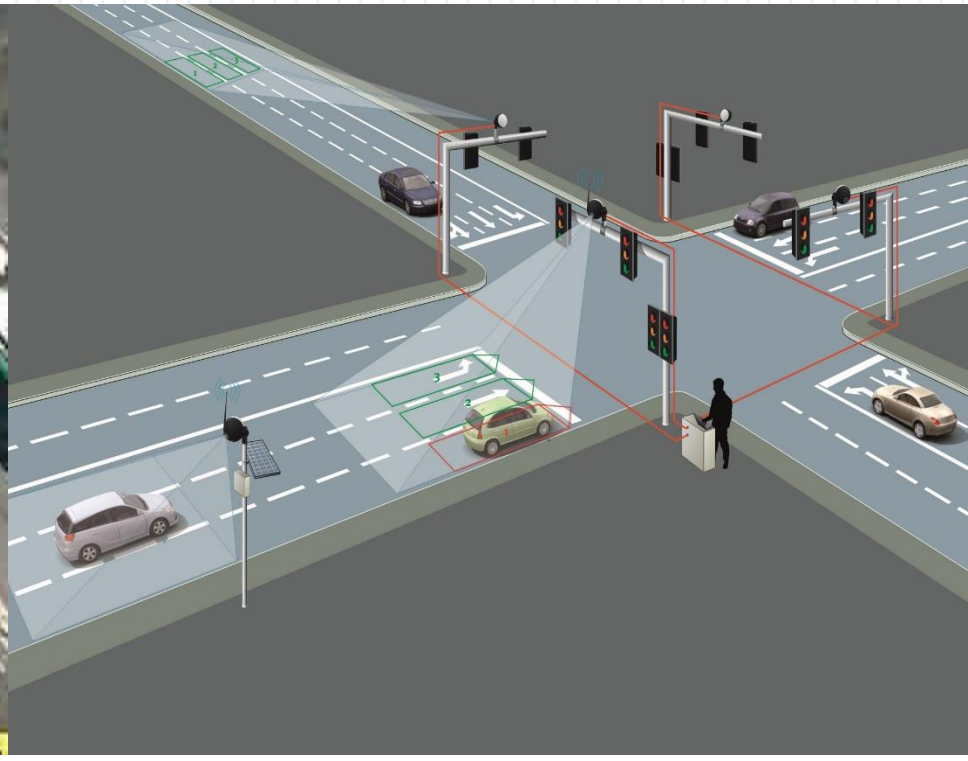
جامـــعة دمـــشق
كليـــــة الهندسة المدنية

التقاطعات المنظمة بإشارات مرورية

Signalized Intersection



➢ التقاطعات المنظمة بإشارات مرورية (Signalized Intersections)

- وهي عبارة عن التقاطعات التي يتم ضبط عمليات المرور فيها بواسطة إشارات المرور الضوئية.
- تتطلب هذه التقاطعات تكلفة عالية لتشغيلها أي تكلفة تركيب الإشارات الضوئية وتوقيتها وتصميمها وصيانتها.
- تتميز بوضع نظام للحركة مما يخفف من تضارب الحركات ويخفف من زمن التأخير في حال كون الغزارات المرورية مرتفعة.
- تعتبر التقاطعات الضوئية النوع الأكثر شيوعاً في التقاطعات الهامة داخل المدن.
- تصل المركبات هنا على أحد أذرع التقاطع وتشكل صفوفاً من المركبات خلال الضوء الأحمر، ومن ثم يتم تصريفها خلال فترة الضوء الأخضر.

تعتبر التقاطعات المنظمة بإشارات مرورية مكونا حرجا في نظام النقل و التحدي الأساسي الذي يواجه مهندسي المرور هو الإبقاء على أنظمة التحكم المروري تقوم بأدائها بشكل مثالي تحت مختلف الشروط والمتطلبات المرورية.

يتخذ معدل التأخير مقياسا لتقييم أداء التقاطعات المنظمة بإشارات مرورية والذي يتم حسابه باستخدام معادلة التأخير في دليل الطرق السريعة (HCM)والتي تعتبر نموذج رياضي تدخل فيه العديد من البارامترات كمدخلات تعكس طبيعة التقاطع الهندسية والشروط المرورية وشروط الإشارة المرورية.

مبررات تزويد التقاطعات بإشارت مرورية:

1- الحجم المروري لتعداد مروري (4-8) ساعات

2- ساعة الذروة

3- الحجم المروري للمشاة

4- عبور طلاب المدارس

5- أنظمة تنسيق الإشارات المرورية

6- الحوادث المرورية

7- شبكة الطرق

8- تقاطع قرب ممرات القطارات

مزايا الإشارات المرورية:

تساعد الإشارات المرورية بالسيطرة والتحكم بالتدفق المروري للمركبات والمشاة والدراجات وذلك عن طريق تحديد الأولويات للحركات المرورية المختلفة بأسلوب منظم.

التصميم الصحيح و المكان المناسب للإشارات المرورية واحترامها ينتج العديد من الميزات:

1- تنظيم الحركة المرورية.

2-زيادة سعة التقاطع المرورية.

3-تخفيض تكرار وخطورة أنواع محددة من الحوادث المرورية خصوصاً الحوادث التي تحدث بزوايا قائمة.

4-تساعد في تزويد الحركة المرورية المستمرة بسرعة محددة على طول الاتجاه المسموح.

5-تساعد على ايقاف حركة المركبات الكبيرة على فترات للسماح للمركبات الأخرى أو المشاة بالعبور.

مساوئ الإشارات المرورية:

الإشارات المرورية ليست هي الحل لجميع المشاكل المرورية على التقاطعات، والإشارات المرورية التي لا مبرر لها يمكن أن يكون لها تأثيرا عكسيا على الأمان وكفاءة الجريان المروري عن طريق التسبب بواحد او أكثر من يلي :

1- التأخير الزمني الكبير

2- تزايد الازدحام المروري ، تلوث الهواء ، استهلاك الوقود.

3- عدم احترام الإشارات المرورية.

4- الاستخدام المتزايد للطرق الفرعية لتجنب الإشارات المرورية.

5- تزايد تكرار الحوادث المرورية وخصوصا حوادث الاصطدام من الخلف.

أنواع السيطرة والتحكم:

هناك مجال واسع من نظريات السيطرة والتحكم بالإشارات المرورية التي يمكن أن تصنف وفق محورين

		نطاق السيطرة (Control Scope)		
		تقاطعات معزولة (Isolated Intersection)	سيطرة شريانية (Arterial Coordination)	سيطرة شبكية (Network Control)
منطق السيطرة (Control Logic)	مسبقة التوقيت (Pertimed)	*	*	*
	تشغيلية (Actuated)	*	*	*
	تكيفية (Adaptive)	*	*	*

نظرية التحكم والسيطرة:

1. السيطرة مسبقة التوقيت:

وهو النوع الأكثر انتشاراً و قدرة على التطبيق حيث يكون زمن دورة الإشارة المرورية وأزمنة الأطوار في هذا النوع موضوعة كقيم ثابتة كفترات زمنية محددة في كل مرحلة اعتمادا على بيانات التدفق المروري المسجلة مسبقاً.

الميزة الأساسية للسيطرة مسبقة التوقيت بأنه غير متجاوب مع الطلب المروري أي أن الإشارات المرورية تعمل من دون أي اعتبار للتغيرات في الطلب المروري.

يمكن أن تملك الإشارة المرورية خطة أو عدة خطط زمنية توضع حسب :

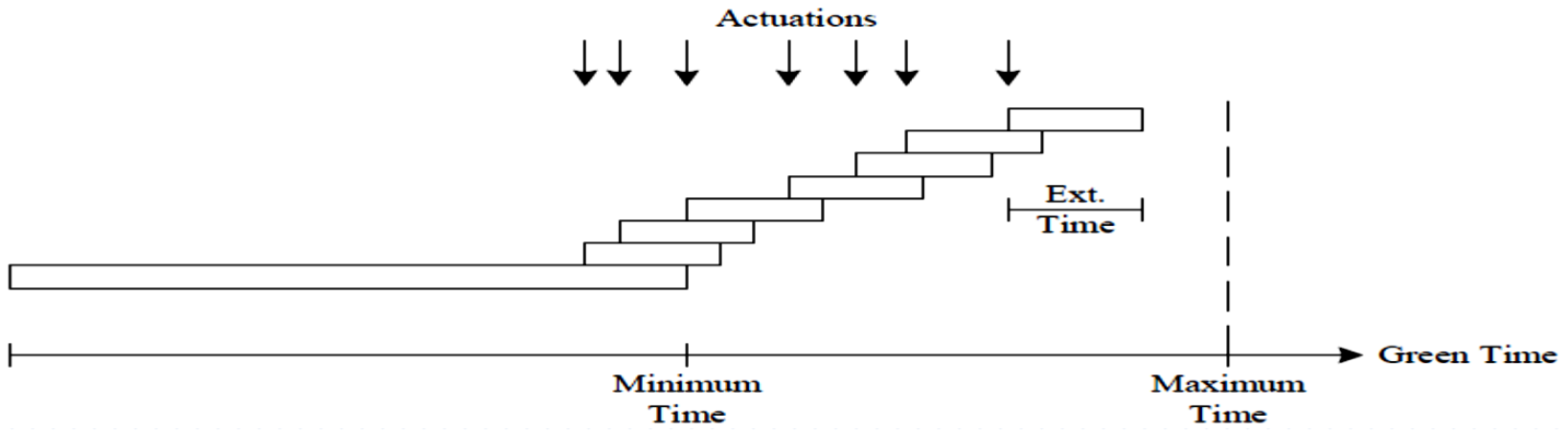
- الذروة الصباحية
- الذروة المسائية
- خارج ساعات الذروة

2- السيطرة التشغيلية:

تستخدم السيطرة التشغيلية لتكون الإشارة المرورية متجاوبة مع الطلب المروري عن طريق التحكم بأزمنة أطوار هذه الإشارة عن طريق كاشفات موضوعة على أذرع التقاطع.

الميزة الأساسية للسيطرة التشغيلية هي القدرة على تمديد الزمن الأخضر لطور معين من الإشارة المرورية ، الميزة الأخرى للسيطرة التشغيلية هو القدرة على تجاوز طور معين عندما لا يوجد طلب مروري حالي عليه.

.



السيطرة التكيفية:

تعمل بذات منطق السيطرة التشغيلية، الاستجابة للطلب المروري في الوقت الحقيقي، لكن في هذا النوع يمكن أن يتم تغيير بارامترات أكثر من طول الفترة المحددة.

الأكثر شيوعاً هو تعديل وقت الإشارة وزمن الأطوار.

حيث أصبحت أنظمة السيطرة المرورية التكيفية واسعة الانتشار في التطبيقات والتطور والتوسع مثل انظمة السيطرة المرورية في المدن مثل SCOOT (Split Cycle Offset Optimisation Technique).

نطاق السيطرة:

التحكم بالتقاطعات المعزولة:

هو استراتيجية السيطرة التي تعمل فيها الإشارات المرورية الخاصة بتقاطع معين دون أي اعتبار للتقاطعات المجاورة. حيث يكون لكل تقاطع في مثل هذه الحالة وقتا مميز خاص به.

منطق السيطرة المحلية يمكن أن يكون مسبق التوقيت أو تشغيلي أو تكيفي.

التنسيق الشرياني:

هي الاستراتيجية التي يتم فيها دراسة الإشارات المرورية المتجاورة ،هدف هذه الاستراتيجيات بشكل عام هو الحصول على التعاقب من خلال عدة تقاطعات متتالية. حيث يسمح للمركبات باجتياز عدة اشارات مرورية متعاقبة من دون مصادفة أية اشارة حمراء.

السيطرة الشبكية:

وهو المنطق الاوسع انتشار من استراتيجيات السيطرة. والتي تأخذ الشبكة ككل في سيطرة الإشارات المرورية . في أغلب الحالات فإن السيطرة الشبكية هي امتداد للتنسيق الشرياني والتي تأخذ بالاعتبار تعاقب الاشارات المرورية واستمرارية التدفق في كافة الاتجاهات.

منافع تنسيق الإشارات المرورية:

الغاية الأساسية من تنسيق الإشارات المرورية هو تأمين سرعة الرحلة المثالية من حيث تخفيض التأخرات وتقليل التوقفات إلى أقل حد ممكن حيث تشير الدراسات أن تنسيق الإشارات المرورية الغير منسقة سابقا يمكن أن يؤدي إلى تخفيض في مدة الرحلة بنسبة تتراوح بين 10 - 20 % اضافة إلى العديد من المنافع الأخرى مثل:

1. تحسين قابلية الحركة والوصول.
2. دعم الاقتصاديات المحلية.
3. تخفيض عدد الحوادث المرورية الخاصة بالمركبات.
4. تخفيض استهلاك الطاقة والوقود.
5. إلغاء أو تأخير الحاجة إلى توسيع عرض الطريق المطلوبة.
6. تحسين الاستجابة للطوارئ.
7. التخفيض من اهتلاك المركبات.
8. تزيد من القدرة في التحكم بسرعة المركبات.
9. تخفض من الانبعاثات الصادرة عن المركبات.
10. المساعدة في ضبط ومراقبة الوقت الحقيقي للتدفق المروري.

العوامل التي تقلل من منافع تنسيق الإشارات المرورية:

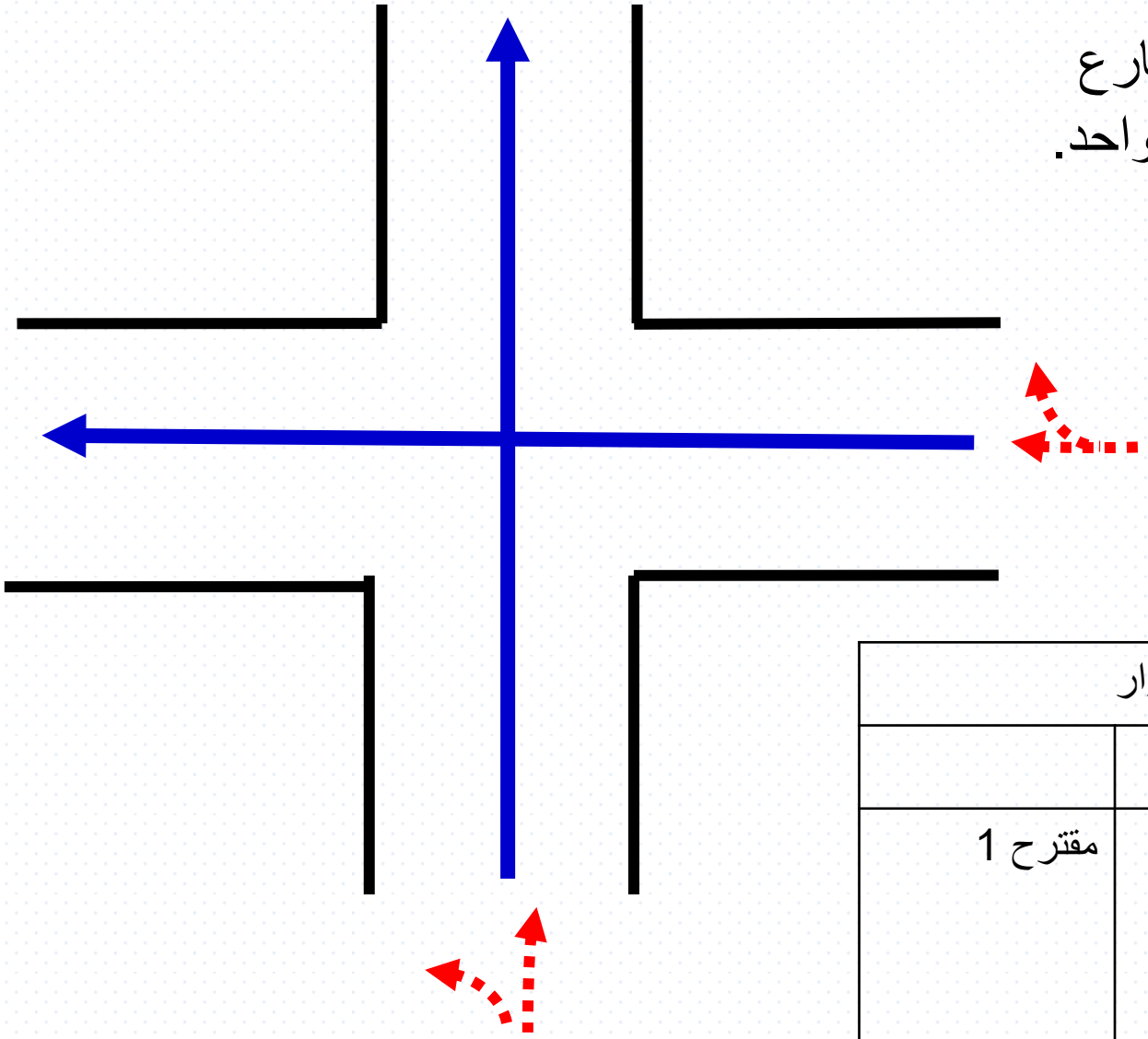
من العوامل التي تحد من منافع تنسيق الإشارات المرورية:

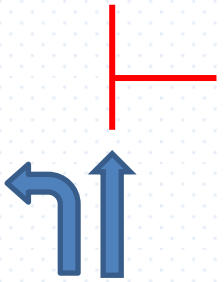
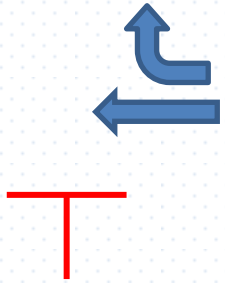
1. السعة الغير كافية للطرق
2. الاحتكاك الجانبي الكبير يتضمن ذلك التوقف ، التحميل ، التوقف المفاجئ الذي يعرقل الحركة المرورية ، المسارب المتعددة.
3. التغير الكبير في سرعة الحركة المرورية
4. التباعد الصغير جدا بين الإشارات المرورية
5. الحجوم المرورية المنعطفة (الداخلة او الخارجة من الطريق)

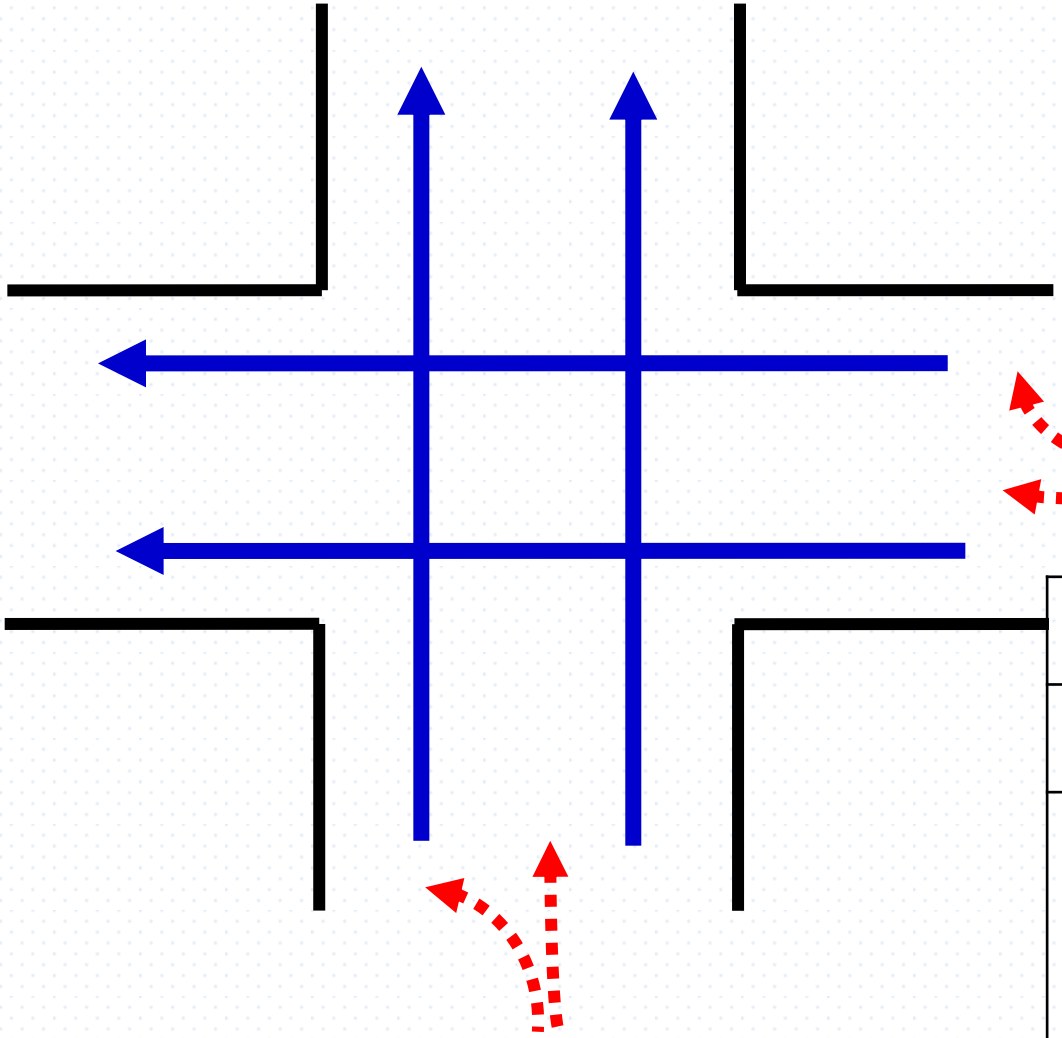
مخطط الأطوار:

يعتبر مخطط الأطوار الجانب التصميمي الأكثر حرجاً عند تصميم أي تقاطع ضوئي. يجب أن يحتوي المخطط على عدد الأطوار المستخدمة، الفترة الزمنية لكل طور ، وقانون (نظام) الحركة المسموحة لكل طور، وأخيرا يجب أن يدل على تسلسل الأطوار وتتابعها.

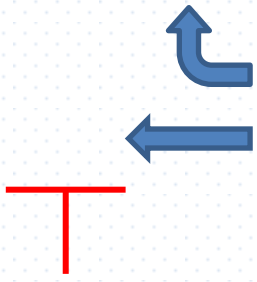
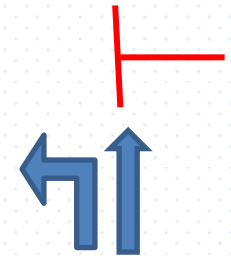
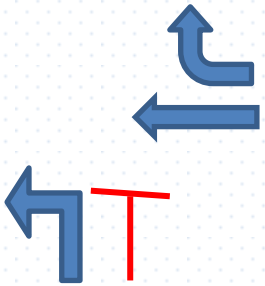
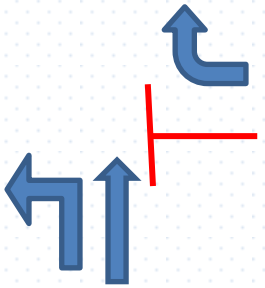
تقاطع على شكل + كل شارع باتجاه وكل اتجاه بمسرب واحد.



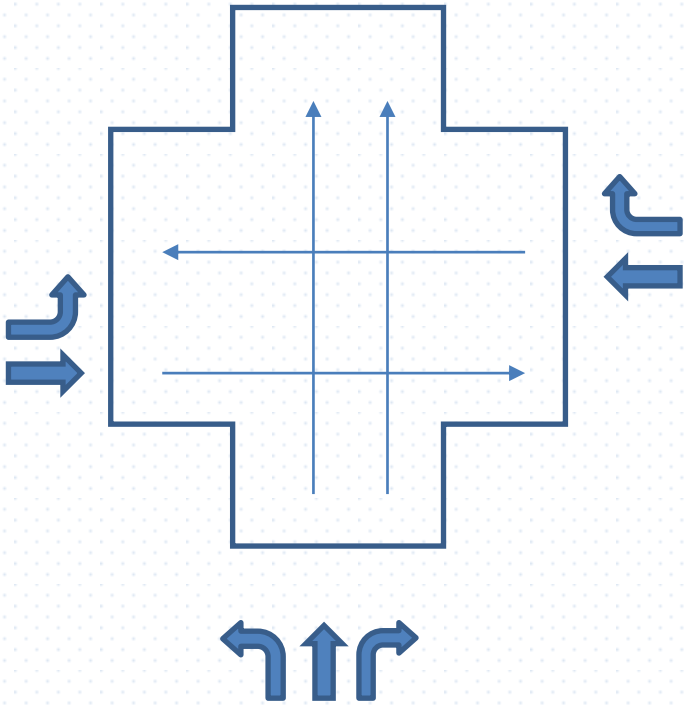
مخططات الأطوار		
الطور 2	الطور 1	
		مقترح 1

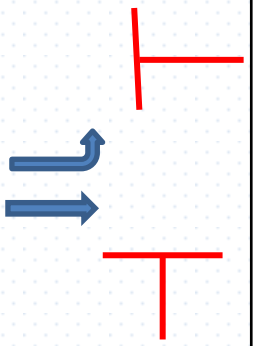
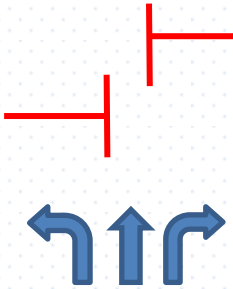
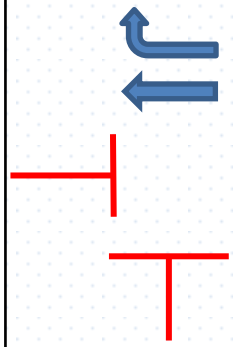
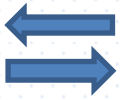


تقاطع على شكل + كل شارع باتجاه وكل اتجاه بمسربين.

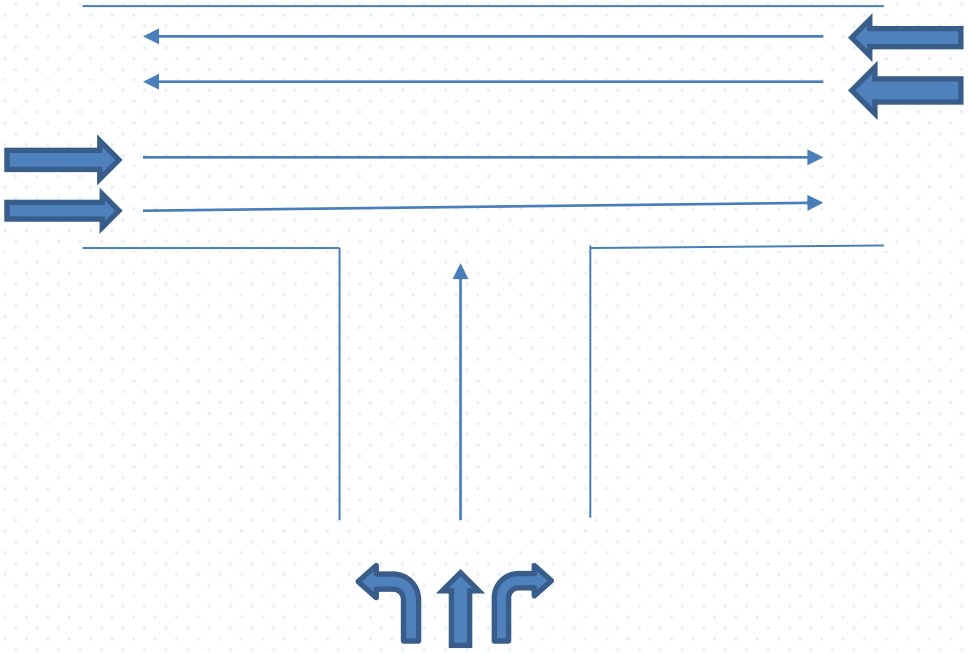
مخططات الأطوار		
	الطور 1	الطور 2
مقترح 1		
مقترح 2		

تقاطع على شكل + الشارع الرئيسي باتجاهين وبمسربين والشارع الثانوي باتجاه واحد وبمسربين



مخططات الأطوار			
	الطور 1	الطور 2	الطور 3
مقترح 1			
مقترح 2			

تقاطع على شكل T الشارع الرئيسي باتجاهين وبمسربين في كل اتجاه الشارع الثانوي باتجاه واحد وبمسرب واحد.



مخططات الأطوار			
	الطور 1	الطور 2	الطور 3
مقترح 1			
مقترح 2			

منهجية دراسة التقاطعات المنظمة بإشارات الضوئية :

Input Parameters
-Geometric
-Traffic
-Signal

Lane Grouping and Demand Flow Rate
-Lane grouping
-PHF
-RTOR

Saturation Flow Rate
-Basic equation
-Adjustment factors

Capacity and v/c
-Capacity
-v/c

Performance Measures
-Delay
-Progression adjustment
-LOS
-Back of queue

الظروف الهندسية:

تمثّل هندسة التقاطع بشكل تخطيطي ويجب أن تتضمن كافة المعلومات ذات الصلة من ميول أذرع التقاطع، عدد وعرض حارات المرور وظروف وقوف العربات. كما يجب تحديد وجود حارات مخصصة للانعطاف لليمين أو اليسار وحارات الانتظار في حال وجودها.

في حال القيام بتصميم التقاطعات تفرض هذه البيانات مسبقاً للقيام بعملية التحليل.

الظروف المرورية:

يجب تحديد الغزارات المرورية لكافة اتجاهات الحركة على أذرع التقاطع، وتمثل هذه الغزارات معدلات الغزارة من أجل 15 دقيقة التي تمثل عادة فترة التحليل (T=0.25) ، ويمكن الحصول على هذه المعدلات باستخدام الغزارات الساعية ومعامل ساعة الذروة PHF .

يجب أيضاً دراسة التوزع النوعي للعربات بمعرفة النسبة المئوية للعربات الثقيلة (كافة العربات التي تمتلك أكثر من أربعة دواليب) (HV %) ونسبة الباصات المحلية على كل ذراع من أذرع التقاطع ويشمل ذلك فقط الباصات التي تتوقف على مدخل أو مخرج التقاطع لإفراغ الركاب، أما التي لا تتوقف فتعامل معاملة العربات الثقيلة، وهناك حاجة لمعرفة وتحديد غزارات المشاة والدراجات التي تتداخل مع الحركات المسموحة بالانعطاف لليمين أو اليسار.

ظروف الإشارات الضوئية:

يجب أن تتوفر كافة المعلومات المتعلقة بالإشارات الضوئية بهدف إنجاز عملية التحليل، تشمل هذه المعلومات مخطط الأطوار، طول دورة الإشارة الضوئية، الأزمنة الخضراء وأزمنة التبديل والإخلاء.

ساعة الذروة (peak Hour) ساعات خارج الذروة (off-peak Hour)

ساعة الذروة هي الساعة التي تبلغ خلالها الغزارة المرورية القيمة العظمى لها خلال اليوم وبالتالي غزارة ساعة الذروة هي الغزراة المرورية خلال ساعة الذروة.

يتم تمييز نوعين من ساعات الذروة: ساعة الذروة الصباحية ، ساعة الذروة المسائية.

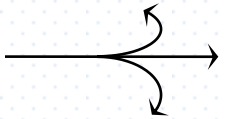
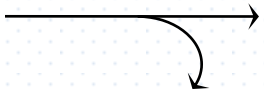
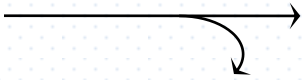
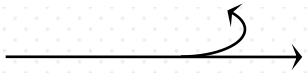
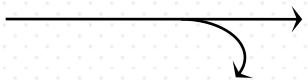
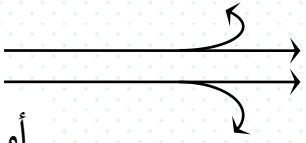
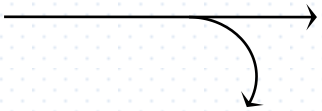
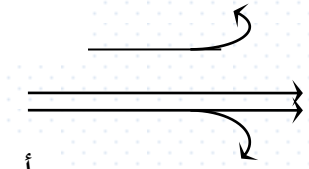
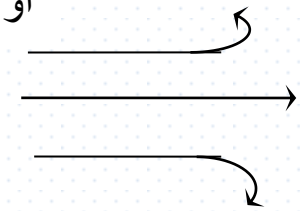
معامل ساعة الذروة peak Hour factor (PHF):

يعرف (معامل ساعة الذروة) على أنه النسبة بين الغزارة المرورية خلال ساعة كاملة وبين الغزارة الأعظمية الساعية التي سجلت خلال أعلى ربع ساعة ضمن تلك الساعة الكاملة.

تحديد مجموعات الحارات:

تعتمد المنهجية المعتمدة في دراسة التقاطعات المنظمة بإشارات ضوئية على دراسة أذرع التقاطع ودراسة مجموعات الحارات على الأذرع، ويعتمد في تحديد المجموعات الأسس التالية:

- تحدد الحارة أو الحارات المخصصة للانعطاف لليسار كمجموعة مستقلة ، ونفس الوضع تعامل به الحرات المخصصة للانعطاف نحو اليمين،
- على الأذرع التي توجد حارات مخصصة للانعطاف نحو اليمين أو نحو اليسار تعامل كافة الحارات الأخرى كمجموعة واحدة،
- في حال وجود حارات تستخدم بشكل مشترك بين الحركة المستقيمة والحركة المنعطفة لليسار، من الضروري التحقق من وجود توازن في استخدام هذه الحارات بين الحركتين أو أن هذه الحارات تستخدم فقط للحركة المنعطفة لليسار

عدد حارات المرور	الحركات على حارات المرور	عدد المجموعات الممكنة
1	LT+TH+RT 	1
2	Exc. LT TH+RT 	2 { { 
2	TH+LT  TH+RT 	1  أو 2
3	Exc. LT TH TH+RT 	2  أو 3 

حساب معدل الغزارة:

يتم تصعيد و حساب معدل الغزارة لـ 15 دقيقة الأعظمية من خلال قسمة الغزارة الساعية على معامل ساعة الذروة PHF :

$$V_p = V/PHF$$

حيث:

v_p : معدل الغزارة خلال أعلى15 دقيقة (veh/h)،

V : الغزارة الساعية (veh/h)،

PHF : معامل ساعة الذروة،

تحديد معدل غزارة الإشباع:

معدل غزارة الإشباع هو عبارة عن عدد العربات التي يمكن تصريفها خلال زمن ساعة واحدة من قبل مجموعة الحارات بفرض أن الزمن الأخضر مستمر(g/C=1)، ويحسب معدل غزارة الإشباع لكل مجموعة حارات وفق العلاقة التالية:

$$s = s_o\ N\ f_w\ f_{HV}\ f_g\ f_p\ f_{bb}\ f_a\ f_{LU}\ f_{LT}\ f_{RT}\ f_{Lpb}\ f_{Rpb}$$

s : معدل غزارة المرور لمجموعة الحارات (veh/h)،

s_o : معدل غزارة الإشباع الأساسية لحارة مرور واحدة (pc/h/ln)، وتساوي 1900

N : عدد حارات المرور لمجموعة الحارات المدروسة،

f_w : معامل تصحيح عرض حارة المرور،

$$\mathbf{f_w} = 1 + \frac{(\mathbf{w} - 3.6)}{9}$$

W: عرض حارة المرور (m)

f_{HV} : معامل تصحيح العربات الثقيلة في تيار المرور

$$\mathbf{f_{HV}} = \frac{100}{100 + \%\mathbf{HV}(\mathbf{E_T} - 1)}$$

%HV: النسبة المئوية للعربات الثقيلة في مجموعة الحارات

ET= 2.0 pc/HV

f_g: معامل تصحيح الميل الطولي للذراع

$$\mathbf{f_g} = 1 + \frac{\%\mathbf{G}}{200}$$

G: الميل الطولي

f_p: معامل تصحيح لحارة الوقوف وعدد مناورات الوقوف لمجموعة الحارات المجاورة لحارة الوقوف

f_{bb}: معامل تصحيح لتأثير الإعاقة الناجم عن الباصات التي تتوقف في منطقة التقاطع،

f_a: معامل تصحيح لنوع المنطقة،

f_{LU}: معامل تصحيح استخدام حارة المرور

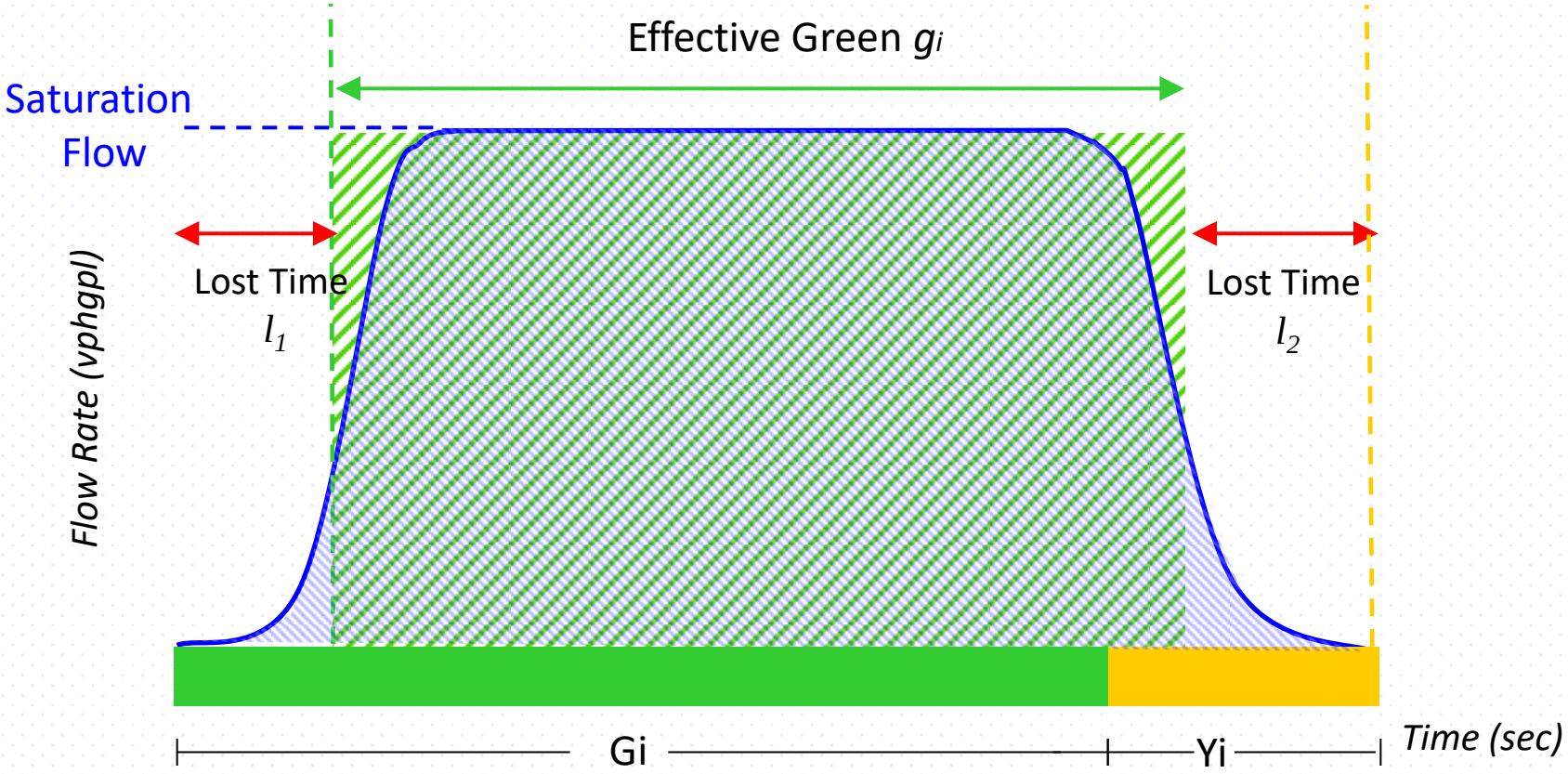
f_{LT}: معامل تصحيح للانعطاف لليسار ضمن مجموعة الحارات

f_{RT}: معامل تصحيح للانعطاف لليمين ضمن مجموعة الحارات

f_{Lpb}: معامل تصحيح المشاة للحركات المنعطفة لليسار،

f_{Rpb}: معامل تصحيح المشاة والدراجات للحركات المنعطفة لليمين،

Effective Green Time الزمن الأخضر الفعال



$$g_i = G_i + Y_i - t_{Li}$$

Y_i: الزمن الأصفر (عبارة عن الزمن الفاصل بين الأطوار ليؤمن إخلاء التقاطع قبل بدء الحركة على الاتجاه المتصادم مع الحركة الحالية المسموحة).

t_L : الزمن الضائع وهو عبارة عن الزمن الذي لا يتم خلاله استخدام التقاطع من قبل أي حركة من الحركات (وهو عبارة عن الضياعات الزمنية أثناء الإقلاع إضافة للضياعات الزمنية اللازمة لإخلاء التقاطع).

$$t_L = l_1 + l_2$$

l_1: الزمن الضائع أثناء الإقلاع.

l_2 : الزمن اللازم لإخلاء التقاطع المروري.

السعة ومستوى الخدمة :

تحسب السعة للتقاطع لكل مجموعة من الحركات بشكل مستقل ، وهي عبارة عن معدل المرور الأعظمي الذي يمكن أن يعبر قطاع معين في الظروف المرورية والطرقية وظروف الإشارات الضوئية الموجودة على التقاطع المدروس .

يعبر عن السعة لمجموعة حارات محددة i بالعلاقة :

$$c_i = s_i \frac{g_i}{C}$$

حيث:

c_i : السعة لمجموعة حارات معينة (veh/h) i.

s_i : معدل غزارة الإشباع لمجموعة الحارات i مقدرة بـ (veh/h)

g_i/C: نسبة الزمن الأخضر الفعال إلى زمن دورة الإشارة الضوئية لمجموعة الحارات i.

$$c_i = s_i \frac{g_i}{C}$$

تحدد نسبة الغزارة إلى السعة لمجموعة حارات معينة كما يلي :

$$X_i = \left(\frac{v}{c}\right)_i = \frac{v_i}{s_i \frac{g_i}{C}} = \frac{v_i C}{s_i g_i}$$

v_i معدل غزارة المرور لمجموعة الحارات i.

g_i الزمن الأخضر الفعال لمجموعة الحارات i.

حسابات التأخير الزمني و تحديد مستوي الخدمة:

الهدف من حسابات التأخير هو الوصول إلى قيمة (التأخر الكلي) الذي تتأخره المركبة أثناء مرورها من التقاطع ويقدر ب (s/veh). يحسب التأخر لكل مجموعة حارات على حدى وفق المعادلة:

$$d = d_1.(PF) + d_2 + d_3$$

حيث:

d: معدل التاخر لكل عربة (s/veh)

d1: معدل التأخر النظامي بفرض وصول منتظم للعربات،

$$d_1 = \frac{0.5 * C(1 - g/c)^2}{1 - [\min(1, X) . g/c]}$$

PF: معامل تصحيح تقدم الحركة (استمرارية الحركة) وذلك حسب تقدم الإشارات،

d_1: معدل التاخر النظامي (s/veh)

C : دورة التقاطع مقدرة ب (s)

g: الزمن الأخضر الفعال لمجموعة الحارات المدروسة مقدرة ب (s)

X: نسبة الطلب المروري إلى السعة (V/C)

2 - حساب التأخر الإضافي التزايدي d_2 :

التأخر الإضافي سيأخذ بعين الإعتبار التأخر الناشئ عن الوصول العشوائي للمركبات إلى التقاطع، وأيضاً سيأخذ بعين الاعتبار الفترات التي يكون خلالها الطلب المروري أكبر من السعة المرورية (حالات فوق الإشباع) وفق المعادلة التالية:

$$d_2 = 900.T.\left[(X-1) + \sqrt{(X-1)^2 + \frac{8.K.I.X}{C.T}}\right]$$

d_2: معدل التأخر الاضافي (s/veh)

T : فترة التحليل مقاسة بالساعة)تؤخذ عادة ربع ساعة أي 0.25 ساعة(

K: معامل تزايدي للتأخر حسب نوع الإشارة المرورية (الثابت للإشارات ذات التوقيت 5.0).

I: معامل فلترة المرور بين التقاطعات)بالنسبة للتقاطعات المعزولة يساوي 1)

C: السعة المرورية لمجموعة الحارات

X: نسبة الطلب المروري إلى السعة (V/C)

3- حساب التأخر الإضافي التراكمي (d_3) :

التأخر التراكمي يأخذ بالحسبان وجود صفوف المركبات التي تراكمت من فترات سابقة ومازالت موجودة غير مصرفة عند بداية التحليل. عند اهماله نفترضه يساوي الصفر.

LOS	*Control Delay (s/veh)*
A	0–10
B	10–20
C	20–35
D	35–55
E	55–80
F	>80