

جامعة تشرين
كلية الهندسة المدنية
قسم هندسة المواصلات والنقل

التصميم الهندسي للدورات

د.م. أكرم رستم

التوفيق بين السلامة و التشغيل:

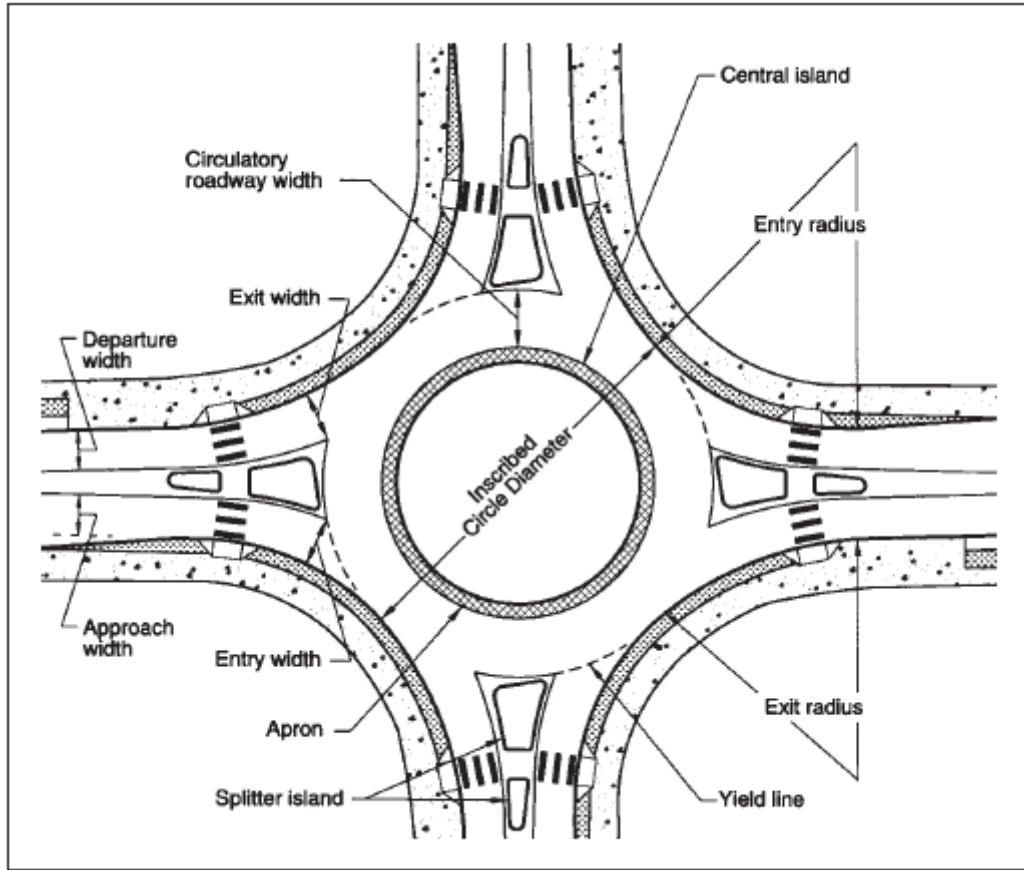
إن عملية التصميم الهندسي للتقاطع الدوار يجب أن تحقق عوامل السلامة بالتوازي مع تأمين إمكانية تصريف المركبات (زيادة السعة). فالمبدأ الأساسي للتقاطع الدوار هو تخفيض سرعة دخول العربات إلى منطقة الدوار وذلك باستخدام المنحنيات الأفقية المناسبة (أنصاف أقطار مناسبة) و عرض مناسب للأرصفة.

إن سعة الدورات تتأثر سلباً بعناصر التصميم، فعندما يتناقص عرض المدخل وأنصاف الأقطار والطرق الدائرية للتقاطع الدوار فإن سعة الدوار سوف تتناقص أيضاً. علاوة على ذلك فإن الكثير من المعايير الهندسية تحكمها متطلبات المناورة للمركبات الكبيرة التي يتوقع مرورها عبر التقاطع. وهكذا فإن تصميم دوار ما هو عملية تحديد التوازن الأمثل بين شروط السلامة و الأداء التشغيلي والقدرة على التلاؤم مع متطلبات المركبات الكبيرة.

خصائص الدورات:

بعض خصائص الدورات متشابهة بينما بعضها الآخر يختلف بحسب موقع و حجم الدوار. بالرغم من تشابه الشكل الأساسي والخصائص الأساسية للدورات بغض النظر عن موقعهم فإن الكثير من معايير وتقنيات التصميم تكون مختلفة، وذلك حسب السرعة و السعة المطلوبة عند مواقع مستقلة ففي البيئة الريفية (rural) حيث سرعات الاقتراب تكون عالية و استخدام الدراجة الهوائية أو المشاة قد يكون ضعيفاً، فإن أهداف التصميم تكون مختلفة بشكل واضح عن الدورات في المناطق العمرانية URBAN، حيث تكون سلامة راكبي الدراجات الهوائية و المشاة هي من الأولويات في عملية التصميم، إضافة لذلك فإن العديد من تقنيات التصميم تكون مختلفة جوهرياً بالنسبة للدورات ذات الحارة الوحيدة عما هي بالنسبة للدورات ذات الحارات المتعددة.

يبين الشكل (6-1) الخصائص و العناصر الهندسية الأساسية للدوار



6.1.2 عملية التصميم:

إن عملية تصميم التقاطع الدوار هي عملية تجريبية ITERATIVE، كما أنها تختلف عن تصميم الأشكال الأخرى للتقاطعات حيث أنها تتطلب تكراراً (تجريبياً) بين التخطيط الهندسي و التحليل التشغيلي و تقييم السلامة. لذلك فإن التعديلات البسيطة في الوضع الهندسي يمكن أن تؤدي إلى تغييرات في السلامة و في الأداء التشغيلي و لذلك فإن المصمم يحتاج إلى التنقيح و مراجعة مشروع التخطيط الأولي للتأكد من سعته و سلامته ومن النادر الوصول إلى تصميم هندسي مثالي من المحاولة الأولى فلذلك ينصح بإعداد مسودات التخطيط الابتدائية على مستوى تخطيطي من التفاصيل، وقبل تحديد تفاصيل الشكل الهندسي يجب تحديد ثلاثة عناصر أساسية في مرحلة التصميم التمهيديّة:

1- الحجم الأمثل للدوار.

2- الموقع الأمثل.

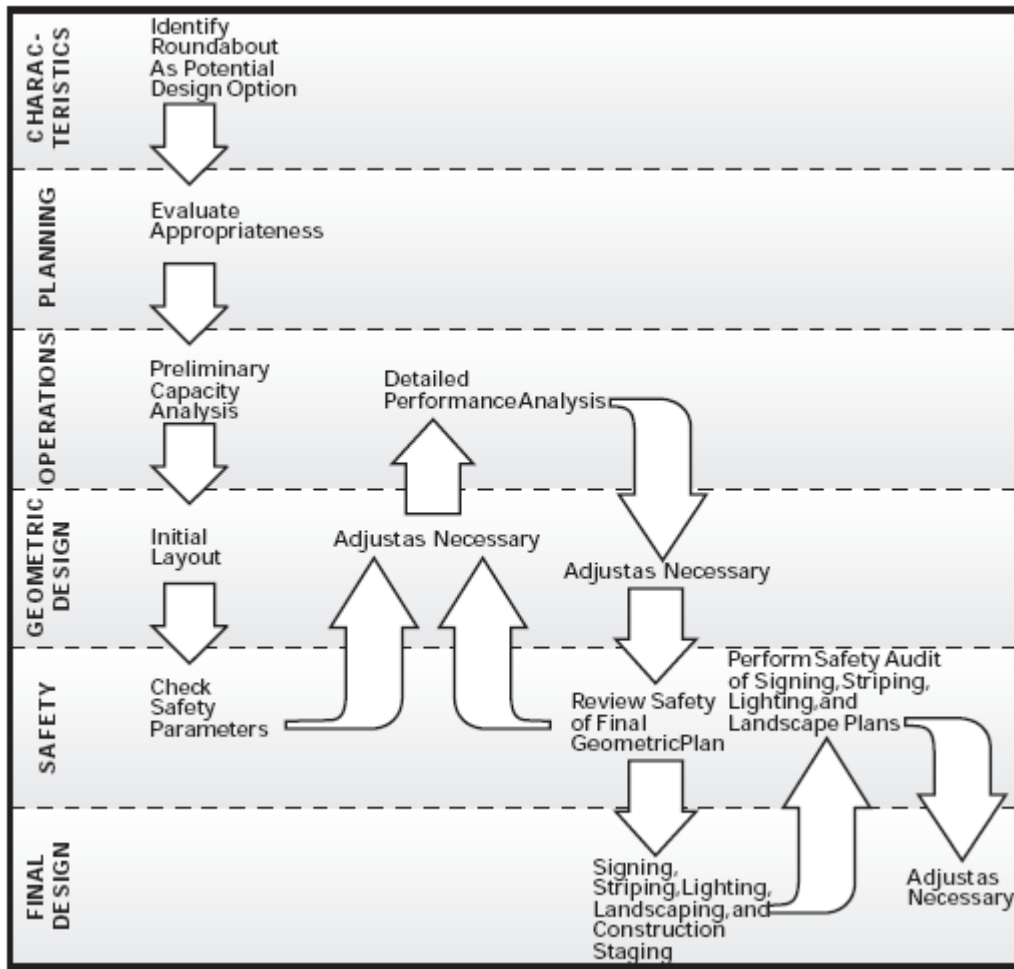
3- المنحى والتوجيه الأمثل لأذرع المدخل.

و يبين الشكل 2-6 مخطط نهجي بالنسبة لعملية تصميم و تقييم الدوار التي تشمل:

- تحديد الدوار كبديل أساسي مفضل،

- تقييم مدى ملاءمة الدوار كحل تخطيطي،

- تقييم أولي لأداء الدوار من وجهة نظر السعة وإمكانية تصريف الغزارات المرورية المتوقعة،
- التصميم الهندسي الأولي (مسطح الدوار)،
- التحقق من معايير السلامة، وإجراء الضبط والتصحيح للعناصر الهندسية ثم إجراء عملية تقييم دقيقة لأداء الدوار وإعادة عملية التصحيح والضبط للعناصر الهندسية،
- التصميم الهندسي النهائي ويتضمن إضافة إلى العناصر الهندسية الأساسية نظام الشاخصات والطلاء الطرقي والإنارة وكذلك الانسجام المعماري مع طبوغرافية الموقع ومحيطه،
- إنجاز عملية التدقيق لنظام الشاخصات والإنارة من وجهة نظر السلامة وإجراء أية تصحيحات ضرورية،



المبادئ العامة للتصميم:

إن تصميم الدوار ذو الحارة المزدوجة يكون مختلف جداً عن تصميم الدوار ذو الحارة الوحيدة، والعديد من التقنيات المستخدمة في تصميم الدوار ذو الحارة الوحيدة لا تتحول مباشرة إلى التصميم ذو الحارة المزدوجة.

6.2.1 السرعات داخل الدوار:

إن السرعات المناسبة للمركبات ضمن الدوار هي الهدف الأكثر حرصاً للتصميم، فالدوار الجيد التصميم يقلل من السرعات النسبية لحركة المرور وذلك عن طريق ملائمة المركبات مع الدوار على طول المسار المنحني.
السرعة التصميمية :

أظهرت الدراسات العالمية أن زيادة انحناء مسار المركبة يقلل السرعة النسبية بين المركبات الداخلة و الملتفة مما يؤدي إلى تناقص في معدل اصطدام المركبات الداخلة الملتفة و الخارجة الملتفة، أما في الدورات المتعددة الحارات فإن زيادة انحناء مسار المركبة يخلق احتكاكاً جانبياً أكبر بين حركات المرور المتجاورة و يمكن أن يؤدي إلى زيادة عبور المركبات بين الحارات مما يزيد من احتمال حوادث التصادم. ويبين الجدول التالي العلاقة بين حجم الدوار والسرعة التصميمية الأعظمية على أذرع الدخول،

Site Category	Recommended Maximum Entry Design Speed
Mini-Roundabout	25 km/h (15 mph)
Urban Compact	25 km/h (15 mph)
Urban Single Lane	35 km/h (20 mph)
Urban Double Lane	40 km/h (25 mph)
Rural Single Lane	40 km/h (25 mph)
Rural Double Lane	50 km/h (30 mph)

مسارات المركبة:

لتحديد سرعة دوار ما فإنه يتم رسم المسار الأسرع الذي يسمح به الشكل الهندسي والذي يكون هو المسار الممكن، الأسهل والأكثر انبساطاً بالنسبة لمركبة وحيدة في حال غياب حركة السير الأخرى، ومع تجاهل كل علامات الحارة و العبور خلال المدخل حول الجزيرة الوسطى وخارج المخرج، وعادة فإن المسار الممكن والأسرع هو الحركة المستقيمة لكن في بعض الحالات قد يكون حركة دوران يميني.

يفترض بالمركبة أن تكون بعرض 2m و تحافظ على خلوص أدنى يبلغ 0.5m عن حافة

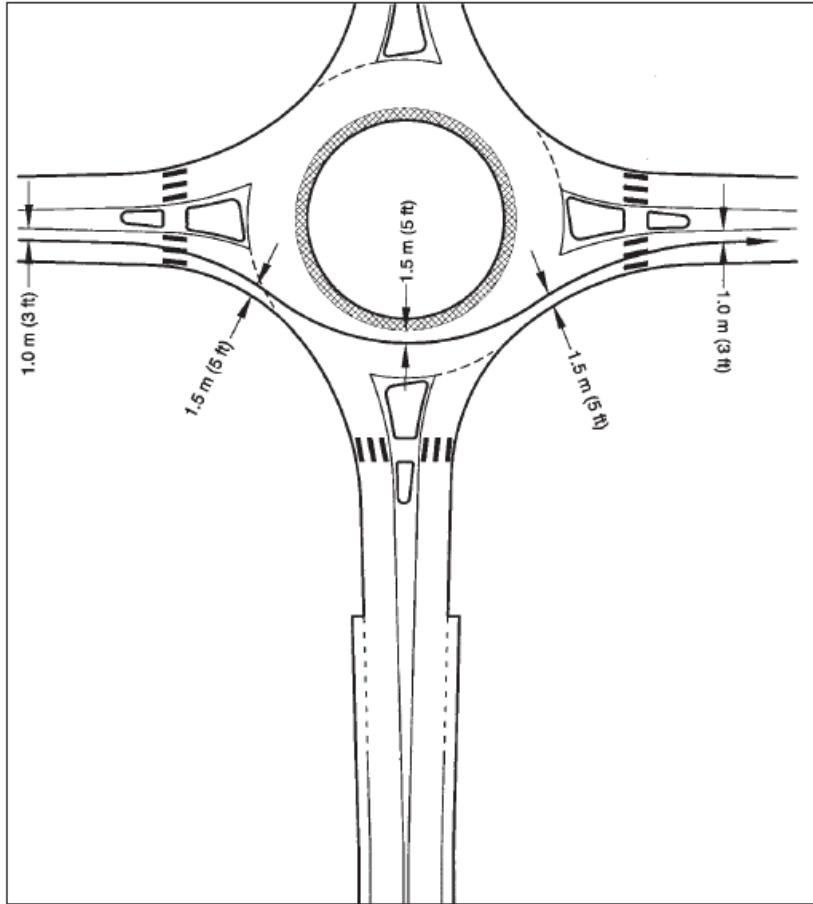
الرصيف أو محور الطريق و خط الطلاء الطريقي ، وهكذا فإن محور (مسار) المركبة يتم رسمه نسبة إلى المسافات التالية:

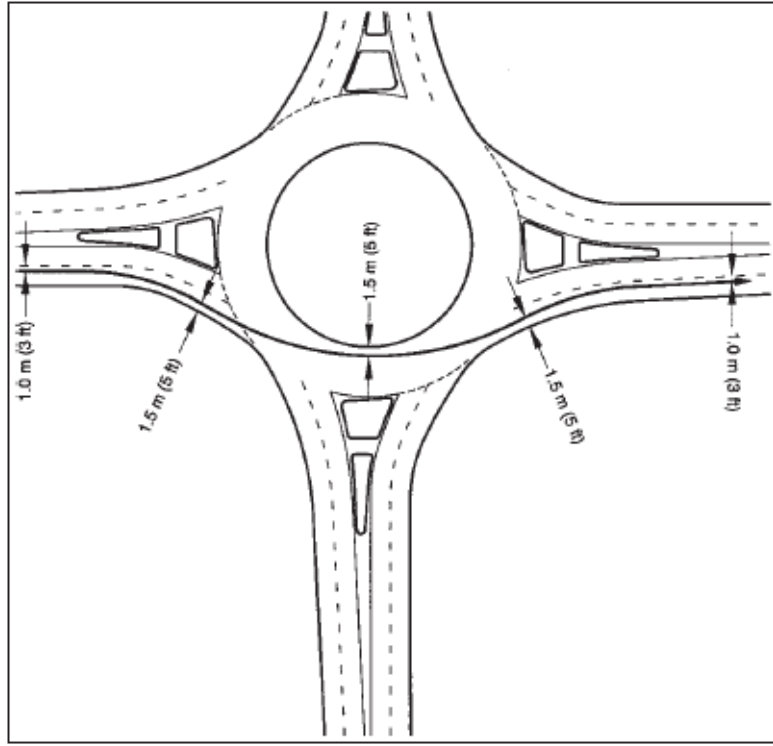
1.5M (5 ft) عن حافة الرصيف

1.5M (5 ft) عن محور الطريق

1 M (3 ft) عن خط الطلاء الطريقي

الأشكال 5-6 و 6-6 تشرح إنشاء مسارات المركبات الأسرع عند دوار ذو حارة وحيدة وعند دوار ذو حارة مزدوجة على التوالي





علاقة المنحني - السرعة:

تحدد العلاقة بين السرعة ونصف القطر للمنحني الأفقي وفق العلاقة التالية:

$$V = 127R(e+f)$$

حيث:

V (km/h) : السرعة التصميمية

R (m) : نصف قطر المنحني

e (m/m) : الرفع العرضاني

f : عامل الاحتكاك الجانبي

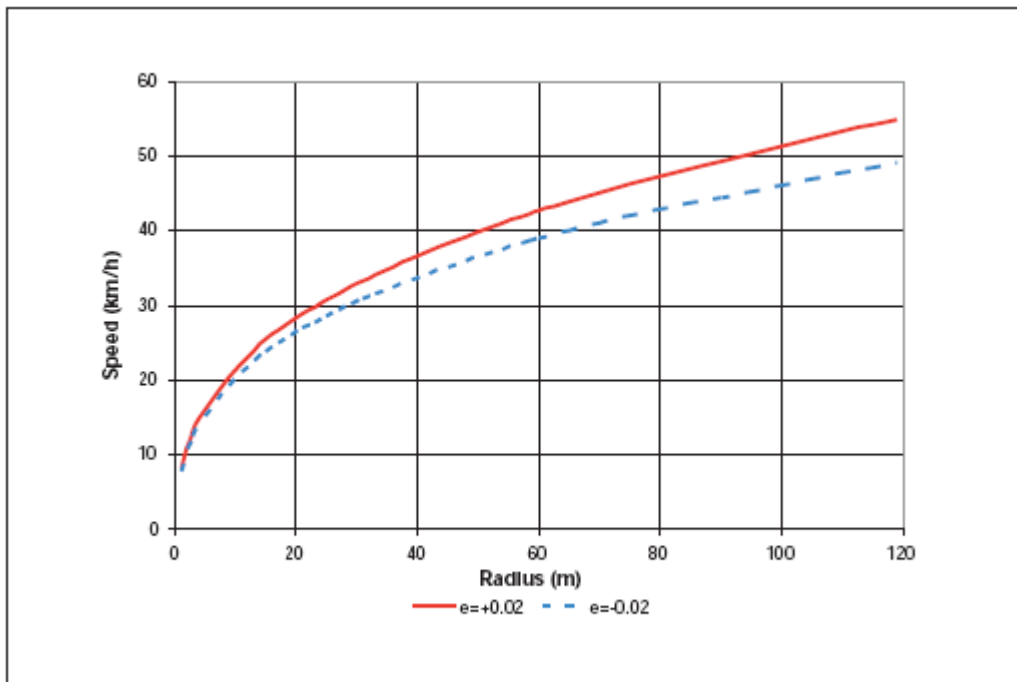
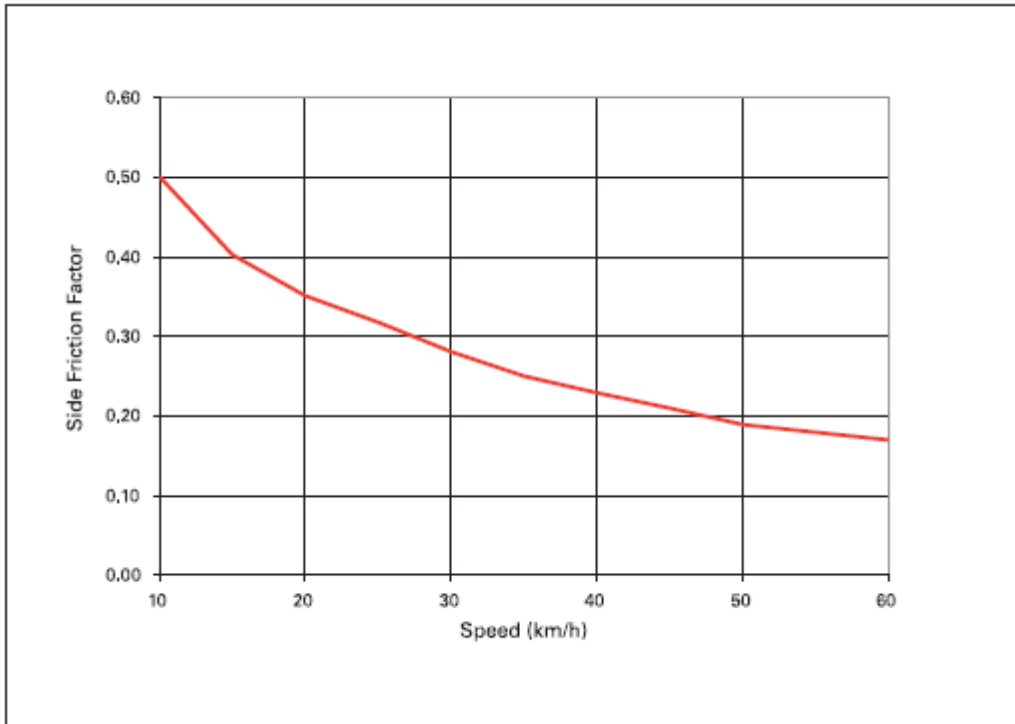


Exhibit 6-10. Speed-radius relationship (metric units).

ثبات السرعة: Speed consistency

إن الوصول إلى سرعة تصميمية مناسبة هو أمر ضروري ولكن هناك هدفاً آخر هاماً هو الوصول إلى سرعات ثابتة من أجل كل الحركات لأن ثبات السرعة يمكن أن يساعد في تخفيض معدل التصادم وخطورته بين الحركات المتصادمة للمركبات كما أنها تسهل مهمة الاندماج في حركة السير المتصادمة مقللة من الثغرات الخطيرة وبذلك تحسن من سعة المدخل. وهذا المبدأ له معنيان:

1- إن السرعات النسبية بين العناصر الهندسية المتتالية يجب أن تنخفض إلى الحد الأدنى.

2- إن السرعات النسبية بين حركات السير المتصادمة يجب أن تنخفض إلى الحد الأدنى.

يظهر الشكل أنصاف الأقطار لخمس مسارات حرجة

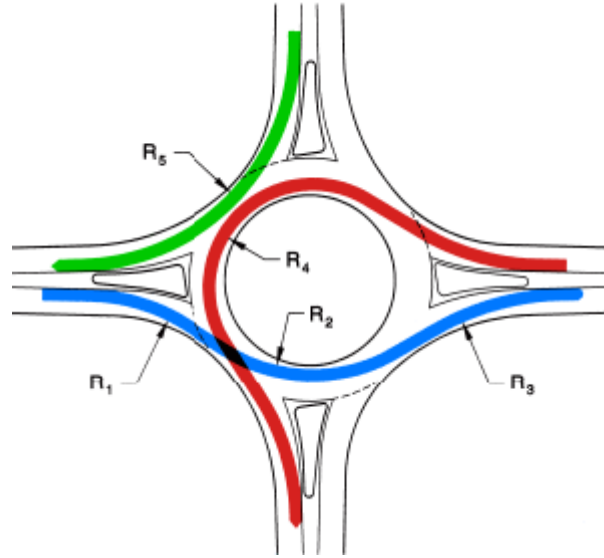
R1: نصف قطر مسار الدخول ،

R2: نصف قطر المسار الدائري،

R3: نصف قطر مسار الخروج

R4: نصف قطر مسار الالتفاف لليسر ،

R5: نصف قطر مسار الالتفاف لليمين .

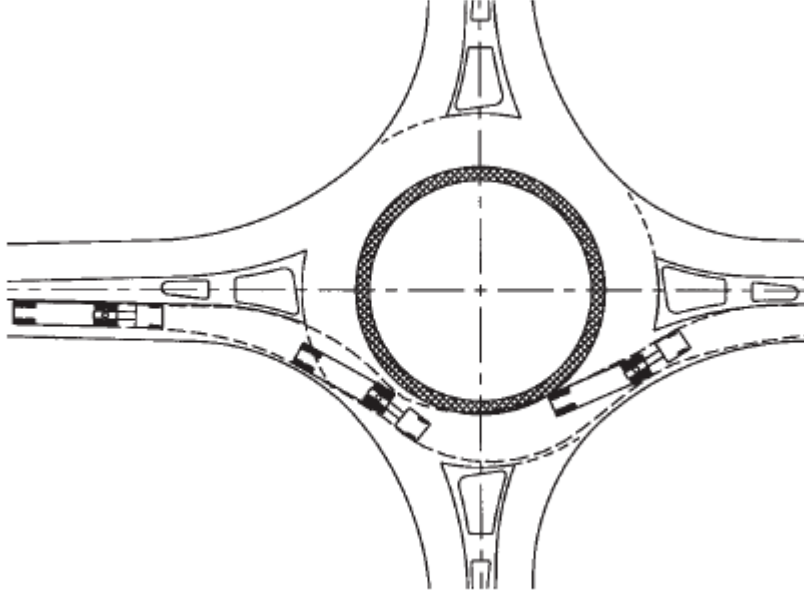


المركبة التصميمية: Design Vehicle

لقد لوحظ أن هناك عامل هام في تخطيط الدوار وهو الحاجة لملاءمة أكبر مركبة تصميمية يحتمل أن تستخدم التقاطع. والجدير بالذكر أن متطلبات المركبة التصميمية ستفرض العديد من أبعاد الدوار، لذلك قبل البدء بعملية التصميم يجب أن يكون المصمم مدركاً لمتطلبات المركبة التصميمية ويمتلك **المسودات** المطبوعة المناسبة لانعطاف المركبة أو يمتلك برنامج لتحديد مسار انعطاف المركبة بالاعتماد على التصميم بمعونة الحاسب CAD وذلك من أجل تحديد المسار الممتد للمركبة. مع العلم أن الوكالة الحكومية أو المحلية و إدارة الطرق يجب أن تتم استشارتها من أجل تحديد المركبة التصميمية عند كل موقع.

The local or State agency with jurisdiction of the associated roadways

يبيّن الشكل مسار الحركة المستقيمة للمركبة التصميمية (WB-50) (WB-15)



التصميم الهندسي للدوار: Geometric design of roundabout

يرتكز تصميم التقاطع الدوار على الحالات التي تتوافر فيها مساحة الأرض اللازمة للدوار ويفضل أن تكون الأذرع المتقاطعة أربعة أو أكثر، كما يعتبر الدوار أفضل من الإشارات **المرورية** حتى حجم مروري معين وخاصة إذا كانت أحجام المرور في الأذرع متساوية ويجب الأخذ بعين الاعتبار بأن لا يقل **القطر الإجمالي الخارجي للدوار عن عرض الطريق**.

1- عرض المدخل: Entry width

يختلف عرض مدخل الدوار تبعاً للغزارة المرورية التي تعبر المدخل، والمركبة التصميمية، وعرض الطريق المؤدي إلى الدوار، وعموماً يتراوح عرض المدخل بين 3.65m إلى 4.60m لكل حارة من حارات المرور مع المحافظة على الحد الأدنى لعرض المداخل وذلك من أجل زيادة سلامة الحركة المرورية في منطقة الدوار.

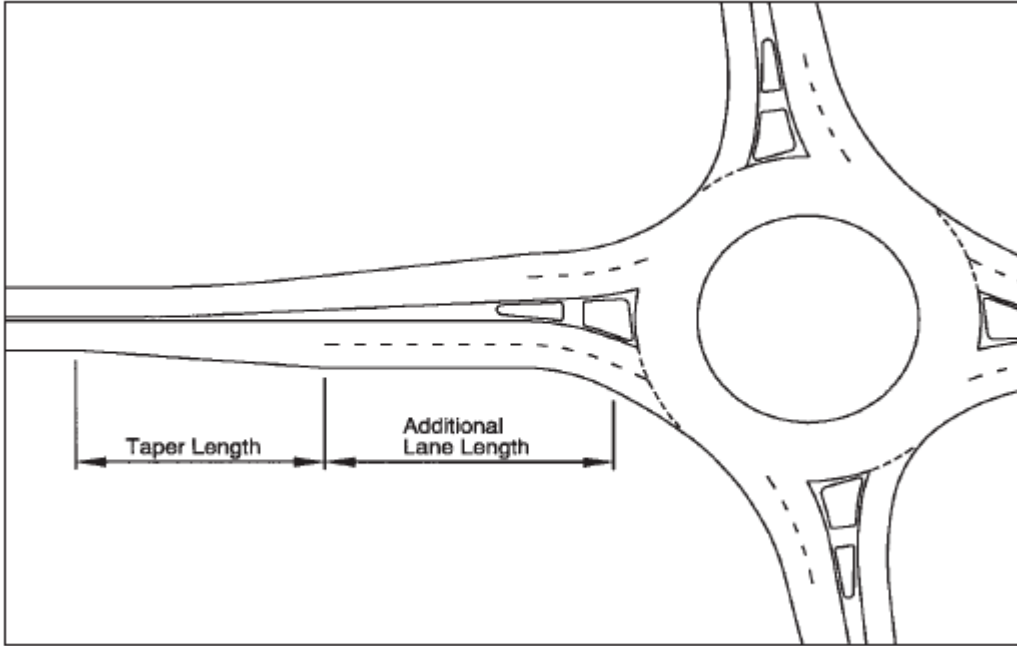
وقد يكون نصف قطر المنحني المؤدي إلى الدوار أقل أو يساوي نصف قطر المسار الذي يتوقع أن تسير المركبة عليه والذي يصمم بحيث يكون مماساً للجزيرة المركزية.

فلقد أشارت الدراسات إلى أن التحكم بعرض المدخل يزيد من السعة وفق الطريقتين التاليتين:

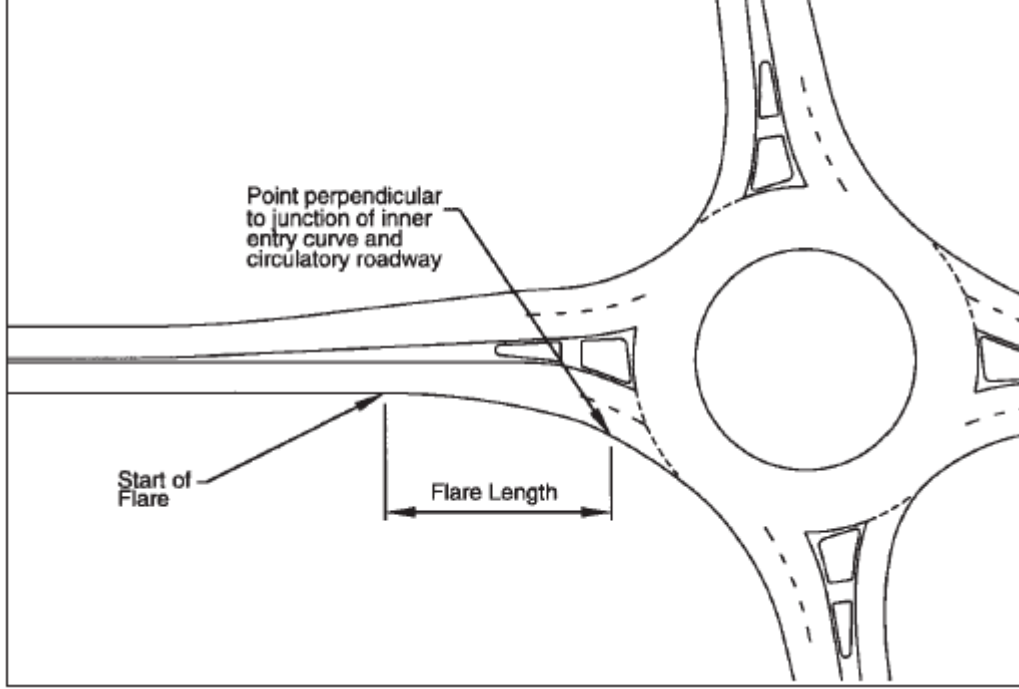
1. إضافة حارة مرور على كامل الدوار.

2. توسيع المدخل تدريجياً وذلك تبعاً للوضع الهندسي للمدخل.

يبين الشكل كيفية التحكم بعرض المدخل عن طريق إضافة حارة كاملة



يبين الشكل كيفية التحكم بعرض المدخل عن طريق توسيع المدخل تدريجياً



2- عرض المسار الدائري: Circulating roadway width

بينت الدراسات بأن تحديد عرض المسار الدائري يتم بالاعتماد على عرض المدخل ومتطلبات الانعطاف للمركبة التصميمية وعموماً يجب أن لا يقل عرض المسار الدائري عن العرض الأعظمي للمدخل (بحيث يصل إلى 120% من العرض الأعظمي للمدخل) مع العلم أن التصميم الجيد للدوار هو الذي يتجنب المنحنيات العكسية القصيرة بين المدخل و المخرج، ويستحسن أن تكون الطرق الدورانية Roundabout دائرية كلما أمكن ذلك، أما بالنسبة للعرض يجب أن لا يزيد عن 15 m ويفضل أن يكون عرض الطريق داخل الدوار ثابتاً.

3- القطر الإجمالي للدوار: Inscribed Circle Diameter

أشارت الدراسات العالمية إلى أن القطر الإجمالي للدوار هو المسافة بين حافتي الرصيف للشريط الدائري، والذي يتحدد بمجموع قطر الجزيرة المركزية وضعف عرض الشريط الدائري. فمن أجل الدوارات ذات الحارة الوحيدة يكون القطر الإجمالي الأصغري للدوار 30m (100ft) الموافقة للعربة (WB-50) WB-15 .

وأما من أجل الدوارات ذات الحارة المزدوجة يكون القطر الإجمالي الأصغري للدوار (150ft) 45m الموافقة للعربة (WB-50) WB-15.

على أية حال، إن لعرض الطريق الدائري، عرض المداخل والمخارج، نصف قطر المداخل والمخارج الدور الهام في التوفيق بين المركبة التصميمية والانعطاف داخل الدوار deflection. ويجب الأخذ بعين الاعتبار صعوبة تحقيق الانعطاف الكافي داخل الدوار ذو قطر أقل من 40m ففي هذه الحالة يجب وضع جزيرة مركزية منخفضة الارتفاع حوالي 50mm كحد أقصى (APRON) وبالتالي تتمكن العجلات الخلفية للمركبات الطويلة (المقطورات) أن تمر عليها.

يبين الجدول مجالات الأقطار الإجمالية للدوار من أجل مواقع مختلفة

القطر الإجمالي للدوار	المركبة التصميمية النموذجية	تصنيف الموقع
13-25m(45-80ft)	الشاحنة ذات المحور الوحيد	الدوارات الصغيرة
25-30m(80-100ft)	الشاحنة(باص) ذات المحور الوحيد	المناطق العمرانية المزدحمة
30-40m(100-130ft)	WB-15 (WB-50)	المناطق العمرانية بحارة وحيدة
45-55m(150-180ft)	WB-15 (WB-50)	المناطق العمرانية بحارتين
35-40m(115-130ft)	WB-20 (WB-67)	المناطق الريفية بحارة وحيدة
55-60m(180-200ft)	WB-20 (WB-67)	المناطق الريفية بحارتين

Site Category	Typical Design Vehicle	Inscribed Circle Diameter Range*
Mini-Roundabout	Single-Unit Truck	13-25m (45-80 ft)
Urban Compact	Single-Unit Truck/Bus	25-30m (80-100 ft)
Urban Single Lane	WB-15 (WB-50)	30-40m (100-130 ft)
Urban Double Lane	WB-15 (WB-50)	45-55m (150-180 ft)
Rural Single Lane	WB-20 (WB-67)	35-40m (115-130 ft)
Rural Double Lane	WB-20 (WB-67)	55-60m (180-200 ft)

* Assumes 90-degree angles between entries and no more than four legs.

4- المخارج: Exits

يجب أن تكون المخارج سهلة كلما أمكن، وكما أن المداخل مصممة لإبطاء سرعة المركبات الداخلة إلى الدوار فإن المخرج يصمم بحيث يزيد من سرعة المركبات الخارجة من الدوار مع العلم أن نصف قطر المخرج أكبر من نصف قطر المدخل.

5- الجزر الفاصلة: Splitter islands

يتم تزويد كافة الدورات بالجزر الفاصلة ماعدا الدورات ذات الأقطار الصغيرة وذلك لأنها تمنع السائقين من رؤية الجزيرة المركزية.

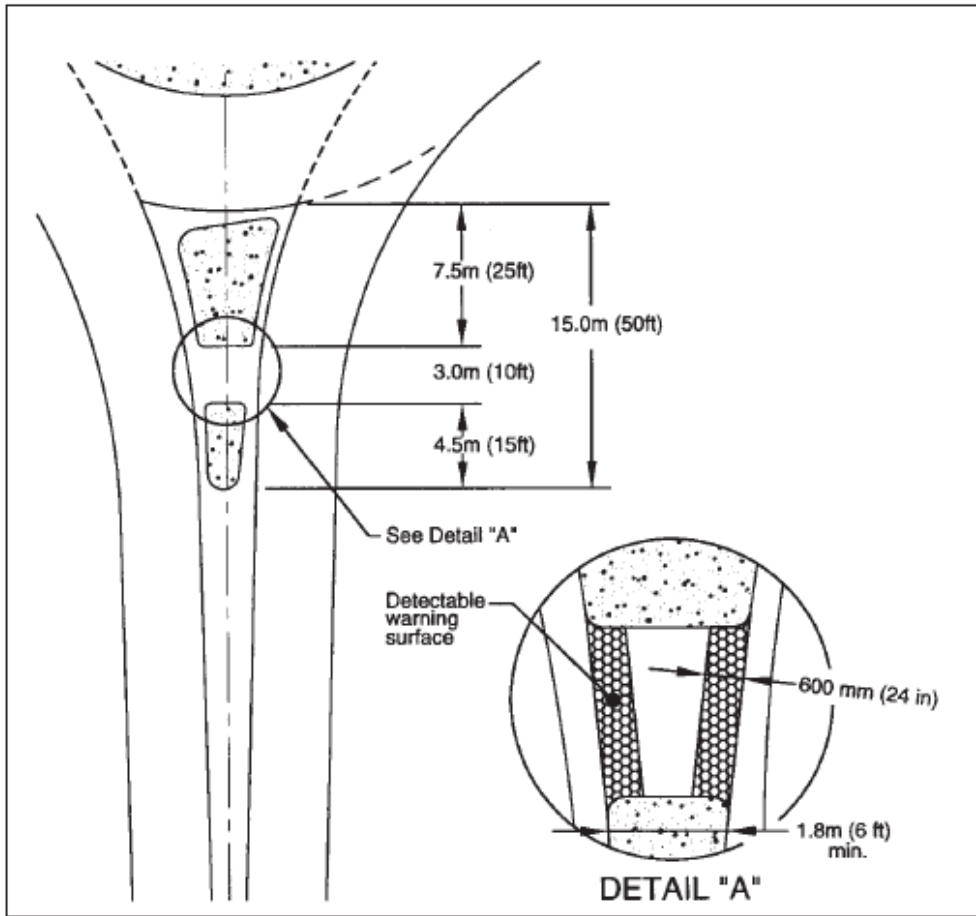
فالهدف من وجود الجزر الفاصلة هو كالتالي:

- تساعد في التحكم بالسرعة.
- تقوم بتوجيه حركة المرور ضمن الدوار.
- تقوم بفصل حركة المرور الداخلة والخارجة.
- تمنع المركبات من القيام بالحركات الخاطئة.

وكما أشارت الدراسات أن الطول الكلي للجزيرة الفاصلة يجب أن لا يقل عن 15m(50ft) لإعطاء الحماية الكافية للمشاة ولتنبيه السائقين المقتربين من الدوار.

كما أن لزيادة عرض الجزر الفاصلة التأثير الهام في تخفيض عدد حوادث الاصطدام.

يبين الشكل الأبعاد الصغرى للجزر الفاصلة للدورات ذات الحارة الوحيدة متضمنة موقع لمعبر المشاة.



6- الجزيرة المركزية: Central island

لقد لوحظ أن الجزيرة المركزية للدوار تكون مرتفعة وذات منظر طبيعي لأسباب جمالية وذلك من أجل إدراك السائق للدوار، كما أنها منطقة يمنع المرور عليها، فقد تكون دائرية الشكل فنلاحظ أن الشريط الدائري الذي حولها ذو نصف قطر ثابت يساعد على رفع السرعات الثابتة حول الجزيرة المركزية، ومن جهة أخرى فإن الأشكال البيضاوية أو الشاذة قد تكون أكثر صعوبة للقيادة ومترافقة مع تزايد سرعة المركبات.

وعلاوة على ذلك، إن حجم الجزيرة المركزية يلعب دوراً أساسياً في تحديد مقدار الانحراف على المسار المستقيم للعربة، فيوجد هناك العديد من الطرق التي تسمح بتزايد الانحراف دون تزايد القطر مثل:

- إنقاص عرض المدخل.
- إنقاص أنصاف أقطار المدخل.

إلا أن هذه الطرق قد تمنع من ملائمة المركبة مع مسار الشريط الدائري. يبين الشكل مثلاً عن الجزيرة المركزية مع وجود منطقة عبور من حولها



Exhibit 6-23. Example of central island with a traversable apron.

7- توسيع المداخل عند الدوار Flare design at entry

لقد تبين أن توسيع مدخل الدوار يزيد من سعته بشرط أن لا يزيد عدد حارات المدخل عن عدد الحارات داخل الدوار مما يسمح للمركبات بالدخول بسرعات مماثلة (قريبة) من سرعة المركبات الدائرية، علماً بأن الطول الذي يجري فيه التوسيع يقع ضمن المجال 30 - 95 m .

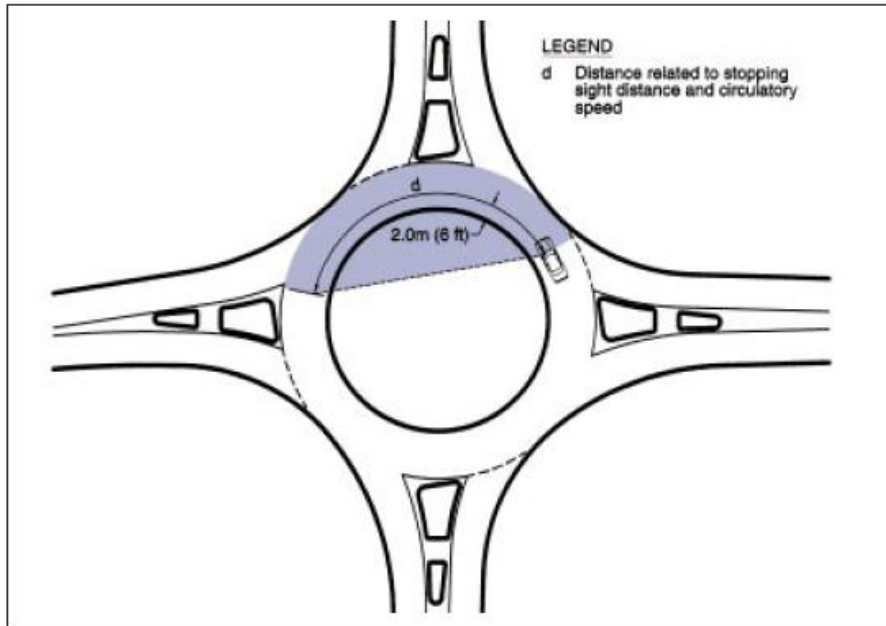
8- الانعطاف داخل الدوار: Deflection

لقد توصل الباحثون إلى أهم العوامل المؤثرة على أمان تشغيل الدوار وهو الانعطاف الكافي للمركبات الداخلة إلى الدوار، ويتم تصميم الدوار بحيث تكون السرعة لجميع المركبات أقل من 45Km/h والتي تنفذ عن طريق ضبط التصميم الهندسي للمدخل وضمان مسار المركبات المارة طولياً، ويتم انعطاف المركبات تبعاً لأحد العوامل التالية:

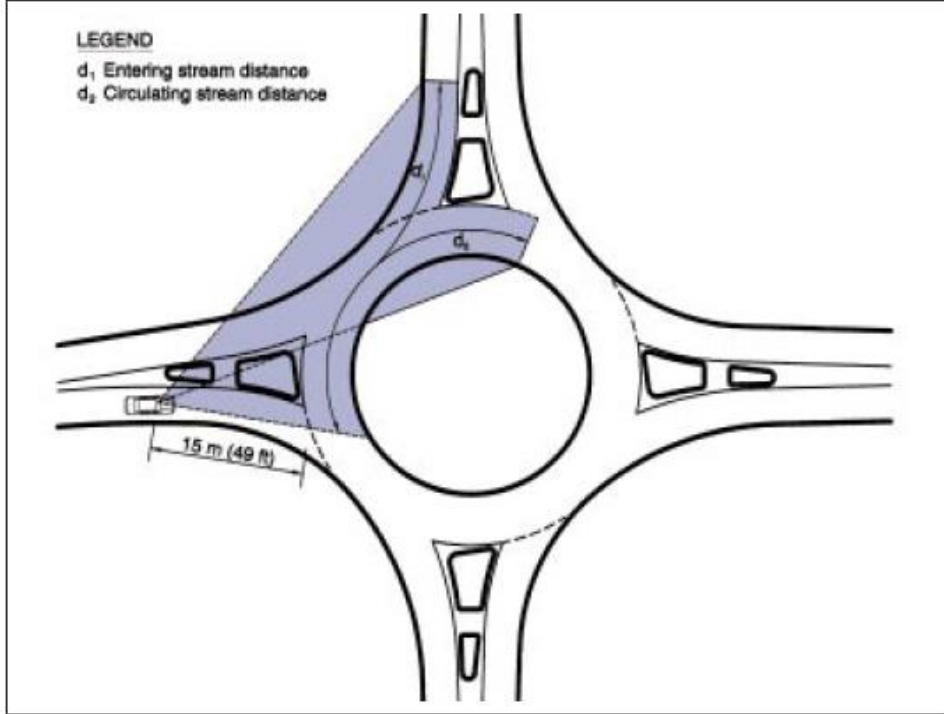
- تخطيط المدخل والمكان المخصص بجزر الفصل للأذرع.
- تأمين الجزيرة المركزية ذات الحجم والمكان المناسب.

9- مسافة الرؤيا: Sight distance

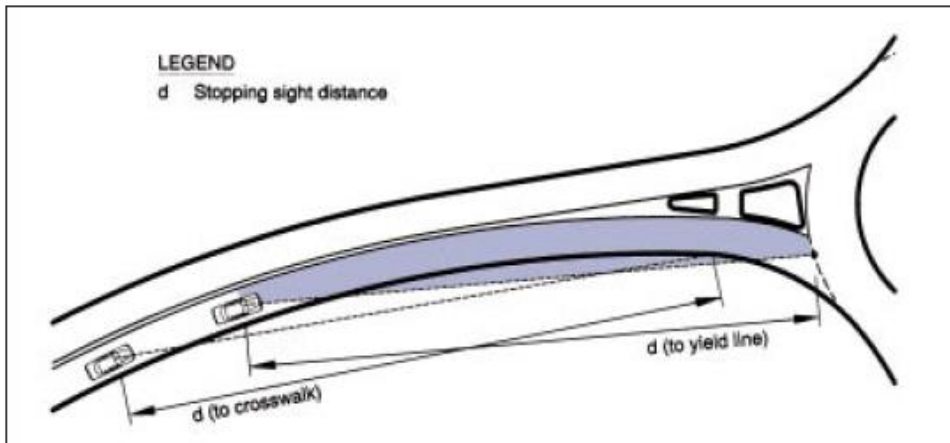
يتم تطبيق مسافة الرؤيا لجميع المنحنيات الرأسية والأفقية عند الدوار، وتؤثر الحالات التالية تأثيراً فعالاً على أمان تشغيل الدوار وعلى أماكن وضع الطلاء الطريقي وتنسيق الموقع.
حالة 1 : تخطيط الأذرع بحيث يتمكن السائق ضمن الطريق الدائري من رؤية الجزيرة المركزية والجزيرة الفاصلة، كما يجب أن يتوفر له مسافة رؤية كافية للتوقف على الأذرع.



حالة 2 : تحقيق مسافة الرؤية عند التقاطعات: أي توقف السائق عند خط YIELD مع وجود خط رؤية واضح لحركة المرور الموجودة على الأذرع والداخلية إلى الدوار.



حالة 3: مسافة الرؤيا عند الاقتراب: من المفترض أن يرى السائق القادم من أحد الأذرع المركبات الداخلة إلى الدوار قبل الوصول إلى خط الـ YIELD .



10- أفضلية المرور للغير Yield at entry:

من المعروف أن الدوارات تعطي أفضلية المرور للمركبات ضمن الطريق الدائري، بينما تنتظر المركبات الأخرى الثغرة الحرجة في الحركة المرورية لتدخل إلى الطريق الدائري وهذا مختلف عن

التقاطعات المجهزة أو غير المجهزة بإشارة قف التي تعطي الأفضلية للمركبات المقترية من اليمين. فالدورات تضبط المركبات الداخلة بإشارة تمهل وليست إشارة قف أو إشارة ضوئية.

11- معبر المشاة: Pedestrian crossing

يعرّف بأنه مكان مخصص من أجل عبور المشاة فلذلك يعتبر ضرورياً لكافة أذرع الدوار. ونلاحظ وجوده قبل خط تمهل كما أنه يمثل التوازن الأمثل بين راحة المشاة، سلامة المشاة، وتشغيل الدورات، ومن المعروف أن العرض الأدنى لمعبر المشاة 1.8m .