Signalised Intersection

التقاطعات المزودة
بإشارات المرور الضوئية

Dr. Beshr Sultan

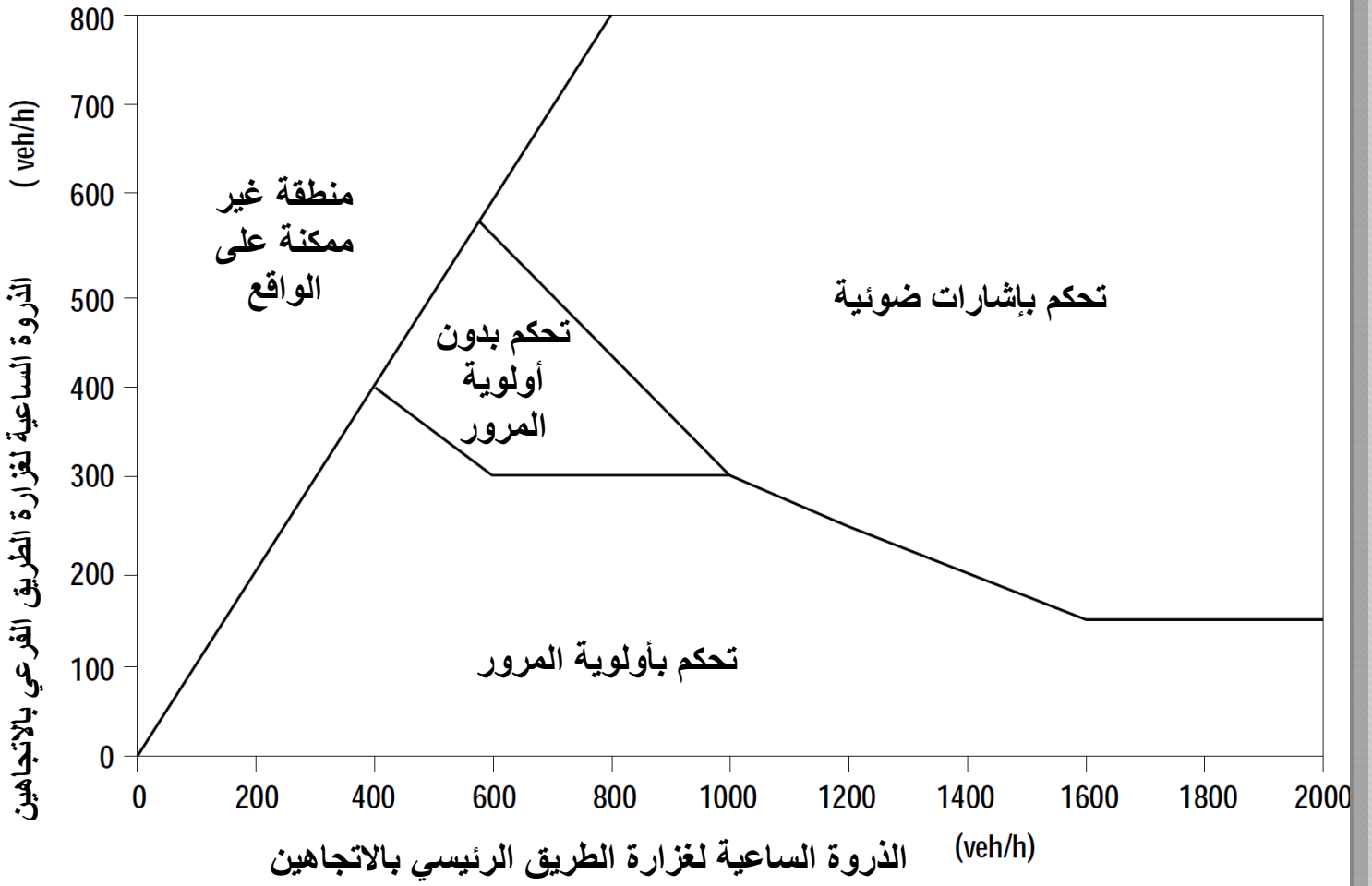
أساسيات

مقدمة:

- أحد أهم الطرق للتحكم بحركة المرور عند التقاطعات الطرقية هي إشارات المرور الضوئية حيث تقوم بالفصل بين الحركات المتعارضة من خلال تخصيص فترات زمنية مستقلة لكل منها.
- في حالة التقاطعات ذات الإشارات الضوئية يكون مفهوم السعة مختلف عن التقاطعات ذات أولوية المرور.
- تتأثر السعة المرورية للتقاطعات ذات الإشارات الضوئية بشكل كبير بالطريقة التي يتم فيها توزيع الفترات الزمنية بين الحركات المرورية المختلفة على التقاطع.
- في الحسابات التحليلية للتقاطعات ذات الإشارات الضوئية الوحدة الأساسية للحساب هي مجموعة الحارات الداخلة على التقاطع من جهة محددة (**Lane Group**).
- من أجل مجموعة حارات محددة في تقاطع ذو إشارات مرور هناك ثلاث ألوان إشارات ضوئية تظهر لها هي الأخضر و الأصفر و الأحمر.
- فترة الإشارة الحمراء قد تتضمن مدة قصيرة من الزمن تكون فيها الإشارة حمراء على جميع أذرع التقاطع و هذه المدة تدعى فترة الإشارة الحمراء الشاملة.

نوع التحكم المروري بتقاطع طرقي

EXHIBIT 10-15. INTERSECTION CONTROL TYPE AND PEAK-HOUR VOLUMES
(SEE FOOTNOTE FOR ASSUMED VALUES)



a. Roundabouts may be appropriate within portion of these ranges.
Source: Adapted from *Traffic Control Devices Handbook* (*8*, pp. 4–18) - peak-direction, 8-h warrants converted to two-way peak-hour volumes assuming ADT equals twice the 8-h volume and peak hour is 10 percent of daily. Two-way volumes assumed to be 150 percent of peak-direction volume.

أهم عامل يحدد نوع التحكم المروري بتقاطع طرقي معين هو مقدار الغزارات المرورية الداخلة على التقاطع

متى تستخدم الإشارات الضوئية

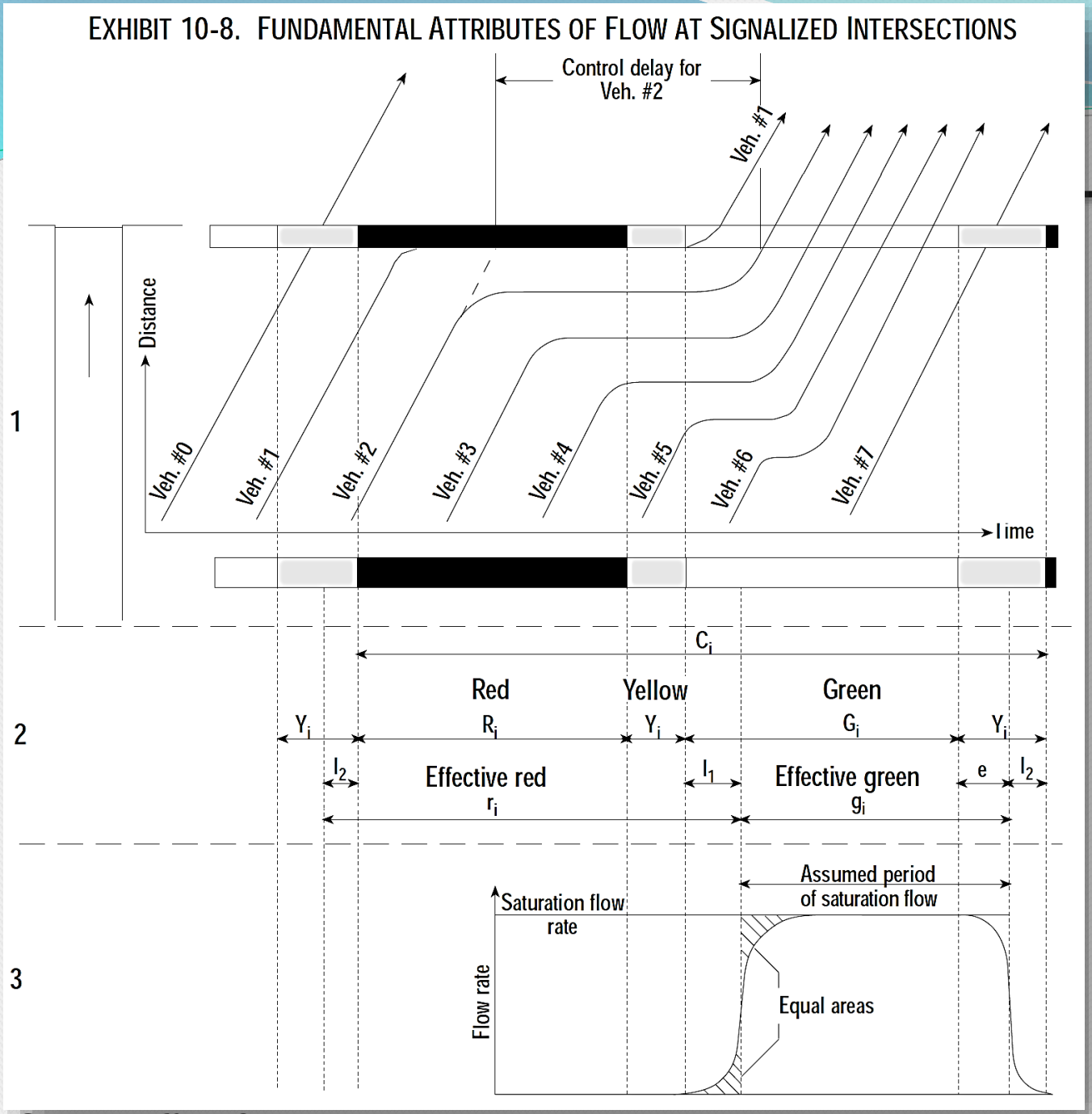
- الإشارات الضوئية تفرض تأخر زمني إجباري على حركة المرور لذلك يجب استخدامها فقط عند الحاجة إليها.
- الدليل الأمريكي الموحد لأجهزة التحكم بحركة المرور (MUTCD) حدد ٨ حالات يتم استخدام الإشارات الضوئية عندها.
- ما نص عليه الدليل (MUTCD) يوجه مهندس المرور نحو القرار في استخدام الإشارات الضوئية لكن دائما الواقع يفرض نفسه و على المهندس أن يتخذ القرار النهائي حول ضرورة الإشارات المرور الضوئية.

- ❖ **مستوى الغزارة المرورية خلال ٨ ساعات.**
- ❖ **مستوى الغزارة المرورية خلال ٤ ساعات.**
- ❖ **مستوى الغزارة المرورية خلال ساعة الذروة.**
- ❖ **مستوى غزارة حركة المشاة.**
- ❖ **موقع عبور تلاميذ المدارس**
- ❖ **استخدام نظام الإشارات المرور الضوئية المرتبطة مع بعضها.**
- ❖ **مستوى الحوادث المرورية.**
- ❖ **التحكم المركزي بشبكة الطرق .**

مبدأ التحكم (1)

لا يسمح بالعبور	يسمح بالعبور	يسمح بالعبور	لا يسمح بالعبور	لا يسمح بالعبور
أحمر	أصفر	أخضر	أحمر- أصفر	أحمر

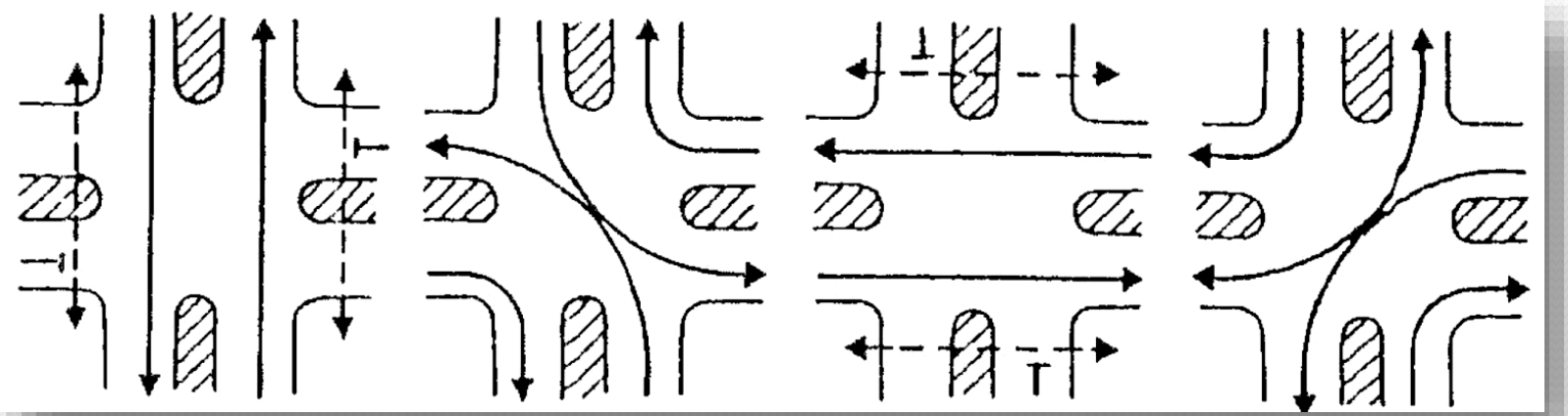
مبدأ التحكم (2)

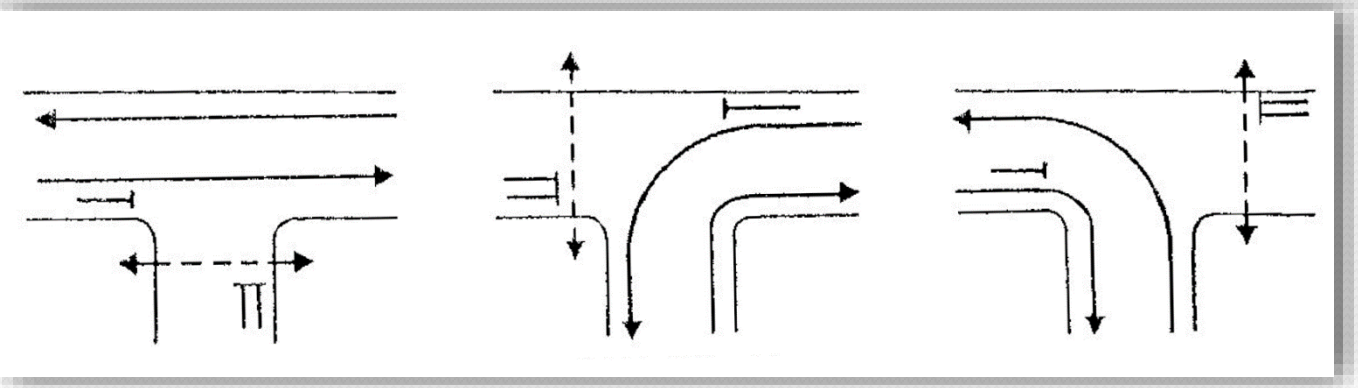


- الشكل 10-8 يوضح أساسيات حركة المرور عند إشارة ضوئية.
- الحالة المقدمة من النوع البسيط لقاطع طرقي بذراعين و تحكم مروري بمرحلتين.

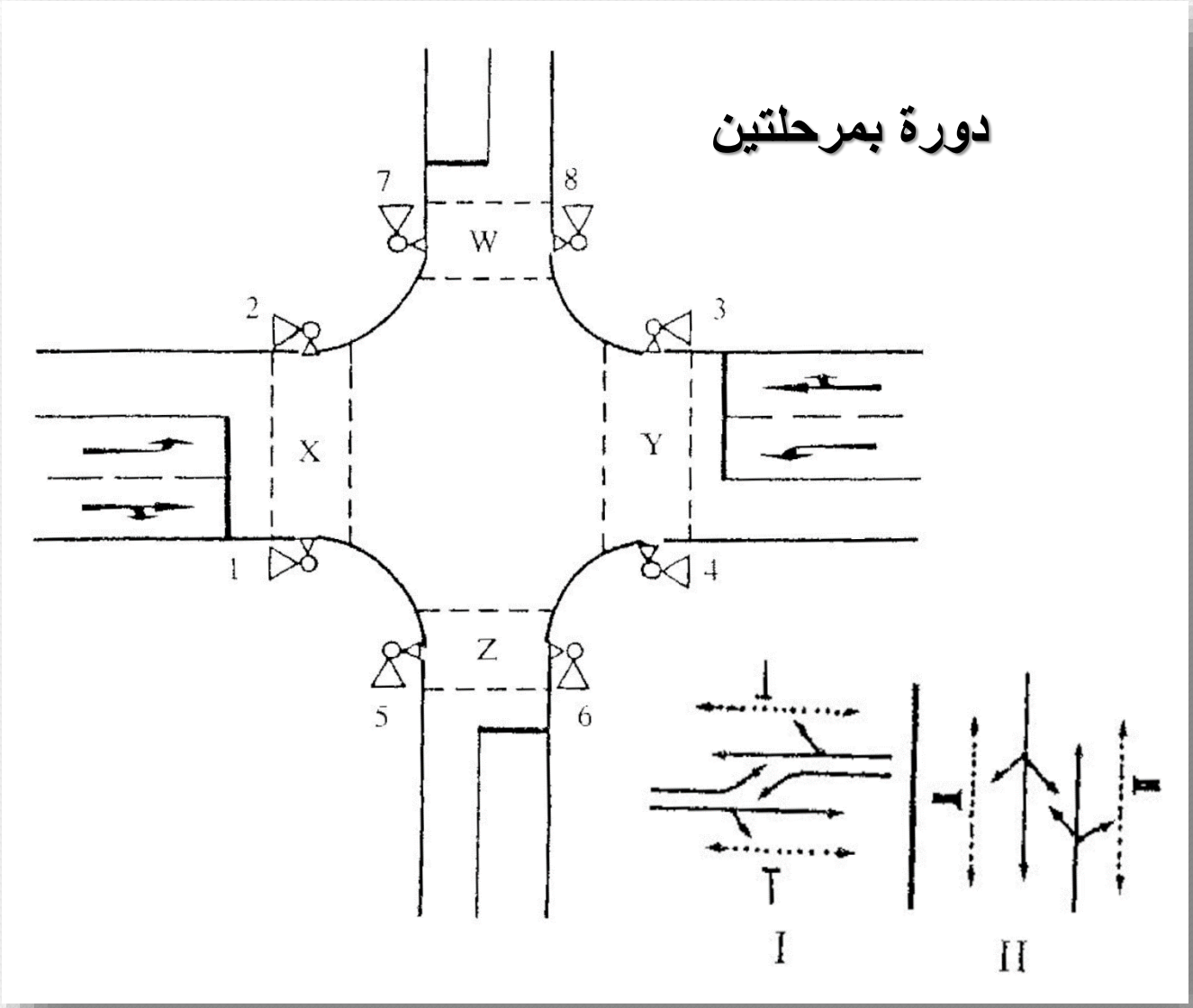
الدورة الزمنية و مراحلها (1)

- الدورة الزمنية لإشارة مرور تنقسم إلى مراحل كل مرحلة تسمح بالحركة لمجموعة من حارات المرور غير المتعارضة مع بعضها

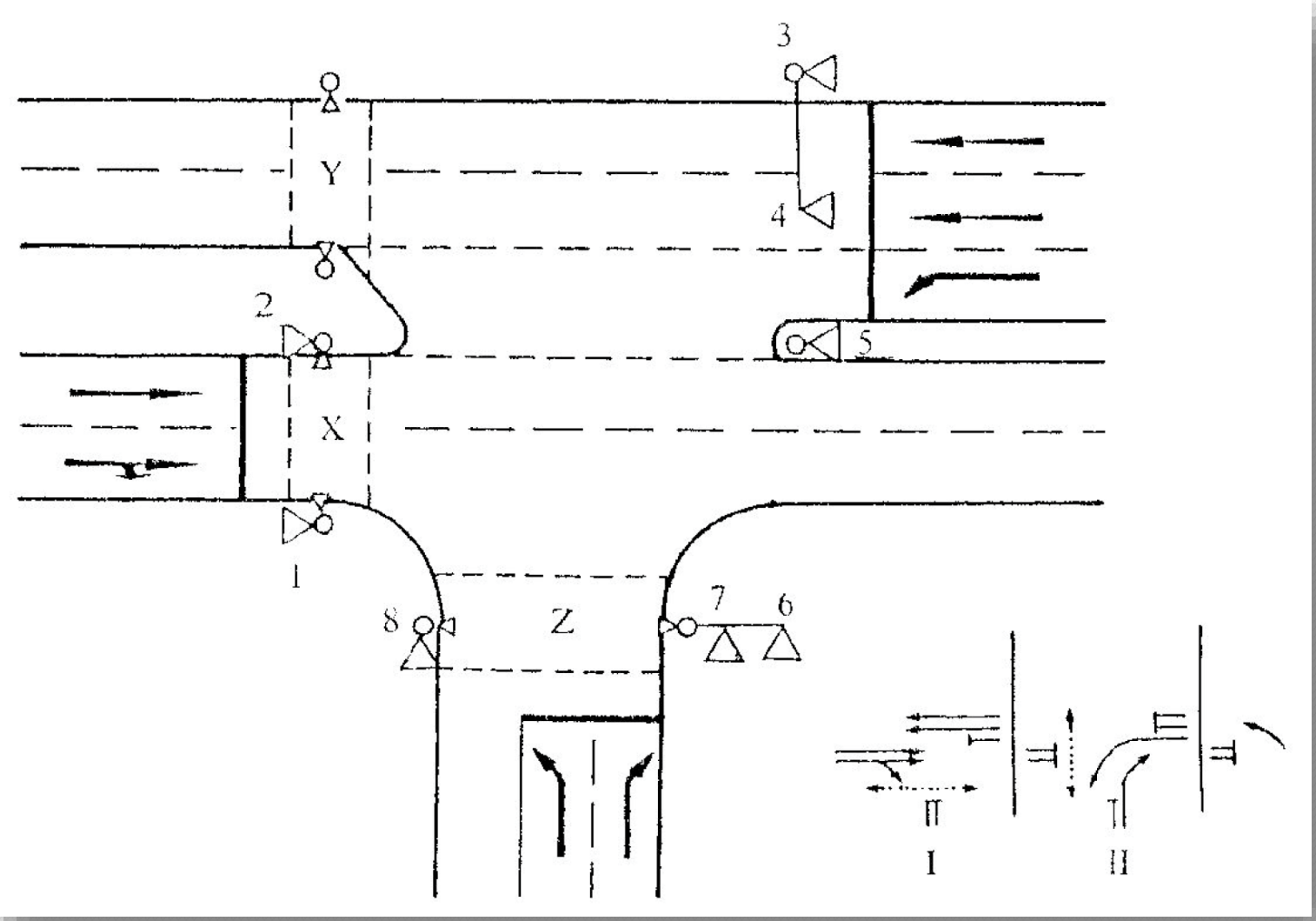




الدورة الزمنية و مراحلها (2)



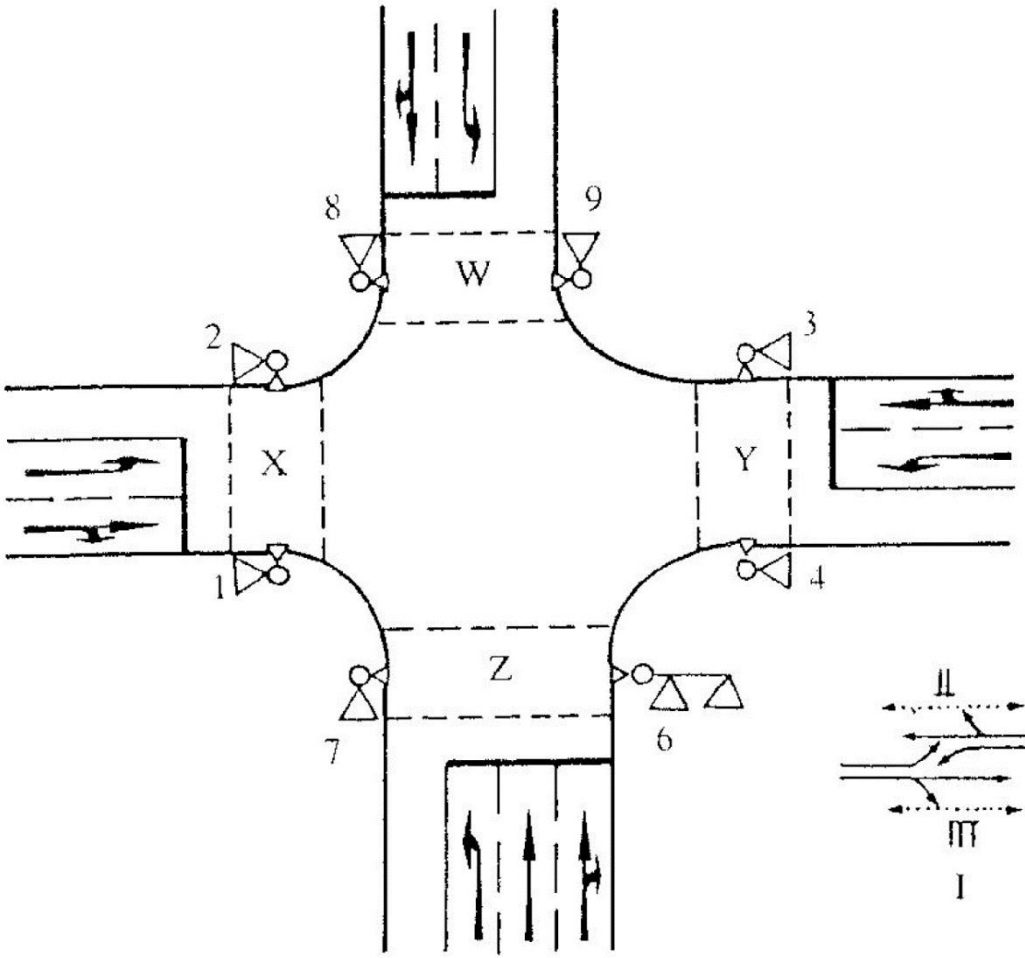
الدورة الزمنية و مراحلها (3)

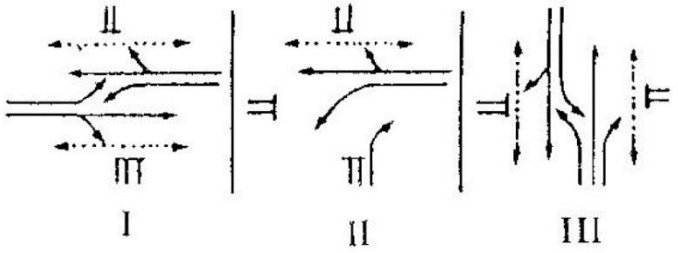


دورة
بمرحلتين

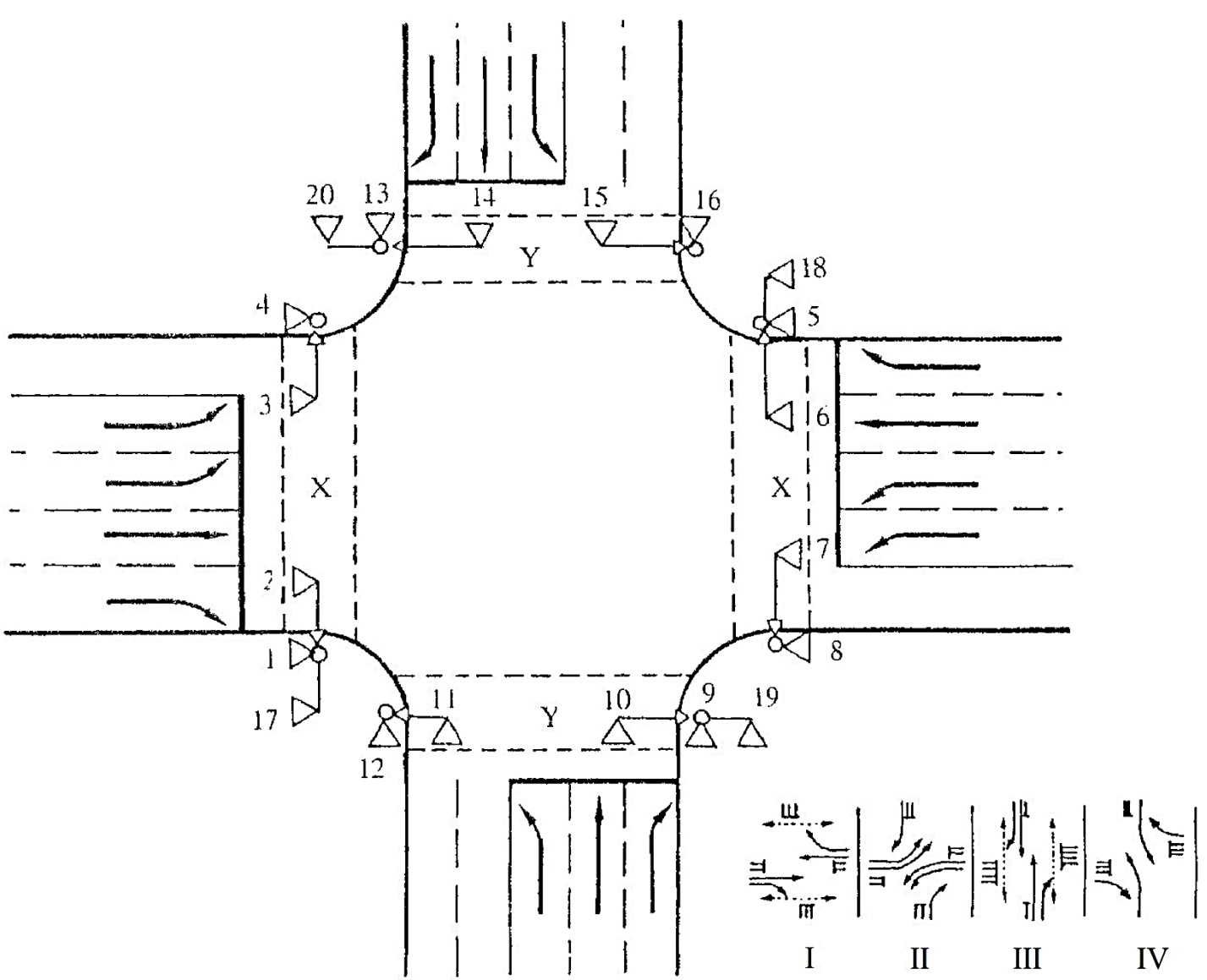
الدورة الزمنية و مراحلها (4)

دورة
بثلاث
مراحل



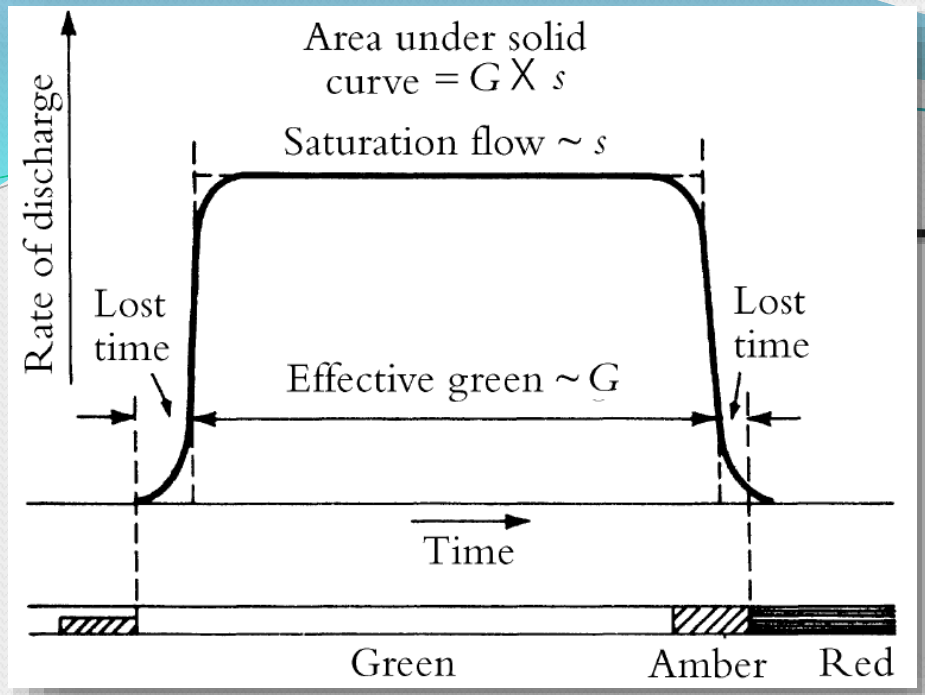


الدورة الزمنية و مراحلها (5)



دورة بأربع مراحل

أساسيات (1)



- دورة الإشارة لمجموعة من حارات المرورية تتألف من قسمين رئيسيين.

1. الزمن الأخضر الفعّال و الذي يمكن خلاله للعربات التحرك و عبور التقاطع. التدفق الأعظمي يكون معادل **لتدفق الإشباع**.

2. الزمن الأحمر الفعّال و يعادل زمن الدورة الكاملة ناقصا منه الزمن الأخضر الفعال.

- لابد من فهم العلاقة بين **الزمن الحقيقي** للضوء الأخضر و الأصفر و الأحمر و **الزمن الفعال** الأخضر و الأحمر.

- في كل مرة تبدأ العربات بالتحرك أو بالتوقف يكون لدينا زمن ضائع:

1. عند بداية الحركة أول عدة عربات مصطفة تعاني من ضياع زمن الانطلاق (l_1) و ينتج عن ذلك أن تدفق الحركة يكون أقل من تدفق الإشباع

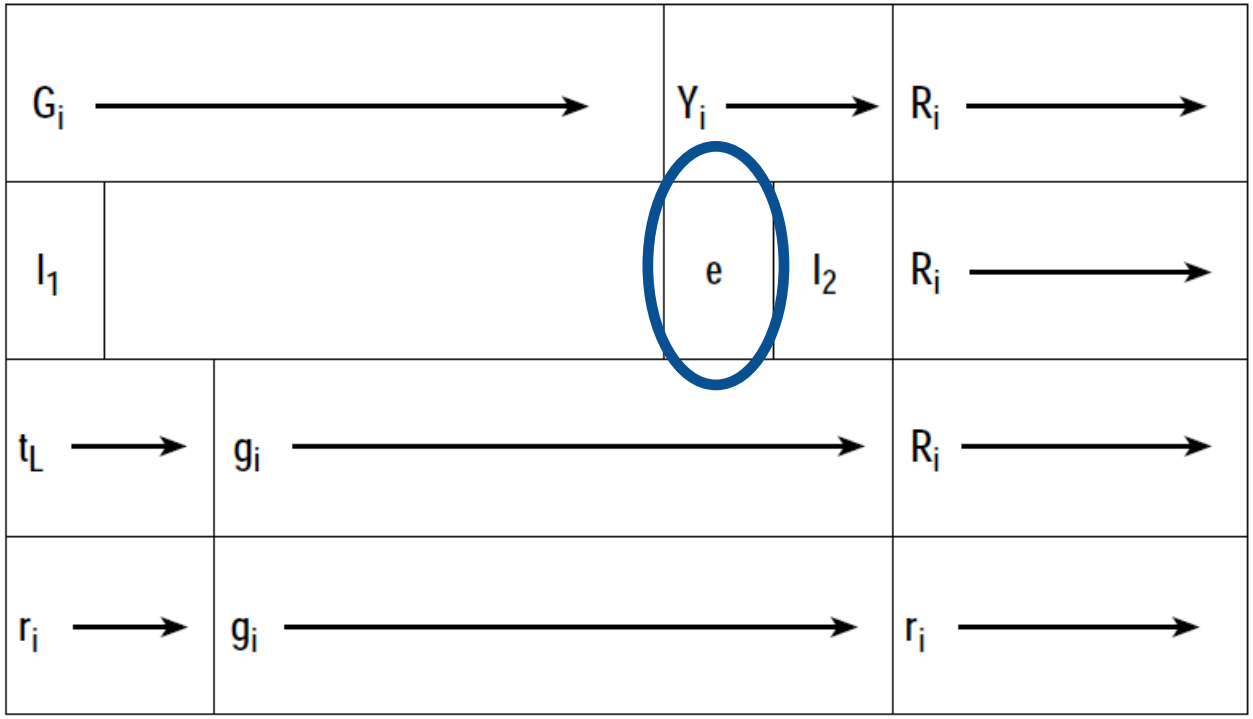
2. عند نهاية الحركة جزء من زمن التغيير والتفريغ (أصفر و باقي الأذرع أحمر) لا يستخدم من قبل الحركة نتيجة لتوقف العربات.

أساسيات (2)

- عند بداية الضوء الأصفر تتابع العربات دخول التقاطع مما يؤدي إلى زيادة فترة الضوء الأخضر الفعال بمقدار(e).
- زمن الإخلاء الضائع (l_2) يكون

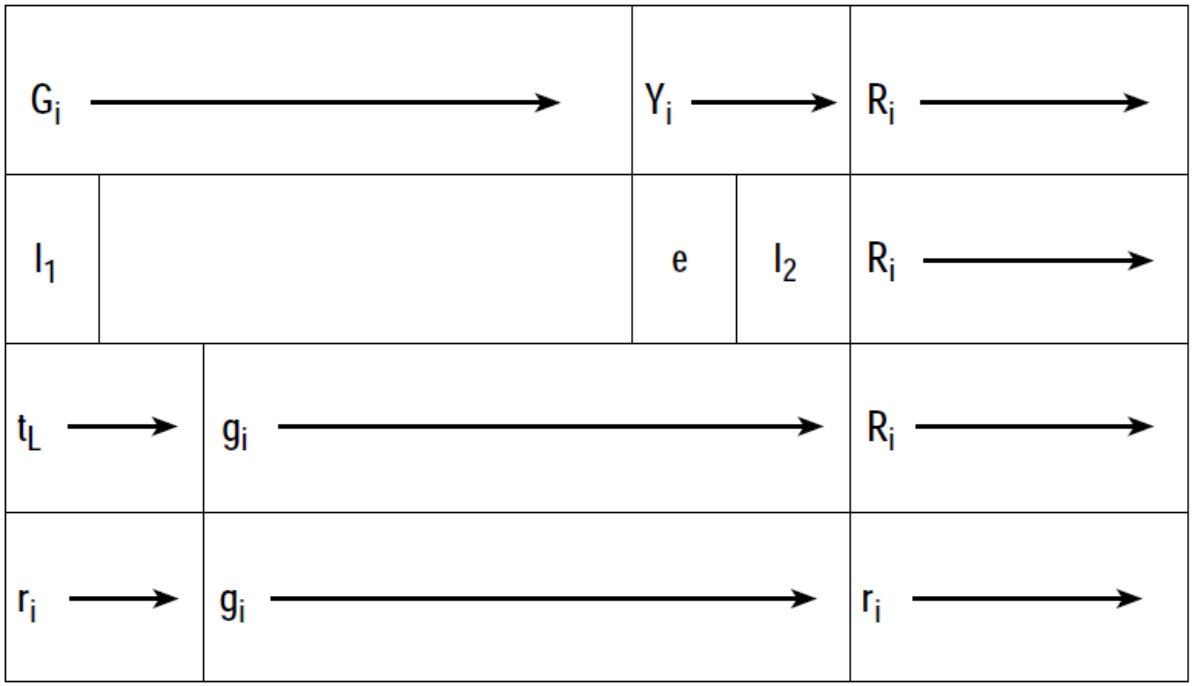
$$l_2 = Y_i - e$$

EXHIBIT 10-10. RELATIONSHIP AMONG ACTUAL GREEN, LOST-TIME ELEMENTS, EXTENSION OF EFFECTIVE GREEN, AND EFFECTIVE GREEN



أساسيات (3)

EXHIBIT 10-10. RELATIONSHIP AMONG ACTUAL GREEN, LOST-TIME ELEMENTS, EXTENSION OF EFFECTIVE GREEN, AND EFFECTIVE GREEN



- أظهرت البيانات أن زمن البدء الضائع (l_1) يكون حوالي 2 ثانية و أن زمن زيادة الضوء الأخضر الفعال (e) يكون حوالي 2 ثانية.
- العلاقة التالية يمكن استخدامها لتقدير (e) على ألا يقل عن 2 ثانية:

$$e = \delta + \frac{u_0}{2(a + G.g)}$$

Where:

- δ = زمن رد الفعل (1.5 sec).
- u_o = حدود السرعة على الطريق (m/sec)
- a = معدل التباطؤ (3 m/s^2)
- G = ميل الطريق صعود موجب نزول سالب.
- g = الجاذبية الأرضية (9.8 m/s^2)

الأساسيات (٤)

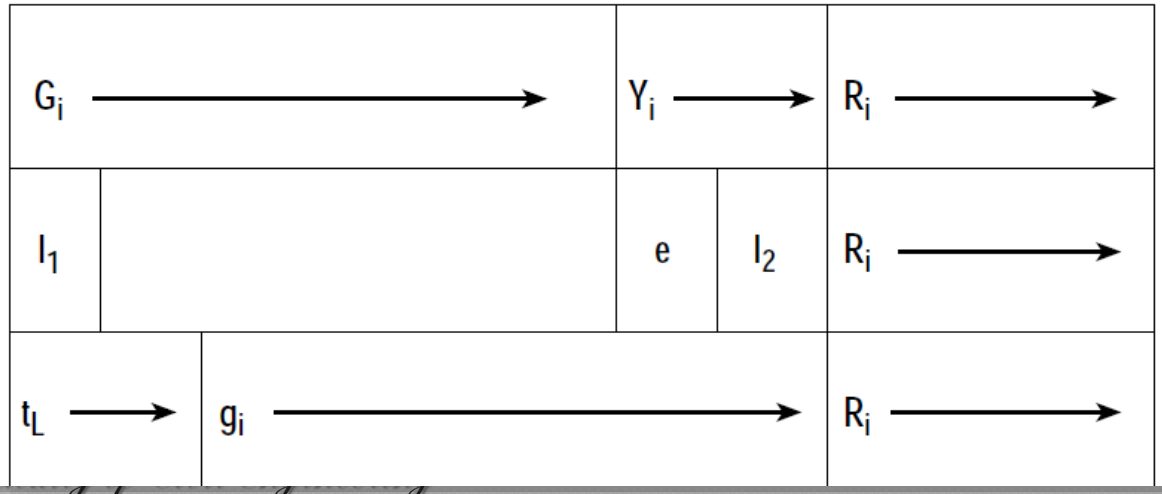
$$t_L = l_1 + l_2 = l_1 + Y_i - e \qquad (10\text{-}1)$$

$$g_i = G_i + Y_i - t_L \qquad (10\text{-}2)$$

$$r_i = R_i + t_L \qquad (10\text{-}3)$$

- الوقت الضائع لمجموعة حارات (t_L) هو مجموع وقت البدء الضائع مع وقت الإخلاء الضائع. العلاقة (10-1)
- الزمن الأخضر الفعال يساوي إلى الزمن الأخضر مضاف له الزمن الأصفر ناقصا منه الزمن الضائع. العلاقة (10-2)
- الزمن الأحمر الفعال يساوي إلى زمن الَضوء الأحمر (R_i) مضافا له الزمن الضائع (t_L). العلاقة (10-3)

EXHIBIT 10-10. RELATIONSHIP AMONG ACTUAL GREEN, LOST-TIME ELEMENTS, EXTENSION OF EFFECTIVE GREEN, AND EFFECTIVE GREEN



في الشكل 10-10 تجاوزا تم تجميع الوقت الضائع مع بعضه قبل فترة الضوء الأخضر الفعال و إزالة فترة الضوء الأصفر.

تقسيم حارات المرور إلى مجموعات

إن عملية تقسم الحارات الداخلة إلى تقطع طرقي و توزيعها إلى مجموعات سهلة و بسيطة نسبيا و هي تأخذ بعين الاعتبار الوضع الجيومتري للتقاطع و توزع و اتجاهات حركة المرور. النقاط التوجيهية التالية تؤخذ بعين الاعتبار:

- الحارات المخصصة للحركة المنعطفة يسارا تعتبر مجموعة مستقلة مالم يوجد حارة مشتركة بين الحركة العابرة للتقاطع و المنعطفة يساراً (في هذه الحالة ينظر إلى النسبة و التناسب بين الحركتين من حيث الغزارة).
- نفس ما ورد في النقطة السابقة ينطبق على الحارات المخصصة للحركة المنعطفة يمينا.
- جميع الحارات التي تحمل الحركة العابرة للتقاطع من اتجاه معين تعتبر مجموعة واحدة.
- للحارة التي تشترك عليها نوعين من الحركة (عابرة و منعطفة) إما تعتبر مخصصة للانعطاف (يسارا أو يمينا) و إن لم تكن مخصصة لذلك و يحدث هذا عندما تكون نسبة الحركة المنعطفة كبيرة نسبيا (أكثر من 75%) و إلا نعدل مقدار غزارة الأشباع بشكل نسبي.

تقسيم حارات المرور إلى مجموعات

EXHIBIT 16-5. TYPICAL LANE GROUPS FOR ANALYSIS

Number of Lanes	Movements by Lanes	Number of Possible Lane Groups
1	LT + TH + RT	① (Single-lane approach)
2	EXC LT TH + RT	②
2	LT + TH TH + RT	① OR ②
3	EXC LT TH TH + RT	② OR ③

عند تجميع عدة حارات في مجموعة معينة كل الحسابات اللاحقة تعامل هذه المجموعة كحارة واحدة لها غزارة إشباع محددة و غزارة طلب محددة

تحديد الحاجة لحارة مخصصة لحركة الانعطاف

الحركة المنعطفة يسارا: تخصيص الحارات متعلق بثلاث عوامل: [الغزارة المرورية للحركة المنعطفة – الغزارة المرورية للحركة المتعارضة معها – عوامل الأمان الطرقي]. بشكل رئيسي إذا زادت الغزارة المرورية المنعطفة يسارا عن القيم الواردة بالجدول (10-13) لابد من تخصيص حارات لها.

EXHIBIT 10-13. TURN VOLUMES PROBABLY REQUIRING EXCLUSIVE LEFT-TURN LANES AT SIGNALIZED INTERSECTIONS

Turn Lane	Minimum Turn Volume (veh/h)
Single exclusive left-turn lane	100
Double exclusive left-turn lanes	300

الحركة المنعطفة يمينا: تخصيص الحارات متعلق بنفس الأسباب المذكورة أعلاه. يمكن أن تتعارض الحركة المنعطفة يمينا مع حركة المشاة و ليس مع حركة العربات. بشكل رئيسي تخصص حارة للحركة المنعطفة يمينا إذا تجاوزت 300 عربة بالساعة و كانت الحرة العابر للتقاطع تتجاوز أيضا 300 عربة بالساعة.

عدد الحارات و بعض الصفات الأخرى

- تضاف عدد الحارات بحيث لا تتجاوز كمية الحركة لكل حارة عن 450 عربة بالساعة.
- يفضل أن لا يقل عرض الحارة عن 3.6 متر و إلا سينعكس ذلك على تدفق الإشباع.
- يجب عدم السماح بمواقف العربات و الباصات بالقرب من التقاطع و إلا سينعكس على تدفق الإشباع.

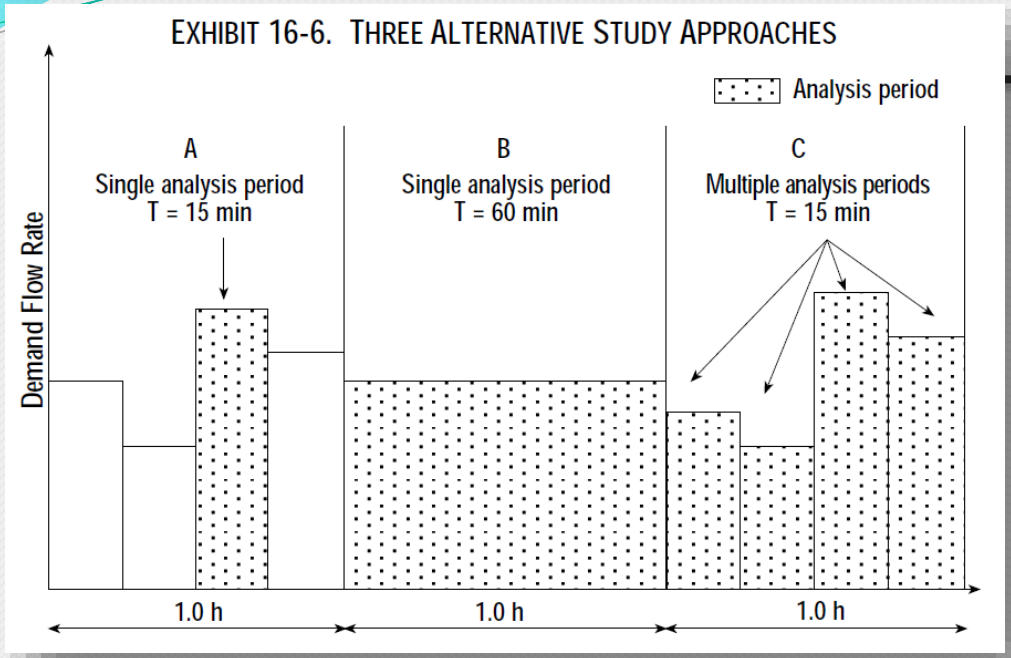
أنواع أجهزة التحكم بالإشارات الضوئية

1. **مسبقة التوقيت:** (Pre-Timed) في هذا النوع تكون مدة الدورة الواحدة ثابتة و تتضمن عدد من المراحل المتتابعة و الثابتة المدة أيضا تكون مدة للضوء الأخضر و الأصفر و الأحمر في كل مرحلة ثابتة.

2. **متغيرة التوقيت:** (Fully-Actuated) حيث يعتمد جهاز التحكم على حساسات ضمن جميع أذرع التقاطع (على الطريق) لاستشعار تواجد العربات و تكون مدة المراحل متغيرة وبين حد أعظمي و أصغري و في بعض الأحيان تسقط مرحلة كاملة من التنفيذ. الزمن الأخضر و الأحمر يكون متغير و زمن كل الدورة يكون متغير.

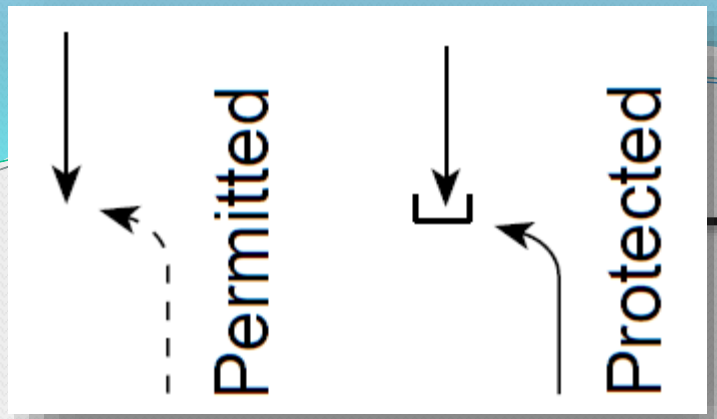
3. **متغير التوقيت جزئيا:** (Semi-Actuated) تكون عادة الحساسات ضمن أذرع التقاطع الفرعية و ليست الرئيسية حيث تكون الأولوية للطريق الرئيسي و لا تفعل المراحل الخاصة بالطريق الفرعي إلا عند تحسس وجود عربات على الطريق الفرعي.

تحديد غزارة الطلب لمجموعة حارات



- **الطريقة A :** وهي الطريقة التقليدية حيث تقاس الغزارة كل 15 دقيقة و يختار الدارس الفترة ذات التدفق الأعظمي. لاحظ أن الغزارة تقدر بـ (عربة/ساعة). مدة الزمنية التي تدرس فيها الإشارة الضوئية هي 15 دقيقة و لا تأخذ بعين الإعتبار التغير عبر الزمن.
- **الطريقة B :** حيث تقاس الغزارة على كامل الساعة و تدخل بالحساب على أساس متوسط الغزارة الساعية. تكون في هذه الحالة المدة الزمنية التي تدرس فيها الإشارة الضوئية 60 دقيقة.
- **الطريقة C :** ندرس فيها الإشارة الضوئية على كامل الساعة ولكن باعتماد تغير الغزارة من 15 دقيقة إلى أخرة لذلك يمكن للطلب أن يتجاوز السعة في بعض أجزاء الساعة الواحدة لكن على كامل الساعة يكون التأخر الزمني مسيطر عليه.

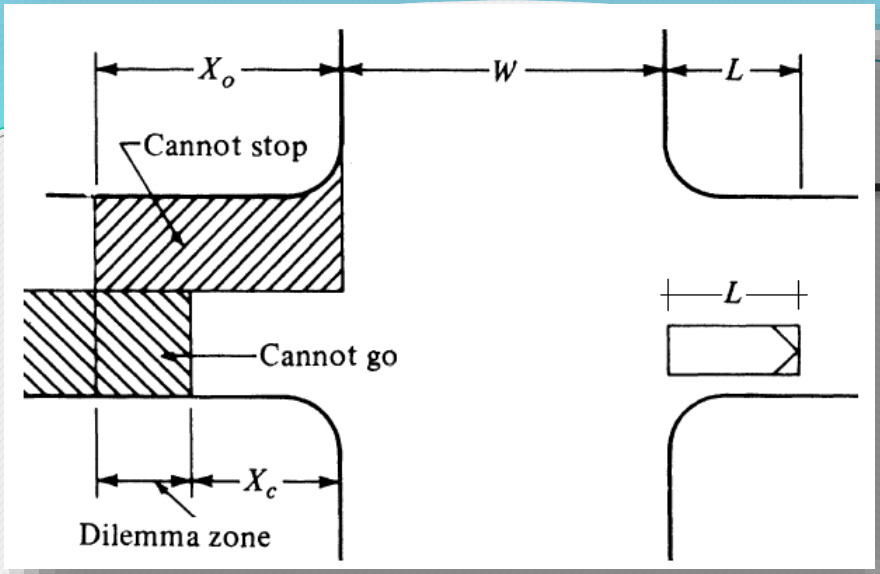
الحركة المنعطفة



- الطريقة التي يسمح فيها للحركة المنعطفة ضمن المرحلة الواحدة تؤثر بشكل كبير على سعة التقاطع.
- ضمن المرحلة الواحدة قد تكون الحركة المنعطفة محمية من الحركات المتعارضة (*Protected*) أو غير محمية (*Permitted*) أو غير متعارضة مع أي حركة (Unopposed).
- الحركة المنعطفة غير المحمية قد تتعارض مع حركة المشاة أو الدراجات الهوائية أو العربات القادمة من الاتجاه المقابل. (عادة تكون هناك حارات مخصصة لهذه الحركة)
- الحركة المنعطفة المحمية تتم بدون تعارض من حركة المشاة و الدراجات و العربات عن طريق منع هذه الحركات من اعتراض الحركة المنعطفة من خلال تخصيص مرحلة خاصة بالحركة المنعطفة. (عادة تكون هناك حارات مخصصة لهذه الحركة)
- بالنسبة للحركة غير المتعارضة ليس من الضروري تخصيص حارات محددة لها.

مجال الشك و الزمن الضائع الكلي

مجال الشك – مقدمة



- إن الاختيار الخاطئ لمدة الزمن الأصفر قد يؤدي إلى حدوث ظاهرة مجال الشك و الذي يؤدي بالسائق إلى الوقوع في حيرة القرار بين الاستمرار وعبور التقاطع أو التباطؤ و التوقف قبل بدء الضوء الأحمر
- الزمن الأصفر المطلوب يجب أن يسمح للسائق بالتوقف بشكل آمن أو بعبور التقاطع من دون زيادة السرعة
- على فرض أن (τ_{min}) هو الزمن الأصفر الأصغري المطلوب فإن المسافة المقطوعة خلال هذا الزمن من قبل عربة تسير بسرعة تعادل حدود السرعة على الطريق (u_o) و من دون أي تسارع تعادل ($u_o * \tau_{min}$).
- من أجل أن تخلي العربة التقاطع خلال الزمن الأصفر يجب عليها أن تقطع عرض التقاطع (W) مضافا له طول العربة (L) و المسافة المتبقية بين مكان العربة و بداية التقاطع (X_c).
- من أجل أن تتوقف العربة التي تسير بسرعة تعادل لـ (u_o) تحتاج إلى المسافة (X_0)

مجال الشك - حدوثه

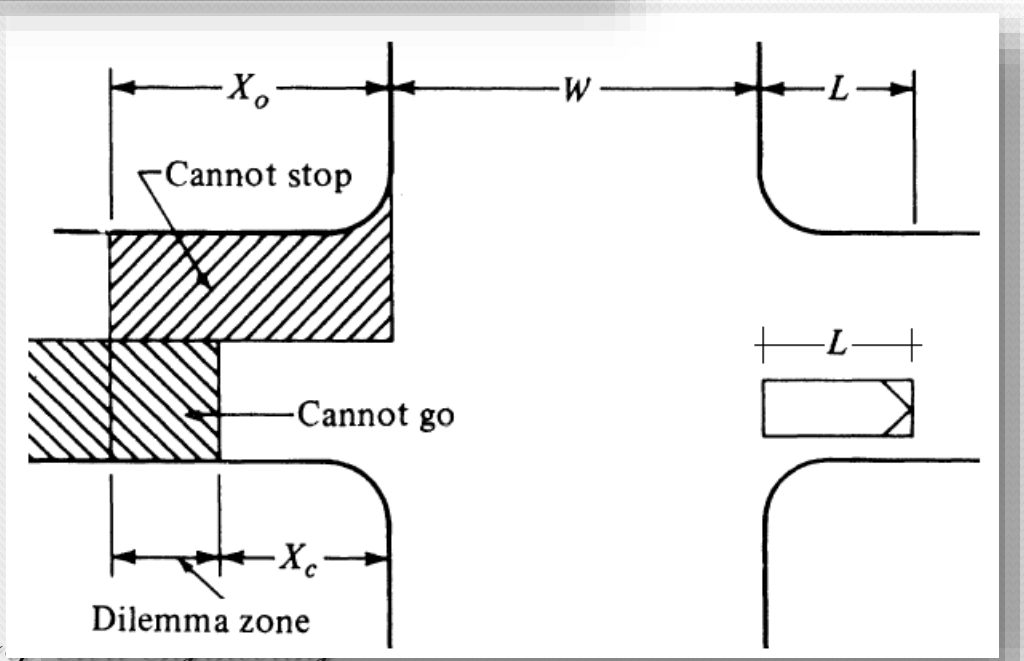
- يحدث مجال الشك عندما ($X_c < X_o$) حيث أن:

$$X_o = u_o \delta + \frac{u_o^2}{2a}$$

u_0	حدود السرعة (m/s)
δ	زمن رد الفعل (s)
a	معدل التباطؤ (m/s^2)

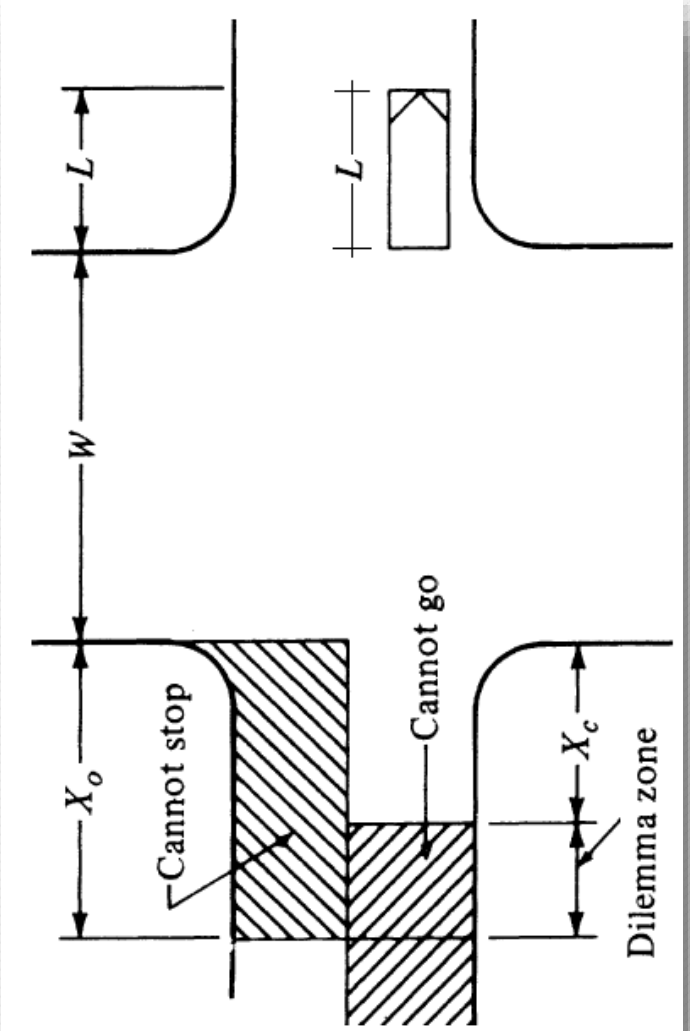
$$X_c = u_o . \tau - (W + L)$$

τ	زمن الضوء الأصفر (Sec)
L	متوسط طول العربة (5m)
W	عرض التقاطع (m)



زمن الضوء الأصفر اللازم τ_{min}

- كي لا يحدث مجال الشك يجب على الأقل أن يكون ($X_c = X_o$) و منه:



$$u_o(\tau_{\min}) - (W + L) = u_o\delta + \frac{u_o^2}{2a}$$

$$\tau_{\min} = \delta + \frac{W + L}{u_o} + \frac{u_0}{2a}$$

- مع إدخال أثر ميول الطريق تصبح العلاقة :

$$\tau_{\min} = \delta + \frac{W + L}{u_o} + \frac{u_o}{2(a + Gg)}$$

حيث :

G : ميل الطريق موجب صاعد و سالب نازل

g : تسارع الجاذبية الأرضية

خلاصة المعادلات

- كي لا يحدث مجال الشك يجب على الأقل الضوء الأصفر عن:

$$Y_{min} = \tau_{min} = \delta + \frac{W+L}{u_0} + \frac{u_0}{2(a+G.g)}$$

- الزمن الضائع قسمين l_1 و l_2 للمرحلة الواحدة

$$\begin{cases} l_1 = 2.0\ sec \\ l_2 = Y_i - \left(\delta + \frac{u_0}{2(a+G.g)}\right) \end{cases} \qquad t_L = l_1 + l_2$$

حيث :

u_0	حدود السرعة (m/s)
δ	زمن رد الفعل (s)
a	معدل التباطؤ (m/s^2)
G	ميل الطريق موجب صاعد و سالب نازل
g	تسارع الجاذبية الأرضية
L	متوسط طول العربة (5m)
W	عرض التقاطع (m)

الزمن الأخضر الفعال

$$g_i = G_i + Y_i - t_L$$

الزمن الأحمر الفعال:

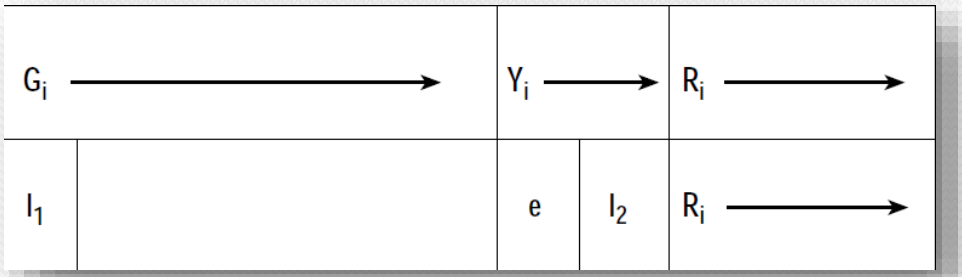
$$r_i = R_i + t_L$$

الزمن الضائع الكلي L

خلال كامل دورة إشارة المرور عند تقاطع طرقي

الزمن الضائع لمجموعة حارات (i) هو مجموع زمن البدئ الضائع و زمن الإخلاء الضائع:

$$t_{Li} = l_{1i} + Y_i - \underbrace{\left(\delta + \frac{u_0}{2(a+G.g)}\right)}_{e_i}$$



ملاحظة هامة :

Y_i تتضمن فترة الأحمر الكامل عند وجودها بين المرحلة i و التي تليها

$$Y_i = \tau_i + R_i$$

τ_i زمن الضوء الأصفر لتجنب حالة الشك (Sec)

R_i مقدار زمن الأحمر العام بين المرحلة i و المرحلة التي تليها.

و عليه يكون مجموع كامل الزمن الضائع لكل المراحل المشكلة للدورة الزمنية (L).

$$L = \sum_{i=1}^{\emptyset}\left(l_{1_i} + \tau_i + R_i - e_i\right)$$

Thank You For Listening