ضبط الحركة باستخدام الإشارات الضوئية
Signalized Intersections

- زمن التفريغ (الإخلاء) هو عبارة عن الزمن الأصفر مضافا إليه الزمن الأحمر للكل " All red " ، وهو عبارة عن الزمن بين الأطوار والذي يؤمن تفريغ كافة الحركات خلال طور معين قبل بدء الحركة للحركات التالية " المتصادمة " .
- الزمن الأخضر Gi هو الزمن لطور ما والذي تكون الإشارة خلاله خضراء (Gi) لطور ما i .
- الزمن الضائع هو الزمن الذي يكون خلاله التقاطع غير منشط أو غير مستخدم بشكل فعال من قبل أي حركة ويحدث خلال فترة التبديل (زمن الإخلاء) ، وخلال كل طور (زمن تأخير أثناء الإقلاع .
- الزمن الأخضر الفعال هو الزمن الذي يكون خلال طور معين مستخدم بشكل فعال من قبل حركات معينة، ويؤخذ عادة الزمن الأخضر مضافا إليه زمن التبديل مطروحا منه الزمن الضائع يرمز له بـ gi (لطور معين i) .
- الزمن الأحمر الفعال ri: هو الزمن الذي تكون خلاله حركة محددة أو مجموعة حركات غير مسموحة (وهو عبارة عن زمن دورة الإشارة الضوئية مطروحا منه الزمن الأخضر الفعال).

أنواع الإشارات الضوئية :

1- إشارات ذات زمن محدد (ثابت) : تتعاقب فيها الأزمنة الخضراء ، أزمنة التبديل ، الأزمنة الحمراء ، بشكل دوري وثابت وقيمها محددة مسبقا .
2- إشارات مرتبطة جزئيا بالحركة : تعطي زمن أخضر بشكل مستمر للشارع الرئيسي ما لم يتم الإعلان عن حاجة لزمن أخضر على الاتجاه الثانوي عن طريق الكواشف الخاصة الموضوعة في الطريق الثانوي.
3- إشارات مرتبطة كليا بالحركة : تكون كافة أطوار الإشارة الضوئية مرتبطة بعمل الكواشف التي تتوضع على كافة أذرع التقاطع .

الهدف الرئيس من التحكم بالحركة باستخدام الإشارات الضوئية هو تأمين جريان آمن وفعال لحركة المرور عبر التقاطع والشوارع التي يتكون منها، بغرض زيادة السعة وتخفيف أزمنة التأخير والإقلال من عدد نقاط التصادم.

مزايا وعيوب الإشارات الضوئية:

تؤمن الإشارات الضوئية الموضوعة والمستثمرة بشكل ملائم العديد من **المزايا:**

- تأمين تنظيم الحركة بشكل متوازن ومرتب،
- تخفيض عدد الحركات المتصادمة،
- زيادة السعة للتقاطع،
- تضمن وسائل لإيقاف حركة المرور للاتجاهات ذات الغزارات العالية بهدف السماح للحركات الأخرى من الدخول والعبور،
- يمكن تنسيق الحركة بهدف تأمين انسيابية واستمرارية على محور محدد،
- تعزز ثقة السائق عبر إعطائه حق المرور لكل اتجاه بشكل مستقل،

كما أن للإشارات الضوئية بعض **السلبيات** :

- ازدياد أزمنة التأخير الإجمالية للتقاطع وبشكل خاص خارج أوقات الذروة للحركة المرورية،
- احتمال ازدياد بعض أنوع الحوادث (الصدم من الخلف)،
- يمكن أن تعيق الحركة المستمرة على المحور مسببة زيادة في التوقفات وأزمنة التأخير،

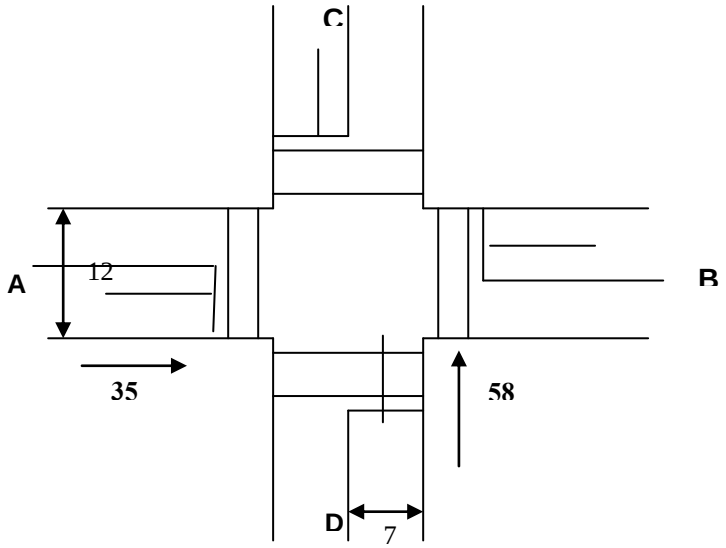
- إذا كان توقيت الإشارة غير ملائم قد يسبب زيادة في أزمنة التأخير وتؤدي لتذمر السائقين،
- في المناطق الريفية حيث توجد ساعات ذروة محددة، يمكن أن تحصل حوادث خطيرة خارج أوقات الذروة حيث يعبر بعض السائقين خلال الزمن الأحمر،

أمثلة محلوله لحساب برامج الإشارات الضوئية

Sample Calculations

مثال 1:

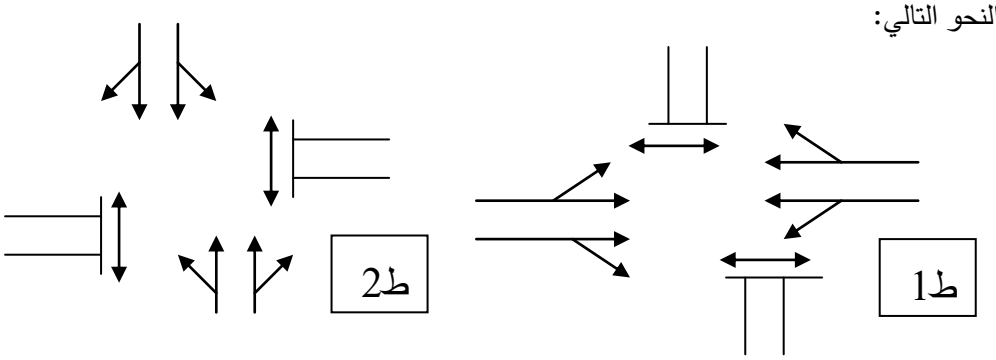
يطلب حساب برنامج الإشارة الضوئية للتقاطع المبين، على أن يكون بطورين وفق المعطيات المبينة على الشكل وباعتبار السرعة 70كم/سا، وسعة الذراع A هي 1400 والذراع C سيارة في ساعة الزمن الأخضر.



الحل :

قبل البدء بتصميم برنامج للإشارات الضوئية المتوضعة على أحد التقاطعات، يجب دراسة الظروف والمعطيات المرورية كقيم الغزارات على كل ذراع والغزارات الاتجاهية ونسب الانعطاف وطبيعة الحركة المرورية على كل ذراع، وذلك لتحديد طبيعة البرنامج المقترح بطورين أو أكثر.

يقترح شكل مخطط الأطوار على النحو التالي:



ثم نقوم بحساب أزمنة التفريغ والوصول لضمان تفريغ التقاطع من المركبات التي تنطلق في الثانية الأخيرة للزمن الأخضر من الطور الأول وعدم اصطدامها مع المركبات التي لها حق المرور في الطور التالي والتي سوف تنطلق مع الثانية الأولى لزمنها الأخضر.

أزمنة التفريغ:

$$t_{e12} = l_{e12} + lp / V = (27 + 6) /(40/3.6) = 3 \text{ sec}$$
$$t_{e2\,1} = l_{e21} + lp /V = (21 + 6) /(40/3.6) = 2.45 \text{ sec}$$

حيث lp طول المركبة الإفتراضي.

t_{e12} زمن التفريغ عندما يتحول الطور من الأول إلى الثاني.

$t_{e2\,1}$ زمن التفريغ عندما يتحول الطور من الثاني إلى الأول.

أزمنة الوصول:

$t_{d21} = l_{d21} / V = 8.5 / 11 = 0.77$ sec
$t_{d12} = l_{d12} / V = 11 / 11 = 1$ sec

حيث t_d21 زمن الوصول عندما يتحول الطور من الثاني إلى الأول.

t_d12 زمن الوصول عندما يتحول الطور من الأول إلى الثاني.

حساب أزمنة التداخل الأخضر:

$t_{mij} = y + (te_{ij} - td_{ji})$
$t_{m12} = y + (t_{e12} - t_{d21}) = 3+(3-0.77) = 6$sec
$t_{m\,21} = y + (t_{e2\,1} - t_{d12}) = 5$sec

حيث y الزمن الأصفر، ونبحث عن أكبر قيمة لـ$(t_e - t_d)$ وذلك لتحقيق شروط الأمان.

حساب الزمن الضائع:

$t_S = t_m - 1 = (5-1)+(6-1) = 9$sec

حساب زمن دورة الإشارة الضوئية:

$T_c = (1.5 * t_S + 5) / (1- Y)$

من أجل حساب Y :

$Y = Y_A + Y_c = (350/1400) + (580/1550) = 0.62$
$T_c = (1.5 * 9 +5)/(1-0.62) = 50$ sec

حيث يدور الرقم لأقرب 5 ثواني.

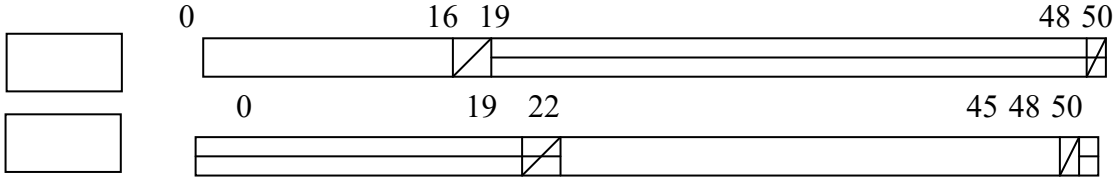
حساب الأزمنة الخضراء:

$G_A = Y_A / Y(T_c - \Sigma tm_{ij}) = 0.25/ 0.62 (50-11) = 16$sec
$G_C = 0.37/ 0.62(50-11) = 23$ sec

التحقق من السعة:

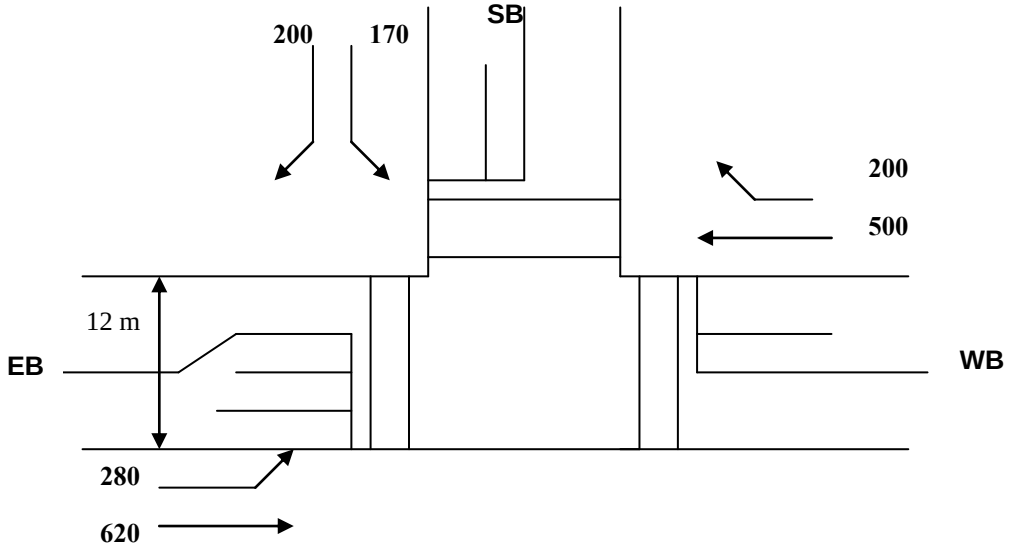
$C_A * (G_A / T_c) = 1400 * (16 / 50) = 448 > 350$
$C_C * (G_C / T_c) = 1550 * (23 / 50) = 713 > 580$

ثم يرسم المخطط الزمني لدورة الإشارة الضوئية على النحو التالي:



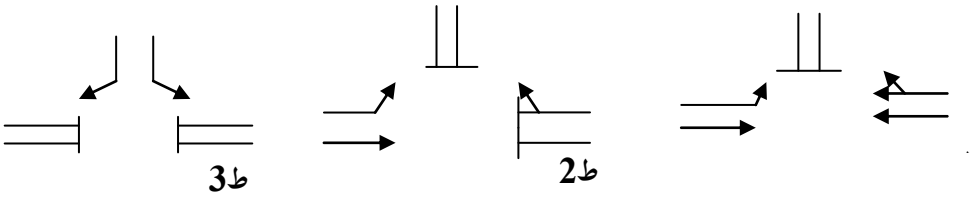
مثال 2:

يطلب حساب برنامج الإشارة الضوئية للتقاطع المبين، على أن يكون بثلاث أطوار وفق المعطيات المبينة على الشكل وباعتبار السرعة 50كم/سا، ونسبة السيارات الشاحنة 6%، عرض حارة المرور 3.6م، الميول الطولية صفر، ويقع التقاطع في المنطقة المركزية للمدينة، وعامل عدم التوازن PHF=0.95.



الحل :

يتم اقتراح مخطط الأطوار على لنحو التالي:



تم اقتراح برنامج ثلاثي الأطوار باعتبار أن نسبة الانعطاف نحو اليسار على الذراع A تبلغ 31% من معدل الغزارة على الذراع، وعلى الذراع C تبلغ 46%.

نحسب أولا معدل غزارة الإشباع وفق الجدول التالي:

جدول حساب معدل غزارة الإشباع SATURATION FLOW RATE MOUDLE WORKSHEET												
	عوامل التصحيح ADJUSTMENT FACTORS								عدد الحارات	غزارة الإشباع المثالي	مجموعة الحارات	ذراع
S	f_{LT}	f_{RT}	f_a	f_{bb}	f_g	f_p	f_{HV}	f_w				
1532	0.95	1	0.9	1	1	1	0.94	1	1	1900	↗	A
3225	1	1	0.9	1	1	1	0.94	1	2	1900	⇉	
2819	1	0.87	0.9	1	1	1	0.94	1	2	1900	↰⇇	B
1371	1	0.85	0.9	1	1	1	0.94	1	1	1900	↘	C
1532	0.95	1	0.9	1	1	1	0.94	1	1	1900	↘	

الانعطاف نحو اليمين على الذراع B يماثل الحالة 5 من الجدول (5–10) ، وعلى الذراع C يماثل الحالة 1 من الجدول نفسه

الانعطاف نحو اليسار على الذراع B يماثل الحالة 1 من الجدول (5–11)، وعلى الذراع C يماثل الحالة 1 من الجدول نفسه

أزمنة التفريغ:

$t_{e12} = (l_{e12} + lp)/ V = (14.4 + 6) /(50/3.6) = 1.5$ sec
$t_{e2\,3} = (l_{e23} + lp) /V = (17.82 + 6) /(50/3.6) = 1.7$ sec
$t_{e31} = (l_{e31} + lp)/V = (22.72 + 6) /(50/3.6) = 2.1$ sec

حيث lp طول المركبة الإفتراضي.

أزمنة الوصول:

$t_{d23} = l_{d23} / V = 12.6 / 13.89 = 0.94$ sec
$t_{d31} = l_{d31} / V = 13.7 / 13.89 = 0.99$ sec
$t_{d12} = l_{d12} / V = 5.4 / 13.89 = 0.39$ sec

حساب أزمنة التداخل الأخضر:

$t_{mij} = y+ (te_{ij} – td_{ji})$
$t_{m12} = y + (t_{e12} - t_{d23}) = 3+(1.5-0.94) = 4$sec
$t_{m23} = y + (t_{e23} - t_{d31}) = 3+ (1.7 +0.99) = 4$sec
$t_{m31} = y + (t_{e31} - t_{d12}) = 3+ (2.1 +0.39) = 5$sec

حساب الزمن الضائع:

$t_S = \Sigma(t_m – 1) =(4–1)+(4–1)+(5–1) = 10$sec

حساب زمن دورة الإشارة الضوئية:

$T_c = (1.5 * t_S + 5) / (1- Y)$

من أجل حساب معدل الجريان المصحح:

$QB = (Q / PFH) * Fu = (700/0.95) * 1.05 = 774$ vph
$QA($ لليسار $) = (Q / PFH) * Fu = (280 /0.95) * 1 = 295$ vph
$QA($ للأمام $) = (Q / PFH) * Fu = (620/0.95) *1.05= 685$ vph
$QC($ لليمين $) = (Q / PFH) * Fu = (200/0.95) * 1 = 211$ vph
$QC($ لليسار $) = (Q / PFH) * Fu = (170/0.95) * 1 = 179$ vph

وبالتالي فإن الحارات الحرجة هي:

للطور الأول: $Y1= 774/2819 = 0.27$

للطور الثاني: القيمة الأكبر بين القيمتين التاليتين:

$Y2= 295/1532 =0.19$ أو $Y2=685/3225= 0.21$

وقد تم أخذ القيمة 0.19

الطور الثالث: القيمة الأكبر بين القيمتين التاليتين:

$Y3 = 211/1371 =0.15$ أو $Y3 = 179/1532 =0.12$

من أجل حساب Y :

$Y = Y1 + Y2 + Y3= (774 / 2819)+ (295 / 1532) + (211 / 1371) = 0.62$
$T_c = (1.5 * 10 +5)/(1-0.62) = 55$ sec

حيث يدور الرقم لأقرب 5 ثواني.

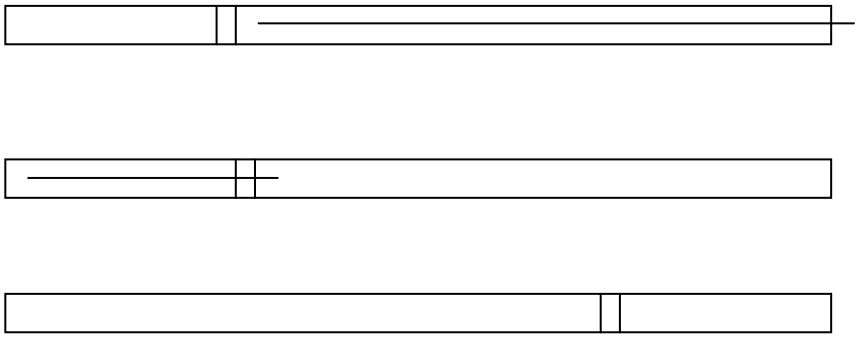
حساب الأزمنة الخضراء:

$G1 = Y1 /Y (T_c - \Sigma t_m) = 0.27/ 0.62 (55-13) = 18$ sec
$G2 = Y2 /Y (T_c - \Sigma t_m) = 0.19/ 0.62 (55-13) = 13$ sec
$G3 = Y3/Y (T_c - \Sigma t_m) = 0.15/ 0.62 (55-13) = 11$ sec

التحقق من السعة:

$C 1 * (G1 / T_c) = 2819 * (18 / 55) = 922 > 774$ ✓
$C 2* (G2 / T_c) =1532 * (13 / 55) = 362 > 295$ ✓
$C 3 * (G3 / T_c) = 1371 * (11 / 55) = 274 > 211$ ✓

ثم يرسم المخطط الزمني لدورة الإشارة الضوئية على النحو التالي:



تنسيق الإشارات الضوئية

أشكال التنسيق Types of Coordination:

- تنسيق خطي
- تنسيق شبكي
- **تنسيق باستخدام تحكم مركزي** Centrally Controlled Coordination
  - تزامن عمل أجهزة التحكم عبر مركز أساسي للتحكم
  - كافة الإشارات الضوئية تعمل وفق زمن إشارة ضوئية واحد (أو مضاعفاته)
  - يتطلب عملية ربط بين أجهزة التحكم المحلية وجهاز التحكم المركزي

جمع البيانات:

يجب أن تشمل البيانات:

- هندسة التقاطع واستخدامات حارات المرور والأبعاد،
- إحصاءات اتجاهية لغزارات المرور على التقاطع،
- غزارات الذروة الصباحية وذروة الظهيرة (ساعتان على الأقل لكل منهما مع تحديد الغزارة لكل 15 دقيقة)،
- الغزارات خارج أوقات الذروة أو أية فترات خاصة أخرى،
- إحصاءات الغزارة على الأذرع لمدة 24 ساعة ويفضل أن تمتد خلال أسبوع،
- السرعة على كل ذراع من أذرع التقاطع،
- تقرير الحوادث مع مخطط التصادمات على التقاطع لفترة 3 سنوات سابقة ويفضل أن تكون الفترة 5 سنوات على تقاطعات الطرق الريفية،
-

- Posted speed on each approach
- Crash reports or preferably collision diagrams representing past 3 years for urban locations (consider 5 years in rural locations)
- Percent of heavy vehicles
- Field Studies, including travel time runs and approach delay studies. This data will be used in the calibration of the computer models and for comparison to similar data collected in the “after” condition.

- Signal Timing and Phasing Data
- Existing Traffic Signal Hardware. This information should include controller equipment, communications details, vehicle detectors and traffic signal heads. This information can be used to determine the phasing/timing capabilities at each intersection. For example, could a protected leftturn phase be added?
- Additional Data. These may include items such as pedestrian counts, traffic counts of mid-block generators, early-release studies, etc.

All data should be current and representative of the intersection. Turning movement counts used should be within one year of implementing the timing plan or recent enough to reflect current conditions.