

# Lecture Ten

## Signal Timing Design

### Summary of Signal Design

#### Signal Phase Plans

- ✚ Treatment of Left Turns
- ✚ General Considerations
- ✚ Phase and Ring Diagram
- ✚ Common Phase Plans and Their Use

- خطة تصميم الإشارة الضوئية
- معالجة حركة الإنعطاف نحو اليسار
  - إعتبارات عامة
  - رسم التوضيحي للطور والحلقة
  - الخطة العامة للطور مع إستخداماتها

#### Vehicular Needs

- ✚ Change and Clearance Intervals
- ✚ Determine Lost Times
- ✚ Determine Critical Lane Volumes
- ✚ Desired Cycle Length
- ✚ Splitting the Green

- متطلبات الخاصة بالمركبات
- فترة التغير والتخليص
  - تحديد الزمن الضائع
  - تحديد حجم الممر الحرج
  - تحديد طول الدورة المطلوب
  - تحديد أطوار الإشارة الخضراء

#### Pedestrian Needs

Left turns can be handled in two ways:

- ✚ Permitted Left Turn

متطلبات السابلة  
يتم معالجة حركة الإنعطاف نحو اليسار بطريقتين:  
حركة الإنعطاف المسموحة- مسموح الحركة مع الحجم المروري المتعارض.  
حركة الإنعطاف المحمية- الحركة محمية بإشارة ضوئية ويتم إيقاف الحجم المتعارض.

- Left turn is allowed along with opposing through movement
- ✚ Protected Left Turn
- The left turn is allowed when opposing through movement is stopped

- ✚ Two conditions need to be met for a left turn to be protected

- ✚ Condition-1 (Left Turn Flow Rate)

$$V_{LT} \geq 200 \text{ veh/hour}$$

- ✚ Condition-2 (Cross-Product Rule)

$$xprod = V_{LT} * (v_0 N_0) \geq 50,000$$

هناك شرطين يجب تحققهما لجعل الحركة للإنعطاف محمية:  
الشرط ١: حجم المرور لحركة الإنعطاف أكبر من ٢٠٠ مركبة/ساعة  
الشرط ٢: حاصل ضرب حجم الإنعطاف مع الحجم المتعارض حسب عدد الممرات يجب أن يكون أكبر ٥٠٠٠٠ مركبة/ساعة

Where:

$V_{LT}$ : Left-turn flow rate, veh/hr **معدل التدفق للإنعطاف نحو اليسار، مركبة/ساعة**

$V_0$ : Opposing through movement flow rate, veh/hr **الحجم المروري الأمامي المتعارض، مركبة/ساعة**

$N_0$ : Number of lanes for opposing through movement **عدد الممرات للحركة الأمامية المتعارضة**

## General Considerations ملاحظات عامة

- ❖ Phasing can be used to minimize crash risks by separating competing movements  
إستخدام الأطوار لتقليل خطورة التصادم عن طريق فصل الحركات المتعارضة

- ❖ All phase plans must be in accordance with MUTCD

يجب أن تكون جميع خطط الأطوار متوافقة مع دليل الموحد لأجهزة التحكم المرورية

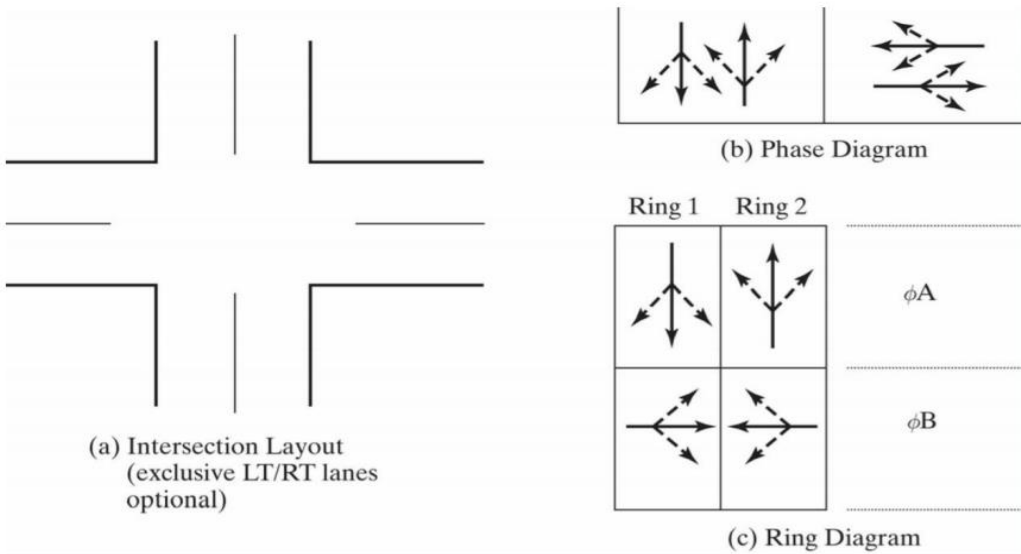
The phase plans must be consistent with intersection geometry

يجب أن تكون خطط الأطوار متوافقة مع التصميم الهندسي للتقاطع

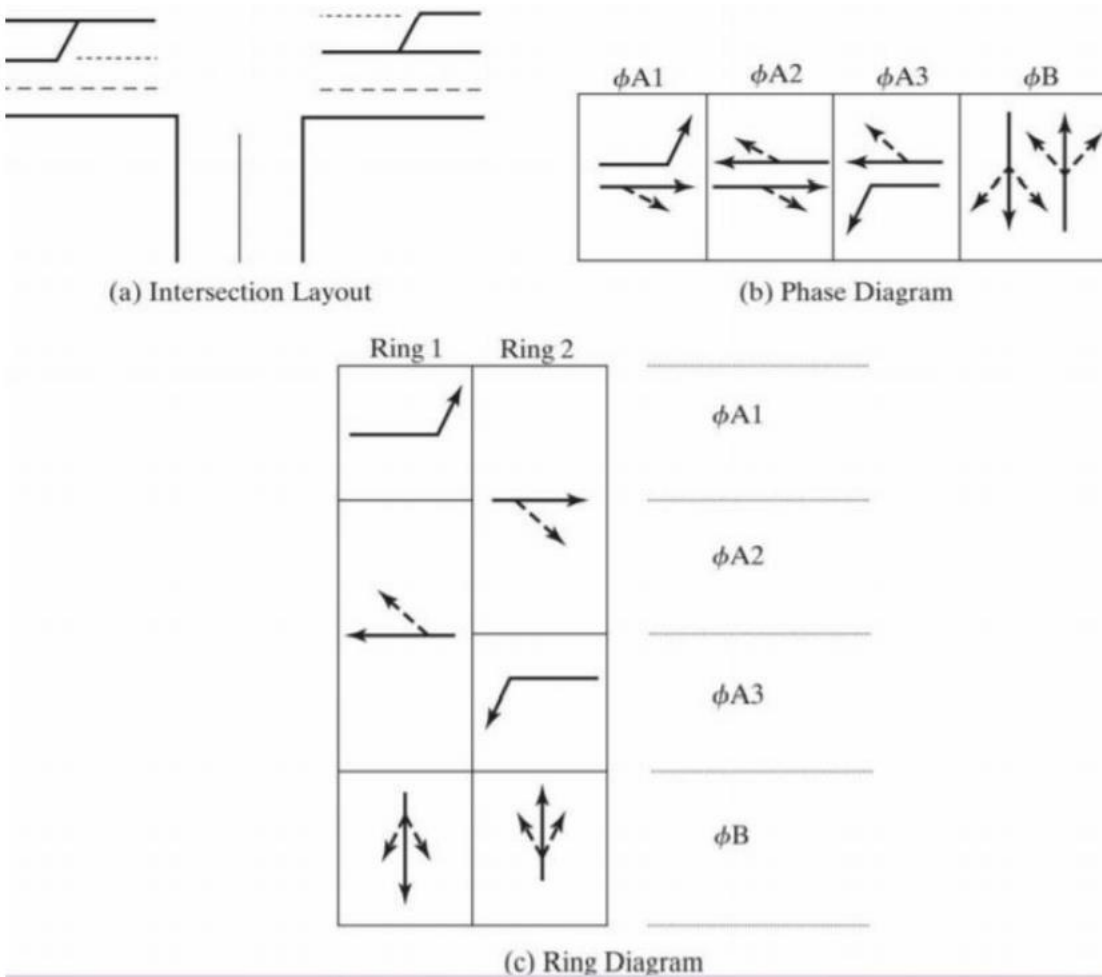
## Signal Phase and Arrows Illustration

|                                                                                                                                                                                                                       |  |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|
| Through movement without turning movement.<br>الحركة الأمامية بدون إنعطاف                                                                                                                                             |  |
| Through movement with protected right and left turns from shared lanes.<br>الحركة الأمامية مع حركة أنعطاف نحو اليسار واليمين محمية بإستخدام ممرات مشتركة                                                              |  |
| Through movement with permitted right and left turns from shared lanes.<br>الحركة الأمامية مع حركة أنعطاف نحو اليسار واليمين مسموحة بإستخدام ممرات مشتركة                                                             |  |
| Through movement with protected left turn from exclusive lane and permitted right turn from shared lane.<br>الحركة الأمامية مع حركة أنعطاف نحو اليسار محمية معزولة وحركة إنعطاف نحو اليمين مسموحة بإستخدام ممر مشترك  |  |
| Through movement with permitted left turn from exclusive lane and permitted right turn from shared lane.<br>الحركة الأمامية مع حركة أنعطاف نحو اليسار معزولة مسموحة وحركة إنعطاف نحو اليمين مسموحة بإستخدام ممر مشترك |  |

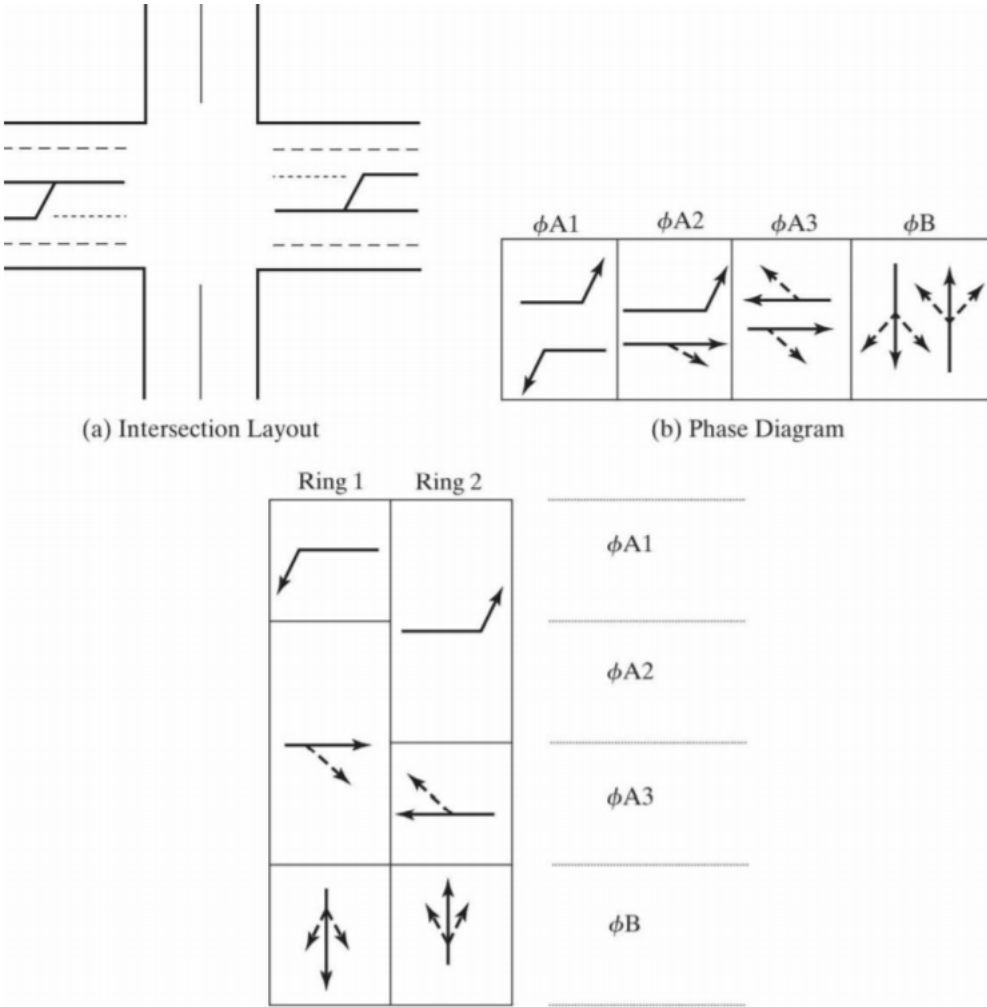
## Two Phase Signal إشارة ضوئية ذات طورين



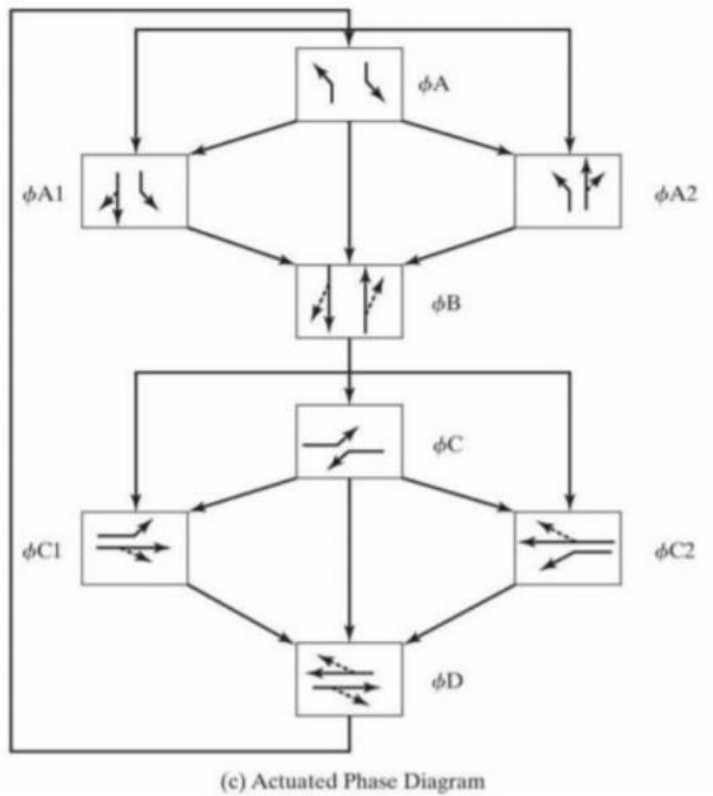
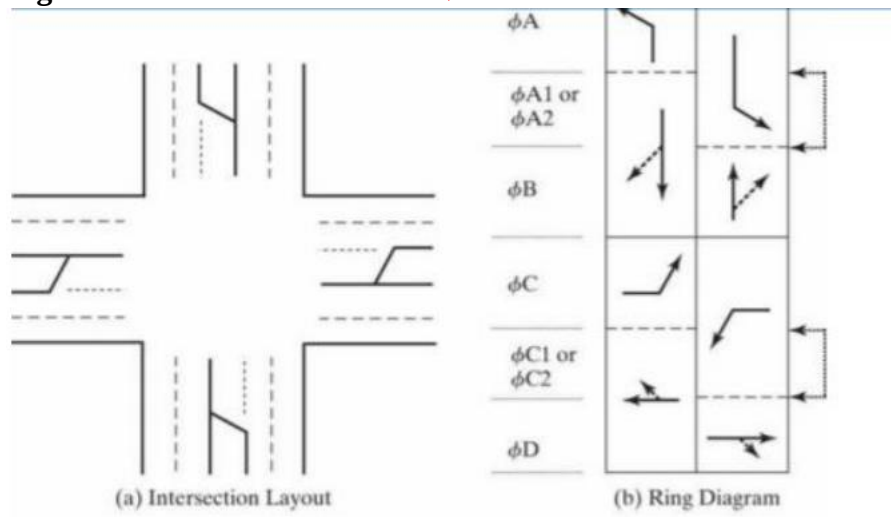
## Exclusive Left Turn Phase طور لحركة الإنعطاف نحو اليسار المعزولة



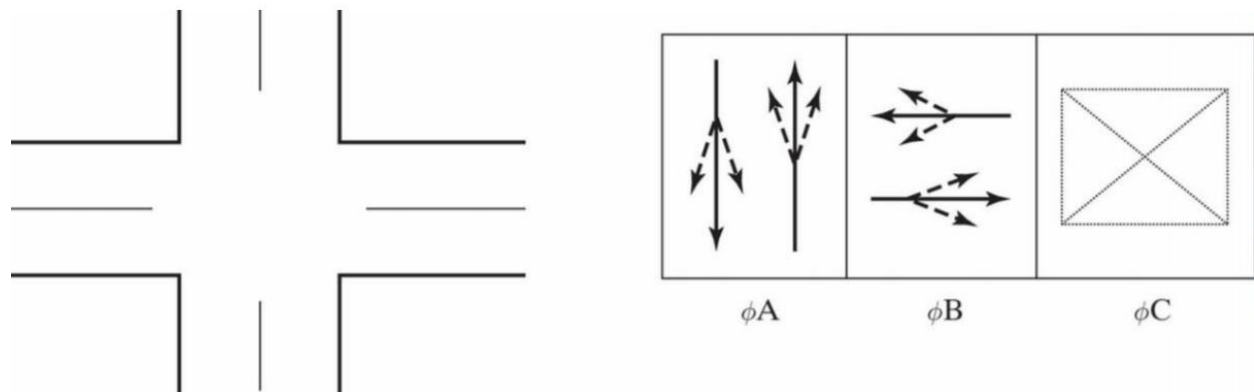
طور لحركة الإنعطاف نحو اليسار المعزولة Exclusive Left Turn Phase and Leading Green Phase



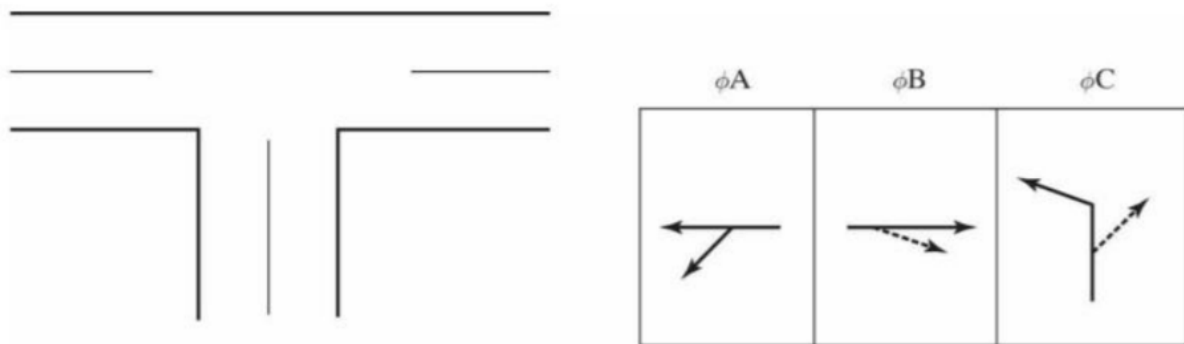
## Eight-Phase Actuated Control ٨ أطوار مفعلة التحكم



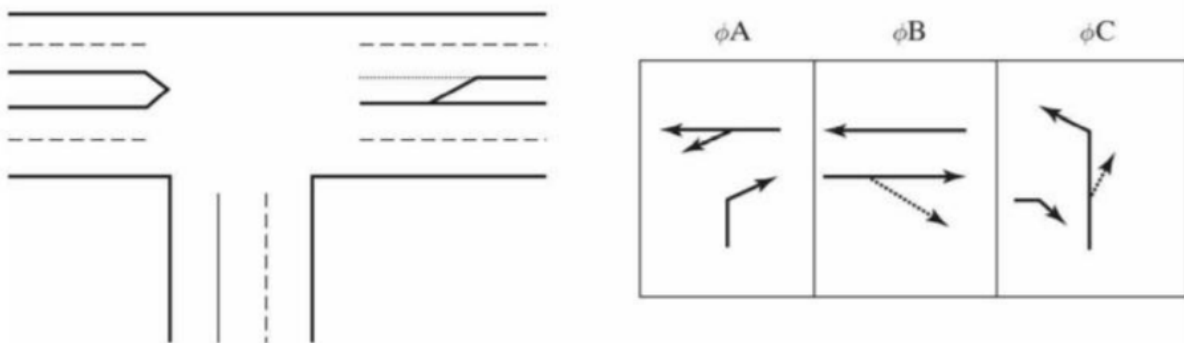
## Exclusive Pedestrian Phase طور معزول للمشاة



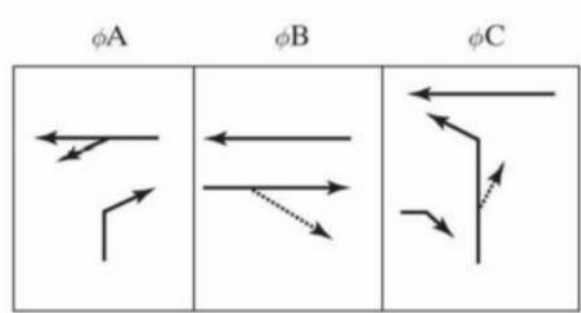
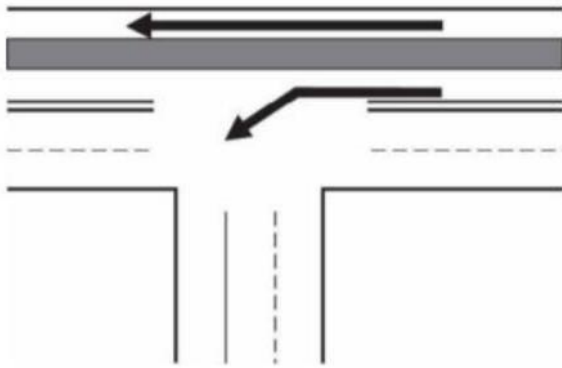
## Operations at T-intersections التشغيل في التقاطع من نوع T



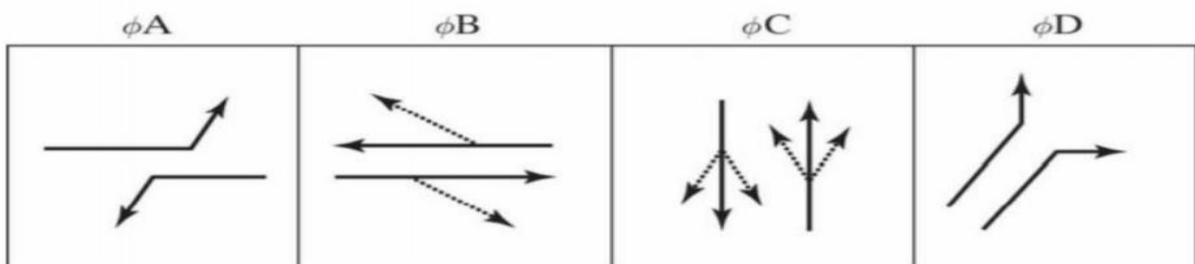
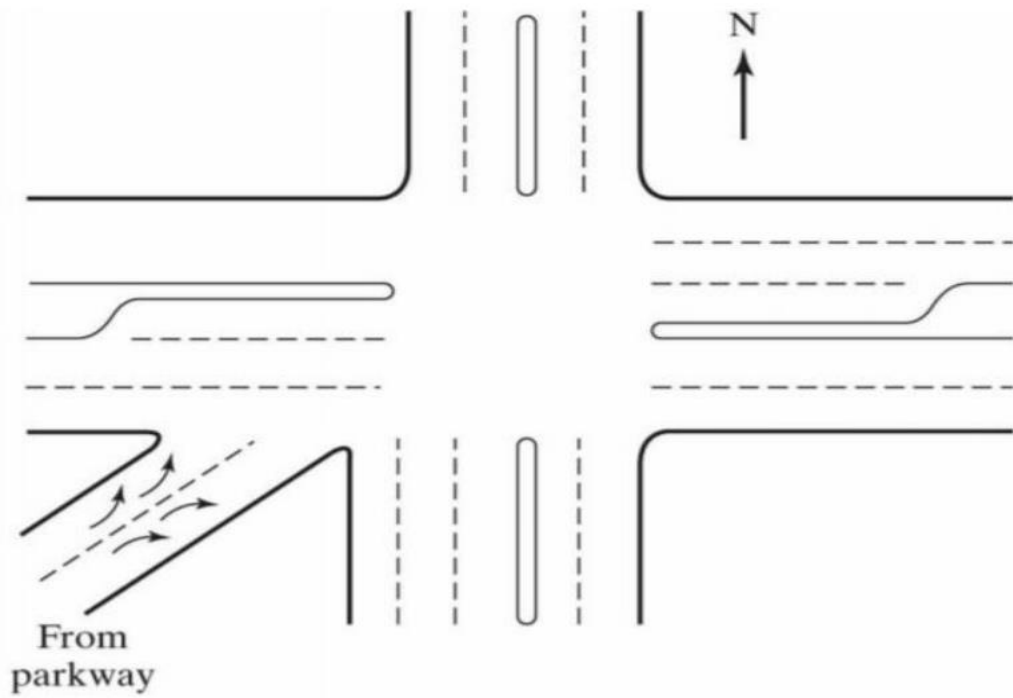
طور محمي بدون ممر أيسر (a) T-Intersection, No LT Lane, Protected Phasing



طور محمي مع ممر أيسر (b) T-Intersection, LT Lane, Protected Phasing



**Five Leg Intersection** تقاطع خماسي الأذرع



## Vehicular Signal Requirements – Change and Clearance Interval

### Change Interval (Yellow) فترة التغيير (الإشارة الصفراء)

- This interval allows that is one safe stopping distance away from the STOP line when GREEN is withdrawn to continue at the approach speed and enter the intersection legally on yellow.

فترة التغيير (الإشارة الصفراء): تسمح بالتوقف الآمن للمركبة من خط التوقف عندما تتغير الإشارة الخضراء إلى الإشارة الحمراء في المقرب المعني عند دخول التقاطع بصورة قانونية في فترة الإشارة الصفراء.

### Clearance Interval (All-Red) فترة التخليص (الإشارة الحمراء الكلية)

- Assuming that a vehicle has just entered the intersection legally on yellow, the all-red must provide sufficient time for the vehicle to cross the intersection and clear its back bumper past the far curb line (crosswalk line) before conflicting vehicles that are given GREEN.

فترة التخليص (الإشارة الحمراء الكلية): على فرض أن بعض المركبات قد دخلت التقاطع بصورة قانونية، إشارة الحمراء الكلية تعطي مزيد من الوقت حتى تستطيع عبور التقاطع وعبور الخلفية للمركبة خط العبور (خط الرصيف) قبل التعارض مع المركبات المتعاكس عند بدء الإشارة الخضراء لهم.

### Change Interval فترة التغيير (الإشارة الصفراء)

The methodology for determining the length of yellow or change interval:

المنهجية المعتمدة في حساب طول فترة التغيير أو الإشارة الصفراء كمايلي:

$$y = t + \frac{1.47S_{85}}{2a + (64.4 * 0.01G)} \quad [1]$$

#### Where:

y: Length of the yellow interval طول فترة التغيير أو الإشارة الصفراء

t: Driver reaction time, s زمن الإدراك ورد الفعل بالثواني

S<sub>85</sub>: 85th percentile speed of approaching vehicles or speed limit in mi/hr السرعة المقترية للتقاطع أو السرعة

a: Deceleration rate of vehicles, ft/sec معدل التباطئ للمركبة بوحدة قدم/ثانية

G: Grade of approach, % الميل أو المنحدر للمقرب بوحدة %

### Clearance Interval فترة التخليص (إشارة الحمراء الكلية)

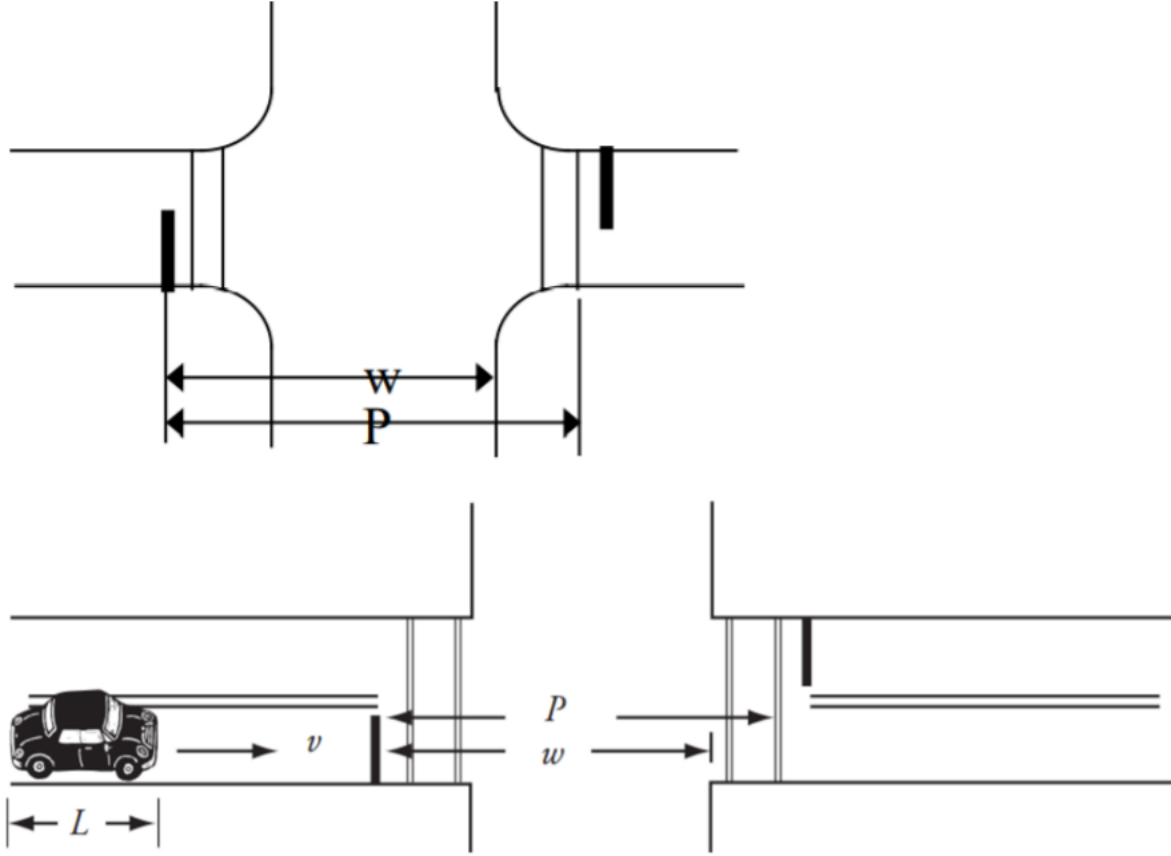
$$\text{All-Red} = AR = \frac{W+L}{V} \text{ or } \frac{P}{V} \text{ or } \frac{P+L}{V} \quad [2]$$

L = length of the clearing vehicle, normally 20 feet طول المركبة عادة ٢٠ قدم

W = width of the intersection in feet, measured from the upstream stop bar to the downstream extended edge of pavement عرض التقاطع بالقدم، تقاس من خط الوقوف في المنبع إلى حافة التبليط في المصب للتقاطع

P = width of the intersection (feet) measured from the near-side stop line to the far side of the farthest conflicting pedestrian crosswalk along an actual vehicle path

عرض التقاطع بالقدم، تقاس من خط الوقوف القريب الى الجانب البعيد من ممر السابلية المتعارض الأبعد على طول مسار المركبة الفعلي



### Determining Lost Time حساب زمن الضائع

Start-up lost time,  $l_1 = 2.0$  sec/phase زمن البدء الضائع، ٢ ثانية/طور

Motorist use of yellow and all-red,  $e = 2.0$  sec/phase زمن التغيير ٢ ثانية/طور، زمن الأحمر الكلي ٢ ثانية/طور

$$l_2 = Y - e$$

[3]

$$Y = y + ar$$

$$T_L = l_1 + l_2$$

[4]

### Determining the Sum of Critical Lane Volumes حساب مجموع حجومات الممرات الحرجة

CLV is the per-lane volume that controls the required length of a particular phase

حجومات الممرات الحرجة هو الحجومات التي تحكم طول الطور المخصص

What is the need?

- Volumes cannot be simply compared. Trucks require more time than passengers and left and right turns to require more time than through vehicles.



نحتاج مايلي:  
الحجومات المرورية لاتقارن لأن الشاحنات تحتاج وقت أطول من المركبات الصغيرة وحركات الإنعطاف لليسار واليمين من الحركة الامامية

- لا يتم حساب شدة الطلب بواسطة الحجم
- When phasing involves overlapping elements, then ring diagrams must be carefully examined to determine which flows constitute CLVs
- عندما تشمل الاطوار عناصر متداخلة، يجب فحص المخططات للحلقة بدقة لتحديد التدفقات التي تتضمن الحجم

معامل مكافئ حركة الإنعطاف نحو اليسار موضح في الجدول رقم ١ Through Vehicle Equivalents-Left Turn

Table1. Through Vehicle Equivalents-Left Turn vehicles, VLT

| الحجوم المرورية المتعارضة مركبة /ساعة<br>Opposing Flow<br>$V_o$ (veh/h) | عدد الممرات المتعارضة<br>Number of Opposing Lanes, $N_o$ |       |       |
|-------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|-------|-------|
|                                                                         | 1                                                        | 2     | 3     |
| 0                                                                       | 1.1                                                      | 1.1   | 1.1   |
| 200                                                                     | 2.5                                                      | 2.0   | 1.8   |
| 400                                                                     | 5.0                                                      | 3.0   | 2.5   |
| 600                                                                     | 10.0*                                                    | 5.0   | 4.0   |
| 800                                                                     | 13.0*                                                    | 8.0   | 6.0   |
| 1,000                                                                   | 15.0*                                                    | 13.0* | 10.0* |
| $\geq 1,200$                                                            | 15.0*                                                    | 15.0* | 15.0* |
| $E_{LT}$ for all <i>protected</i> left turns = 1.05                     |                                                          |       |       |
| *The LT capacity is only available through “sneakers.”                  |                                                          |       |       |

معامل مكافئ حركة الإنعطاف نحو اليمين كما موضح في الجدول ٢ Through Vehicle Equivalents Right Turn

Table 2. Through Vehicle Equivalents Right Turn

| حجم السابلة في ممر العبور المتعارض<br>Pedestrian Volume<br>in Conflicting<br>Crosswalk, (peds/h) | معامل مكافئ حركة الإنعطاف نحو اليمين<br>Equivalent |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|
| None (0)                                                                                         | 1.18                                               |
| Low (50)                                                                                         | 1.21                                               |
| Moderate (200)                                                                                   | 1.32                                               |
| High (400)                                                                                       | 1.52                                               |
| Extreme (800)                                                                                    | 2.14                                               |

### Determining Desired Cycle Length حساب طول الدورة المطلوب

$$C_{des} = \frac{L}{1 - \left[ \frac{V_c}{1615 * PHF * \left( \frac{V}{c} \right)} \right]} \quad [5]$$

#### Where:

$C_{des}$ : Desirable cycle length, s طول الدورة المطلوب بالثواني

L: Total lost time per cycle, s/cycle زمن الضائع الكلي، ثانية/دورة

PHF: Peak Hour Factor معامل ساعة الذروة

$\frac{V}{c}$ : Target v/c ratio for the critical movements in the intersection نسبة الحجم/السعة للحجم الحرج في التقاطع

$V_c$ : Sum of critical lane volumes مجموع الحجوم الحرجة

### Splitting Green

- Total Effective Green Time, حساب الزمن الأخضر الفعال

$$g_{TOT} = C - L \quad [6]$$

#### Where:

$g_{TOT}$ : Total effective green time in the cycle, sec الزمن الأخضر الفعال الكلي بالثواني

C: Cycle length, sec طول الدورة بالثواني

L : Total lost time, sec زمن الضائع الكلي بالثواني

- Effective Green Time for phase i, زمن الأخضر الفعال لكل طور

$$g_i = g_{TOT} * \left( \frac{V_{ci}}{V_c} \right) \quad [7]$$

#### Where:

$g_i$ : Effective green time for phase i, sec زمن الأخضر الفعال لكل طور بالثواني

$g_{TOT}$ : Total effective green time per cycle, sec زمن الأخضر الفعال الكلي لكل دورة بالثواني

$V_{ci}$ : CLV for phase or sub-phase i, veh/hr الحجم الحرج لكل طور مركبة/ثانية

$V_c$ : Sum of all CLVs مجموع الحجوم الحرجة

### Pedestrian Signal Requirements متطلبات إشارة السابلية

- Till this point, we have covered vehicular requirements. تم توضيح كافة المتطلبات للحجوم
- Pedestrians, however, must be accommodated by the signal timing.

السابلية يجب أن تتواءم مع الإشارة الضوئية

- Problems arise because vehicular and pedestrian are quite different.

تنشأ المشاكل عندما تختلف الحجوم المرورية والسابلية

- Consider the case of an intersection between a major arterial and a minor collector.  
النظر في الإعتبار حالة التقاطع شريان رئيسي مع جامع ثانوي
- More green time is given to the major arterial, while pedestrians are given more time to cross the collector. يتم إعطاء مزيد من الوقت الأخضر للشریان الرئيسي ووقت أكبر للسابلة لعبور الجامع الثانوي
- However, less green time is given to the collector, and the pedestrians have less time to cross the major arterial. يتم إعطاء وقت أخضر أقل للجامع، ووقت أقل لعبور السابلة على الشريان الرئيسي
- A minimum green time requirement must be followed to accommodate the requirements of pedestrians. يجب إستخدام الحد الأدنى لوقت الأخضر لإستيعاب متطلبات السابلة

### Minimum Pedestrian Crossing Time الحد الأدنى لزمن عبور السابلة

$$G_p = 3.2 + \left(2.7 * \frac{N_{ped}}{W_E}\right) + \frac{L}{S_p} > 10 ft \quad [8]$$

$$G_p = 3.2 + (2.7 * N_{ped}) + \frac{L}{S_p} \leq 10 ft \quad [9]$$

#### Where:

$G_p$ : Minimum pedestrian crossing time الحد الأدنى لزمن عبور السابلة

$L$ : Length of the crosswalk, ft طول ممر العبور بوحدات القدم

$S_p$ : Average walking speed of the pedestrians معدل سرعة المشي للسابلة

$N_{ped}$ : Number of pedestrians crossing per cycle in a single crosswalk,  $N_{ped}$  عدد عبور السابلة في الدورة

$W_E$ : Width of the crosswalk, ft عرض ممر العبور بوحدات قدم

#### Significance of each Term

- 3.2: Allocated as minimum start-up time for pedestrians الوقت المخصص الأدنى لبدا الحركة
- $L/S_p$ : Time to cross safely الوقت لعبور آمن للسابلة
- Additional start-up time based on the volume of pedestrians that need to cross the street وقت البدء الإضافي يعتمد على حجم السابلة الذي يحتاجون عبور التقاطع

### Pedestrian WALK Indication إشارة المشي للسابلة

$$WALK_{min} = 3.2 + \left(2.7 * \frac{N_{ped}}{W_E}\right) \text{ for } W_E > 10 ft \quad [10]$$

$$WALK_{min} = 3.2 + (2.7 * N_{ped}) \text{ for } W_E \leq 10 ft \quad [11]$$

## DO NOT WALK Indication إشارة عدم المشي للسابلة

- The flashing DON'T WALK indication is most often given by  $\frac{L}{s_p}$   
ومضة إشارة عدم المشي للسابلة تحسب  $\frac{L}{s_p}$
- Generally measured from the end of the vehicular all-red phase  
عادة تحسب بعد نهاية إشارة الأحمر الكلي للمركبات

## Signal Timing Viable for Pedestrians حساب الإشارة الضوئية للسابلة

$$G_p \leq G + y + ar$$

[12]

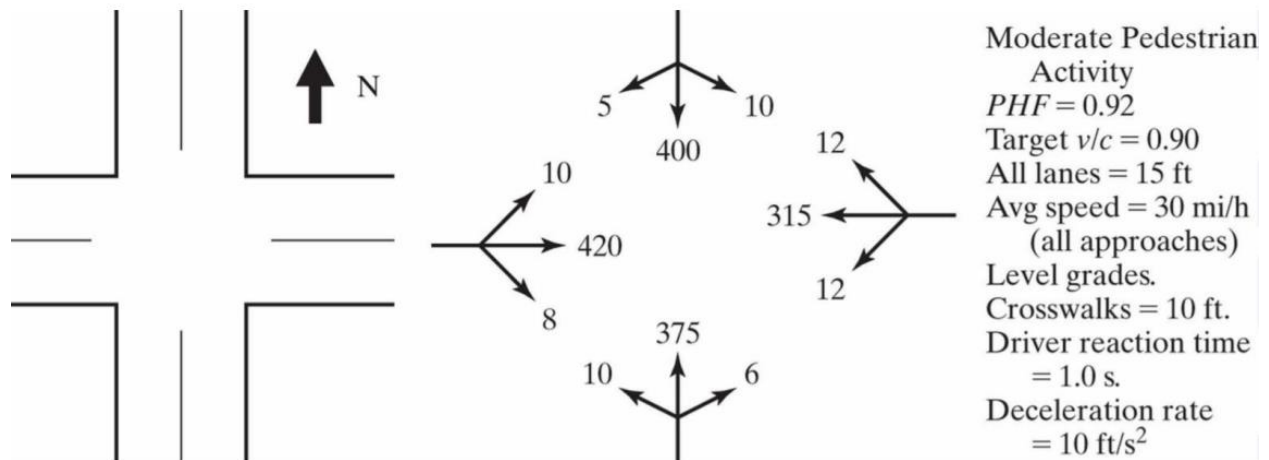
Or

$$G_p \leq G + y$$

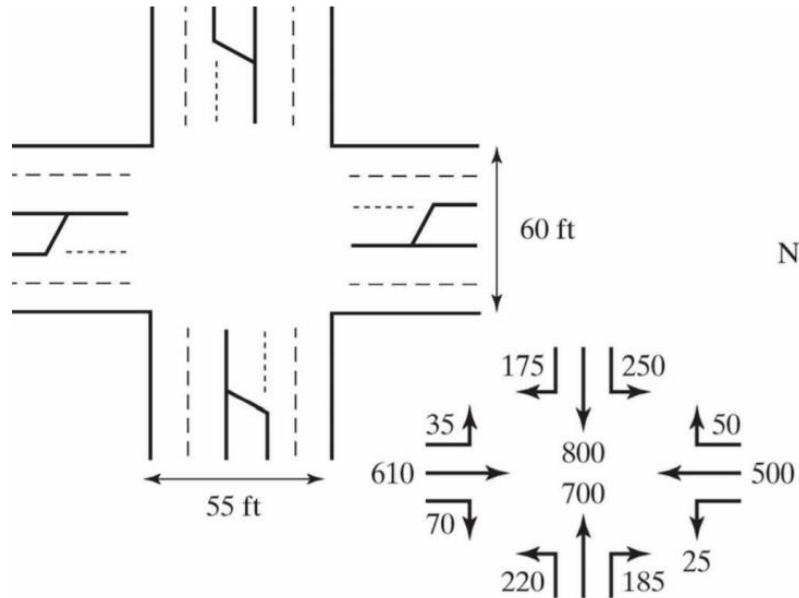
Or

$$G_p \leq G$$

### H.W.1



## H.W.2



$PHF = 0.92$

Target  $v/c$  ratio = 0.90

Driver reaction time = 1.0 s

Ped walking speed = 4.0 fps

Speed limit = 45 mi/h

(all approaches)

Moderate pedestrian volumes

Level grades

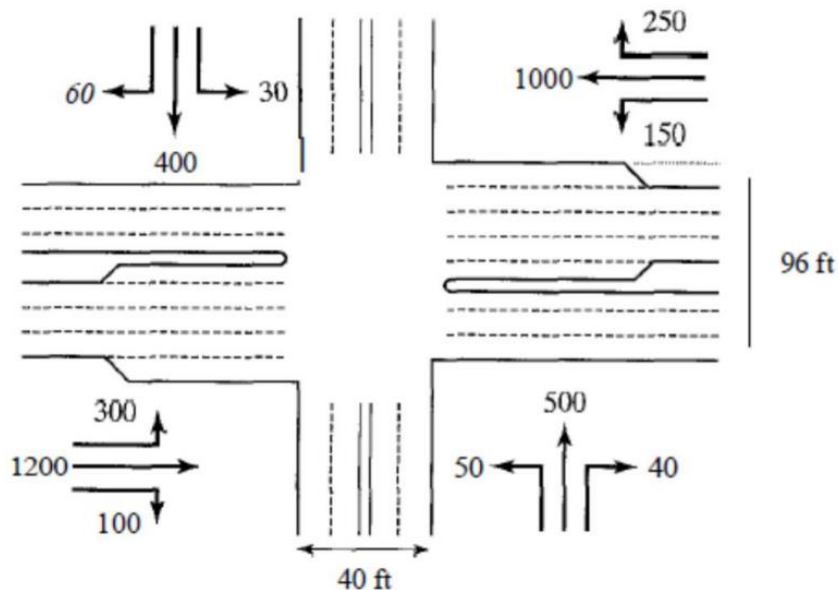
Deceleration rate =  $10 \text{ ft/s}^2$

Crosswalk width = 10 ft

Default  $\ell_1 = 2.0 \text{ s}$

Default  $e = 2.0 \text{ s}$

## H.W.3



$PHF = 0.85$

Target  $v/c$  = 0.90

E-W Avg. speed = 50 mi/h

N-S Avg. speed = 35 mi/h

Deceleration =  $10 \text{ ft/s}^2$

Level grades

Driver reaction time = 1.0 s

Default  $\ell_1 = 2.0 \text{ s}$

Default  $e = 2.0 \text{ s}$