القيمة $\frac{HW}{D}$ الموافقة، وفي حال استخدام نوع آخر للمدخل يتم مد خط مستقيم أفقي من نقطة التقاطع مع الشاقول (1) حتى يتقاطع مع الشاقول (2) أو (3) حسب نوع المدخل المطلوب ويتم قراءة القيمة $\frac{HW}{D}$ المقابلة.

4- يتم ضرب القيمة $\frac{HW}{D}$ بـــ D فيتم الحصول على قيمة HW المطلوبة.

5- يتم حساب الانخفاض المطلوب FALL في أرضية المدخل عن أرضية المجرى من العلاقة:

$$HW_d = EL_{hd} - EL_{sf} \quad (6-47)$$

$$FALL = HW - HW_d \quad (6-48)$$

حيث أن:

HW_d = عمق الماء الأمامي التصميمي عند مدخل العبارة.

EL_{hd} = منسوب الماء الأمامي التصميمي قبل العبارة.

EL_{sf} = منسوب قاع المجرى قبل العبارة.

HW = عمق الماء المطلوب عند مدخل العبارة.

- إذا كانت قيمة FALL سالبة أو صفر نعوض FALL = 0
- إذا كانت قيمة FALL موجبة وضمن الحدود المقبولة نخفض قاع المدخل بنفس القيمة عن قاع المجرى.
- إذا كانت قيمة FALL موجبة لكنها كبيرة ولا يمكن قبولها نختار بعداً جديداً للعبارة ونعيد العملية من المرحلة (1).

6- يتم حساب منسوب المدخل ELi (عند الوجه الأمامي للعبارة) بالعلاقة:

$$EL_i = EL_{sf} - FALL \quad (6-49)$$

6-10-9-3 تحديد ارتفاع العبارة D:

1- يتم تحديد القيمة المسموحة لـــ $\frac{HW}{D}$ على الشاقول المقابل لنوع المدخل. إذا كان الشاقول المستخدم هو (2) أو (3) يتم مد الخط أفقياً ليتقاطع مع الشاقول رقم (1).

2- نصل بخط مستقيم من نقطة التقاطع على الشاقول (1) إلى القيمة المقابلة للتصريف Q ويتم قراءة قيمة D المطلوبة. إذا وقعت D بين قيمتين يتم اختيار القيمة الأكبر.

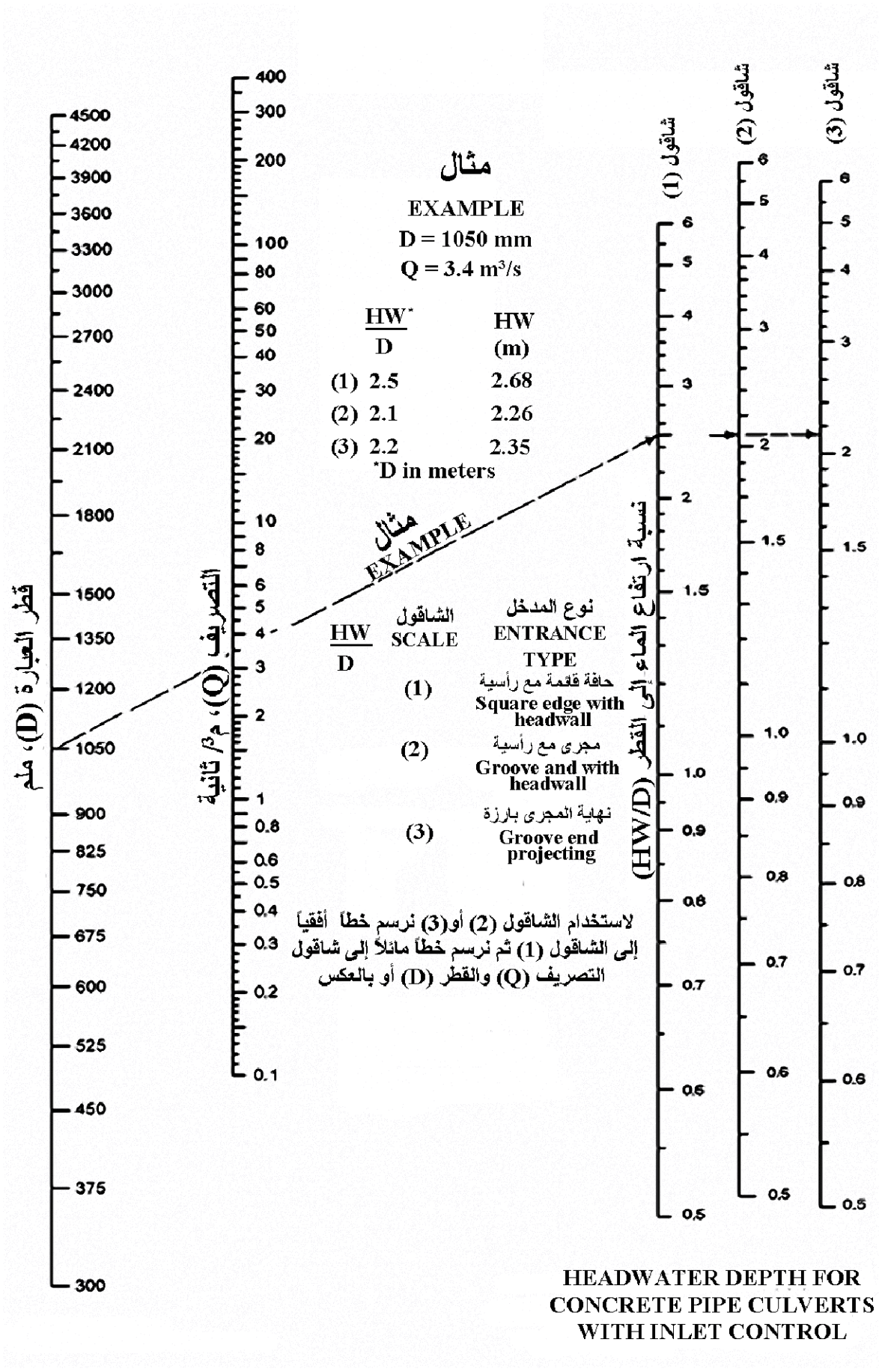
6-10-9-4 تحديد التصريف Q:

1- يتم تحديد القيمة $\frac{HW}{D}$ على الشاقول المقابل لنوع المدخل. إذا كان الشاقول المستخدم هو (2) أو (3) يتم مد الخط أفقياً ليتقاطع مع الشاقول رقم (1).

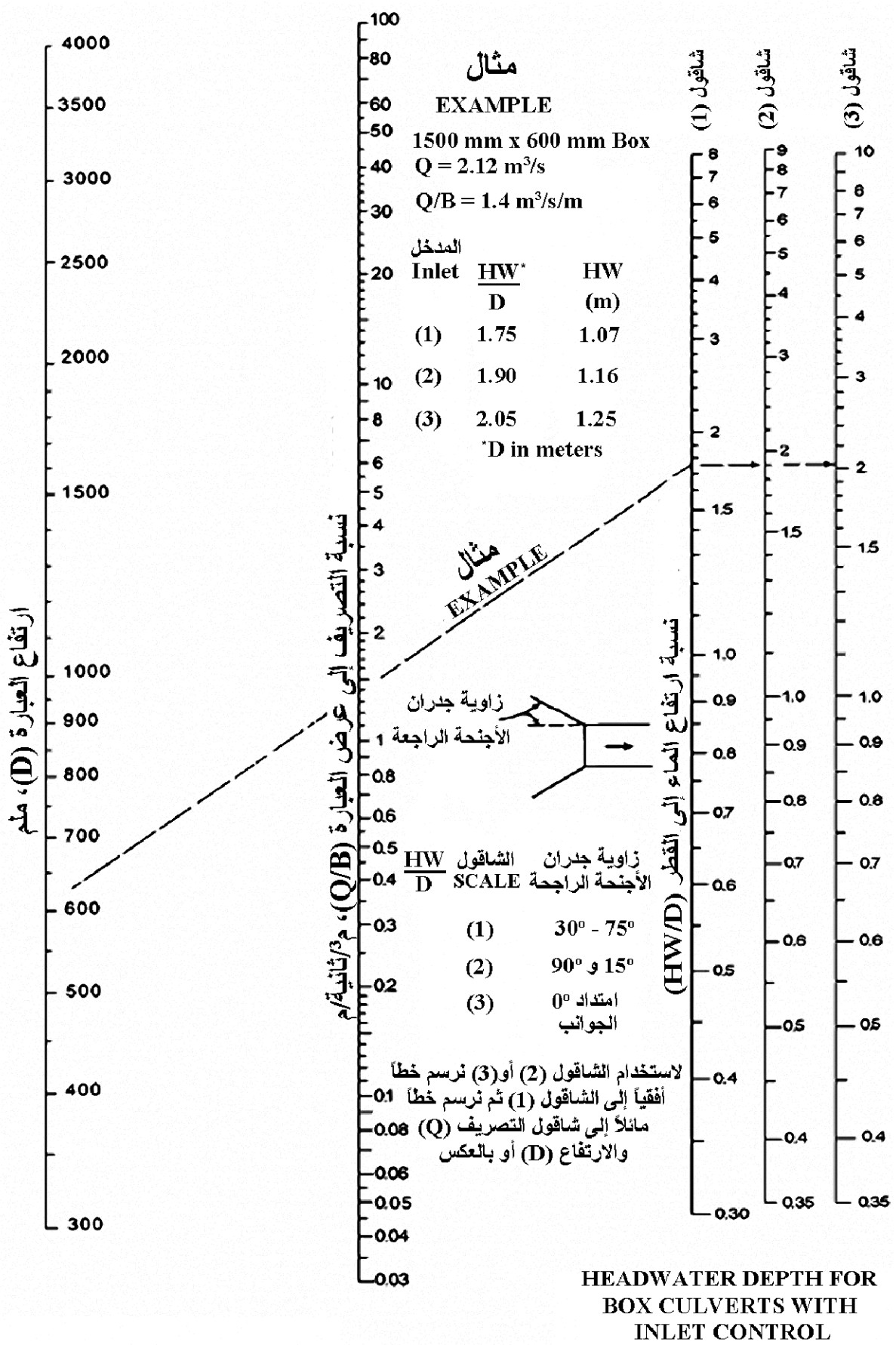
2- يتم الوصل بخط مستقيم من نقطة التقاطع على الشاقول (1) إلى القيمة المقابلة لـــ D ويتم قراءة قيمة Q أو $\frac{Q}{B}$ المطلوبة.

3- من أجل العبارة الصندوقية يتم ضرب القيمة $\frac{Q}{B}$ بـــ B للحصول على قيمة Q.

حيث: B = عرض العبارة.



الشكل (6-17) عمق الماء في العبارات الأنبوبية الخرسانية ذات التحكم الأمامي



الشكل (6-18) عمق الماء في العبارات الصندوقية ذات التحكم الأمامي

المراجع

References

1. A Policy on Geometric Design of Highway and Streets, 2001, American Association of State Highway of Transportation Officials, (AASHTO).

2. Highway Capacity Manual (HCM) 2000, U.S Customary Version.

3. المعايير الفنية والمواصفات التنفيذية لمكونات وعناصر الطرق بمدينة الرياض، المملكة العربية السعودية، 1426هـ.

4. Highway Drainage guidelines, fourth Edition 2006, American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO).

5. E.M. Wilson, 1990, "Engineering Hydrology", fourth Edition.

6. Richard H. McCuen, 1998, "Hydrologic Analysis and Design", Second Edition, Prentice Hall.

7. Les Hamill, 2001, "Understanding Hydraulics", Second Edition, Polgrave.

8. Reberson, J. A., Cassidy, J. J. and Chaudhry, M.H., 1998, "Hydraulic Engineering", Second Edition, Prentice Hall.