

محاكاة حركة المرور ونظام العمل الأمثلي على التقاطعات الطرقية غير المضبوطة بإشارة ضوئية

الدكتور نبيل غازي الهزيم*
الدكتور علي جنود**

(قبل للنشر في 2006/1/2)

□ الملخص □

إن الهدف من البحث هو وضع نموذج لمحاكاة حركة المركبات على التقاطعات الطرقية الغير مضبوطة بإشارات ضوئية والتي تعمل حسب قانون الأفضلية أو شاخصات «توقف» المتوضعة على الطرق الفرعية وذلك باستخدام الحاسب الإلكتروني ونظرية الأرتال وتقانة المحاكاة، وذلك من أجل حساب الغزارات الحرجة والإعاقات الزمنية «ضياعات الوقت»، والتي تعد المعيار الأساسي لتحديد مستوى الخدمة على هذه التقاطعات الطرقية، وبهدف تقييم الشروط المرورية والتي تشكل الحدود بين اعتماد الحلول الطرقية والمرورية المقترحة، أو اقتراح حلول مرورية وطرقية أخرى.

كل الافتراضات التي اعتمدت عند بناء النموذج تمت بالاعتماد على القياسات الواقعية على عدد من التقاطعات الطرقية في مدينتي دمشق واللاذقية.

الكلمات المفتاحية: بحوث العمليات، المحاكاة، نظرية الأرتال، إدارة المشاريع، هندسة المرور، التقاطعات بدون إشارات ضوئية.

* أستاذ مساعد في قسم الإدارة الهندسية والإنشاء كلية الهندسة المدنية جامعة دمشق - سوريا.

** أستاذ مساعد في قسم هندسة وإدارة التشييد كلية الهندسة المدنية جامعة تشرين - سوريا.

Simulation of Traffic Flow at Unsignalized Intersections

Dr. Nabil Ghazi AL Hazim*
Dr. Ali Janoud**

(Accepted 2/1/2006)

□ ABSTRACT □

This research describes a simulation model to simulate the traffic flow at Unsignalized intersections and determine their optimal function using simulation and queuing theory technique. All that intends to determine the critical traffic flows and delays at the intersections and its approaches.

In order to implement the suggested traffic and road solutions or modify them, the parameters mentioned above are considered the main criteria that determine the level of service with respect to evaluating the actual traffic and road conditions.

All parameters has been obtained from field observations at many intersections in Damascus and Lattakia. Model validity has been conducted by comparing simulated results to field observations.

Key words: Operations Research, Simulation, Queuing Theory, Project Management, Traffic Engineering, Unsignalized Intersections.

* Associate Professor, Faculty of Civil Engineering, Engineering and Construction Management Department, Damascus University, Damascus, Syria.

** Associate Professor, Faculty of Civil Engineering, Engineering and Construction Management Department, Tishreen University, Lattakia, Syria.

مقدمة:

فبفعل التطور الكبير الحاصل في المشاريع الهندسية تغدو الحاجة الماسة للبحث عن إدارة جيدة لتنفيذها. ويتفق الدارسون أن المشروع الناجح بشكل مثالي يعود إلى وجود إدارة تستوعب الأساليب المتطورة في إدارة المشاريع معتمدة على التخطيط المنهجي المدروس.

وتبقى بحوث العمليات من أهم الطرق لاتخاذ القرار الصحيح وذلك بين عدة بدائل تواجه مهندس الإدارة وخصوصاً عند دراسة فعالية منشأة ما أو قبل وضعها في الخدمة والاستثمار وبغض النظر عن وظيفتها وتخصصها.

إن العبث بالشيء الحقيقي هو بالغالب مكلف ويحتاج للكثير من الجهد والمال وخاصة إذا كان هذا النظام هو نظام سير المركبات والذي تتصف عناصره مثل «السرعات، الفجوات الزمنية، التسارع، الخ...» بالعشوائية والتي يصعب صياغتها بشكل رياضي لذا يلجأ عادة إلى استخدام النماذج الممثلة للأنظمة الواقعية لإجراء التجارب عليها واختبارها بغية الوصول إلى نظام العمل الأمثل لها.

يتحدد اختيار العمل الأمثل على هذا النوع من التقاطعات بحساب السعة و الغزارات الحرجة والإعاقات «ضياعات الوقت» التي تحصل بفعل المشاة والمركبات. وتبقى طريقة المحاكاة هي الطريقة الأفضل من بين طرق اتخاذ القرار لتمثيل ونمذجة هذه الظواهر العشوائية.

تم استخدام المحاكاة لأول مرة ولحل مشاكل المرور في الخمسينات من القرن الماضي [1][4] وذلك بهدف اختبار فعالية عمل العناصر الطرقية أو حتى قبل وضعها قيد التنفيذ والاستخدام.

إن اختيار الشكل الأمثل للتقاطعات الطرقية يجب أن لا يتم من خلال جلسات نقاش وبدون الاعتماد على الأسس العلمية وأخذ تأثير الحلول المقترحة على التقاطعات والطرق المجاورة. ولذلك تكون أكثر هذه الحلول ناقصة وتؤدي أحياناً إلى مشاكل وازدحامات لم تكن متوقعة.

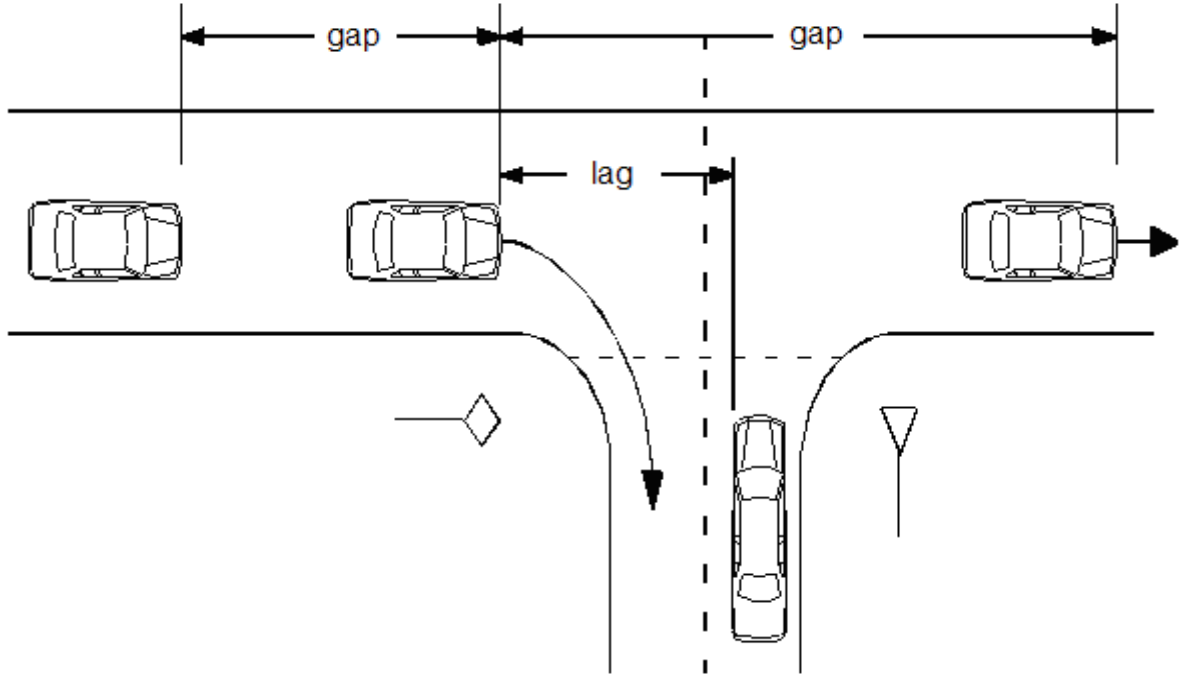
لذا يجب قبل وضع هذه الحلول الطرقية واعتمادها من إجراء التحقق من فعاليتها وقدرتها على إمرار الغزارات المرورية الحالية والمستقبلية وعلاقتها مع التقاطعات الطرقية المجاورة.

وهذا ما نستطيع إنجازه باستخدام نماذج المحاكاة والتي تعطينا صورة واضحة عن عمل هذه التقاطعات الطرقية والتحقق من عملها وملائمتها للغزارات المتوقعة عليها قبل وضعها في الاستخدام.

وصف النموذج المقترح:

- تم بناء النموذج بلغة Visual Basic على الحاسب الشخصي.
- يعتمد العمل الأساسي لهذا النوع من التقاطعات الطرقية بأن تقوم المركبات القادمة من الطرق الفرعية بالاندماج في تيار السير على الطريق الرئيسية مستفيدة من الفجوات الزمنية التي تتوافر فيه وذلك كما في الشكل رقم (1).
- تضبط الحركة على هذا النوع من التقاطعات الطرقية باستخدام الشاخصات المرورية الخاصة مثل «أعطي الأفضلية» أو إشارة STOP «توقف» ونميز منها التقاطعات الطرقية بشكل T والتقاطعات العادية والمقنولة والغير مضبوطة بإشارات ضوئية.
- إذا رأى السائق المقترّب من التقاطع والمتحرك على الطريق الفرعية بان الفجوة الزمنية (Lag) التي تفضله عند المركبة المتحركة على الطريق الرئيسية كافية لاندماج بتيار السير الرئيسي فإنه يقرر عندها الاندماج. وإذا لم تكن

هذه الفجوة الزمنية كافية فإنه عندها سيضطر للتوقف وانتظار فجوة زمنية (gap) ملائمة لقيامه بعملية الاندماج مع تيار السير الرئيس.



الشكل رقم (1) تحديد الفجوات الزمنية على تقاطع طريقي بشكل T

حساب الفجوة الزمنية الحدية t_{gr} :

تعرف بأنها الحد بين قبول الفجوات الزمنية وبين رفضها أي بمعنى آخر كل فجوة زمنية في تيار السير الرئيس أكبر منها فهي كافية ومقبولة لاندماج مركبات الطريق الفرعية وكل فجوة زمنية أصغر منها هي مرفوضة، وغير كافية لاندماج المركبات القادمة من الطريق الفرعية.

ويمكن أن تعتبر هذه الفجوات الزمنية كمتحولات عشوائية واحتمال قبولها هو $F(h)$ يحسب هذا الاحتمال كما أعطاه E. Dennis [2] [6] بالعلاقة (1):

$$F(h) = \begin{cases} 1 - \exp[-\lambda(t - T)] & \text{if } h \geq T \\ 0 & \text{if } h < T \end{cases} \quad (1)$$

حيث: T - أصغر فجوة زمنية مقبولة [sec].

t - الفجوة الزمنية الوسطية في تيار السير الرئيس [sec].

λ - عدد الفجوات الزمنية في وحدة الزمن.

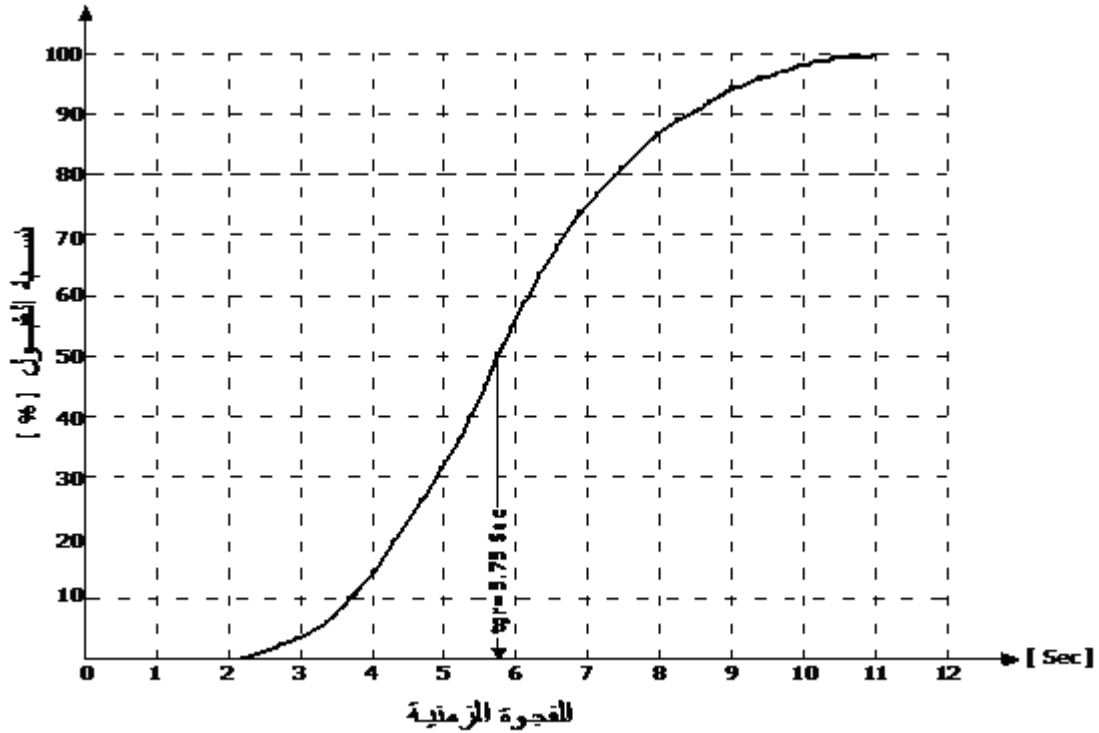
وقد أثبت الأبحاث أن احتمال قبول الفجوة الزمنية يقل مع زيادة زمن الانتظار وتختلف قيمتها من سائق لآخر

وتتعلق بالعوامل الآتية:

- نوع المناورة (للأمام، الانعطاف اليميني، الانعطاف اليساري).
- تنظيم الحركة (الشاحنة المرورية المعتمدة).
- الرؤية وطبوغرافية الموقع.

- نوع المركبة وسرعتها.
- عدد حارات المرور على الطريق الرئيسية.
- غزارة السير على الطريق الرئيسية وزمن الانتظار.
- جنس السائق وعمره.
- حالة الطقس.
- حالة السائق.
- حركة المشاة.

وقد قام الباحثان بإجراء قياسات لتحديد هذه الفجوات الزمنية على عدد من التقاطعات الطرقية في مدينة دمشق واللاذقية ويبين الشكل (2) هذه الفجوات.



الشكل رقم (2) الفجوة الزمنية الحدية

وحسب القياسات التي قمنا بها وحسب المراجع العالمية تم تحديد الجدول رقم (1) [3] [6] والذي يبين قيم الفجوات الحدية الوسطية المقبولة من المركبات السياحية ولسرعات مختلفة.

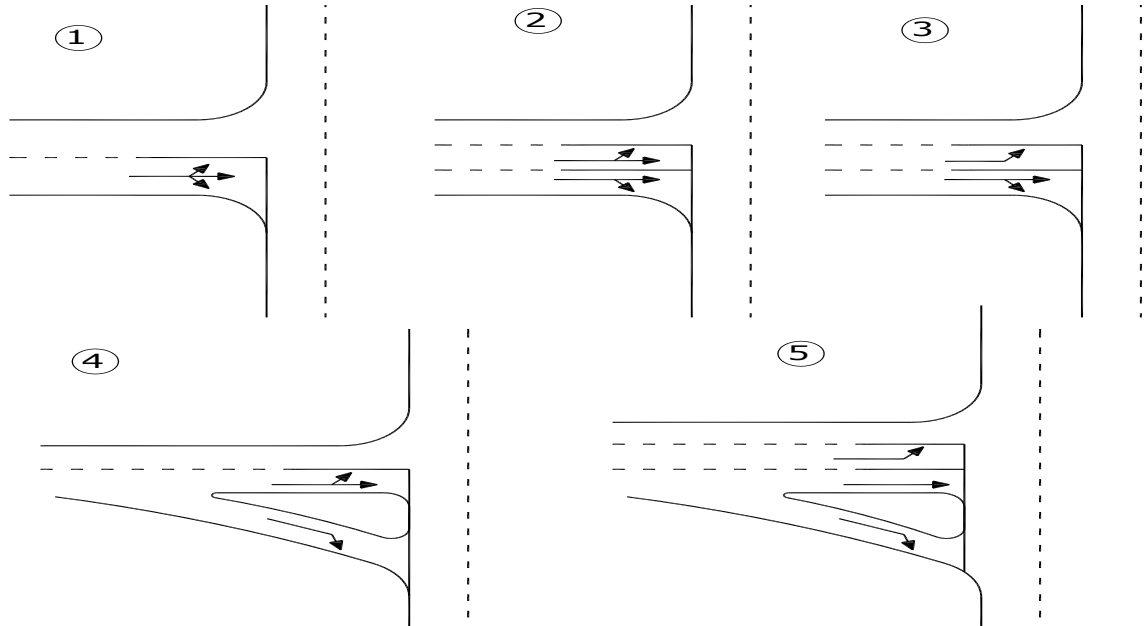
الجدول رقم (1) قيم الفجوات الزمنية الحدية tgr للمركبات السياحية ولسرعات مختلفة

نوع المناورة وطبيعة تنظيم المدخل (الطريق الفرعية)	سرعة المركبات الوسطية على الطريق الرئيسية		
	40	60	90
الانعطاف اليميني حسب الشاخصة:			
- إعطاء الأفضلية	4.0	4.5	5.5
- توقف STOP	5.0	5.5	6.5
الانعطاف اليساري حسب الشاخصة:			
- إعطاء الأفضلية	5.0	5.5	6.5
- توقف STOP	6.0	6.5	7.51
الانعطاف اليساري من الطريق الرئيسية	4.0	4.5	5.0
التقاطع حسب الشاخصة:			
- إعطاء الأفضلية	4.5	5.0	6.0
- توقف STOP	5.5	6.0	7.0

- هناك إمكانية في النموذج المقترح لاعتماد قيمة ثابتة للفجوة الزمنية لكل المركبات الخارجة من الطريق الفرعية، أو يتم توليدها بشكل عشوائي ولكل سائق على حدة اعتماداً على المنحني الموضح بالشكل رقم (2) وذلك باستخدام المولد العشوائي الخاص بالكومبيوتر.
- تعتمد كفجوة أصغر بين توارد المركبات $t_{min} = 1sec$ على كلاً من الطريقتين الرئيسة والفرعية.

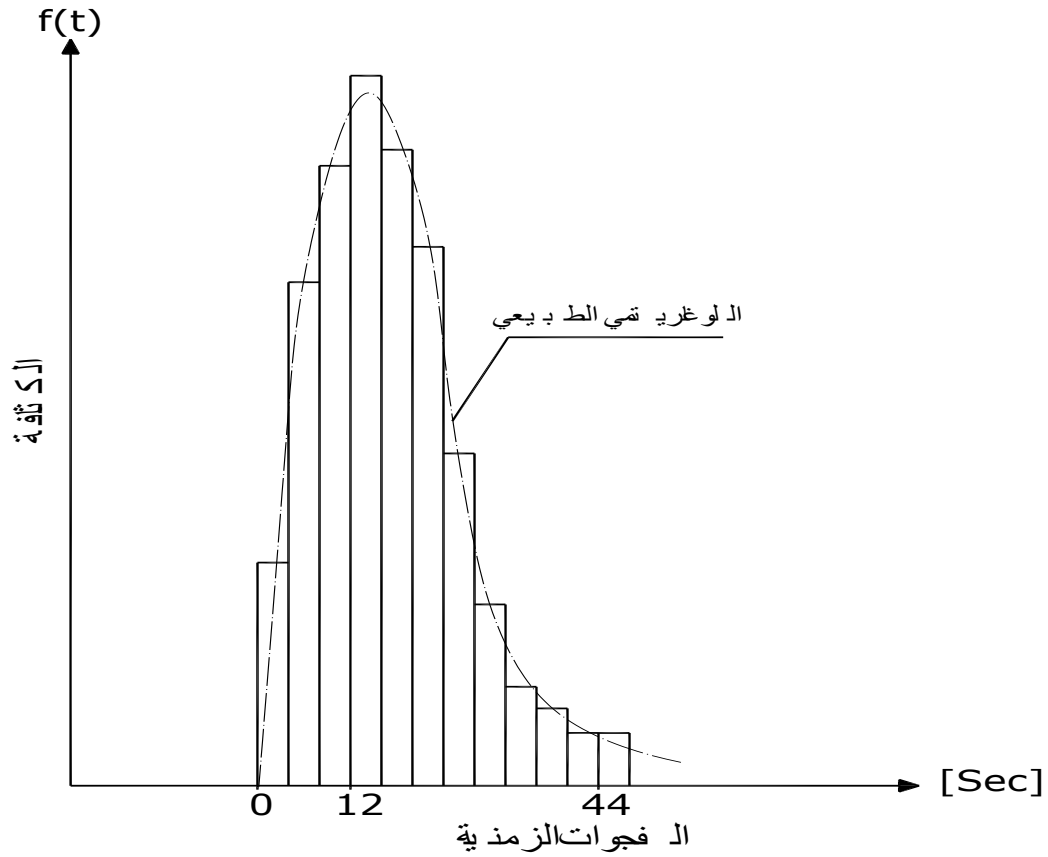
تصنيف المداخل:

لنموذج المقترح إمكانية التعامل مع أشكال مختلفة من مداخل الطرق الفرعية والمبينة بالشكل رقم (3) ويتم اختيار شكل المدخل بإدخال رقمه في البداية.



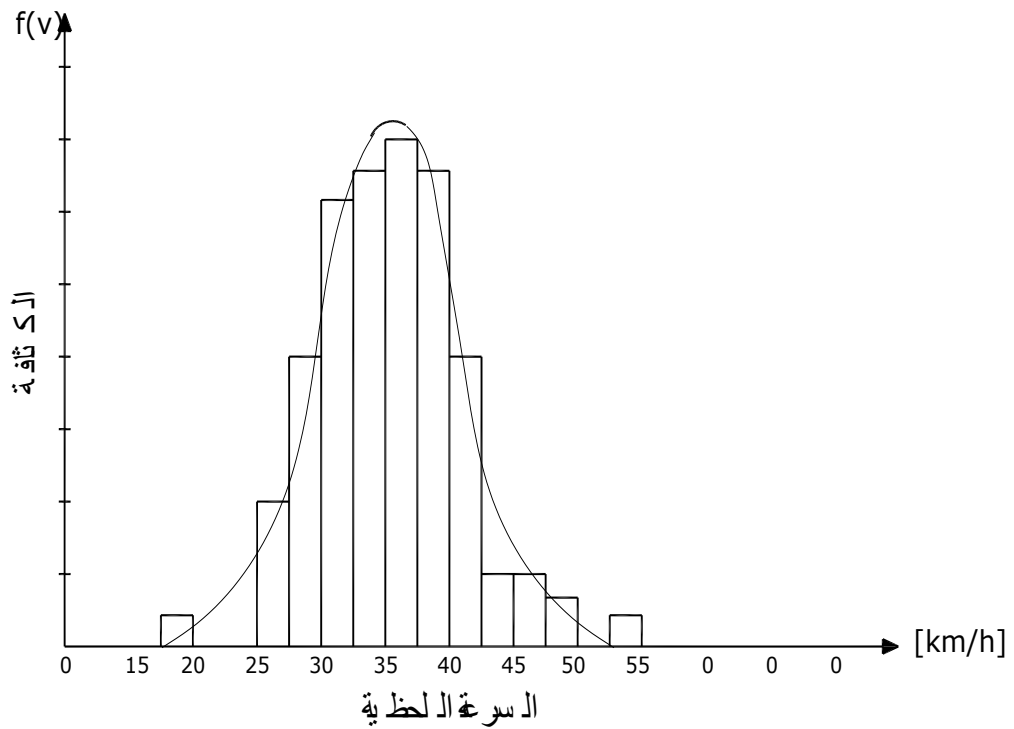
الشكل رقم (3) أشكال المداخل الفرعية المعتمدة في النموذج المقترح

- يتم توليد ورود المركبات من المنحني اللوغاريتمي الطبيعي (حسب قياسات سابقة) وذلك حسب الشكل رقم (4).



الشكل رقم (4) منحني الفجوات الزمنية بين توارد المركبات

يتم توليد سرعة المركبات من المنحني الطبيعي حسب الشكل رقم (5).



الشكل رقم (5) منحني السرعة اللحظية للمركبات

- يتغير عدد الحارات المرورية على الطريق الرئيس من 1 ← 2.
- يتغير عدد الحارات المرورية على الطرق الفرعية من 1 ← 3.
- كما يمكن أن تتواجد حارة مرورية خاصة بالانعطاف اليساري أو اليميني وذلك على الطريق الفرعية حسب الشكل رقم (3).

معاملات النموذج المقترح:

- تتم المحاكاة باستخدام طريقة الحوادث المتتالية ويتم تحليل حركة المركبات في نقاط أساسية محددة، ويقوم البرنامج بملاحقة المركبة في كل لحظة لتحديد سرعتها ومكانها والحالة المرورية التي توجد فيها وقد تم اعتماد الحركات الآتية في النموذج المقترح:

- الانعطاف اليساري (LT) - الحركة الأمامية (TH).

- الانعطاف اليميني (RT).

- تحدد الحركة ومصدرها بأرقام.

- يتم توليد المركبات في المقاطع GS الشكل (6) وبحيث تتصف هذه المقاطع بما يأتي:

1- بعيدة عن منطقة بداية التفرع (اختيار اتجاه الحركة).

2- بعيدة عن تأثير الأرتال.

- تتحرك المركبات خلف بعضها البعض بالاستفادة من قانون المركبة اللاحقة [5] وذلك حسب العلاقة (2)

$$a_n(t + \tau) = \left[\Delta v(t)^2 / \{ \Delta x(t) \cdot \text{Log}_e [s_* / \Delta x(t)] \} \right] \dots (2)$$

حيث:

$\Delta v = v_n(t) - v_{n-1}$: فرق السرعة بين المركبتين المتلاحقتين.

$\Delta x = x_n(t) - x_{n-1}$: فرق المسافة بين المركبتين المتلاحقتين.

s_* - المسافة المرغوبة بين المركبات المتوقفة في الطابور.

$$s_* = s_0 \cdot \exp(\Delta v / 2v_c)$$

s_0 - المسافة الوسطية بين المركبات المتوقفة في الطابور = 5.6 m (الجدول رقم 2)

الجدول رقم (2) المسافة الوسطية بين المركبات المتوقفة في الطابور S_o (m)

المسافة (m) S_o	5.00 - 5.25	5.25 - 5.50	5.50 - 5.75	5.75 - 6.00
العدد	12	15	81	33
المسافة الوسطية	5.60			

v_c - السرعة الوسطية لتيار السير

- يمكن للأرتال أن تظهر على مداخل الطريق الرئيسية (A, B) وذلك على الحارة المخصصة للانعطاف اليساري.

- تظهر الأرتال على جميع حارات مداخل الطرق الفرعية (C, D).

- يتم أولاً تخديم المركبات المتحركة على الطريق الرئيسية.

- يتم تخديم المركبات مداخل الطرق الفرعية وذلك عند ظهور الفجوات الزمنية المناسبة في تيار السير الرئيس.

- أفضلية الحركة تتم على الشكل التالي (الشكل 6):

- 1- الحركة الأمامية والانعطاف اليميني من الطريق الرئيسية أي الحركات: AR, ATH, BR, BTH
 - 2- الحركة الأمامية والانعطاف اليميني من الطريق الفرعية أي الحركات: DR, DTH, CR, CTH
 - 3- الانعطاف اليساري من الطريق الرئيسية أي الحركات: BL, AL
 - 4- الانعطاف اليساري من الطريق الفرعية أي الحركات: CL, DL
- يتم خدمة المركبات القادمة من الطريق الفرعية حسب تدرج ظهورها الزمني وحسب قواعد السير المتبعة مع الأخذ بالحسبان إمكانية الخدمة المتزامنة للمركبات الموجودة على المداخل الأخرى أو على الحارات المرورية المجاورة.
- تتم خدمة المركبات المنتظرة في الرتل على المداخل الفرعية حسب نظام FIFO (القادم أولاً يخدم أولاً).
- يتم دخول المركبات إلى الطريق الرئيسية مستفيدة من الفجوات الزمنية المتوفرة في تيار السير الرئيس وقد أعطى Pearson [6] العلاقات (3) و (4) لتحديد عدد المركبات (N) المستفيدة من فجوة زمنية قدرها (T) لدخول التقاطع. عند الانعطاف اليميني:

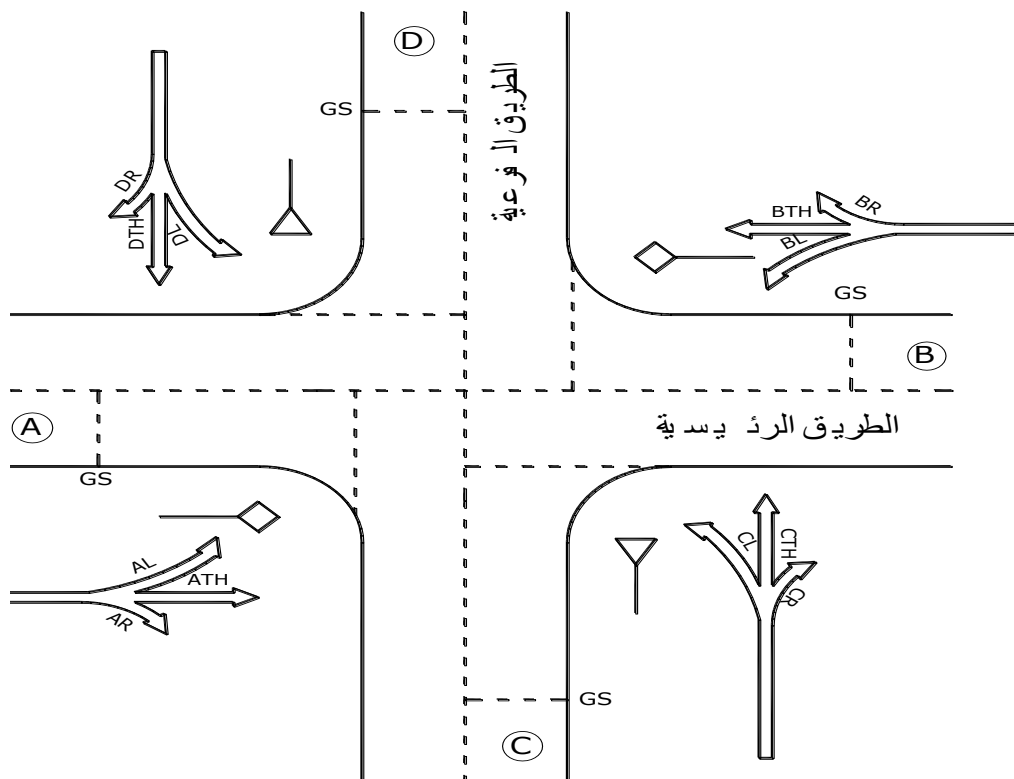
$$N = 0.286T - 0.74 \quad (3)$$

عند الانعطاف اليساري:

$$N = 0.286T - 1.07 \quad (4)$$

- ونتيجة لقياسات قام بها الباحثان تبين بأن الفترة الزمنية بين خروج المركبة رقم 2 والمركبة رقم 3 وباقي المركبات هو ثابت ويبلغ:

$$t_{x2} = t_{xi} = 1.9 \text{ sec} \quad (1.9 \text{ sec})$$



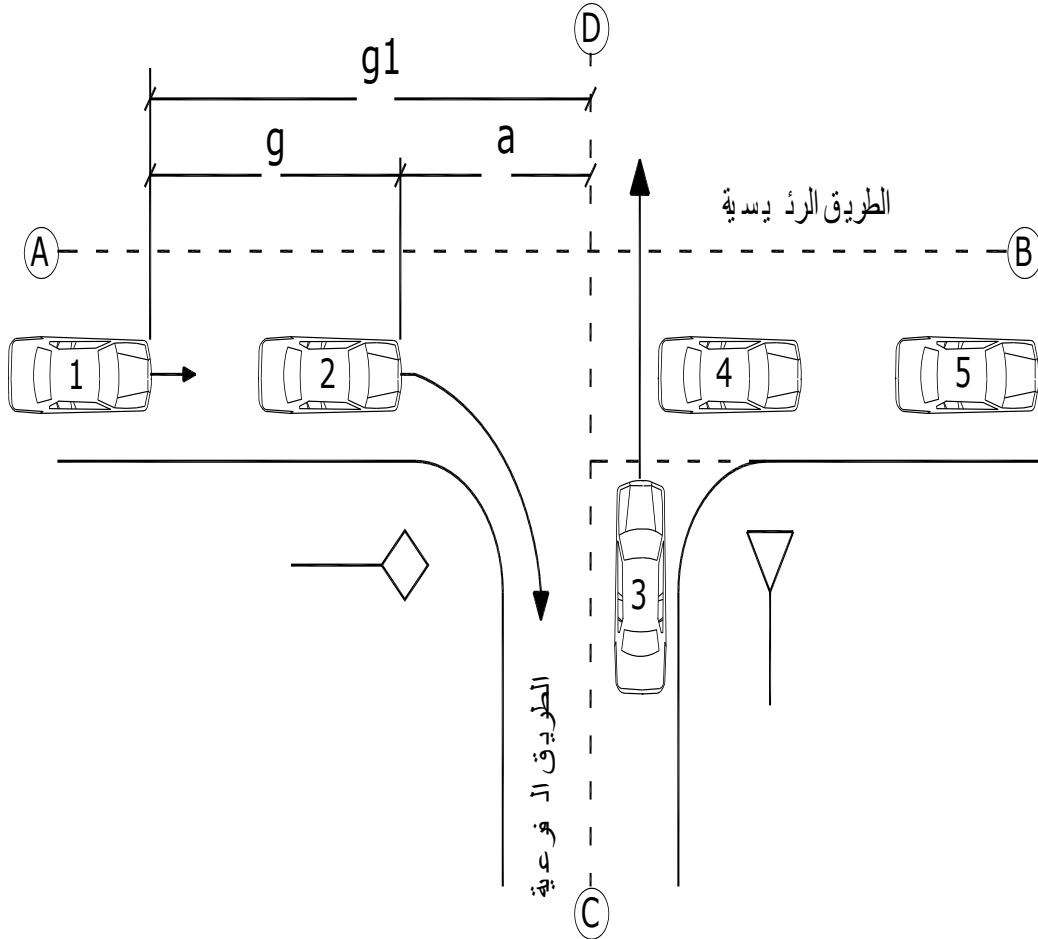
الشكل رقم (6) النموذج المقترح وأفضليات المرور

- ويبين الجدول رقم (3) الفترات الزمنية بين خروج المركبات من الرتل حيث: t_{x0} - الفترة الزمنية بين ظهور الفجوة في تيار السير الرئيس وبدء تحرك المركبة الأولى المتوقفة في الرتل.

الجدول رقم (3) الفترات الزمنية بين خروج المركبات من الرتل

رقم المركبة في الرتل	1	2	3	4	5
الفترة الزمنية (sec)	t_{x0}	t_{x1}	t_{x2}	t_{x3}	t_{x4}
	1.5	2.6	1.9	1.9	1.9

- المركبات التي لم تستفيد من ال (lag) المتوافر لها ستضطر للوقوف على المدخل حتى تتوافر فجوة زمنية في تيار السير الرئيس تساوي، أو اكبر من الفجوة الزمنية الحدية.
- للنموذج المقترح القدرة على حساب زمن التأخر (الإعاقة) ولكل مدخل على حدة ولكل حارة مرورية.
- بينت القياسات المجراة على الواقع بأن المركبة رقم (3) الشكل (7) تبدأ بالحركة بعد 3 ثوان من قبل انتهاء المركبة رقم (2) من التقافها اليميني.
- تضاف القيمة a للفجوة g لتصبح g_1 وتعتمد a_1 للانعطاف اليميني من الطريق الفرعية و a_2 للحركة الأمامية والانعطاف اليساري.
- يوفر النموذج إمكانية ضبط المداخل الفرعية باستخدام شاخصات توقف (STOP) بحيث تضطر جميع المركبات القادمة من الطريق الفرعية أن تتوقف فاسحة الطريق لمرور مركبات الطريق الرئيسية.



الشكل رقم (7) الفجوة الزمنية عند الانعطاف اليميني من الطريق الرئيسية

- يفترض بأن المركبات تتحرك على المداخل (عند الانعطاف) بسرعة ثابتة تتعلق بنصف قطر الانعطاف وحسب العلاقتين (5) و(6):

$$\bar{v} = 7.20\sqrt{R} \quad [\text{km/h}] \quad \dots(5)$$

R: نصف قطر الانعطاف العلاقة صالحة للمجال $R \in [5-70]$

$$\sigma = 1.13\sqrt{R} \quad [\text{Km/h}] \quad \dots(6)$$

بناء النموذج:

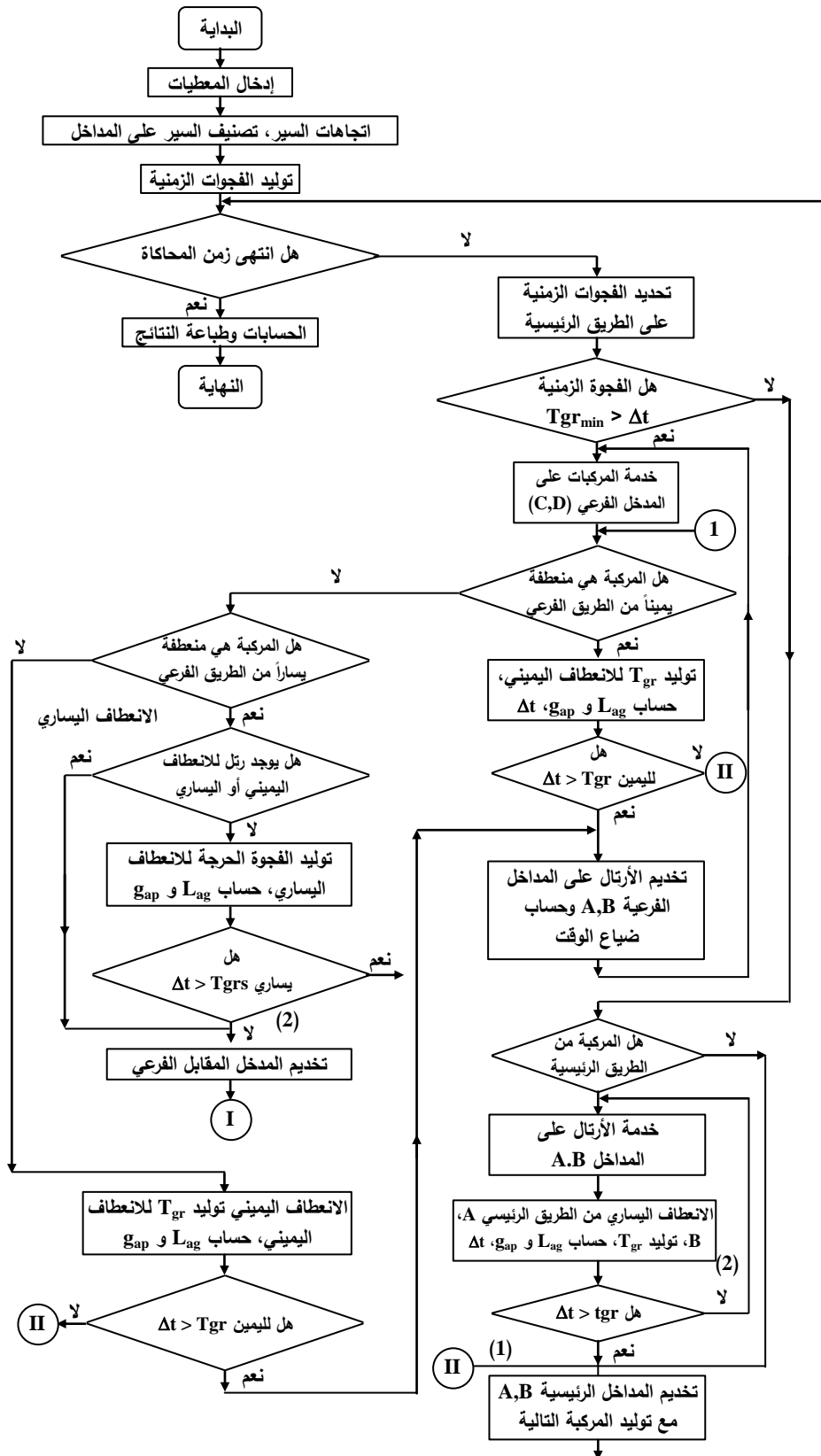
يوضح الشكل (8) المخطط المنطقي للنموذج المقترح والذي يتألف من قسمين رئيسيين:

- 1- عملية البحث عن الفجوة الزمنية المناسبة والأكبر من $t_{gr\min}$ وتخصيم المركبات المتحركة على الطريق الرئيسية.
- 2- التحقق من أن المركبات المتواجدة على المداخل الفرعية تستفيد من هذه الفجوات الزمنية وبالتالي القيام بخدمتها.

$$T_{gr\min} - \text{الفجوة الزمنية الصغرى المقبولة في تيار السير الرئيسي}$$

$$T_{gr} - \text{الفجوة الزمنية الحدية لكل سائق}$$

- إن عملية تخصيم الحركة المنعطفة يساراً تتعلق بالشكل الهندسي لحارات المرور على المداخل الفرعية وتأخذ بالحسبان ما يأتي:
- 1- نظراً لعشوائية الفجوة الزمنية الحرجة يجب التأكد من أن الفجوة الزمنية المتوفرة للمركبة المنعطفة لا تستفيد منها مركبة أخرى موجودة على الحارة المجاورة.
 - 2- عند التحقق من الفجوة للقيام بعملية الانعطاف اليميني يجب التحقق وفي الوقت نفسه من إمكانية تخصيم المركبات المنعطفة يساراً من المدخل المقابل مثل CR و DR.



الشكل رقم (8) المخطط المنطقي للنموذج المقترح

مدخلات النموذج:

تتلخص مدخلات النموذج بما يلي الأشكال رقم (9) وحتى (13):

- زمن المحاكاة.
- عدد المداخل.
- شكل الطريق الرئيس (عدد الحارات المرورية) على الطريق الرئيسية.
- شكل الطريق الفرعية (عدد الحارات المرورية).
- الغزارة على الطرق الرئيسية (ولكل حارة على حدة).
- الغزارة على الطرق الفرعية (ولكل حارة على حدة).
- الانحراف المعياري للغزارة على الطرق الرئيسية (ولكل حارة على حدة).
- الانحراف المعياري للغزارة على الطرق الفرعية (ولكل حارة على حدة).
- النسب المرورية للانعطافات من الطرق الفرعية والرئيسية.
- السرعة على الطرق الرئيسية.
- السرعة على الطرق الفرعية.
- الانحراف المعياري للسرع على الطرق الرئيسية.
- الانحراف المعياري للسرع على الطرق الفرعية.
- نصف قطر الانعطاف اليميني.
- نصف قطر الانعطاف اليساري.
- طول منطقة الانتظار على المداخل الرئيسية.
- طول منطقة الانتظار على المداخل الفرعية.

المدخلات

محاكاة حركة المرور ونظام العمل الأمثلي للتقاطعات
الطرقيّة الغير مضبوطة بإشارات ضوئية

زمن المحاكاة (Sec) 3600

عدد الحارات المرورية على الطريق الرئيسية 2

عدد المداخل الفرعية 2

متابعة إنهاء

الشكل رقم (9) المدخلات

المدخلات

الطريق الرئيسية (A)

2	عدد الحارات المرورية
200	الغزارة على الحارة اليمينية (Veh/h)
4.6	الانحراف المعياري للفجوات الزمنية على الحارة اليمينية (Sec)
100	الغزارة على الحارة اليسارية (Veh/h)
3.7	الانحراف المعياري للفجوات الزمنية على الحارة اليسارية (Sec)
11.11	وسطي السرعة على الطريق الرئيسية (m/sec)
3.5	الانحراف المعياري للسرعة على الطريق الرئيسية (m/sec)
10	نصف قطر الانعطاف اليميني (m)
10	نصف قطر الانعطاف اليساري (m)
30	طول منطقة الانتظار (m)
10	نسبة الانعطاف اليميني (%)
10	نسبة الانعطاف اليساري (%)

إنهاء متابعة

الشكل رقم (10) المدخلات

المدخلات

الطريق الرئيسية (B)

2	عدد الحارات المرورية
200	الغزارة على الحارة اليمينية (Veh/h)
5.0	الانحراف المعياري للفجوات الزمنية على الحارة اليمينية (Sec)
100	الغزارة على الحارة اليسارية (Veh/h)
3.2	الانحراف المعياري للفجوات الزمنية على الحارة اليسارية (Sec)
11.11	وسطي السرعة على الطريق الرئيسية (m/sec)
3.5	الانحراف المعياري للسرعة على الطريق الرئيسية (m/sec)
10	نصف قطر الانعطاف اليميني (m)
10	نصف قطر الانعطاف اليساري (m)
30	طول منطقة الانتظار (m)
10	نسبة الانعطاف اليميني (%)
10	نسبة الانعطاف اليساري (%)

إنهاء متابعة

الشكل رقم (11) المدخلات

المدخلات

الطريق الفرعية (C)

2	رقم شكل المدخل
150	الغزارة على الحارة اليمينية (Veh/h)
5.6	الانحراف المعياري للفجوات الزمنية على الحارة اليمينية (Sec)
0	الغزارة على الحارة الوسطى (Veh/h)
0	الانحراف المعياري للفجوات الزمنية على الحارة الوسطى (Sec)
100	الغزارة على الحارة اليسارية (Veh/h)
6.0	الانحراف المعياري للفجوات الزمنية على الحارة اليسارية (Sec)
9.7	وسطى السرعة على الطريق الفرعية أ (m/sec)
4.8	الانحراف المعياري للسرعة على الطريق الفرعية أ (m/sec)
10	نصف قطر الانعطاف اليميني (m)
10	نصف قطر الانعطاف اليساري (m)
40	طول منطقة الانتظار (m)
15	نسبة الانعطاف اليميني (Z)
10	نسبة الانعطاف اليساري (Z)

إنتهاء متابعة

الشكل رقم (12) المدخلات

المدخلات

الطريق الفرعية (D)

2	رقم شكل المدخل
150	الغزارة على الحارة اليمينية (Veh/h)
6.7	الانحراف المعياري للفجوات الزمنية على الحارة اليمينية (Sec)
0	الغزارة على الحارة الوسطى (Veh/h)
0	الانحراف المعياري للفجوات الزمنية على الحارة الوسطى (Sec)
100	الغزارة على الحارة اليسارية (Veh/h)
5.0	الانحراف المعياري للفجوات الزمنية على الحارة اليسارية (Sec)
9.7	وسطى السرعة على الطريق الفرعية أ (m/sec)
7	الانحراف المعياري للسرعة على الطريق الفرعية أ (m/sec)
10	نصف قطر الانعطاف اليميني (m)
10	نصف قطر الانعطاف اليساري (m)
30	طول منطقة الانتظار (m)
12	نسبة الانعطاف اليميني (Z)
10	نسبة الانعطاف اليساري (Z)

إنتهاء النتائج

الشكل رقم (13) المدخلات

يمكن الحصول على النتائج في أي لحظة وفي نهاية عملية المحاكاة ومن خلال البرنامج الفرعي النتائج الآتية، الأشكال رقم (14) وحتى (17):

- ضياع الوقت الكلي (sec) خلال فترة المحاكاة.
- ضياع الوقت الوسطي الحاصل على كل مركبة (sec).
- ضياع الوقت الوسطي الحاصل على كل مركبة توقفت أثناء عملية المحاكاة (sec).
- ضياع الوقت الأعظمي (sec) على الطرق الرئيسية والفرعية.
- الطول الأعظمي للطوابير.
- عدد المركبات التي توقفت أثناء عملية المحاكاة.
- متوسط عدد التوقفات/ مركبة.
- الغزارة على الطرق الرئيسية والفرعية (المولدة) مع الانحراف المعياري.
- السرعات على الطرق الرئيسية والفرعية (المولدة) مع الانحراف المعياري.
- ويمكن حساب القيم السابقة للتقاطع ككل أو لكل حارة مرورية على حدة.

النتائج	
الطريق الرئيسية (A)	
216	الغزارة على الحارة اليمينية (Veh/h)
4.3	الانحراف المعياري للفجوات الزمنية على الحارة اليمينية (Sec)
98	الغزارة على الحارة اليسارية (Veh/h)
4.01	الانحراف المعياري للفجوات الزمنية على الحارة اليسارية (Sec)
10.6	وسطي السرعة على الطريق الرئيسية (m/sec)
3.7	الانحراف المعياري للسرعة على الطريق الرئيسية (m/sec)
53	ضياع الوقت الأعظمي على الطريق (Sec)
35	عدد المركبات المتوقفة (Veh)
20	ضياع الوقت الوسطي على كل مركبة متوقفة (Sec/Veh)
2.4	ضياع الوقت الوسطي على كل مركبة (Sec/Veh)
3	الطول الأعظمي للرتل (Veh)
1	متوسط طول الرتل (Veh)
0.12	وسطي عدد التوقفات لكل مركبة

إتهاء متابعة

الشكل رقم (14) المخرجات

النتائج	
الطريق الرئيسية (B)	
213	الغزارة على الحارة اليمينية (Veh/h)
5.2	الانحراف المعياري للفجوات الزمنية على الحارة اليمينية (Sec)
103	الغزارة على الحارة اليسارية (Veh/h)
3.5	الانحراف المعياري للفجوات الزمنية على الحارة اليسارية (Sec)
11.8	وسطي السرعة على الطريق الرئيسية (m/sec)
3.85	الانحراف المعياري للسرعة على الطريق الرئيسية (m/sec)
59	ضياع الوقت الأعظمي على الطريق (Sec)
40	عدد المركبات المتوقفة (Veh)
22	ضياع الوقت الوسطي على كل مركبة متوقفة (Sec/Veh)
2.9	ضياع الوقت الوسطي على كل مركبة (Sec/Veh)
3	الطول الأعظمي للرتل (Veh)
1	متوسط طول الرتل (Veh)
0.13	وسطي عدد التوقفات لكل مركبة
<input type="button" value="متابعة"/> <input type="button" value="إنهاء"/>	

الشكل رقم (15) المخرجات

النتائج	
الطريق الفرعية (C)	
145	الغزارة على الحارة اليمينية (Veh/h)
5.2	الانحراف المعياري للفجوات الزمنية على الحارة اليمينية (Sec)
103	الغزارة على الحارة اليسارية (Veh/h)
5.8	الانحراف المعياري للفجوات الزمنية على الحارة اليسارية (Sec)
9.2	وسطي السرعة على الطريق الفرعية (m/sec)
4.35	الانحراف المعياري للسرعة على الطريق الفرعية (m/sec)
95	ضياع الوقت الأعظمي على الطريق (Sec)
180	عدد السيارات المتوقفة (Veh)
45	ضياع الوقت الوسطي على كل مركبة متوقفة (Sec/Veh)
32.4	ضياع الوقت الوسطي على كل مركبة (Sec/Veh)
6	الطول الأعظمي للرتل (Veh)
4	متوسط طول الرتل (Veh)
0.72	وسطي عدد التوقفات لكل مركبة
<input type="button" value="متابعة"/> <input type="button" value="إنهاء"/>	

الشكل رقم (16) المخرجات

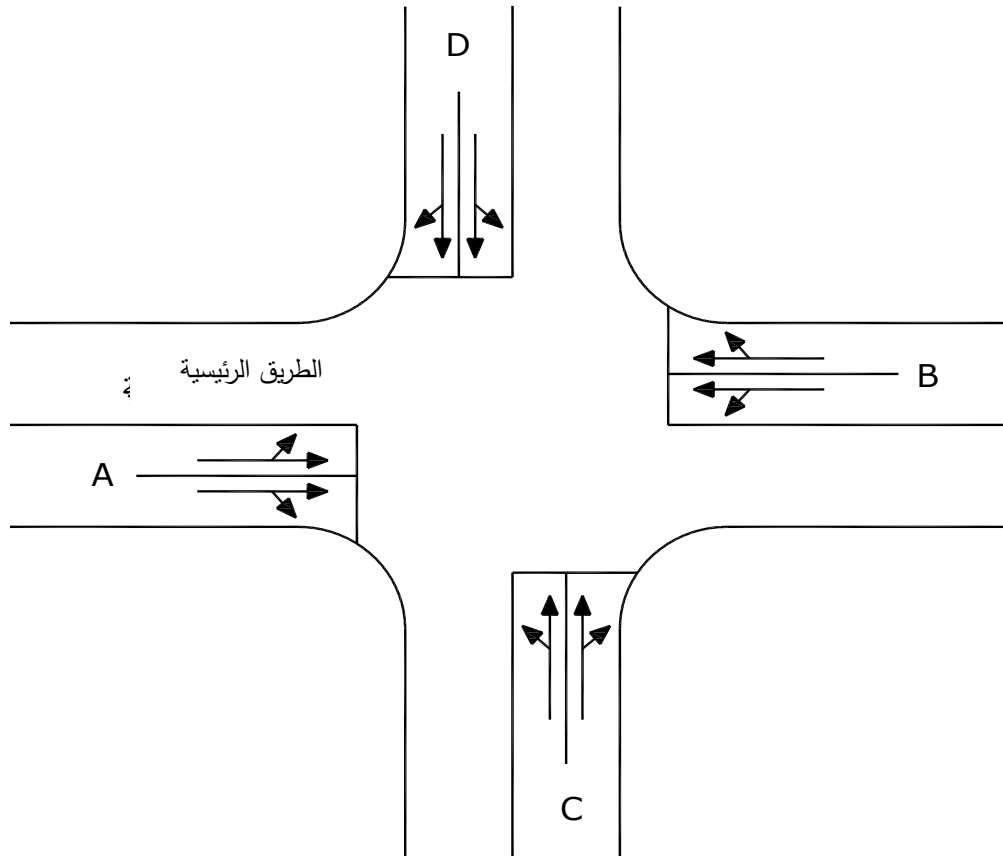
النتائج	
الطريق الفرعية (D)	
148	الغزارة على الحارة اليمينية (Veh/h)
6	الانحراف المعياري للفجوات الزمنية على الحارة اليمينية (Sec)
97	الغزارة على الحارة اليسارية (Veh/h)
4.8	الانحراف المعياري للفجوات الزمنية على الحارة اليسارية (Sec)
10.2	وسيط السرعة على الطريق الرئيسية (m/sec)
6.85	الانحراف المعياري للسرعة على الطريق الرئيسية (m/sec)
105	ضياع الوقت الأعظمي على الطريق (Sec)
170	عدد السيارات المتوقفة (Veh)
57	ضياع الوقت الوسطي على كل مركبة متوقفة (Sec/Veh)
38.8	ضياع الوقت الوسطي على كل مركبة (Sec/Veh)
6	الطول الأعظمي للرتل (Veh)
3	متوسط طول الرتل (Veh)
0.68	وسيط عدد التوقفات لكل مركبة

إنهاء

الشكل رقم (17) المخرجات

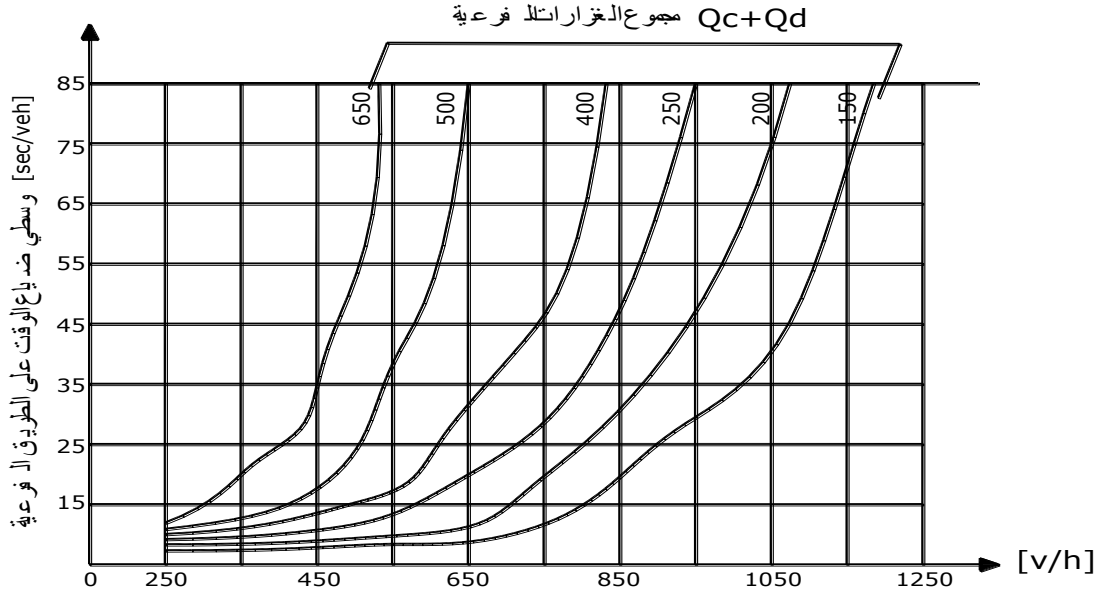
التحقق من النموذج:

يهدف التحقق من صحة نتائج النموذج ويهدف استخدامه لتقييم فعالية النقاطات الطرقية أو لاختيار حلول جديدة قبل وضعها قيد الاستخدام تم تجريب النموذج على التقاطع الطريقي على الشكل رقم (18).

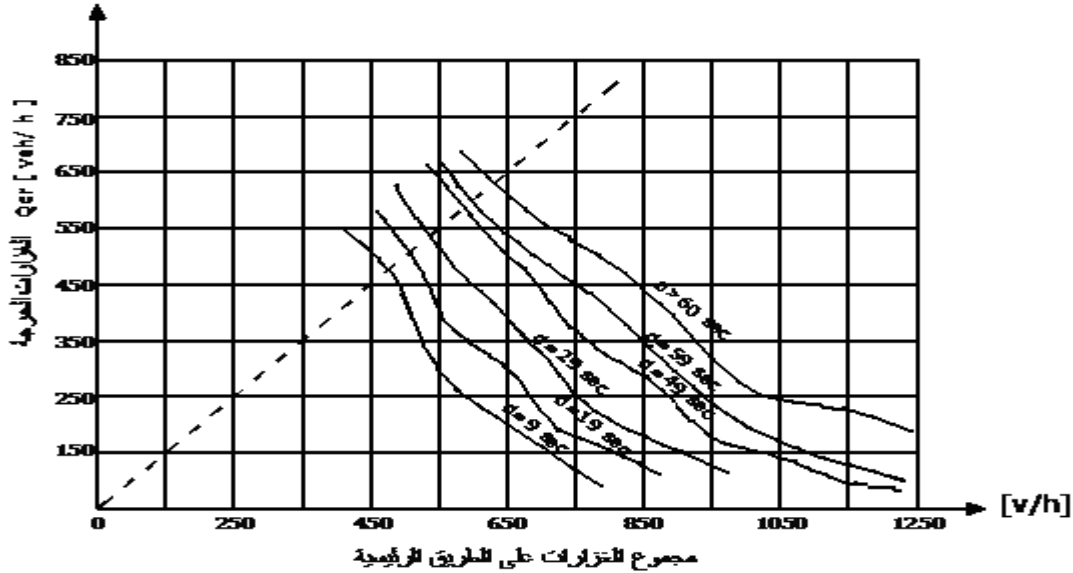


الشكل رقم (18) التقاطع الطريقي الواقعي

وكانت المداخلات كما توضح الأشكال (9-13) ويتشغيل البرنامج لعدة مرات تم الحصول على النتائج الموضحة على الأشكال (14-17) والأشكال (19-20). وحيث يوضح الشكل (19) العلاقة بين القيم الوسطية لضياعات الوقت للمركبات على المداخل الفرعية وبين الغزارات على الطريق الرئيسية A, B وعلى المداخل الفرعية. كما يوضح الشكل (20) قيم الغزارات الحرجة Q_{Cr} (veh/h) على المداخل الفرعية وذلك لقيم محددة لضياعات الوقت.



الشكل رقم (19) العلاقة بين وسطي ضياع الوقت على الطريق الفرعية والغزارات على الطريق الرئيسية



الشكل رقم (20) العلاقة بين الغزارات الحرجة والغزارات على الطريق الرئيسية حسب ضياع الوقت

وتوضح الجداول رقم (4-5-6) التحقق من صحة نتائج النموذج المقترح.

الجدول رقم (4) نتائج التحقق من النموذج المقترح

المدخل	نتائج النموذج	نتائج القياسات الواقعية	الخطأ %
المدخل A			
وسطي الغزارة :(veh/h)			
- الحارة اليمينية	216	200	9
- الحارة اليسارية	98	100	2
السرعة m/sec	10.6	11.11	5
المدخل B			
وسطي الغزارة :(veh/h)			
- الحارة اليمينية	213	200	6.5
- الحارة اليسارية	103	100	3
السرعة m/sec	11.8	11.11	9
المدخل C			
وسطي الغزارة :(veh/h)			
- الحارة اليمينية	145	150	3.4
- الحارة اليسارية	103	100	3
السرعة m/sec	9.2	9.7	
المدخل D			
وسطي الغزارة :(veh/h)			
- الحارة اليمينية	148	150	5
- الحارة اليسارية	97	100	3
السرعة m/sec	10.2	9.7	5

الجدول رقم (5) التحقق من وسطي زمن قطع التقاطع من Gs إلى Gs

إلى من	A		B		C		D	
	من النموذج	من الواقع	من النموذج	من الواقع	من النموذج	من الواقع	من النموذج	من الواقع
A	0	0	31.53	34.15	40.01	43.15	39.73	42.41
B	31.81	34.78	0	0	50.31	55.24	42.37	46.31
C	58.82	63.79	41.03	45.26	0	0	46.71	51.52
D	42.01	45.92	51.82	54.32	49.32	54.63	0	0
الخطأ %	8.30 – 12.95							

الجدول رقم (6) التحقق من قيم ضياعات الوقت من Gs إلى Gs

إلى من	A		B		C		D	
	من النموذج	من الواقع	من النموذج	من الواقع	من النموذج	من الواقع	من النموذج	من الواقع
A	0	0	19.27	21.89	28.69	31.83	25.58	28.29
B	20.79	23.76	0	0	37.6	42.33	32.20	34.14
C	43.36	48.33	28.45	32.68	0	0	33.31	38.12
D	28.61	32.52	36.36	38.86	35.92	41.23	0	0
الخطأ %	6.9 – 14.9							

النتائج والتوصيات:

- تعتمد المحاكاة كوسيلة فعالة لتقييم عمل التقاطعات الطرقية التي تعمل على مبدأ الأفضلية.
- الخطأ الصغير بين نتائج النموذج المقترح وبين النتائج الحقيقية يسمح باستخدام هذا النموذج لتقييم فعالية عمل هذا النوع من التقاطعات الطرقية أو اختبار الحلول الطرقية قبل وضعها قيد التنفيذ والاستخدام.
- يسمح النموذج بحساب ضياعات الوقت (الإعاقات) الحاصلة على المركبات.
- يسمح النموذج بحساب الغزارات المرورية الحرجة على المداخل الفرعية وعلاقتها مع الغزارات على الطريق الرئيسية.
- يسمح النموذج بحساب العلاقة بين ضياعات الوقت والغزارات المرورية.
- يسمح النموذج بحساب العلاقة بين ضياعات الوقت والغزارات الحرجة على المداخل الفرعية.
- إن حساب القيم السابقة عند تصميم هذا النوع من التقاطعات كونها تؤدي إلى تحديد مستوى الخدمة على التقاطع المفروض والذي يعد المعيار الأساسي لتقييم عمل التقاطعات التي تعمل بدون إشارات ضوئية ويعطى القرار الذي قرر إمكانية التقاطع لإمرار الغزارات الحالية والمستقبلية عليه.

- إن حساب مستوى الخدمة هو الذي يحدد إمكانية إدخال تعديلات أو حلول جذرية على التقاطعات الطرقية (كإدخال نظام الإشارات الضوئية أو الحلول الصناعية).
- طريقة المركبة اللاحقة يجب أن تؤخذ بعين الاعتبار عند تمثيل الحركة المفيدة لسير المركبات.
- الفجوة الزمنية المقبولة ليست ثابتة بالنسبة لجميع السائقين ولكنها متغيرة من سائق لآخر (متحول عشوائي).
- البنية الجذرية للنموذج تسمح بتطويره ويتم استخدامه عن طريقة إدخال نظام الإشارات الضوئية.

المراجع:

- 1- **ASHWORTH, R.** *Simulation of Traffic Delays at T-Junction Various Alternative Forms of Layout, Simulation*, September 1975, P: 145-148.
- 2- **DENNIS, E.** *The Effects of Gap-Acceptance Criteria on Merging Delay and Capacity at Uncontrolled Junctions*, Traff. Eng. Control. January 1979, P: 16-20.
- 3- *Highway Capacity Manual, MCM [2000]*, Washington 2000.
- 4- **RAJSKI, JANUSE,** *Modeling and Simulation*, Poznan, Poland-1986.
- 5- **S. DATKA, M. Tracz,** *Traffic Engineering WKT* - Poland - Warszawa 1999.
- 6- *Traffic Engineering Handbook*, third Edition Washington, USA, 1968.
- 7- **WOLEK, CZESLAW,** *Vehicle Speed Distribution on the Street Horizontal Curves*, Drogownictwo, Poland 1993.