

Study and Define the Criteria for Evaluating the Performance of Unsignalized Intersections According to HCM 2016 Methodology

Dr. Akram Rostum*

Hala Shehade**

(Received 5 / 1 / 2024. Accepted 27 / 2 / 2024)

□ ABSTRACT □

Unsignalized intersections (TWSC: Two Way Stop-Control) constitute a large percentage of intersections within cities and their suburbs. They are characterized by the presence of two directions of movement, major and minor. Drivers on the major street have priority over drivers on the minor street.

In this article, the effect of conflicting movements was studied using the HCM 2016 methodology (Highway Capacity Manual) on the performance of TWSC intersections. A four-leg intersection in Latakia city was studied by conducting field observation of the intersection and collecting geometric and traffic data to determine the criteria that most affect traffic movement. We calculated control delay, queue lengths, and level of service for each minor movement and comparing them to reality.

The results showed that the intersection operates with a very good level of service, with short delays, and that a queue rarely forms with more than one vehicle, with the exception of one minor leg, and the results were acceptably close to reality.

Keywords: TWSC, control delays, level of service, traffic study.

Copyright



:Tishreen University journal-Syria, The authors retain the copyright under a CC BY-NC-SA 04

* Associate Professor, Transportation Engineering Department, Faculty of Civil Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria. arustommm@yahoo.com

** Master Student, Transportation Engineering Department, Civil Engineering Faculty, Tishreen University, Lattakia, Syria, email; hala.shehade@tishreen.edu.sy

دراسة وتحديد المعايير الخاصة بتقييم الأداء لتقاطعات الأفضلية وفق منهجية HCM 2016

د. أكرم رستم *

حلا شحاده **

(تاريخ الإيداع 5 / 1 / 2024. قَبْلَ للنشر في 27 / 2 / 2024)

□ ملخص □

تشكل تقاطعات الأفضلية نسبة كبيرة من التقاطعات ضمن المدن وضواحيها، تتميز بوجود اتجاهي حركة رئيسي وثنائي، تكون الأولوية للعربات في الشارع الرئيسي على العربات في الشارع الثانوي. تم في هذا البحث دراسة تأثير الحركات المتعارضة باستخدام منهجية HCM 2016 (دليل سعة الطرق) على أداء تقاطعات الأفضلية حيث تم دراسة تقاطع رباعي في مدينة اللاذقية من خلال إجراء مراقبة حقلية للتقاطع وجمع المعطيات الهندسية والمعطيات المرورية لتحديد المعايير الأكثر تأثيراً على الحركة المرورية، حيث تم حساب التأخير الناتج عن التحكم بالحركات الثانوية وأطوال الأرتال ومستوى خدمة كل حركة من الحركات الثانوية ومقارنتها بالواقع. وبينت النتائج أن التقاطع يعمل بمستوى خدمة جيد جداً مع أزمنة تأخير قليلة ونادراً مايشكل رتل بأكثر من عربة واحدة باستثناء ذراع ثانوي واحد، وكانت النتائج مقارنة للواقع بشكل مقبول.

الكلمات المفتاحية: تقاطع افضلية، أزمنة تأخير، مستوى الخدمة، دراسة مرورية.

حقوق النشر : مجلة جامعة تشرين- سورية، يحتفظ المؤلفون بحقوق النشر بموجب الترخيص



CC BY-NC-SA 04

* أستاذ مساعد، قسم هندسة المواصلات والنقل، كلية الهندسة المدنية، جامعة تشرين، اللاذقية، سورية. arustommm@yahoo.com
** طالبة دراسات عليا (ماجستير)، قسم هندسة المواصلات والنقل، كلية الهندسة المدنية، جامعة تشرين، اللاذقية، سورية. hala.shehade@tishreen.edu.sy

مقدمة:

التقاطعات هي عبارة عن منطقة مشتركة بين طريقين أو أكثر مخصصة للسماح للعربات بالحركة وفق اتجاهات مختلفة بهدف الوصول إلى غاياتها المطلوبة. تعتبر هذه التقاطعات مواقع معقدة بالنسبة للحركة المرورية، لأن العربات تتحرك باتجاهات مختلفة لتشغل نفس المكان في نفس الزمن، بالإضافة إلى تواجد المشاة أيضاً لإنجاز العبور. تكون التقاطعات المرورية التقليدية، والتي تكون بمستوى واحد، إما منظمة بإشارات ضوئية أو منظمة بإشارات السير والشاخصات المرورية وتعرف بتقاطعات الأفضلية[4].

تشكل تقاطعات الأفضلية نسبة كبيرة من تقاطعات الطرق والشوارع ضمن المدن وضواحيها، تتميز بوجود اتجاهين للحركة رئيسي وثانوي. وهي تقاطعات غير منظمة بإشارات ضوئية و يكون للعربات في الشارع الرئيسي الأولوية على العربات في الشوارع الفرعية. تكون طريقة تنظيم الحركة عليها إما بإشارة "قف STOP" أو بإشارة "تمهل أفضلية المرور للغير" الموجودتين على الأذرع الثانوية للتقاطع. تميز منها التقاطعات بثلاثة أذرع أو أربعة أو ذات الأذرع المتعددة. في هذه التقاطعات، يجب على السائقين على الذراع التي يتم التحكم بها بإشارة "قف STOP" تحديد الثغرات في تدفق الشارع الرئيسي من أجل تنفيذ عبور. في حال وجود رتل، سوف يقضي كل سائق على الذراع الذي يتم التحكم به وقتاً أطول للوصول إلى مقدمة الرتل ثم تقييم الثغرات في تدفق الشارع الرئيسي. وبالتالي، فإن سعة هذه الأذرع الخاضعة للتحكم تستند في المقام الأول إلى ثلاثة عوامل:

- توزيع الثغرات في تيار حركة المرور في الشارع الرئيسي.
- حكم السائق في اختيار الثغرات التي يتم من خلالها تنفيذ المناورات المطلوبة.
- أزمنة التتابع اللازمة من قبل كل سائق في الرتل [6].

إشكالية البحث:

إن تقاطعات الأفضلية في ظروفنا المحلية هي تقاطعات معقدة غير واضحة المعالم من حيث التحكم بالحركة المرورية وتحديد الأولويات، يحصل فيها تداخل بالحركات المرورية وعدم وضوح الحركات ذات الأفضلية، بالإضافة إلى عدم وجود منهجية واضحة ومعايير لتقييم الأداء على هذه التقاطعات في الظروف المحلية، وهذا يمثل إشكالية كبيرة لأنه يخلق فوضى مرورية على هذه التقاطعات مما يؤدي إلى الحاجة إلى دراسة تفصيلية لواقع الحركة المرورية على هذه التقاطعات وأسس تقييم الأداء المروري والمعايير المؤثرة حسب أشكال التحكم المروري المختلفة لتحديد الوسائل الأكثر ملاءمة لتنظيم وضبط الحركة المرورية على هذه التقاطعات.

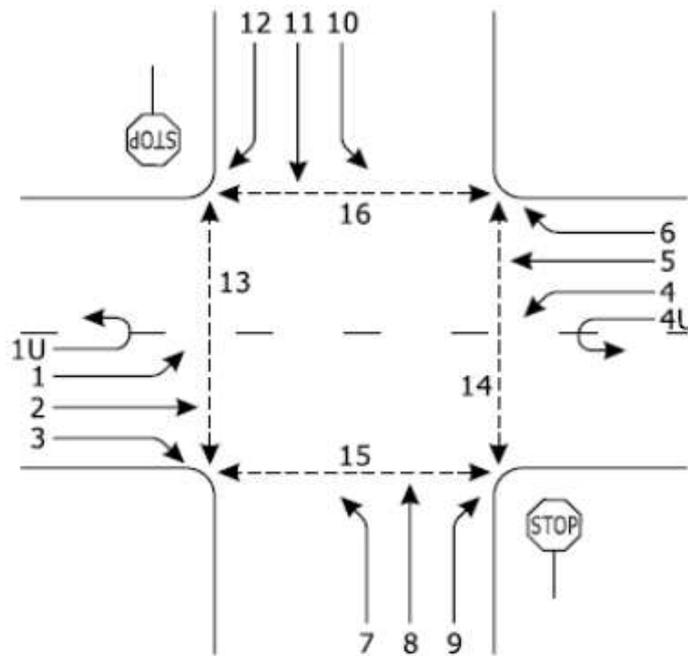
أهمية البحث وأهدافه:

- تحديد المعايير الأكثر تأثيراً على الحركة المرورية على تقاطعات الأفضلية.
- دراسة تأثير الحركات المتعارضة باستخدام طريقة HCM2016 (دليل سعة الطرق) على أداء التقاطعات الغير منظمة بإشارات ضوئية المدروسة.
- تنتج هذه الطريقة معايير الأداء التالية:
- التأخير الناجم عن التحكم بالحركة
- مستوى الخدمة LOS على أساس التأخير الناجم عن التحكم بالحركة

- 95 بالمئة من أطوال الرتل.
- نسبة الغزارة إلى السعة
- تحسين الأداء المروري للوصول إلى مقترحات تهدف إلى تطوير التصميم الهندسي للتقاطع وتحسين طرق التنظيم والتحكم المروري عليه وبالتالي تحسين الأداء المروري.

طرائق البحث ومواده:

- تتضمن منهجية البحث مرحلتين:
 - المرحلة الأولى:
 - تحديد موقع الدراسة :
- تشتمل عملية اختيار مواقع الدراسة على تحريات حقلية أولية ومسوحات استطلاعية لعدة مواقع ويوضح الشكل (1) مخطط مفتاحي لمواقع الدراسة الواجب التحري عنها.



الشكل (1) مخطط مفتاحي لمواقع الدراسة الواجب التحري عنه

تم إجراء الدراسة على تقاطع رباعي في مدينة اللاذقية في منطقة الزراعة، يتكون التقاطع من شارع رئيسي مكون من أربعة حارات (حاريتين لكل اتجاه)، يتقاطع مع شارع ثانوي مكون من حاريتين (حارة لكل اتجاه). يوجد التقاطع في منطقة سكنية. يبين الشكل (2) مسقط أفقي للتقاطع الرباعي (TWSC).



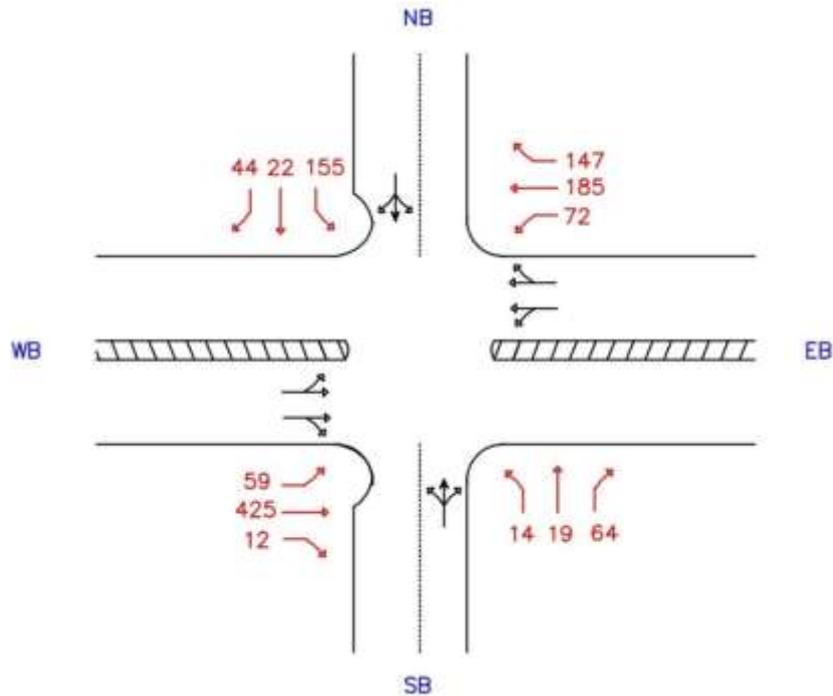
الشكل (2) مسقط أفقي للتقاطع المدروس

- جمع المعطيات الهندسية للموقع المدروس:
يبين الجدول (1) البيانات الهندسية (عدد الحارات، عرض الحارة، نوع منطقة التقاطع، وقوف العربات، اتجاهات الحركة) للتقاطع الرباعي المدروس (TWSC)

الجدول (1) البيانات الهندسية للتقاطع المدروس

اسم الذراع	عدد الحارات	عرض الحارة W (m)	نوع منطقة التقاطع	مواقف العربات
EB	2	3	سكنية	مواقف موازية يمين الذراع
WB	2	3	سكنية	مواقف موازية يمين الذراع
NB	1	3	سكنية	مواقف بزاوية 60 درجة باتجاه ومواقف موازية بالاتجاه الاخر
SB	1	3	سكنية	مواقف بزاوية 60 درجة باتجاه ومواقف موازية بالاتجاه الاخر

- جمع المعطيات المرورية للموقع المدروس:
تم القياس في ذروة الظهيرة، أجريت الإحصائيات المرورية على الاذرع المشكلة للتقاطع وتوزعها الاتجاهي وكانت النتائج موضحة على الشكل (3) مبينة عليه الغزارات مقدرة بوحدة (veh/h).



الشكل (3) مسقط افقي للتقاطع الرباعي (TWSC) مبينة عليه الغزارات مقدرة بوحدة (veh/h)

تم جمع نتائج الغزارات لكل حركة في الجدول (2):

الجدول (2) غزارات تقاطع TWSC

$V_1 = 59 \text{ veh/h}$	$V_2 = 425 \text{ veh/h}$
$V_3 = 12 \text{ veh/h}$	$V_4 = 72 \text{ veh/h}$
$V_5 = 185 \text{ veh/h}$	$V_6 = 147 \text{ veh/h}$
$V_7 = 14 \text{ veh/h}$	$V_8 = 19 \text{ veh/h}$
$V_9 = 64 \text{ veh/h}$	$V_{10} = 155 \text{ veh/h}$
$V_{11} = 22 \text{ veh/h}$	$V_{12} = 44 \text{ veh/h}$

تسمى النسبة بين غزارة المرور خلال ساعة الذروة وأقصى تدفق مرور لفترة 15 دقيقة خلال هذه الساعة باسم معامل ساعة الذروة (PHF) والذي قمنا بحسابه وكانت قيمته:

$$PHF = 0.91$$

- المرحلة الثانية: تحليل ومعالجة البيانات وفق منهجية HCM2016 والتي تتضمن [6]:

- تحديد أولويات الحركة:
- 1. الحركات المنعطفة للييسار من الشارع الرئيسي: الحركات 4,1
- 2. الحركات المنعطفة للييمين من الشارع الثانوي: الحركات 9,12
- 3. الحركات المستقيمة من الشارع الفرعي: الحركات 8,11
- 4. الحركات المنعطفة للييسار من الشارع الثانوي: الحركات 7,10
- حساب الساعات الممكنة والساعات الفعلية

لحساب الساعات قمنا أولاً بحساب معدلات التدفق للحركات على هذا التقاطع من العلاقة:

$$v_i = \frac{V_i}{PHF}$$

حيث:

v_i = معدل تدفق الطلب للحركة i (عربة/ساعة)

V_i = غزارة الحركة i (عربة/ساعة)

PHF = عامل ساعة الذروة للتقاطع.

نحصل على معدلات التدفق الموضحة في الجدول (3)

الجدول (3) معدلات التدفق

$v_1 = 65 \text{ veh/h}$	$v_2 = 467 \text{ veh/h}$
$v_3 = 13 \text{ veh/h}$	$v_4 = 79 \text{ veh/h}$
$v_5 = 203 \text{ veh/h}$	$v_6 = 162 \text{ veh/h}$
$v_7 = 15 \text{ veh/h}$	$v_8 = 21 \text{ veh/h}$
$v_9 = 70 \text{ veh/h}$	$v_{10} = 170 \text{ veh/h}$
$v_{11} = 24 \text{ veh/h}$	$v_{12} = 48 \text{ veh/h}$

ثم قمنا بتحديد معدلات التدفق المتعارضة لكل حركة، توضح المعادلات حساب العامل $(v_{c,x})$ ، معدل التدفق

المتعارض للحركة x " أي معدل التدفق الإجمالي (للعربات في الساعة) الذي يتعارض مع الحركة x " .

✓ الحركات المنعطفة لليسر من الشارع الرئيسي (الدرجة 2، الحركات 1 و 4):

$$v_{c,1} = v_5 + v_6 + v_{16} = 365 \text{ veh/h}$$

$$v_{c,4} = v_2 + v_3 + v_{15} = 480 \text{ veh/h}$$

✓ الحركات المنعطفة لليمين من الشارع الثانوي (الدرجة 2، الحركات 9 و 12):

$$v_{c,9} = 0.5v_2 + 0.5v_3 + v_{14} + v_{15} = 240 \text{ veh/h}$$

$$v_{c,12} = v_5 + 0.5v_6 + v_{13} + v_{16} = 182 \text{ veh/h}$$

✓ الحركات المستقيمة في الشوارع الثانوية (الدرجة 3، الحركات 8 و 11):

يمكن للعربات التي تعبر بحركة مستقيمة في الشوارع الثانوية أن تكمل مناورتها في مرحلة أو مرحلتين. يفترض قبول

ثغرة المرحلة الواحدة وهي عدم توفر منطقة انتظار (ضمن الجزيرة الوسطية للشارع الرئيسي) لعربات الشوارع الثانوية

للتخزين فيها وأن السائقين في الشوارع الثانوية سيقفون الثغرات في كلا الاتجاهين في الشوارع الرئيسية في وقت واحد.

على العكس من ذلك، يفترض سيناريو قبول الثغرة على مرحلتين أن منطقة الملجأ ضمن الجزيرة الوسطية للشارع

الرئيسي متاحة لعربات الشوارع الثانوية. خلال المرحلة الأولى، يقوم سائقو الشوارع الثانوية بتقييم ثغرات الشوارع

الرئيسية في مجرى حركة المرور القريب (حركة المرور المتعارضة من اليسار)؛ خلال المرحلة الثانية، يقوم سائقو

الشوارع الثانوية بتقييم ثغرات الشوارع الرئيسية في مسار حركة المرور البعيدة (حركة المرور المتعارضة من اليمين).

مرحلة أولى:

$$v_{c,I,8} = 2(v_1 + v_{1U}) + v_2 + 0.5v_3 + v_{15} = 603 \text{ veh/h}$$

$$v_{c,I,11} = 2(v_4 + v_{4U}) + v_5 + 0.5v_6 + v_{16} = 442 \text{ veh/h}$$

مرحلة ثانية:

$$v_{c,II,8} = 2(v_4 + v_{4U}) + v_5 + v_6 + v_{16} = 523 \text{ veh/h}$$

$$v_{c,II,11} = 2(v_1 + v_{1U}) + v_2 + v_3 + v_{15} = 610 \text{ veh/h}$$

يؤدي:

$$v_{c,8} = v_{c,I,8} + v_{c,II,8} = 1126 \text{ veh/h}$$

$$v_{c,11} = v_{c,I,11} + v_{c,II,11} = 1052 \text{ veh/h}$$

✓ حركات الانعطاف إلى اليسار في الشوارع الثانوية (الدرجة 4: الحركات 7 و 10):

على غرار الحركات المستقيمة للشوارع الثانوية، يمكن إكمال حركات الانعطاف إلى اليسار في شارع ثانوي في مرحلة أو مرحلتين.

مرحلة أولى:

$$v_{c,I,7} = 2(v_1 + v_{1U}) + v_2 + 0.5v_3 + v_{15} = 603 \text{ veh/h}$$

$$v_{c,I,10} = 2(v_4 + v_{4U}) + v_5 + 0.5v_6 + v_{16} = 442 \text{ veh/h}$$

مرحلة ثانية:

$$v_{c,II,7} = 2(v_4 + v_{4U}) + 0.5v_5 + 0.5v_{11} + v_{13} = 272 \text{ veh/h}$$

$$v_{c,II,10} = 2(v_1 + v_{1U}) + 0.5v_2 + 0.5v_8 + v_{14} = 374 \text{ veh/h}$$

يؤدي:

$$v_{c,7} = v_{c,I,7} + v_{c,II,7} = 875 \text{ veh/h}$$

$$v_{c,10} = v_{c,I,10} + v_{c,II,10} = 816 \text{ veh/h}$$

قمنا بحساب الثغرة الحرجة $t_{c,x}$ وزمن التتابع $t_{f,x}$ من المعادلتين التاليتين:

$$t_{c,x} = t_{c,base} + t_{c,HV}P_{HV} + t_{c,G}G - t_{3,LT}$$

$$t_{f,x} = t_{f,base} + t_{f,HV}P_{HV}$$

حيث:

$$t_{c,x} = \text{الثغرة الحرجة للحركة } X \text{ (S)}$$

$$t_{c,base} = \text{الثغرة الحرجة الأساسية (s)}$$

$$t_{c,HV} = \text{عامل الضبط للعربات الثقيلة (s)}$$

$$P_{HV} = \text{نسبة العربات الثقيلة للحركة}$$

$$t_{c,G} = \text{عامل الضبط لدرجة حركة معينة (0.1 للحركات 9 و 12؛ 0.2 للحركات 7 و 8 و 10 و 11) (s)}$$

$$G = \text{الدرجة المئوية (معبراً عنها بعدد صحيح؛ على سبيل المثال، } G = -2 \text{ للحصول على درجة انحدار بنسبة 2\%)}$$

$$t_{3,LT} = \text{عامل الضبط لهندسة التقاطع}$$

$$t_{f,x} = \text{زمن التتابع للحركة } X \text{ (s)}$$

$$t_{f,base} = \text{زمن التتابع الأساسي (s)}$$

$$t_{f,HV} = \text{عامل الضبط للعربات الثقيلة}$$

$$P_{HV} = \text{نسبة العربات الثقيلة للحركة.}$$

وكانت النتائج موضحة في الجدول (4):

الجدول (4) الثغرة الحرة وزمن التتابع

الحركة i	1	4	9	12	8	11	7	10
$t_{c,x}(sec)$	4.1	4.1	6.9	6.9	6.5	6.5	7.5	7.5
$t_{f,x}(sec)$	2.2	2.2	3.3	3.3	4	4	3.5	3.5

ثم قمنا بحساب الساعات المحتملة لكل حركة من العلاقة التالية:

$$c_{p,x} = v_{c,x} \frac{e^{-v_{c,x}t_{c,x}/3,600}}{1 - e^{-v_{c,x}t_{f,x}/3,600}}$$

حيث:

$$c_{p,x} = \text{السعة المحتملة للحركة } X \text{ (veh/h)}$$

$$v_{c,x} = \text{معدل التدفق المتعارض للحركة } X \text{ (veh/h)}$$

$$t_{c,x} = \text{الثغرة الحرجة للحركة الثانوية } x \text{ (s)}$$

$$t_{f,x} = \text{زمن التتابع للحركة الثانوية } x \text{ (s)}$$

وجمعنا النتائج في الجدول (5):

الجدول (5) الساعات المحتملة لكل حركة

الحركة i	1	4	9	12	8	11	7	10
$c_{p,x}$ (veh/h)	1205	1093	767	835	206	228	247	272

ثم حسبنا الساعات الفعلية للحركات السابقة كما يلي:

- يُفترض أن حركات الشوارع الرئيسية من الدرجة الأولى لا تعرقها أي حركات من رتبة أدنى. كما أنه لا يُتوقع أن تتسبب حركات الشوارع الرئيسية من الدرجة الأولى في تأخير أو تباطؤ أثناء انتقالها عبر تقاطع TWSC.
- حساب ساعات الحركة من الدرجة الثانية:

حيث $c_{m,j}$ ترمز للساعة الفعلية للحركة j و $c_{p,j}$ ترمز إلى الساعة المحتملة للحركة j .

✓ ساعة الحركات المنعطفة لليسر من الشارع الرئيسي: الدرجة 2، الحركات 1 و 4:

$$c_{m,j} = c_{p,j}$$

$$c_{m,1} = 1205 \text{ veh/h}$$

$$c_{m,4} = 1093 \text{ veh/h}$$

✓ الحركات المنعطفة لليمين من الشارع الثانوي: الدرجة 2، الحركات 9 و 12

$$c_{m,j} = c_{p,j}$$

$$c_{m,9} = 767 \text{ veh/h}$$

$$c_{m,12} = 835 \text{ veh/h}$$

✓ تأثير الحارة المشتركة للانعطاف لليسر والحركة المستقيمة على الشارع الرئيسي:

يتم التعبير عن احتمالية أن تعمل حركة المرور التي تتعطف إلى اليسار في الشوارع الرئيسية في حالة خالية من الرتل كما يلي:

$$p_{0,j} = 1 - \frac{v_j}{c_{m,j}}$$

حيث: $j = 1, 4$

$$p_{0,1} = 0.946$$

$$p_{0,4} = 0.927$$

ولحساب احتمال عدم وجود رتل في حالة الحارات المشتركة للشارع الرئيسي المعني، وبما أن التقاطع المدروس لا

يحتوي حارات مخصصة أي ($n_L = 0$) نستخدم المعادلة التالية:

$$p_{0,j}^* = 1 - \frac{1 - p_{0,j}}{1 - x_{i,1+2}}$$

$$x_{i,1+2} = \frac{v_{i1}}{s_{i1}} + \frac{v_{i2}}{s_{i2}} = 0.489$$

$$p_{0,1}^* = 0.895$$

$$p_{0,4}^* = 0.858$$

○ حساب ساعات الحركة من الدرجة الثالثة:

✓ ساعة الحركة من الدرجة الثالثة للحركات ذات المرحلة الواحدة:

حساب عامل تعديل الساعة f_k من المعادلة التالية:

$$f_k = \prod_j p_{0,j}$$

$$f_k = p_{0,1} \times p_{0,4}$$

$$f_k = f_8 = f_{11} = 0.878$$

يتم حساب سعة الحركة $c_{m,k}$ لحركات الشوارع الثانوية من الدرجة 3 باستخدام المعادلة:

$$c_{m,k} = c_{p,k} \times f_k$$

$$c_{m,8} = 181 \text{ veh/h}$$

$$c_{m,11} = 200 \text{ veh/h}$$

نظراً لأن الحركتين 8 و 11 ستعملان في حالة قبول ثغرة على مرحلتين يجب إكمال إجراء تعديل السعة لتقدير سعة المرحلة الأولى والمرحلة الثانية من هذه الحركات.

لبدء عملية تقدير ساعات الحركة للمرحلة الأولى والثانية، يتم إدخال حالات احتمالية (حالة خالية من الرتل في حركات الدرجة الثانية المتعارضة المحسوبة سابقاً في معادلة f_k) ولكن يتم تقدير عوامل تعديل السعة لكل مرحلة على جدا على النحو التالي:

$$f_{I,8} = p_{0,1} = 0.946 \quad f_{I,11} = p_{0,4} = 0.928$$

$$f_{II,8} = p_{0,4} = 0.928 \quad f_{II,11} = p_{0,1} = 0.946$$

ثم قمنا بحساب ساعات الحركة في المرحلة الأولى على النحو التالي:

$$c_{m,I,8} = c_{p,I,8} \times f_{I,8} = 465 \text{ veh/h}$$

$$c_{m,I,11} = c_{p,I,11} \times f_{I,11} = 538 \text{ veh/h}$$

و حساب ساعات الحركة في المرحلة الثانية على النحو التالي:

$$c_{m,II,8} = c_{p,II,8} \times f_{II,8} = 495 \text{ veh/h}$$

$$c_{m,II,11} = c_{p,II,11} \times f_{II,11} = 462 \text{ veh/h}$$

✓ سعة الحركة من الدرجة الثالثة للحركات ذات المرحلتين:

حسبنا أولاً عامل الضبط a والمتغير الوسيط y .

$$a = 1 - 0.32e^{-1.3\sqrt{n_m}} \quad \text{for } n_m > 0$$

في تقاطعنا المدروس عدد العربات التي يمكن تخزينها في الجزيرة الوسطية عربية واحدة أي $n_m = 1$

$$a = 1 - 0.32e^{-1.3\sqrt{1}} = 0.913$$

$$y = \frac{c_I - c_{m,x}}{c_{II} - v_L - c_{m,x}}$$

حيث:

n_m = عدد العربات التي يمكن تخزينها في الوسط

c_I = سعة الحركة لعملية المرحلة الأولى (veh/h)

c_{II} = سعة الحركة لعملية المرحلة الثانية (veh/h)

v_L = معدل التدفق الرئيسي للياسر أو الدوران U ، إما $v_1 + v_{1u}$ أو $v_4 + v_{4u}$ (veh/h)

$c_{m,x}$ = سعة الحركة المعنية، مع الأخذ في الاعتبار إجمالي معدل التدفق المتعارض لكلا المرحلتين من عملية قبول ثغرة من مرحلتين (من الخطوة السابقة).

ثم نحسب السعة الإجمالية c_T للحركة المدروسة.

بالنسبة إلى $y \neq 1$:

$$c_T = \frac{a}{y^{n_m+1} - 1} [y(y^{n_m} - 1)(c_{II} - v_L) + (y - 1)c_{m,x}]$$

فنحصل على النتائج التالية:

$$\begin{aligned}v_{L,8} &= 65 \text{ veh/h} \\ y_8 &= 1.14 \\ c_{T8} &= 286 \text{ veh/h}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}v_{L,11} &= 79 \text{ veh/h} \\ y_{11} &= 1.85 \\ c_{T11} &= 291 \text{ veh/h}\end{aligned}$$

○ حساب ساعات الحركة من الدرجة الرابعة:

✓ سعة الحركة من الدرجة الرابعة للحركات ذات المرحلة الواحدة:

يتم تقدير تأثيرات مقاومة العربات لحركات الدرجة الرابعة أولاً من خلال افتراض قبول الثغرة على مرحلة واحدة. يتم إعاقة حركات الدرجة الرابعة من خلال نفس الحركات التي تعيق حركات الدرجة 2 والدرجة 3 مع إضافة إعاقات بسبب الحركات المستقيمة من الشارع الثانوي وحركات الشارع الثانوي المنعطفة لليمين.

حسبنا احتمالية أن تعمل حركات الشارع الثانوي المنعطفة لليمين في حالة خالية من الرتل ($p_{0,12}$ و $p_{0,9}$) على النحو التالي:

$$p_{0,9} = 1 - \frac{v_9}{c_{m,9}} = 0.908$$

$$p_{0,12} = 1 - \frac{v_{12}}{c_{m,12}} = 0.942$$

لحساب p' ، احتمال أن تعمل كل من حركات الشارع الرئيسي المنعطفة للسيار وحركات الشارع الثانوي المستقيمة في حالة خالية من الرتل في وقت واحد، يجب أولاً حساب $p_{0,k}$ ، وهو ما يتم بنفس طريقة حساب $p_{0,j}$ ، باستثناء أن k يمثل حركات الدرجة 3. بعد ذلك، يجب حساب p'' ، والذي، في ظل افتراض قبول الثغرة على مرحلة واحدة، هو ببساطة حاصل ضرب f_i و $p_{0,k}$. تم حساب قيمة $f_8 = f_{11} = 0.878$ أعلاه. يتم حساب قيمة $p_{0,11}$ باستخدام السعة الإجمالية للحركة 11 المحسوبة في الخطوة السابقة.

ثم حسبنا p' التكيف مع عامل إعاقة الحركة المنعطفة للسيار في الشارع الرئيسي، والمستقيمة في الشارع الثانوي من العلاقة:

$$p' = 0.65p'' - \frac{p''}{p'' + 3} + 0.6\sqrt{p''}$$

حيث:

p' = التكيف مع عامل إعاقة الحركة المنعطفة للسيار في الشارع الرئيسي، والمستقيمة في الشارع الثانوي

$$(p_{0,j})(p_{0,k}) = p''$$

$p_{0,j}$ = احتمال وجود حالة خالية من الرتل لحركة المرور المتعارضة في الشوارع الرئيسية التي تنعطف إلى اليسار؛ و

$p_{0,k}$ = احتمالية حالة خالية من الرتل لحركة المرور المتعارضة للحركات التي تعبر الشوارع الثانوية.

أخيراً، تم تحديد سعة الحركة لحركات الانعطاف إلى اليسار في الشوارع الثانوية من الدرجة الرابعة باستخدام المعادلة التالية:

$$c_{m,l} = c_{p,l} \times f_{p,l}$$

l = حركة انعطاف للسيار في الشارع الثانوي من الدرجة 4 (الحركتان 7 و 10).

فحصلنا على النتائج التالية:

$p_{0,8} = 0.927$	$p_{0,11} = 0.917$
$p''_7 = p_{0,11} \times f_{11} = 0.805$	$p''_{11} = p_{0,8} \times f_8 = 0.814$
$p'_7 = 0.85$	$p'_{10} = 0.875$
$f_7 = p'_7 \times p_{0,12} = 0.801$	$f_{10} = p'_{10} \times p_{0,9} = 0.778$
$c_{m,7} = 197 \text{ veh/h}$	$c_{m,10} = 212 \text{ veh/h}$

✓ سعة الحركة من الدرجة الرابعة للحركات ذات المرحلتين:

على غرار حركات الشوارع الثانوية المستقيمة عند هذا التقاطع، ستعمل الحركتان 7 و 10 أيضاً بموجب قبول الثغرة على مرحلتين. ولذلك، يجب إكمال إجراء تعديل السعة لتقدير سعة المرحلة الأولى والمرحلة الثانية لهذه الحركات. في ظل افتراض قبول الثغرة على مرحلتين مع منطقة انتظار في الجزيرة الوسطية، تعمل حركات الانعطاف إلى اليسار في الشوارع الثانوية كحركات من الدرجة 3 في كل مرحلة فردية من إكمال مناورة الانعطاف إلى اليسار. لبدء عملية تقدير ساعات الحركة على مرحلتين، يتم إدخال احتمالات حالات عدم تشكل رتل في حركات الدرجة 2 المتعارضة للمرحلة الأولى من حركة الانعطاف إلى اليسار في الشوارع الثانوية، وعوامل تعديل السعة للمرحلة الأولى يتم حسابها على النحو التالي:

$$f_{I,7} = p_{o,1} = 0.946 \quad f_{I,10} = p_{o,4} = 0.928$$

ويمكن بعد ذلك حساب ساعات حركات المرحلة الأولى على النحو التالي:

$$c_{m,I,7} = c_{p,I,7} \times f_{I,7} = 433 \text{ veh/h}$$

$$c_{m,I,10} = c_{p,I,10} \times f_{I,10} = 528 \text{ veh/h}$$

بعد ذلك، قمنا بإدخال احتمالات حالات عدم تشكل رتل في حركات الدرجة الثانية المتعارضة للمرحلة الثانية من حركة الانعطاف إلى اليسار في الشارع الثانوي. ومع ذلك، قبل تقدير هذه الاحتمالات، يجب تقدير احتمالية عدم تشكل رتل في المرحلة الأولى من حركة الشوارع الثانوية المستقيمة لأنها تعيق المرحلة الثانية من حركة الانعطاف إلى اليسار في الشوارع الثانوية. يتم تقدير هذه الاحتمالات كما يلي:

$$p_{o,I,8} = 1 - \frac{v_8}{c_{m,I,8}} = 0.955$$

$$p_{o,I,11} = 1 - \frac{v_{11}}{c_{m,I,11}} = 0.955$$

معاملات ضبط السعة للمرحلة الثانية تحسب كما يلي:

$$f_{II,7} = p_{o,4} \times p_{o,12} \times p_{o,I,11} = 0.835$$

$$f_{II,10} = p_{o,1} \times p_{o,9} \times p_{o,I,8} = 0.821$$

يتم حساب ساعات الحركة للمرحلة الثانية على النحو التالي:

$$c_{m,II,7} = c_{p,II,7} \times f_{II,7} = 598 \text{ veh/h}$$

$$c_{m,II,10} = c_{p,II,10} \times f_{II,10} = 513 \text{ veh/h}$$

إن النتيجة النهائية لعملية قبول الثغرة على مرحلتين عبارة عن تقدير إجمالي للسعة للحركتين 7 و 10. نحسب أولاً عامل الضبط a والمتغير الوسيط y لكل حركة، ومعدل التدفق الرئيسي لليسار v_L ، ثم نقوم بحساب السعة الإجمالية لكل حركة c_T ، حيث $y \neq 1$ من المعادلة:

$$c_T = \frac{a}{y^{n_m+1} - 1} [y(y^{n_m} - 1)(c_{II} - v_L) + (y - 1)c_{m,x}]$$

$a_7 = 0.913$	$a_{10} = 0.913$
$v_{L,7} = v_1 + v_{1u} = 65 \text{ veh/h}$	$v_{L,10} = v_4 + v_{4u} = 79 \text{ veh/h}$
$y_7 = 0.7$	$y_{10} = 1.43$
$c_{T,7} = 307 \text{ veh/h}$	$c_{T,10} = 312 \text{ veh/h}$

○ تعديلات السعة النهائية:

✓ سعة الحارة المشتركة لأذرع الشوارع الثانوية:

تم استخدام المعادلة التالية لحساب سعة الحارة المشتركة:

$$c_{SH} = \frac{\sum_y v_y}{\sum_y c_{m,y}}$$

حيث:

c_{SH} = سعة الحارة المشتركة (veh/h)،

v_y = معدل تدفق الحركة y في الحارة المشتركة المدروسة (veh/h)، و

$c_{m,y}$ = سعة الحركة للحركة y في الحارة المشتركة المدروسة (veh/h).

سعة الحارة المشتركة للذراع الثانوي SB:

$$c_{SH,SB} = 496 \text{ veh/h}$$

سعة الحارة المشتركة للذراع الثانوي NB:

$$c_{SH,NB} = 354 \text{ veh/h}$$

✓ تأثيرات حارة الشارع الفرعي المتوسعة:

في كل ذراع يفترض أن عربة واحدة في كل مرة يمكن أن تشكل رتل في المنطقة المتوسعة لذلك تكون:

$$N=1$$

أولاً: يجب تقدير متوسط طول الرتل لكل حركة تشترك بالحارة في كل ذراع. البيانات المطلوبة لهذا التقدير هي معدلات التدفق وتأخير التحكم لكل حركة.

على الرغم من أن معدلات التدفق هي بيانات مدخلة معروفة، إلا أن أزمدة التأخير الناتجة عن التحكم لم يتم حسابها بعد. ولذلك يتم حساب التأخير الناتج عن التحكم لكل حركة، بافتراض فترة تحليل مدتها 15 دقيقة وحارات منفصلة لكل ذراع، باستخدام المعادلة:

$$d = \frac{3600}{c_{m,x}} + 900T \left[\frac{v_x}{c_{m,x}} - 1 + \sqrt{\left(\frac{v_x}{c_{m,x}} - 1 \right)^2 + \frac{\left(\frac{3600}{c_{m,x}} \right) \left(\frac{v_x}{c_{m,x}} \right)}{450T}} \right] + 5$$

حيث:

d = التأخير الناتج عن التحكم (s/veh)،

v_x = معدل التدفق للحركة x (veh/h)، و

$c_{m,x}$ = سعة الحركة x (veh/h)، و

T = فترة التحليل (0.25 h لمدة 15 دقيقة) (h).

$d_7 = 17.3 \text{ sec}$	$d_8 = 18.6 \text{ sec}$
$d_9 = 10.2 \text{ sec}$	$d_{10} = 29.5 \text{ sec}$
$d_{11} = 18.5 \text{ sec}$	$d_{12} = 9.6 \text{ sec}$

في هذا التقاطع كل الحركات على الذراع الفرعي تتشارك حارة واحدة لذلك، متوسط طول الرتل لكل حركة ثانوية تحسب من المعادلة التالية:

$$Q_{sep} = \frac{d_{sep} v_{sep}}{3600}$$

حيث:

Q_{sep} = متوسط طول الرتل للحركة التي تعتبر حارة منفصلة (veh)
 d_{sep} = التأخير الناتج عن التحكم في الحركة التي تعتبر حارة منفصلة
 v_{sep} = معدل التدفق للحركة (veh/h).

وكانت النتائج موضحة في الجدول التالي:

$Q_{sep,7} = 0.07 \text{ veh}$	$Q_{sep,8} = 0.11 \text{ veh}$
$Q_{sep,9} = 0.2 \text{ veh}$	$Q_{sep,10} = 1.4 \text{ veh}$
$Q_{sep,11} = 0.12 \text{ veh}$	$Q_{sep,12} = 0.13 \text{ veh}$

بعد ذلك حسبنا الطول المطلوب لمنطقة التخزين بحيث يعمل كل ذراع بفعالية كحارات منفصلة باستخدام المعادلة التالية:

$$n_{Max} = \text{Max}_i [\text{round}(Q_{sep,i} + 1)]$$

وكانت قيمتها كما يلي:

$$n_{Max,SB} = 1$$

$$n_{Max,NB} = 1$$

ثم قمنا بتقدير ساعات الحارات المنفصلة، مع الأخذ بعين الاعتبار محدودية مقدار الحركات المنعطفة لليمين والتي يمكن أن تتحرك فعلياً إلى حارة منفصلة باتجاه اليمين مع وجود رتل قبل موقع التوسع. لحساب ساعات الحارات المنفصلة، يجب أولاً تقدير ساعات الحارات المشتركة للحارات المستقيمة بالإضافة لحركات الانعطاف لليمن على كل ذراع، بعد ذلك حسبنا سعة الحارة المنفصلة c_{sep} لكل ذراع بالمعادلة التالية:

$$c_{sep} = \min \left[c_R \left(1 + \frac{v_{L+TH}}{v_R} \right), c_{L+TH} \left(1 + \frac{v_R}{v_{L+TH}} \right) \right]$$

حيث:

c_{sep} = مجموع سعة حركة المرور المنعطفة لليمين التي تعمل كحارة منفصلة وسعة حركات المرور الأخرى في الحارة

اليمنى (أعلى مسار التوسع) التي تعمل في حارة منفصلة (veh/h)

c_R = سعة حركة الانعطاف لليمين (veh/h)

c_{L+TH} = سعة الحركات المستقيمة والمنعطفة إلى اليسار كحارة مشتركة (veh/h)

v_R = معدل تدفق الحركة المنعطفة إلى اليمين (veh/h)

v_{L+TH} = معدل التدفق المشترك للحركة المستقيمة والحركة المنعطفة لليمن (veh/h).

أخيراً، يتم حساب سعة الحارة، مع مراعاة التوسع. يتم تقريب السعة كما هو موضح في الشكل (5). يتم إنشاء خط مستقيم باستخدام قيم نقطتين: (c_{sep}, n_{Max}) و $(c_{SH}, 0)$. يتم حساب القيمة المحرفة للقيمة الفعلية لسعة الحارة المتوسعة c_R باستخدام المعادلة:

$$c_R = \begin{cases} (c_{sep} - c_{SH}) \frac{n_R}{n_{Max}} + c_{SH} & \text{if } n_R \leq n_{Max} \\ c_{sep} & \text{if } n_R > n_{Max} \end{cases}$$

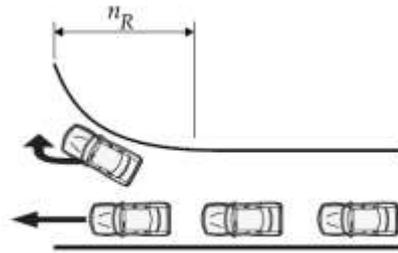
حيث:

c_R = السعة الفعلية للممر المتوسع (veh/h)

c_{sep} = سعة الحارة إذا كانت منطقتا التخزين طويلتين بشكل غير محدود (veh/h)

c_{SH} = سعة الحارة عندما تشترك كل حركات المرور في حارة واحدة (veh/h)

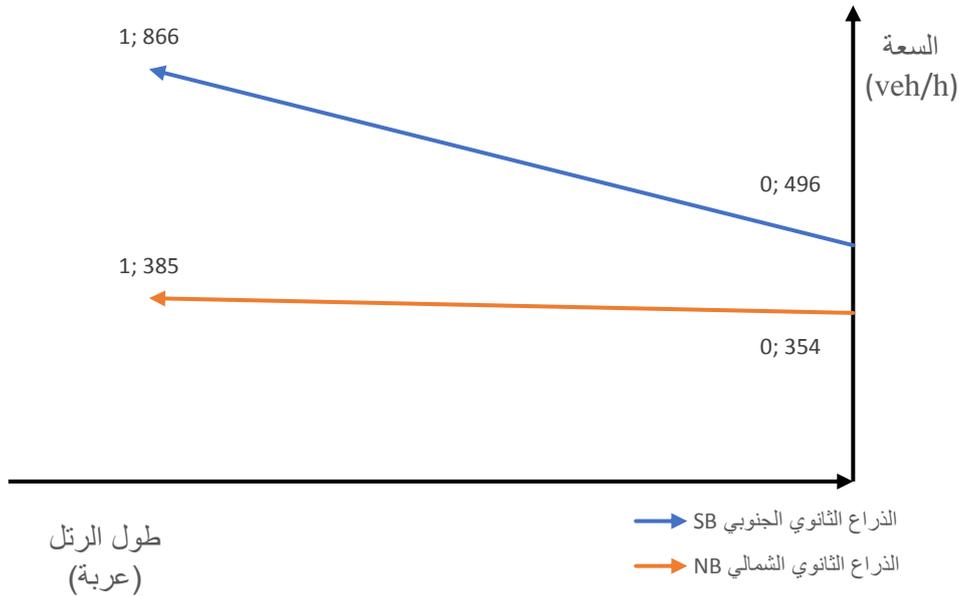
n_R = منطقة التخزين الفعلية للعربات المنعطفة لليمين على النحو المحدد في الشكل (4).



الشكل (4) منطقة التخزين الفعلية للعربات المنعطفة لليمين

وكانت النتائج موضحة كما يلي:

$C_{L+TH,SB} = 294.4 \text{ veh/h}$	$C_{L+TH,NB} = 309.24 \text{ veh/h}$
$C_{sep,SB} = 866 \text{ veh/h}$	$C_{sep,NB} = 385 \text{ veh/h}$
$C_{R,SB} = 866 \text{ veh/h}$	$C_{R,NB} = 385 \text{ veh/h}$



الشكل (5) سعة الذراع المتوسع

- حساب التأخير الناتج عن التحكم وأطوال الرتل
- يتم حساب التأخير الناتج عن التحكم لحركات الانعطاف لليساار في الشوارع الرئيسية (الدرجة 2) d_1 و d_4 ولأذرع الشارع الفرعي d_{SB} و d_{NB} :

$d_1 = 8.2 \text{ sec}$	$d_4 = 8.6 \text{ sec}$
$d_{SB} = 9.7 \text{ sec}$	$d_{NB} = 28.9 \text{ sec}$

LOS (مستوى الخدمة) لحركات الشارع الرئيسي المنعطفة لليساار وأذرع الشوارع الفرعية هي كما يلي (الشكل رقم 3 أعلاه):

WB: الحركة المنعطفة لليساار في الشارع الرئيسي (الحركة 1) هي: LOS A

EB: الحركة المنعطفة لليساار في الشارع الرئيسي (الحركة 4) هي: LOS A

SB: ذراع الشارع الفرعي هي: LOS A

NB: ذراع الشارع الفرعي هي: LOS D

✓ حساب التأخير الناتج عن التحكم في الذراع والتقاطع:

عند حساب التأخير الناتج عن التحكم في الذراع وفي التقاطع، يفترض أن يكون التأخير لجميع حركات الشوارع الرئيسية من الدرجة الأولى هو 0 s/veh.

التأخير الناتج عن التحكم في الذراع EB ($d_{A,EB}$) يحسب من المعادلة التالية:

حساب التأخير الناتج عن التحكم لجميع العربات على ذراع معين:

$$d_A = \frac{d_r v_r + d_t v_t + d_l v_l}{v_r + v_t + v_l}$$

حيث:

d_A = التأخير الناتج عن التحكم في الذراع (s/veh).

d_r, d_t, d_l = التأخير الناتج عن التحكم المحسوب لحركات الانعطاف لليمين، المستقيمة، وحركات الانعطاف لليساار، على التوالي (s/veh).

v_r, v_t, v_l = الحجم أو معدل التدفق لحركة المرور إلى اليمين، المستقيمة، وحركة المرور إلى اليسار على الذراع، على التوالي (veh/h).

وبالمثل، يمكن حساب التأخير الناتج عن التحكم في التقاطع d_I باستخدام المعادلة التالية:

$$d_I = \frac{d_{A,1} v_{A,1} + d_{A,2} v_{A,2} + d_{A,3} v_{A,3} + d_{A,4} v_{A,4}}{v_{A,1} + v_{A,2} + v_{A,3} + v_{A,4}}$$

حيث $d_{A,x}$ هو التأخير الناتج عن التحكم على الذراع x (s/veh)، و $v_{A,x}$ هو الحجم أو معدل التدفق على الذراع x (veh/h).

وحصلنا على النتائج التالية:

$$d_{A,EB} = 1.5 \text{ sec}$$

$$d_I = 6.9 \text{ sec}$$

$$d_{A,WB} = 1 \text{ sec}$$

لم يتم تعريف LOS للتقاطع ككل أو للأذرع الرئيسية.

✓ حساب نسبة 95% من طول الرتل:

يتم حساب نسبة 95% من طول الرتل للحركة المنعطفة لليساار في الذراع الشرقي من الشارع الرئيسي باستخدام المعادلة التالية:

$$Q_{95,4} \approx 900T \left[\frac{v_4}{c_{m,4}} - 1 + \sqrt{\left(\frac{v_4}{c_{m,4}} - 1 \right)^2 + \frac{\left(\frac{3600}{c_{m,4}} \right) \left(\frac{v_4}{c_{m,4}} \right)}{150T}} \right] \left(\frac{c_{m,4}}{3600} \right)$$

حيث:

$$Q_{95} = 95 \text{ بالمئة من الرتل (veh)}$$

$$v_x = \text{معدل التدفق للحركة } x \text{ (veh/h)}$$

$$c_{m,x} = \text{سعة الحركة } x \text{ (veh/h)}$$

$$T = \text{فترة التحليل (0.25 h لمدة 15 دقيقة) (h)}$$

$$Q_{95,4} = 0.2 \text{ veh}$$

تشير نتيجة 0.2 عربة بالنسبة لـ95% من طول الرتل إلى أنه من النادر تشكل رتل بأكثر من عربة واحدة بالنسبة لحركات الانعطاف لليساار في الذراع الشرقي من الشارع الرئيسي.
وبنفس الطريقة حسبنا طول الرتل للحركات الأخرى:

$$Q_{95,1} = 0.17 \text{ veh}$$

تشير نتيجة 0.17 عربة بالنسبة لـ95% من طول الرتل إلى أنه من النادر تشكل رتل بأكثر من عربة واحدة بالنسبة لحركات الانعطاف لليساار في الذراع الغربي من الشارع الرئيسي.

$$Q_{95,NB} = 4.1 \text{ veh}$$

تشير نتيجة 4.1 عربة بالنسبة لـ95% من طول الرتل إلى أنه احياناً يحدث رتل بأربعة عربات أو أكثر في الذراع الثانوي الشمالي.

$$Q_{95,SB} = 0.42 \text{ veh}$$

تشير نتيجة 0.42 عربة بالنسبة لـ95% من طول الرتل إلى أنه من النادر تشكل رتل بأكثر من عربة واحدة في الذراع الثانوي الجنوبي.

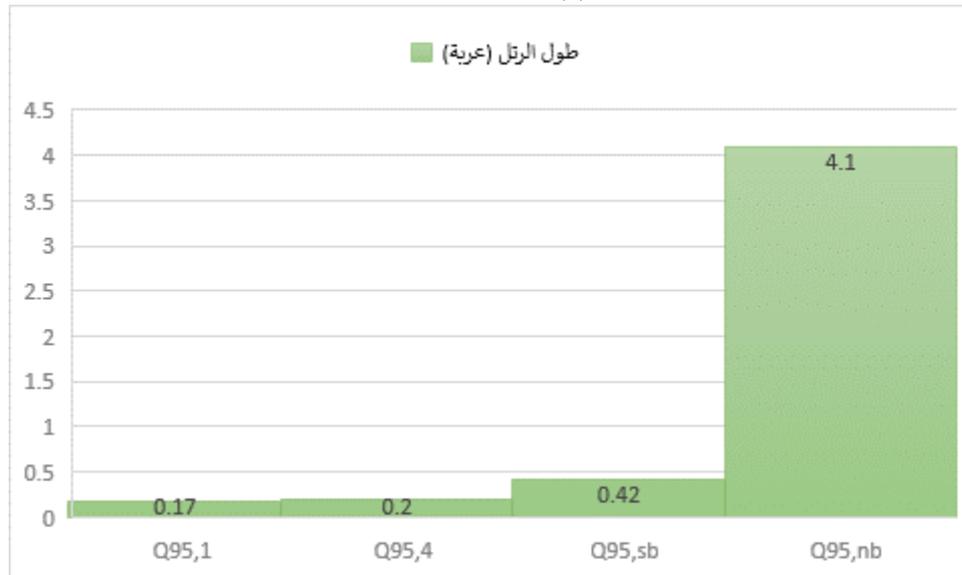
النتائج والمناقشة:

وفقاً للنتائج التي حصلنا عليها من تطبيق منهجية HCM2016 على تقاطع أفضلية رباعي الأذرع نلاحظ أن مستوى الخدمة بشكل عام جيد جداً، كان مستوى الخدمة للذراع الثانوي الجنوبي والحركات المنعطفة لليساار من الشارع الرئيسي هو A وهذا يعني عدم وجود اختناقات مرورية ولا يتشكل رتل بأكثر من عربة واحدة.
بالنسبة للذراع الثانوي الجنوبي كان مستوى خدمته D وهذا يعني وجود بعض التأخير على هذا الذراع واحتمالية تشكل رتل بأكثر من أربع عربات.

وعند مقارنة هذه النتائج بالملاحظة الحقلية نجد أن النتائج كانت مقاربة للواقع بنسبة مقبولة، وأن الحركة على هذا التقاطع متوازنة ولكن قد تحدث بعض التأخيرات الإضافية نتيجة وقوف العربات الغير مسموح في أماكن معينة من التقاطع على الأذرع الرئيسية والثانوية.
يبين الشكل (5) والشكل (6) على التوالي تأخيرات الحركات الثانوية وأطوال الرتل المتشكل على كل ذراع وحركة ثانوية.



الشكل (5) تأخيرات الحركات الثانوية



الشكل (6) أطوال الرتل للحركات الثانوية

الاستنتاجات والتوصيات:

- 1- تضمن البحث دراسة وفهم تأثير الحركات المتعارضة والثغرات الحرجة اللازمة لعبور الحركات الثانوية على تقاطعات الأفضلية باستخدام طريقة HCM2016 وكافة المعايير التي تؤثر على الحركة المرورية.
- 2- تم تحديد بعض العوامل الهامة والتي تسبب الازدحام في بعض الأحيان ومنها الوقوف العشوائي والتوقف في الأماكن غير المخصصة.
- 3- أظهرت نتائج التقييم وقيم معايير الأداء الخاصة بطريقة HCM2016 توافقاً كبيراً مع نتائج المراقبات الحقلية من حيث أزمدة التأخير وأطوال الأرتال للحركات الثانوية.
- 4- معرفة مستوى خدمة الحركات الثانوية والتي كانت جيدة جداً باستثناء الذراع الجنوبي حيث كان مستوى خدمته جيد.
- 5- الحاجة إلى زيادة عدد الشاخصات المرورية (تمهل، قف، ممنوع الوقوف والتوقف)

6- الحاجة إلى التوسع في الدراسة وتطبيقها على أشكال أخرى من التقاطعات وضمن ظروف مرورية متنوعة.

References:

1. Samer Madanat and others, Unsignalized intersection capacity and level of service: revisiting critical gap,1995.
2. Rod J. Troutbeck and others, Unsignalized intersection theory,1997.
3. Halimshah Ahmed and others, Capacity analysis of unsignalized intersection under mixed traffic conditions,2012.
4. Abeer Ismail, Developing model for driver gap acceptance at Unsignalized intersections (priority intersection),2015.
5. Austroads, Guide to traffic management part 6: intersections, interchanges, and crossings,2016.
6. Highway capacity manual (HCM),2016.
7. Guoqiang Zhang and others, Safety performance evaluation of a three-Leg unsignalized intersection using traffic conflict analysis, 2017.

