جامعة تشرين

كلية الهندسة المدنية

قسم هندسة النقل والمواصلات

تحسين السلامة المرورية على التقاطعات الطرقية

Traffic safety Improvement at Road Intersections

د.م أكرم رستم

مقدمة

تعتبر التقاطعات الطرقية مواقع حساسة في شبكة الطرق وذلك من وجهة نظر السلامة المرورية (وكذلك من حيث سعتها). يمكن التحكم بعمل التقاطعات المرورية عن طريق استخدام عدد من وسائل التحكم. قد يكون التقاطع حر (غير متحكم به)، قد يكون دوار، أو يكون منظماً بإشارات ضوئية، أو حتى مفصول على مستويين أو أكثر (باستخدام جسور أو أنفاق). للسلامة المرورية الدور الأكبر في اختيار طريقة التحكم.

السلامة المرورية على التقاطعات

تشكل التقاطعات العناصر الأكثر حساسية – من حيث سلامة المرور – في شبكة الطرق، وذلك لأن مختلف مستعملي الطرق (عربات، مشاة، دراجات) تستعمل نفس الحيز المكاني، ويتم تفادي التصادمات عن طريق الفصل الزمان أو المكاني لمختلف الحركات.

يمكن حصر العوامل التي تؤثر في السلامة المرورية في التقاطعات بما يلي :

- عدد أذرع التقاطع.
- زاوية التقاطع.
- مسافات الرؤية.

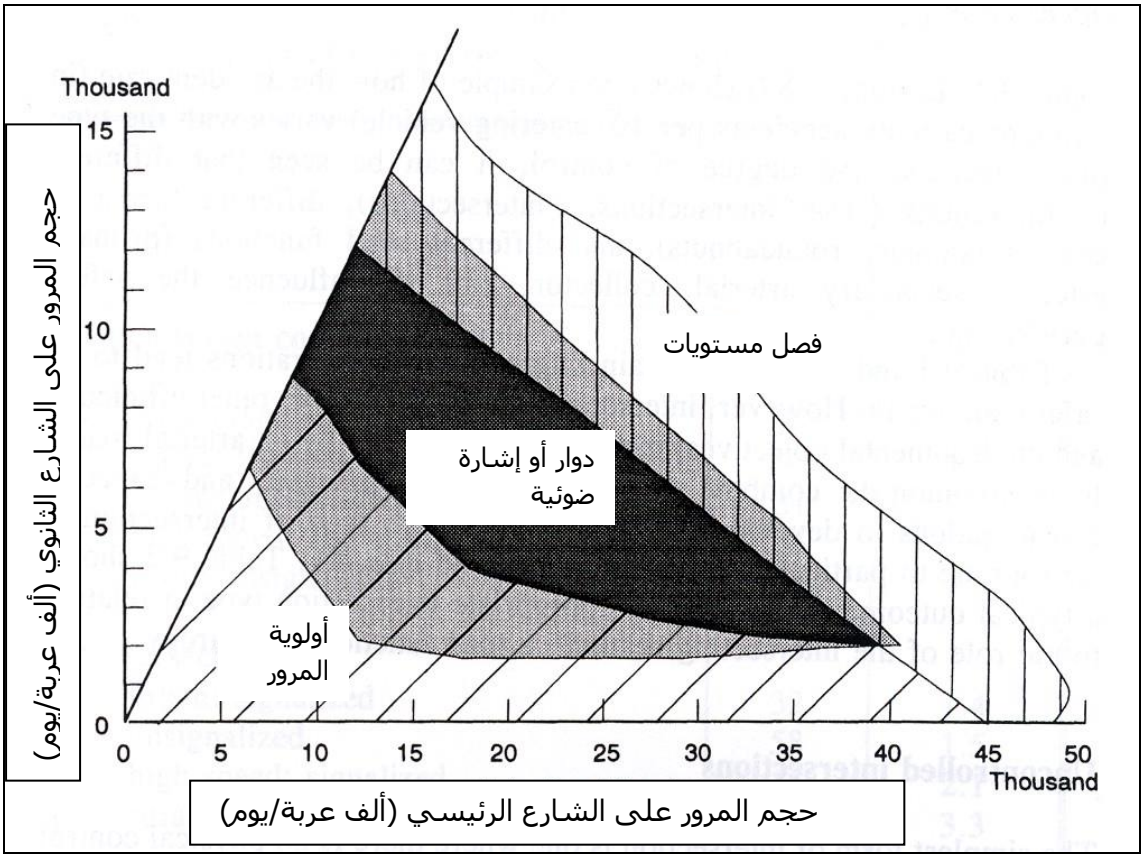
- تخطيط التقاطع.
- الحارات.
- أقنية التوجيه.
- الاحتكاك.
- أنصاف أقطار الدوران.
- الإضاءة.
- عرض الحارات والأكتاف.
- المسارات.
- الإشارات، الشاخصات.
- السرع.

تُأخذ هذه العوامل بعين الاعتبار عند وضع المعايير التصميمية للتقاطعات.

يجب أن يسمح التقاطع لمختلف مستعمليه من السير عبره بزمن تأخير أصغري وبأقصى مستوى سلامة ممكن، لذلك يجب أن يكون التقاطع، وسائل التحكم المروري، وكذلك بقية العوامل المؤثرة على السلامة واضحة ما أمكن.

يحدد نوع التحكم المستخدم في التقاطع عن طريق عوامل مختلفة، لكن بشكل عام تلعب حجوم المرور، ونسبة الحجوم للطرق المُكونة للتقاطع دوراً هاماً في تحديد نوعه، فكلما زادت هذه النسبة، كلما زادت نسبة التحكم المطلوب.

يوضح الشكل طبيعة الحلول المرورية على التقاطعات وطريقة التحكم الملائمة تبعاً لحجوم المرور على الشارع الرئيسي والثانوي المشكّلين للتقاطع.



أنواع التقاطعات

بناءً على ما سبق يمكن تصنيف التقاطعات إلى :

- تقاطعات حرة، معتمدة على قاعدة متعارف عليها لأولوية المرور.
- تقاطعات مصممة على إعطاء أولوية من خلال شاخصات قف، أو أفضلية المرور للغير.
- الدوارات.
- تقاطعات منظمة بإشارات ضوئية، دون تخصيص أطوار للحركات المنعطفة (التي تستخدم الفجوات بين السيارات في الاتجاه المعاكس).
- تقاطعات منتظمة بإشارات ضوئية وذلك لكل الحركات.
- التقاطعات المفصولة على مستويات عدة.

التقاطعات الحرة

وهي الشكل الأبسط للتقاطعات، ولا تحوي أي تحكم، لا فيزيائي ولا وسيلة تحكم، للدلالة على أن أحد مستعملي الطرق له أفضلية على الآخر، يتم توزيع الأفضلية بين مستعملي الطريق على مختلف أذرع التقاطع عن طريق قواعد متعارف عليها.

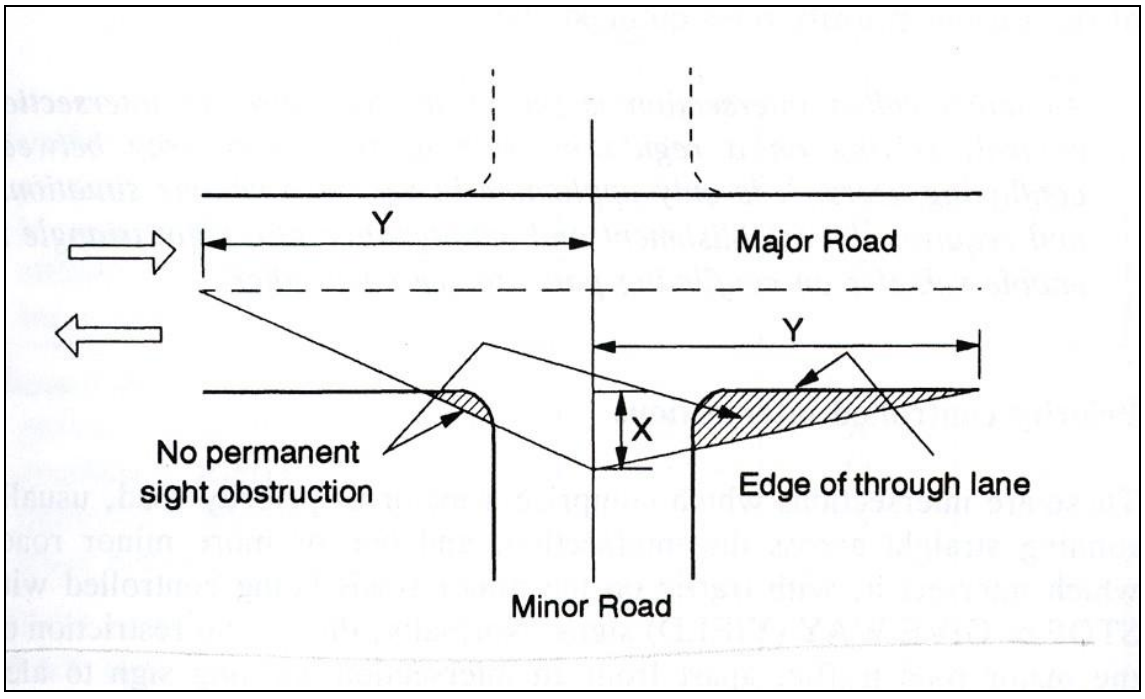
يُستخدم هذا النوع من التقاطعات للطرق ذات حجوم المرور المنخفضة في المناطق الريفية أو المدنية.

يعتمد هذا النوع من التقاطعات على وجود مسافات رؤية كافية في منطقة التقاطع، وذلك كي يتمكن مختلف مستعملي الطريق من رؤية بعضهم الأخر.

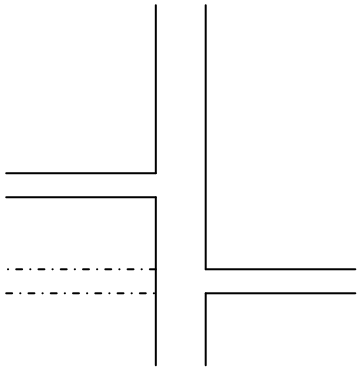
التقاطعات المنظمة بالشاخصات (أولويات مرور)

وهي تكون عادة مؤلفة من طريق رئيسي يحوي قدر أكبر من حجوم المرور، وطريق ثانوي بحجوم مرور أقل. في هذه الحالة يتم إعطاء أفضلية للعربات على الطريق الرئيسي باستعمال شاخصات توقف أو أفضلية المرور للاتجاه الآخر، وذلك على الطريق الثانوي. وذلك دون وجود عائق على الطريق الرئيسي فقط إشارة تدل على وجود تقاطع بعد مسافة معينة.

تحدد مسافة الرؤية المتاحة استخدام شاخصة توقف أو أفضلية المرور للاتجاه الآخر، وذلك حسب كفاية مسافة الرؤية لكشف الطريق مبكراً، عندئذ تستخدم شاخصة أفضلية المرور، أما إذا كان كشف الطريق يتم بشكل متأخر نتيجة عدم كفاية مسافة الرؤية عندئذ تستخدم شاخصة توقف لإعطاء السائق الزمن اللازم لكشف الطريق.



معظم التقاطعات في المناطق الريفية من هذا النمط، ويمكن تحسين السلامة عليها عن طريق استخدام أقنية وجزر التوجيه. وسيلة أخرى في المناطق الريفية هي فك التقاطع إلى تقاطعين على شكل **T** ، وهي وسيلة فعّالة لتخفيف الحوادث وشدتها.



الدوّارات

الدوارات هي إحدى وسائل التحكم المروري، وتتيح الدوران باتجاه واحد حول جزيرة وسطية.

الأفضلية ضمن التقاطع محكومة بشاخصة أعط الأفضلية للغير، (وبأحيان قليلة، إذا كان حجم الدوّار كبير تستخدم الإشارات الضوئية)، الأولوية تكون للسيارات ضمن التقاطع.

كما تلعب الدوارات دوراً في تهدئة المرور عند مداخل المدن والمناطق الكثيفة سكانياً. من الناحية التشغيلية، الدوارات قد تكون مناسبة في الحالات التالية :

- في التقاطعات المنظمة بالشاخصات، والتي تؤدي إلى أزمنة تأخير غير مقبولة على الطريق الثانوي، أو على كل الأذرع في حال التقاطعات المنتظمة بإشارات ضوئية.
- للتقاطعات المكونة أكثر من أربعة أذرع. حيث لا تتمكن التقاطعات المزودة بالشاخصات من حل الموضوع، والمجهزة بإشارة ضوئية تصبح أقل فاعلية بسبب العدد الكبير من الأطوار اللازمة لتمرير العربات على كل الأذرع.
- للتقاطعات بين الطرق التخديمية، أو طريق تخديمي مع طريق محلي، حيث وقوع الحوادث عالي نسبياً.
- في الشوارع المحلية، كإجراء لتهدئة السرع والتحكم بها.
- في التقاطعات الريفية، حيث توجد حوادث للعربات على الأذرع، أو العربات المنعطفة.
- عندما ينعطف تيار المرور الرئيسي نحو اليمين.

- للتقاطعات بشكل **T** أو **Y** ، لأنها تحوي نسب عالية من حركات الانعطاف.

بالمقابل لا ينصح باستخدام الدوارات في الحالات التالية :

- عندما لا يمكن توفير متطلبات التصميم الهندسي بسبب طبوغرافية المنطقة أو الفراغ المتوافر.
- عندما يكون هناك سيطرة (حجوم مرور عالية جداً) لأحد الأذرع، بالنسبة للأذرع الباقية، هذا يؤدي إلى استخدام الدوّار بشكل أساسي من قبل هذا الذراع على حساب بقية الأذرع.
- عندما يكون هناك حركة مشاة كثيفة، مرافقة لسرع سيارات عالية، أو حجوم مرور كبيرة، مما يجعل حركة المشاة عبر التقاطع صعبة (إلا في حال توافر آلية تسهل عبور المشاة).
- في تقاطع معزول من شبكة تقاطعات منظّمة بإشارات ضوئية، يُفضل في هذه الحالة استخدام الإشارات الضوئية كوسيلة تحكم، وربط التقاطع ببقية التقاطعات.
- عندما يستخدم نظام عكسي لاستخدام الحارات في أوقات الذروة.
- عندما يُعاق المرور الخارج من التقاطع بوسيلة تحكم مروري، مما يؤدي إلى تشكل ازدحام يعطّل التقاطع.

للدورارات تاريخ جيد من وجهة نظر السلامة المرورية، لأنها تمارس تحكم مكاني على سرع العربات الداخلة للتقاطع، مما يؤدي لنقاط تصادم أقل بين تيارات المرور المتعارضة، و سرع منخفضة عند نقاط التصادم هذه، وبساطة ووضوح اتخاذ القرار المطلوب من قبل السائق.

يمكن تحسين أداء الدوار أكثر، باستخدام الجزء الفاصلة على الأذرع، والتي تعطي السائق إنذاراً، وتصوراً عن مواقع تيارات المرور المتصادمة وتقدم ملجأ للمشاة سامحة لهم باجتياز الطريق على مراحل. على كل حال مشاكل السلامة قد تقع في حال :

- إذا كانت زاوية الاندماج حادة جداً.
- إذا كان للدوار شكل غير مألوف.
- إذا كانت الشاخصات غير ملائمة أو محيرة.
- في حال وجود ميول طولية.
- وجود عربات بطيئة (كالدراجات).
- نصف قطر الذراع غير كافية لإجبار العربات على تخفيف السرعة.

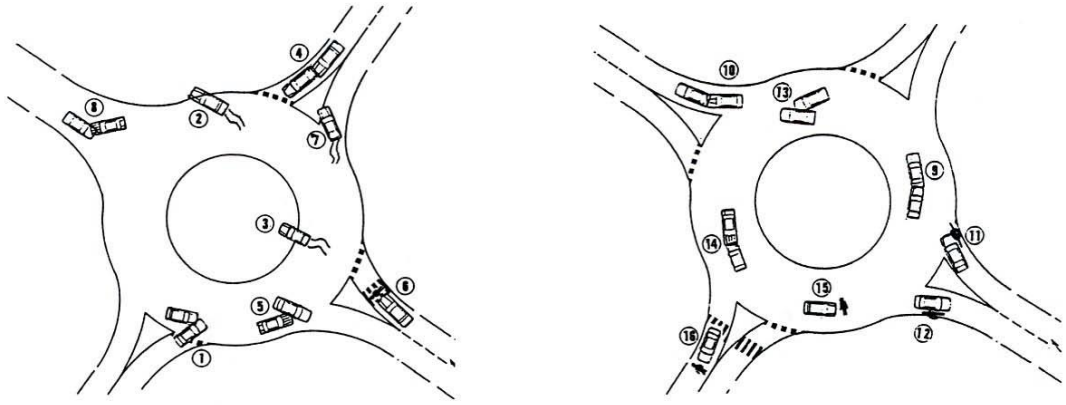
أهم مشاكل السلامة المرورية للدوارات هي الدراجات والمشاة، إلى درجة نسبة أن الدراجات والمشاة في تيار المرور تلعب دور أساسي في اختيار الدورارات كوسيلة تحكم مروري للتقاطعات. للحرص على

الدراجات يجب تجنب تضييق الأذرع عند الدوارات. اختيار أنصاف أقطار مناسبة للتحكم بالسرع (لا يجب أن تتجاوز السرع في الدوارات **50** كيلو متر في الساعة)، تجنب إنشاء دوارات كبيرة لعدم تشجيع السيارات على الدوران بسرع كبيرة، تجنب المبالغة في تعريض المسارات في الدوار، تأمين انسيابية الحارات، وتوفير الإضاءة الملائمة.

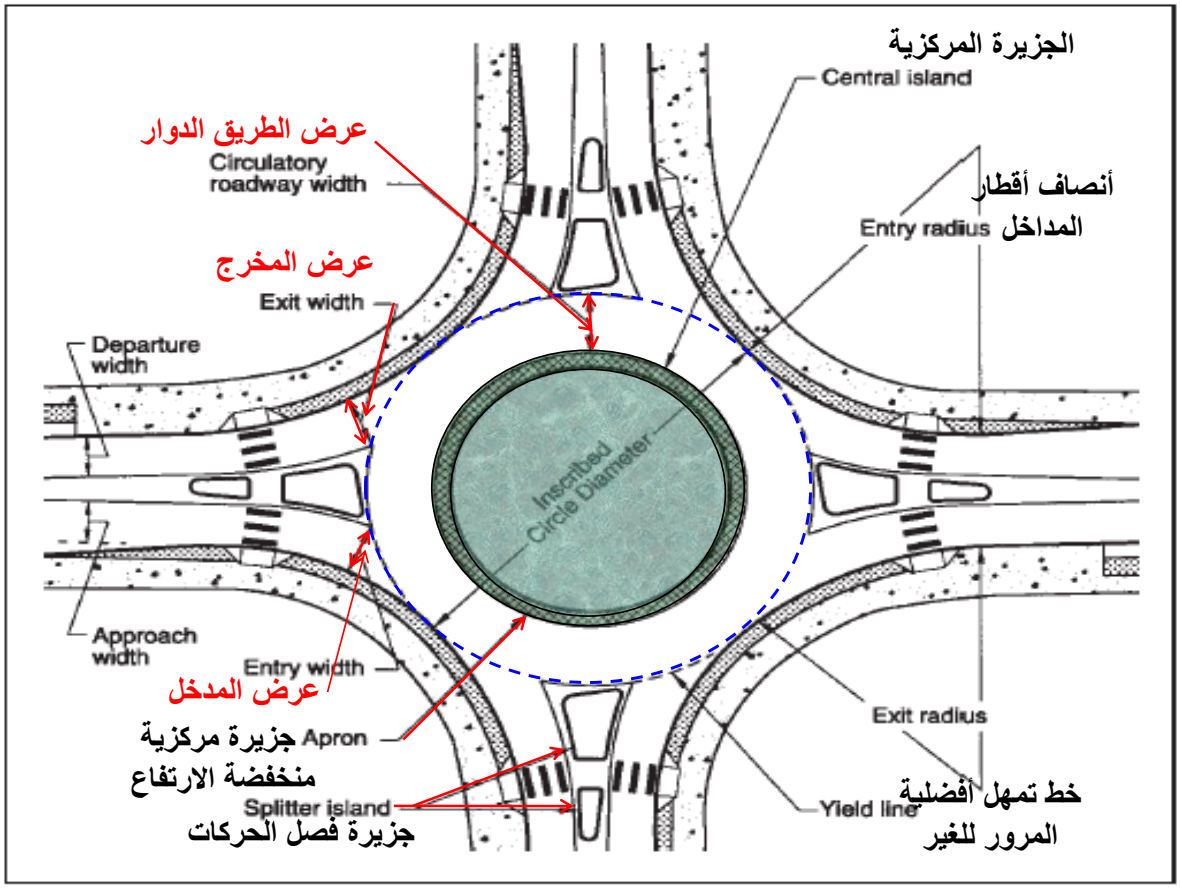
بالنسبة للمشاة، يمكن تأمين سلامتهم عبر أخذهم بعين الاعتبار أثناء التصميم (وذلك من خلال الجزر الفاصلة، سرع أقل للعربات في حال استخدام إشارة ضوئية للمشاة لتؤمن عبورهم الآمن، بنصح بجعلها على مسافة كافية من التقاطع كي لا تسبب بازدحامات في منطقة التقاطع نفسه، ولذلك ينصح أيضاً باستخدام حاجز لمنع العبور غير النظامي للمشاة).

يوضح الجدول التالي أنماط الحوادث الأكثر تكراراً في الدوارات

Collision Type	Percentage of Crashes in Study
1. Failure to yield at entry (entering-circulating)	36.6%
2. Single vehicle runs off the circulatory roadway	16.3%
3. Single vehicle loses control at entry	11.4%
4. Rear-end collision at entry	7.4%
5. Circulating/exiting collision	5.9%
6. Pedestrian on crosswalk	5.9%
7. Single vehicle loses control at exit	2.5%
8. Exiting/entering collision	2.5%
9. Rear-end collision in circulatory roadway	0.5%
10. Rear-end collision at exit	1.0%
11. Passing a bicycle at entry	1.0%
12. Passing a bicycle at exit	1.0%
13. Weaving in circulatory roadway	2.5%
14. Driving wrong direction in circulatory roadway	1.0%
15. Pedestrian on circulatory roadway	3.5%
16. Pedestrian at approach outside of crosswalk	1.0%



يوضح الشكل العناصر الهندسية للدوار



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

نصف قطر الانعطاف حسب السرعة التصميمية للدوار

تصنيف الموقع	المركبة التصميمية النموذجية	القطر الإجمالي للدوار(m)
الدوارات الصغيرة	الشاحنة ذات المحور الوحيد	13–25
المناطق العمرانية المزدحمة Urban compact	الشاحنة ذات المحور الوحيد/(باص)	25–30
المناطق العمرانية بحارة وحيدة urban single lane	WB-15 (WB-50)	30–40
المناطق العمرانية بحارتين urban double lane	WB-15 (WB-50)	45–55
المناطق الريفية بحارة وحيدة rural single lane	WB-20 (WB-67)	35–40
المناطق الريفية بحارتين rural double lane	WB-20 (WB-67)	55–60

التقاطعات المنظمة بإشارات ضوئية

الإشارات الضوئية واسعة الانتشار كوسيلة تحكم في التقاطعات المدينية، وفي بعض الأحيان في المناطق الريفية. إذ تتمكن عن طريق الفصل الزماني ما بين مختلف مستعملي الطرق من تقليل نقاط التصادم، وكذلك تؤمن حركة آمنة للمشاة والدراجات.

أبسط شكل للإشارات الضوئية هي أن يكون لها برنامج ثابت للأطوار، وصولاً إلى الإشارات متغيرة البرنامج للاستجابة للتغيرات التي تطرأ على حجوم المرور عن طريق حساسات تركب على الطريق.

يتم ربط التقاطعات المنظمة بإشارات ضوئية لتأمين التحكم المنسق والانسيابي للشبكة الطرقية (أو محاور منها) ككل.

آثار استخدام الإشارات الضوئية على الطرق

من البديهي أن استخدام الإشارات الضوئية في الظروف الملائمة يقلل من عدد الحوادث وشدتها. هذه الظروف هي وقوع عدد هام من الحوادث، وأن هذه الحوادث من نوع يمكن تقليله باستخدام الإشارات الضوئية. لكن من المهم الانتباه إلى أنه على الرغم من هذه المقدرة، فإن الإشارات الضوئية تغير من نموذج وقوع الحوادث على التقاطع، وقد تزيد من عدد الحوادث لنوع كان قليل قبل وضع الإشارات بالخدمة. بكلمات أخرى تقلل من عدد الحوادث للنوع المسيطر، لكنها ستزيد من عدد حوادث لنوع آخر.

هناك اهتمام متزايد بفصل كل الحركات المنعطفة في التقاطعات المنظمة بإشارات ضوئية إلى أطوار منفصلة هذا صحيح تحديداً بالنسبة للانعطاف نحو اليسار، مع الانتباه إلى أن أزمنة التأخير ستزداد، لكن مع وجود التنسيق بين التقاطعات، أو ربط الإشارات بحساسات للتكيف مع حجوم المرور عبر التعديل الآلي لبرامجها، فإن هذا التأخير يصبح أقل ما يمكن.

ينصح بجعل الانعطاف نحو اليسار قبل طور الحركة المستقيمة للمسار، وذلك لتجنب خطر عدم رؤية السائق في الحركة المستقيمة لسائق آخر منعطف يساراً من الاتجاه المقابل.

عند تصميم برنامج الإشارة الضوئية يتم تخصيص زمن أصفر يتبعه زمن فاصل زمني هو الكل أحمر، مجموع هذين الفاصلين يسمى زمن التفريغ، وهو الزمن اللازم لتفريغ تيار من العربات قبل السماح للتيار التالي بالحركة وهذا لزيادة الأمان، وذلك بتفريغ السيارات التي قطعت في الأصفر، أو حتى بداية الأحمر على المسار المقابل، إذ أن معظم حوادث هذه التقاطعات نتيجة تجاوز الزمن الأحمر من قبل بعض السائقين. وهكذا كلما زاد زمن التفريغ، كلما قل عدد الحوادث الناتجة عن تجاوز الزمن الأحمر.

بالنسبة للتقاطعات المنسقة (المربوطة بموجة خضراء)، فلها أثر محدود على تخفيض الحوادث المرورية. هذا الأثر يكون بالنسبة للحركات المستقيمة.

إجراءات شرطة المرور تلعب دوراً هاماً في إجبار السائقين على التقيد بالأطوار، وذلك من خلال وجود دوريات الشرطة، أو من خلال كاميرات المراقبة.

فيما يلي بعض الملاحظات التصميمية للتقاطعات المنظمة بإشارات ضوئية وأثرها على السلامة المرورية:

- أذرع أعرض وحارات أكثر تؤدي إلى معدل حوادث زاوية يسرى أعلى.
- زيادة حارات التخزين أدت لزيادة حوادث الدهس.
- مسافة رؤية أكبر للذراع تخفض معدل الحوادث للسيارات المنعطفة يميناً، وكذلك حوادث الدهس.
- إزاحة الذراع المقابل نحو اليمين أو اليسار تؤدي إلى تقليل حوادث العربات المنعطفة يساراً، وحوادث الزاوية اليسارية.
- زمن إشارة ضوئية أقل يزيد من معدلات حوادث الانعطاف لليسار، وكذلك المعدل الكلي للحوادث.
- استخدام الخطوط الصفراء المتقاطعة في منطقة التقاطع يقلل من معدل حوادث الانعطاف نحو اليسار.
- الزمن الأخضر الذي يومض قبل 2–3 ثانية قبل انتهاء الزمن الأخضر أدى لزيادة حوادث الصدم الخلفي، لأن بعض السائقين أبطئوا وبعضهم أسرعوا لتجاوز الإشارة.

إشارة أفضلية المرور للغير، وهي عبارة عن ومضان للضوء الأصفر، ويستخدم خلال الليل (أو خارج أوقات الذروة في بعض البلدان). وهي لتنبيه السائق لتخفيف سرعته، دون إجباره على الوقوف دون مبرر. يترافق معها زيادة في حوادث الزاوية اليمنى.

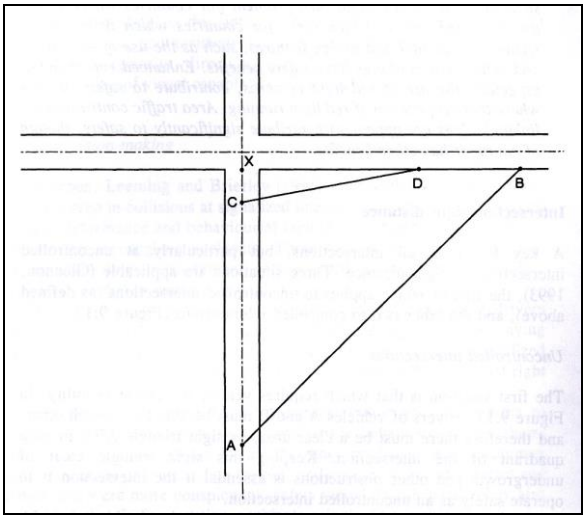
كلما كانت الإشارات واضحة من بعيد كلما كانت آثارها على السلامة المرورية أفضل.

كان سبب العديد من الحوادث في التقاطعات المجهزة بإشارات ضوئية تصرف أو أداء السائقين الخاطىء في تقدير السرعة، أو في تقدير موقع العربات على الاتجاهات الأخرى، أو الرغبة في تجاوز الإشارة قبل الزمن الأحمر أو حتى في بدايته أو عدم الانتباه.

مسافة الرؤية ضمن التقاطعات

وهي من العوامل الأساسية المؤثرة في السلامة المرورية، خاصة في التقاطعات الحرة.

في التقاطعات الحرة يجب أن يرى سائقي العربات بعضهم البعض من مسافة كافية، لذلك يتم إزاحة العقبات في مثلث يدعى مثلث الرؤية.



تزداد مساحة هذا المثلث بازدياد السرعة، لأن على المركبات التباطوء أو حتى التوقف قبل بلوغ التقاطع (للسرعة **100** كيلو متر بالساعة، ضلع المثلث يكون **87**متر).

في حال التقاطعات المنظمة بشاخصات يجب أن يكون هناك مسافة رؤية كافية للعربات القادمة من الذراع الثانوي وذلك لرؤية العربات على الذراع الرئيسي ومختلف شاخصات التحكم، يجب أن تكون هذه المسافة على الأقل مساوية للمسافة اللازمة للتوقف بعد مشاهدة العربة على الذراع الرئيسي، ويجب أن يتم وضع الشاخصات بشكل يواجه سائق العربة على الطريق الثانوي، وذلك لضمان أن السائق يعرف مكان التقاطع.

في حال وجود ميول، سيكون هناك خطر أن لا يرى السائق العربات على الطريق الرئيسي إلا متأخراً بسبب فرق المنسوب.

في حال هذا النوع من التقاطعات في المدن ولا يوجد إمكانية لإزاحة العوائق (أبنية)، يتم تخفيف السرعة عند النقطة **C**، ويتم أخذ الوقت الكافي لدخول التقاطع بعض الفحص الكشف البصري للذراع الرئيسي من قبل السائق ثم الانطلاق.

أقنية التوجيه

هي الآلية التي يتم فيها تحديد مسار ما للعربات وفق حركة مرورية ما على الذراع وللخروج من التقاطع. الأقنية تكون إما طلاء طرقي خاص ، أو منحنيات قليلة الارتفاع، أو حتى جزر قليلة العرض والارتفاع.

تفيد في التوجه الإيجابي للسائق، وفي تبسيط حركات الانعطاف، وتقليل هامش الخطأ في اختيار المسار، تقلل الحيرة لدى السائق، وتفصل نقاط التعارض. تقلل من عدد الخيارات التي يجب على السائق اتخاذها ، تؤمن ملجأ للمشاة الذين يعبرون التقاطع، وتعتبر موقع ملائم للشاخصات، الإشارات الضوئية، وحتى للتصريف المطري.

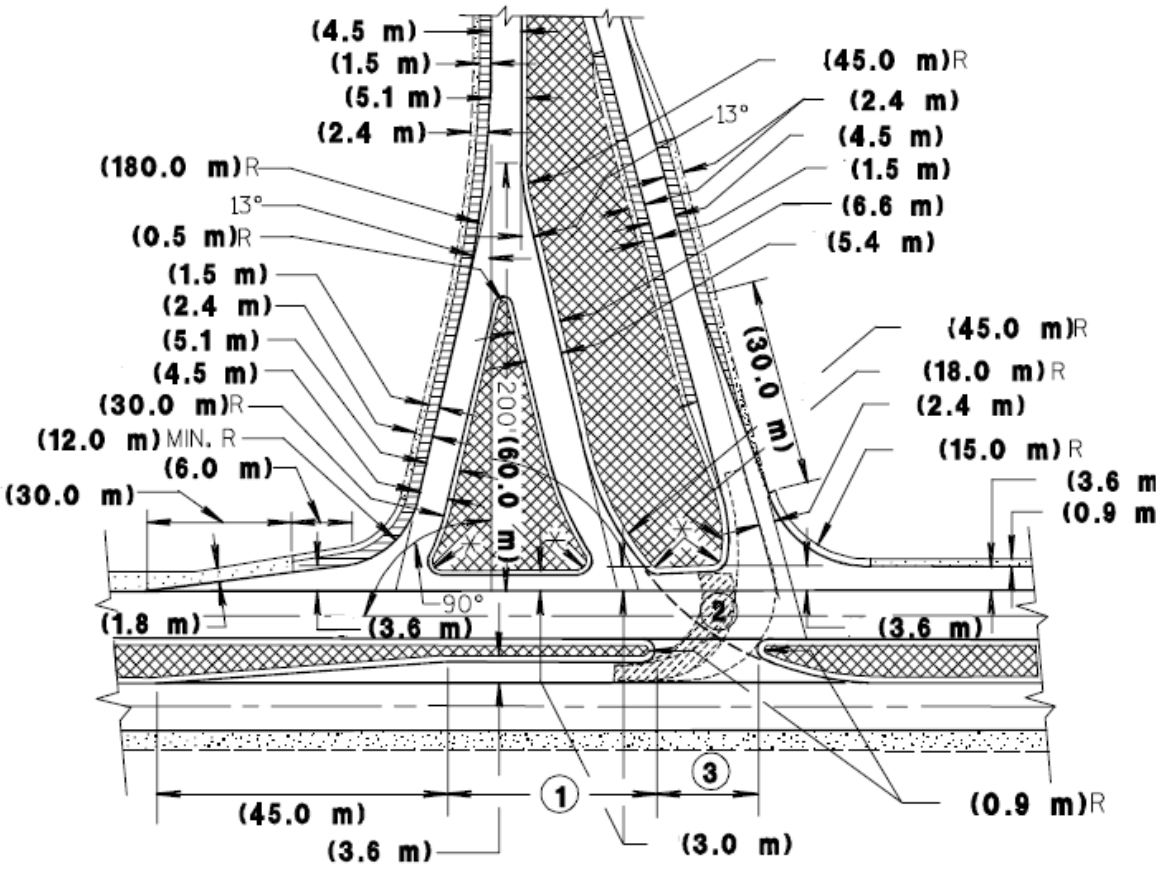
- تخفف من شدة الحوادث.
- تحمي العربات المنعطفة.
- لا تشجع على التجاوز.

تقدم الدراسات نتائج مشجعة لاستخدام أقنية التوجيه(بالأخص الدهان الطرقي للحركات المنعطفة).

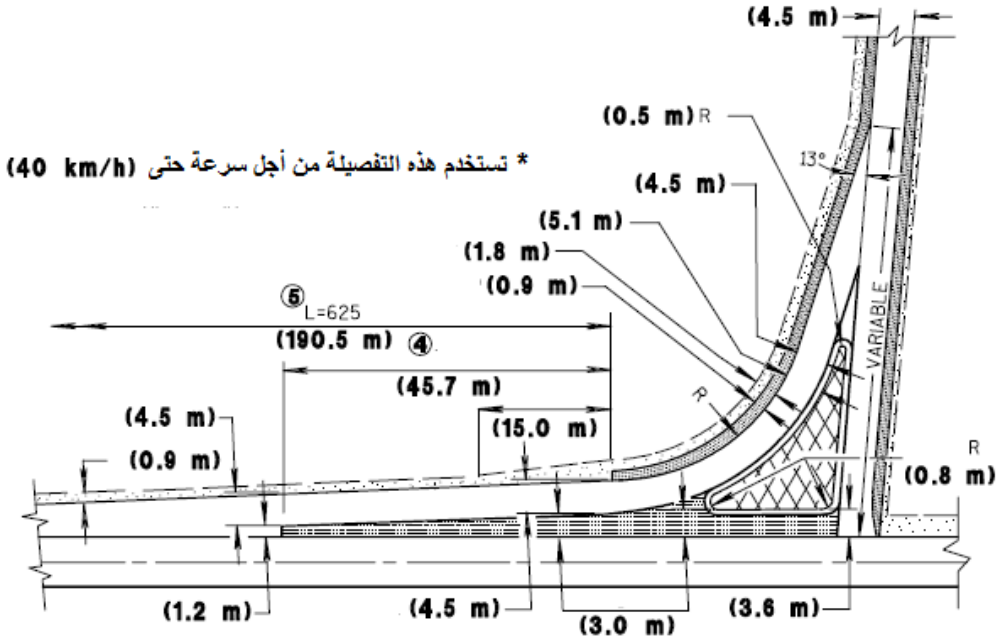
توصيات تصميم أقنية التوجيه

- تقليل مساحة التصادم العامة وذلك بجعل التيار المتصادم أن يتقاطع عند (أو قريب) من الزاوية اليمنى الخلفية للسيارات الخلفية.

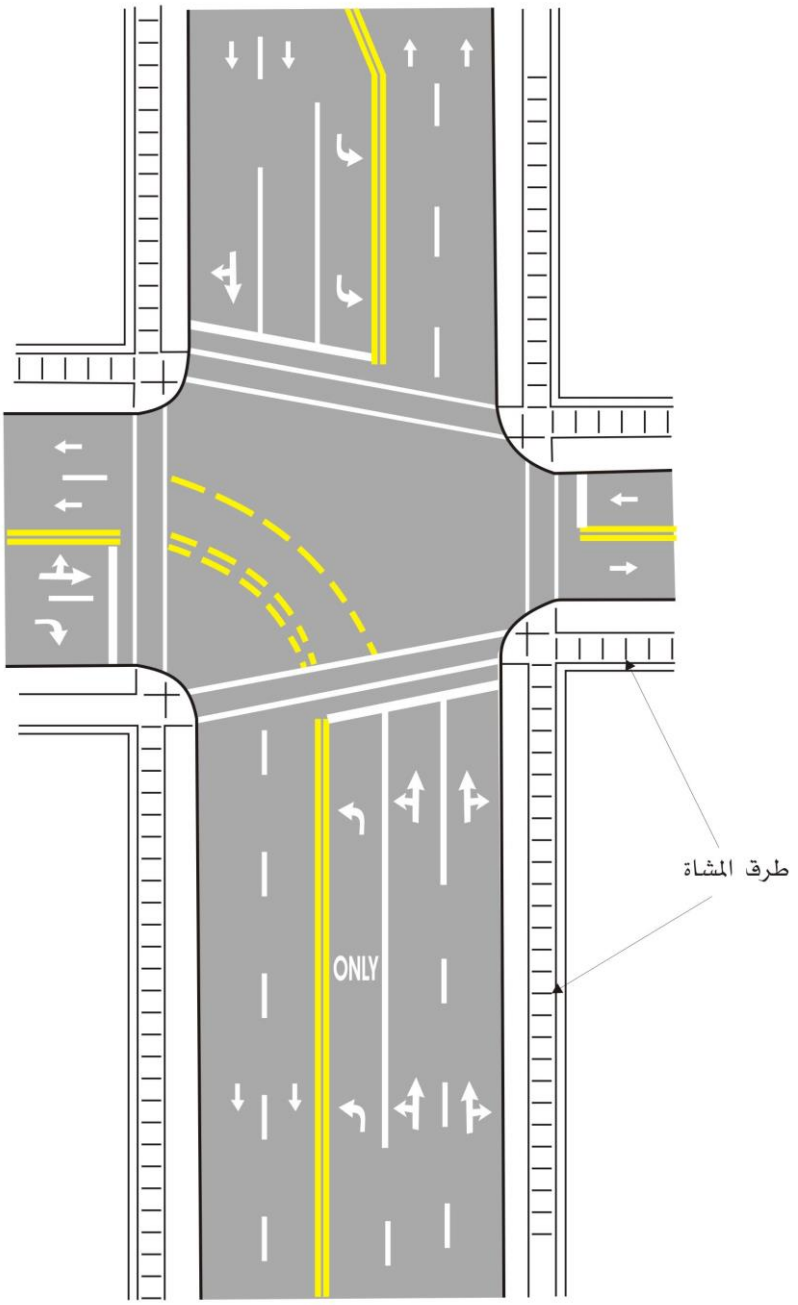
- دمج تيارات المرور بزوايا صغيرة لتخفيف السرعة النسبية بين تيارات المرور المتعارضة.
- التحكم بسرع السيارات الداخلة للتقاطع.
- التحكم بسرع السيارات بتقليل العرض.
- توفير الحماية للعربات المنعطفة.
- توفير مسار واضح عبر التقاطع.
- تجنب الانحناءات المفاجئة.
- عدم الإكثار من الجزر أكثر من الحد اللازم لتشغيل فعّال وآمن للتقاطع.
- أنصاف أقطار وعرض حارات ملائمة للنمط المنتشر من العربات.
- تسهيل حركة المشاة والدراجات.
- تأمين مواقع للشاخصات والإشارات.
- منع بعض حركات الالتفاف إذا لزم الأمر.
- تبين الأشكال التالية بعض نماذج لقنولة الحركة على التقاطعات باستخدام الجزر أو الطلاء الطرقي.



LAYOUT FOR EQUAL TURNING VOLUMES



مسقط توضيحي لأبعاد حارات الانعطاف لليمين وجزر القنولة



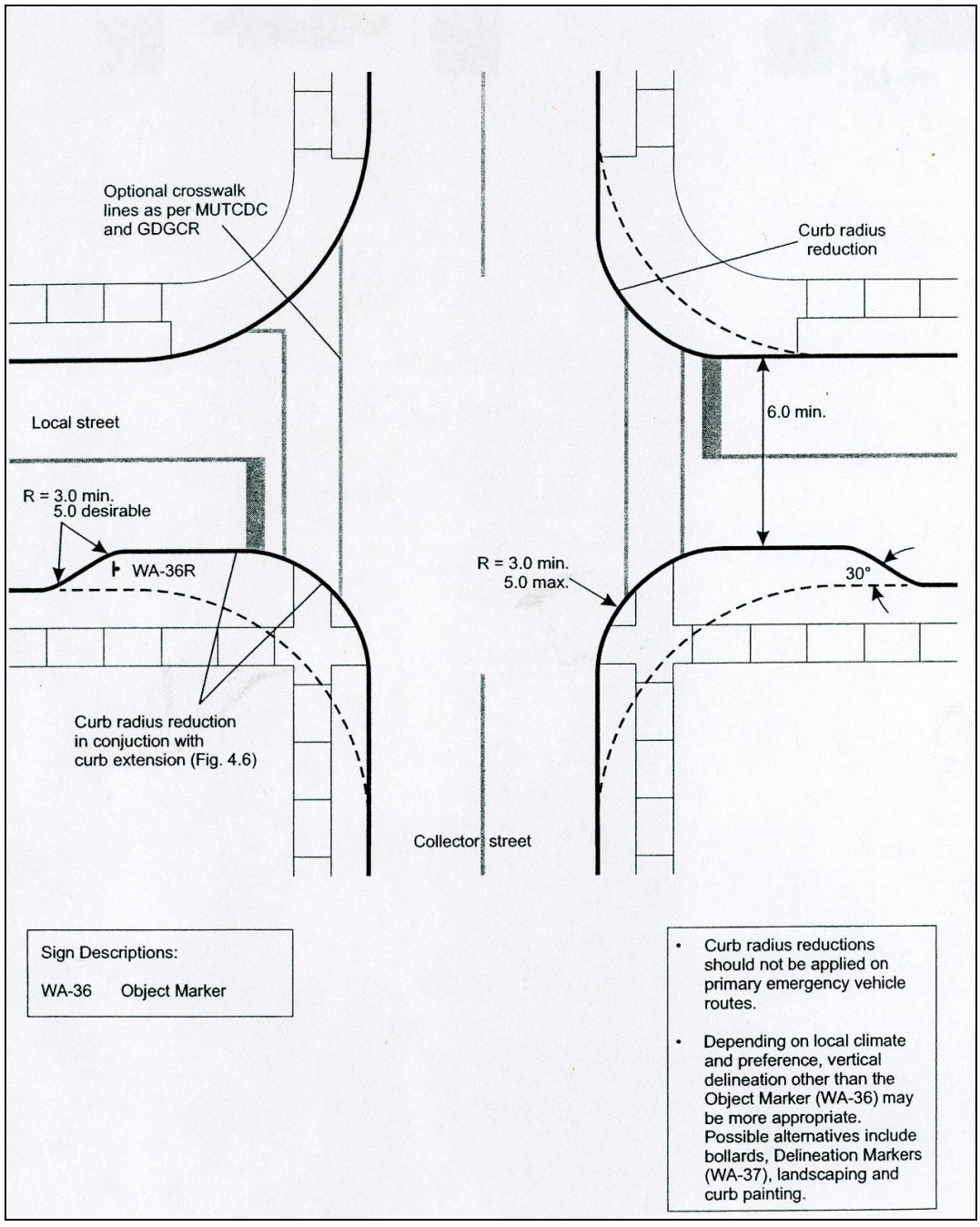
التقاطعات المفصولة على مستويات

- بشكل عام تزداد الحوادث على رامبات الوصل لتقاطع طريقين مفصولي على مستويي (جسر أو نفق) بازدياد حجم المرور، وبتقليل نصف قطر منحنى الدوران لهذه الرامبات.
- يفضل أن يكون الطريق السريع في المستوى السفلى، إذ أن الحوادث على الرامبات الصاعدة أقل.

- يجب الانتباه لحركة الشاحنات على الرامبات. من حيث التصميم (أنصاف أقطار) والتشغيل (أكثر عرضة للانزلاق).
- الفكرة تكمن في الفصل المكاني للتيارات المتعارضة.

اعتبارات هندسية

المخطط التالي يوضح تقاطع نموذجي من حيث أنصاف أقطار الدوران وتوضع مسارات المشاة.



مقارنة بين مختلف وسائل التحكم من حيث السلامة المرورية

Intersection Type	Number of sites	Mean casualty accident rate*
Intersection configuration		
Cross intersections		
urban: signalized	138	1.7
urban: unsignalized	31	2.4
high speed: signalized	35	2.5
rural: unsignalized	128	5.2
t-intersections		
urban: signalized	32	1.4
unsignalized	58	1.5
high speed: signalized	15	2.1
rural: unsignalized	210	3.3
Multi-leg intersections		
urban: signalized	13	3.2
Roundabouts	68	1.6
Staggered-t: rural	28	2.9
Road hierarchy (urban)		
primary arterial/primary arterial	49	2.4
primary arterial/secondary arterial	63	1.8
primary arterial/collector street	77	1.4
primary arterial/local street	586	0.8

مقارنة مدى ملائمة وسائل التحكم المرورية للتقاطعات مع نوع الطريق

Control	Primary arterial	Secondary arterial	Collector road	Local street
Traffic signals				
primary arterial	A	A	O	X
secondary arterial		A	O	X
collector road			X	X
local street				X
Roundabouts				
primary arterial	O	O	X	X
secondary arterial		O	O	X
collector road			A	O
local street				A
STOP or GIVE WAY signs				
primary arterial	X	X	A	A
secondary arterial		X	A	A
collector road			A	A
local street				A

Legend: A Most likely to be an appropriate treatment
O May be an appropriate treatment
X Usually an inappropriate treatment