

تأثير أنواع المركبات المختلفة في سعة التقاطعات المزودة بإشارات ضوئية*

م. نضال عبد العزيز الحاج علي**

د.م. جندب زعرور****

د.م. حسان الخيمي***

المخلص

هَدَفَ تَقْيِيمَ الوَضْعِ المروري الراهن و المستقبلِي إلى تَقْدِيرِ مستوى الخدْمَة من خلال العديد من المؤشرات المرورية مثل (غزارة الإشباع، السعة، زمن التأخر وزمن الرحلة) علماً بأن هذه المؤشرات ترتكز بشكل أساسي على قياس المركبة الحاسوبية النموذجية.

تَطَرَّقَ هذا البحث إلى تحليل تأثير أربعة أنواع مختلفة من المركبات على سعة التقاطعات المزودة بإشارات ضوئية، جُمِعَتِ البيانات اللازمة من خمسة تقاطعات في مدينة دمشق وحسباً (متوسط زمن التتابع وقيم مكافئ المركبة الحاسوبية النموذجية PCE) لكل نوع باستخدام طريقة زمن التتابع، ونتيجة لذلك تم بيان تأثير هذه الأنواع من المركبات في سعة هذه التقاطعات، ومن ثمَّ أكَّدَ البحث ضرورة مراعاة هذه ومكافئاتها عند تحليل التقاطعات المزودة بإشارات ضوئية.

الكلمات المفتاحية:

زمن التتابع Headway، غزارة الإشباع Saturation flow، المركبة الحاسوبية النموذجية Passenger car unit
(PCU)، التقاطعات المزودة بإشارات ضوئية Signalized intersection، المركبة الحاسوبية المكافئة Passenger car
equivalent (PCE)

* أُعِدَّ البحث في سياق رسالة الدكتوراه للمهندس نضال الحاج علي بإشراف الدكتور المهندس حسان الخيمي و الدكتور المهندس جندب زعرور.

** طالب دكتوراه- قسم هندسة النقل و المواصلات -كلية الهندسة المدنية-جامعة دمشق.

*** مدرس في قسم هندسة النقل و المواصلات -كلية الهندسة المدنية-جامعة دمشق.

**** مدرس في قسم هندسة النقل و المواصلات -كلية الهندسة المدنية-جامعة دمشق.

المقدمة:

عدد المركبات الحسابية النموذجية التي لها التأثير نفسه في حركة المرور الذي تسببه مركبة واحدة من هذا النوع. أو بمعنى آخر هو عدد المركبات الحسابية النموذجية التي تزيحها مركبة واحدة ضمن ظروف الطريق وحركة المرور السائدة. فالمركبات الثقيلة الواقفة عند التقاطع تتسبب في حدوث فجوات أكبر منها للمركبات الصغيرة، ومن ثمَّ فإنَّ التتابع الزمني لها أطول عند عبورها للتقاطعات، كما أنها تتسبب في تأخير المركبات خلفها. ولا يقتصر سبب حدوث التأخير على الزيادة في زمن تتابع المركبة الثقيلة نفسها، ولكنه يشمل أيضاً الزيادة في زمن التتابع للمركبات التي خلفها [1].

2. مراجعة الدراسات السابقة في حساب مكافئ المركبة الحسابية النموذجية:

أجريت عدة بحوث في سبيل تقدير مكافئ المركبة الحسابية النموذجية لأنواع مختلفة للمركبات وتأثيرها في سعة التقاطعات المزودة بإشارات ضوئية، وقد سلكت تلك الدراسات عدة طرائق وأساليب منها:

2-1- طريقة ويبستر (Webster):

قام ويبستر عام 1958م، بإجراء تجربة محكمة، على طريق مخصص للتجارب، لحساب مكافئ المركبة الحسابية النموذجية. وقد صنف المركبات إلى صنفين هما المركبات الخفيفة والمركبات الثقيلة. وقدر قيمة المكافئ للمركبات الثقيلة بجمع بيانات من 12 دورة متتابعة للإشارة الضوئية ثم رسم شكل بياني للعلاقة بين متوسط عدد المركبات الثقيلة لكل دورة، على إحداثي العينات، مع متوسط عدد المركبات الخفيفة لكل دورة، على إحداثي السينات. وقد وجد أن النقاط المرسومة كانت تشكل خطاً مستقيماً، يمثل مقلوب ميله مكافئ المركبة الحسابية النموذجية للمركبات الثقيلة [2] وفي دراسة أخرى، أوصى ويبستر باستخدام قيمة للمكافئ قدرها 1.75 للشاحنات الثقيلة وقيمة 2.25 للحافلات،

إن استنتاج علاقة زمن الدورة الضوئية للتقاطع التي تعطي أقل تأخر للمرور تركز بشكل أساسي على سعة هذا التقاطع و يؤدي تقدير غزارة الإشباع الدور الأهم في تحديد سعة الأدرع بشكل منفصل.

تتأثر غزارة الإشباع بنسبة المركبات و أنواعها التي تشكل التيار المروري؛ ولذلك فإنَّ واحدة مرور الإشباع (S) هي مركبة ركاب صغيرة لكل ساعة خضراء كاملة للإشارة لكل حارة مرورية؛ وذلك عندما تكون الشروط المرورية والطرقية المسيطرة مثالية، أمَّا عند اختلاف هذه الشروط فلا بدَّ أن تؤخذ بالحسبان.

ونظراً إلى أن مكافئ كل نوع من أنواع المركبات إلى مركبة الركاب الصغيرة يتأثر بسلوك مستخدم الطريق في تفاعله مع خصائص المركبة والطريق، ومن ثمَّ فإنَّ الفهم العميق لهذا التفاعل يعدُّ شرطاً ضرورياً للخروج بحلول عملية. ومعظم المعرفة الحالية في هذا العلم مبنية بشكل أساسي على ظروف الدول المتقدمة، مثل الولايات المتحدة الأمريكية وأوروبا، في حين أنها عادة ما تكون مختلفة في الدول النامية، وخصوصاً سلوك السائقين.

هدَفَ هذا البحث إلى تقدير مكافئ المركبة الحسابية النموذجية لمختلف أنواع المركبات، وذلك للحركة المستمرة إلى الأمام (من دون انعطافات) عند التقاطعات المزودة بإشارات ضوئية في مدينة دمشق ومعرفة تأثير ذلك في سعة التقاطعات.

1. مفهوم مكافئ المركبة الحسابية النموذجية:

يستخدم مفهوم مكافئ المركبة الحسابية النموذجية للأخذ بالحسبان الآثار السلبية للمركبات الثقيلة في حركة المرور، فالمركبات الثقيلة، بسبب زيادة أبعادها وانخفاض معدلات تسارعها وتباطؤها، ربما تؤثر سلباً في أداء حركة المرور عند التقاطعات. ويعرف مكافئ المركبة الحسابية النموذجية لمركبة من نوع معين بأنه

المركبات الرياضية-الخدمية (Sport-Utility Vehicle) الطويلة، وهي التي يزيد طولها على خمسة أمتار. المركبات الرياضية-الخدمية القصيرة، وهي التي لا يزيد طولها عن 5 أمتار

مركبات الـ "فان" الصغيرة (Minivan) الشاحنات الصغيرة أو "الوانيت" (Pickup) وقد استخدمت الدراسة المذكورة معادلة الانحدار التالية لتقدير مكافئ المركبات الصغيرة للشاحنات الخفيفة:

$$T = a + \sum_{j=1}^m b_j D_j + \sum_{k=1}^p g_k X_k + \sum_{i=1}^n d_i y_i + e \quad (2)$$

إذ:

T = مجموع الزمن اللازم لعبور رتل المركبات خط الوقوف عند الإشارة.

α = الزمن الضائع المرتبط بالمركبات الأولى في الرتل زائد الزمن اللازم للمركبة الأولى لإخلاء مدخل التقاطع.

B_j = متوسط الزمن الإضافي اللازم لشاحنة خفيفة من النوع j لعبور خط الوقوف مقارنة بمركبة الركاب الصغيرة.

γk = متوسط الفجوة الزمنية للتدفق المشبع المرتبطة بزواج مركبة -مركبة ركاب صغيرة من النوع k .

δ_i = متوسط الفجوة الزمنية للتدفق المشبع المرتبطة بشاحنة خفيفة من النوع j .

m = عدد المتغيرات الثنائية (واحد أو صفر) المشمولة في الأصناف المختلفة للمركبة الأولى في الرتل (مع استبعاد المتغير الثنائي لمركبة الركاب الصغيرة).

P = عدد التباديل المميزة لترتيب أزواج المركبة-مركبة ركاب صغيرة.

n = عدد أصناف الشاحنات الخفيفة المشمولة بالتحليل.

D_j = متغير ثنائي (واحد أو صفر) للدلالة على هل المركبة الأولى في الرتل من النوع j .

وذلك عند حساب معدل التدفق المشبع للحركة المستمرة للأمام عند التقاطعات [3].

2-2- طريقة الانحدار الخطي المتعدد

Multiple linear regression method :

عرض برانستونوفانزويلن (Branston and Van Zuylen) [4] وبرانستونوقيبز (Branston and Gipps) [5] هذه الطريقة لتقدير المعايير المرورية عند التقاطعات المزودة بإشارات ضوئية، بما في ذلك مكافئ المركبة الحسائية النموذجية. وقد طُبِّقَت معادلة الانحدار التالية لتقدير معدل التدفق المشبع للمركبة الحسائية النموذجية (S) ومكافئ المركبة الحسائية النموذجية لكل صنف i من المركبات الأخرى (b_i):

$$n_{pc} = b_0 T - \sum_{i \neq pc} b_i n_i + e \quad (1)$$

إذ إن:

n_{pc} = عدد المركبات الحسائية النموذجية التي حُصِرَت في دورة الإشارة

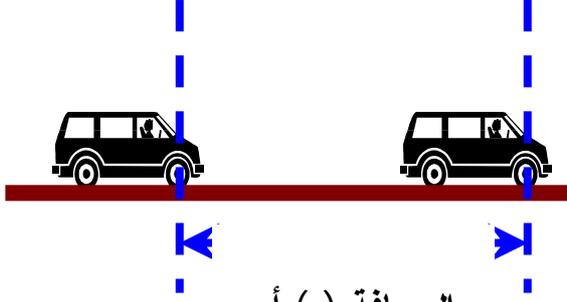
n_i = عدد المركبات الأخرى من الصنف i

e = مقدار الخطأ العشوائي

b_0 = معدل التدفق المشبع للمركبة الحسائية النموذجية (S) T = زمن الدورة الضوئية

كما قام برانستون أيضاً، في دراسة أخرى، بتطبيق أسلوب تحليل الانحدار الخطي على بيانات الحركة المرورية المستمرة للأمام في تقاطع مستو من دون ميول، وتوصل إلى تقدير المكافئ بالقيمتين 1.35 و 1.68 للشاحنات المتوسطة والثقيلة، على التوالي [3]

وقد أجريت عام 1999 دراسة من قبل Kara و Kockelman في ولاية تكساس -أوسطن بأمریکا لتقدير تأثير الشاحنات الخفيفة (Light Duty Trucks) في سعة التقاطعات المزودة بإشارات ضوئية [4]. وقُسِّمَت في هذه الدراسة الشاحنات الخفيفة إلى أربع مجموعات هي:



المسافة (م) أو التتابع (ثا)

الشكل رقم (1)

وتعدُّ طريقة زمن التتابع أكثر الطرائق شيوعاً لتحديد مكافئ المركبة الحسائية النموذجية عند التقاطعات المزودة بإشارات ضوئية [7]، (Kimber, 1985; Lam, 1994; Bang et al, 1994)، وهذه الطريقة مبنية على أن مكافئ المركبة الحسائية النموذجية للمركبة من النوع i (PCE_i) يساوي نسبة متوسط زمن التتابع للمركبة من النوع i (\bar{h}_i) إلى متوسط زمن التتابع للمركبة الحسائية النموذجية (\bar{h}_{pc}):

$$PCE_i = \frac{\bar{h}_i}{\bar{h}_{pc}} \quad (3)$$

فعلى سبيل المثال، استُخدمت هذه الطريقة لتقدير مكافئ المركبة الحسائية النموذجية لمختلف أنواع المركبات الموصى باستخدامها لتصميم التقاطعات في المملكة المتحدة التي تأخذ القيم الآتية: 1.5 للمركبة التجارية المتوسطة (لها محوران وأربعة إطارات أو أقل)، و 2.3 للمركبة التجارية الثقيلة (لها أكثر من محورين) و 2.0 للحافلة [8].

وقد اقترح مولينا (Molina) تعديلاً على طريقة نسبة التتابع للأخذ بالحسبان الزيادة في زمن التتابع للمركبات المنتظرة في رتل خلف مركبة ثقيلة، وقد اقترح أن يُحسب مكافئ المركبة الحسائية النموذجية للمركبة من النوع i (PCE_i) كالاتي [1]:

X_k = عدد المركبات في الرتل من النوع k أمام مركبة ركاب صغيرة.

Y_j = عدد الشاحنات الخفيفة من النوع j في الرتل.

ϵ = الخطأ الذي يمثل الزمن المتراكم من الخصائص غير المشاهدة للمركبات جميعها في الرتل، وخصائص سائقيها.

وقد توصلت الدراسة إلى أن مكافئ المركبة الحسائية النموذجية للمركبات الرياضية-الخدمية القصيرة والطويلة هو 1.07 و 1.41، على التوالي، وللفان الصغيرة 1.34، و 1.14 للبيك أب، وذلك للحركة المستمرة للأمام عند التقاطعات [4].

كما قام الأستاذ سعد القاضي من جامعة الملك سعود، بدراسة على 11 تقاطعاً في مدينة الرياض جمع من خلالها البيانات اللازمة لتقدير نموذج الانحدار، و قد وصلت الدراسة إلى أن الشاحنة الثقيلة والحافلة الكبيرة تعادل 1.73 سيارة ركاب صغيرة، في حين تبلغ 1.07 للشاحنة الخفيفة [6].

2-3- طريقة نسبة التتابع (Headway method):

يعرف زمن التتابع بأنه الزمن اللازم لعبور مركبتين متعاقبتين نقطة محددة. ففي التقاطعات ذات الإشارات الضوئية، يكون زمن التتابع هو المدة الزمنية الفاصلة بين عبور المحور الأمامي للمركبة الأولى خط التوقف وعبور المحور الأمامي للمركبة الثانية لخط التوقف، أمّا زمن التتابع للمركبة الثانية فهو المدة الزمنية الفاصلة بين عبور المحور الأمامي للمركبة الثانية والثالثة لخط التوقف وهلم جرا، كما هو مبين في الشكل رقم (1).

استخدام عوامل تصحيح مختلفة للمركبات الثقيلة، عند التقاطعات، في حالة حركة المرور المتجهة للأمام عن تلك المنعطفة للياسر [9].

3. قيم مكافئات المركبة الحاسوبية النموذجية المعتمدة في الكودات العالمية:

1-3- دليل سعة الطرق الأمريكي: (HCM)

يوصي دليل تحليل سعة التقاطعات، في طبعته الثانية (1985م) [10] باستخدام قيمة 1.5 لمكافئ المركبة الحاسوبية النموذجية للمركبة الثقيلة، في حين يوصي في طبعته الثالث اللاحقة (1994م و1997م و2000م) [11-13] باستخدام قيمة 2.0، ولكن من دون إعطاء أية أسباب لهذه الزيادة. وبشكل عام، فإن نتائج البحوث السابقة المعروضة أعلاه قريبة من قيمة 2.0 للمكافئ، التي توصي بها الطبعتان الثالثة والرابعة لدليل سعة الطرق الأمريكي بالنسبة إلى المركبات الثقيلة- وإن كانت تميل إلى أن تكون أقل منها. كما أنه من المهم الإشارة إلى أنه في حالة الميول الحادة للطرق، في حالة تحليل سعة الطرق، فإن الدليل يوصي باستخدام قيم متغيرة للمكافئ بحسب نوع المركبة الثقيلة ونسبتها في حركة المرور. في حين يستخدم الدليل، في حالة التقاطعات، قيمة ثابتة للمكافئ بغض النظر عن نوع المركبة الثقيلة وحجم الحركة المرورية.

2-3- الدليل الكندي لسعة التقاطعات المزودة بإشارات ضوئية: (CCG)

يعتمد القيم التالية لمكافئ المركبة الحاسوبية النموذجية: 1.0 لوحدة مركبة الركاب (التي تشمل الميكروباص البيك أب)، و1.5 للشاحنة المفردة، و2.5 للشاحنة ذات المقطورات والحمولة غير الثقيلة، و3.5 للشاحنة ذات المقطورات والحمولة الثقيلة، و1.75 للحافلات [14].

3-3- الدليل البريطاني للطرق ضمن المدن:

يعتمد القيم التالية لمكافئ المركبة الحاسوبية النموذجية: 1.0 لوحدة مركبة الركاب (التي تشمل الفان والوانيت والشاحنات

$$PCE_i = \frac{(\bar{h}_i + \Delta H)}{\bar{h}_{pc}} \quad (4)$$

أو

$$PCE_i = 1 + \frac{TT_i - TT_{pc}}{h_{pc}} \quad (5)$$

إذ إن:

$$\bar{h}_i = \text{متوسط زمن التتابع للمركبات من النوع } i.$$

$$\bar{h}_{pc} = \text{متوسط زمن التتابع المشبع للمركبة الحاسوبية النموذجية.}$$

$$\Delta H = \text{زمن التتابع الإضافي الإجمالي لرتل المركبات الذي تسببه الشاحنة الثقيلة.}$$

$$TT_i = \text{الزمن الكلي لمغادرة رتل المركبات الذي تتقدمه شاحنة من النوع } i.$$

$$TT_{pc} = \text{الزمن الكلي لمغادرة رتل المركبات الذي تتقدمه مركبة ركاب صغيرة.}$$

وقد وجدت تلك الدراسة أن موقع الشاحنة داخل رتل المركبات المنتظرة، بالنسبة إلى الشاحنات المفردة ذوات المحورين والثلاثة محاور، ليس له تأثير يذكر في قيمة مكافئ المركبة الحاسوبية النموذجية، ولكن تأثير الموقع كان ملموساً في قيمة المكافئ للشاحنة ذات الخمسة محاور. مع العلم أن تلك الدراسة كانت مقتصرة على الحركة المستمرة للأمام مع وجود شاحنة واحدة فقط في الرتل، حيث يُؤخَذ بالحسبان عوامل أخرى مثل حجم المرور ونسبة الشاحنات. وقد أوصت الدراسة باستخدام قيمتي 3.7 و 1.7 للمكافئ للشاحنات الثقيلة والخفيفة، على التوالي [1].

وفي عام 1995م، قام تساو وشو (Tsao and chu) بتحليل بيانات جمعت في تقاطعات في تايوان، ووجدوا أن متوسط التتابع الزمني للمركبة الحاسوبية النموذجية للمركبات الثقيلة لا يعتمد على نوع المركبة التي تكون أمامها مباشرة. كما أشارت نتائج دراستهما إلى أنه يجب

4-1- التقاطعات المشمولة بالدراسة:

جُمعت البيانات اللازمة للدراسة من خمسة تقاطعات مختارة في مدينة دمشق، وفي أوقات مختارة، روعي في اختيارها عدة معايير هندسية ومرورية تشمل ما يأتي:

1. تنوع المركبات التي تستخدم التقاطع.
 2. وجود حركة مرورية مشبعة مستمرة للأمام عند التقاطع، أي في أوقات ذروة.
 3. عدم وجود إعاقات خارجية للحركة عند التقاطع، مثل مواقف المركبات الجانبية، وفي حال وجودها تُعزلُ الأطوار أو الحركات المتأثرة.
 4. أن يكون التقاطع في منطقة مستوية (من دون أية ميول).
 5. إمكانية فصل حركات الالتفاف إلى اليمين و اليسار.
 6. إمكانية عزل الحركات المتأثرة بالمواقف الجانبية أو توقيات النقل العام.
- وتبيّن الأشكال من 2 إلى 6 الاتجاهات التي جُمعت البيانات فيها كما يلخص الجدول رقم (1) التقاطعات المشمولة بالدراسة.



الشكل رقم (2)

الخفيفة التي لاتزيد حمولتها على 3 طن)، و 1.75 للشاحنات المتوسطة والثقيلة، و 2.25 لحافلات الركاب الكبيرة [15].

4-3- الدليل الماليزي (MHCM, 2006)

كانت قيم هذا الدليل تستند إلى طريقة ArahanTeknik (Jalan) 13/87 في عام 1987، وقد ماثلت قيمه القيم المستنتجة من قبل ويبستر والمعروضة سابقاً واختلفت معها من حيث الشاحنات الثقيلة، وقد تبين أن قيمة المكافئ لها تساوي 2.25 بدلاً من 1.75 أمّا الدليل الماليزي (MHCM, 2006) فقد اعتمد القيم التالية لمكافئ المركبة الحسابية النموذجية: 1.0 لوحدة مركبة الركاب (التي تشمل الميكروباص والبيك أب)، و 1.19 للشاحنة المفردة الخفيفة والمتوسطة، و 2.27 للشاحنة ذات المقطورات والحمولة الثقيلة و 2.08 للحافلات [16].

ومن الجدير بالذكر أن القيم المعتمدة لمكافئ المركبة الحسابية النموذجية في بعض الدراسات في محافظة دمشق هي كالآتي: 1.0 لوحدة مركبة الركاب، و 1.5 لحافلة الركاب الصغيرة و 2.00 لحافلة الركاب المتوسطة و 3.00 لكل من الشاحنة المفردة الخفيفة والمتوسطة والحافلات الكبيرة.

4. جمع البيانات:

نظراً إلى تركيز الدراسة على حركة المركبات المتجهة للأمام في بعض تقاطعات مدينة دمشق التي تشغل عادة أكثر من حارة مرورية واحدة، فإن ذلك يشكل صعوبة في جمع البيانات المطلوبة من خلال المسح الميداني اليدوي المباشر، وذلك بسبب سلوك السائقين من حيث عدم تقيدهم بالحارات المرورية المخططة على الطريق مما لا يتيح تسجيل البيانات بدقة. لذا فقد استُخدم التصوير بالفيديو لتسجيل حركة المركبات عند التقاطعات المختارة في أوقات الذروة، ومن ثم فرغَت البيانات منها مكتيباً، بحيث اتخذ موقع مراقبة محدد يجري من خلاله رصد الأزمنة المطلوبة بالدقة المقبولة.



الشكل رقم (6)

الجدول رقم (1)

التقاطعات المشمولة بالدراسة

رقم الشكل	اسم التقاطع	الفرع	رمز الحركة	عدد دورات الإشارة	العرض الوسطي للحارة (م)
2	تقاطع المجتهد	الشرقي	M1	14	3
		الغربي	M2	15	3
3	تقاطع المدفع	من جسر الرئيس	MD2	20	3
		من الروضة	MD3	14	3.25
		من ساحة الأمويين	MD1	25	3.25
4	تقاطع مدرسة دار السلام	من تقاطع شارع الحمراء	S1	24	3.10
5	تقاطع اتوستراد الزاهرة مع الصناعية	الجنوبي	Z	22	2.9
6	تقاطع اتوستراد المزرة إشارة المشاة	من الأمويين	MA1	28	3
		من السومرية	MA2	23	3



الشكل رقم (3)



الشكل رقم (4)



الشكل رقم (5)

4-2- تصنيف المركبات:

تشمل المركبة الحسائية النموذجية وفق دليل سعة الطرق الأمريكي (HCM):

- مركبات الركاب الصغيرة
- جميع الشاحنات الخفيفة (*Light Duty Trucks*)، وهي صنف من المركبات يشمل "البيك أب" (*pick-up*)، و"الميكروباص" (*Minivan*) والمركبات الرياضية-الخدمية (*Sport-Utility Vehicles*)، أي "الجيب" والمركبات العائلية مثل "الجمس" أو "الصالون"
- مركبات البضائع التي لا يتجاوز وزنها الإجمالي نحو أربعة أطنان (8500 رطل).

كما ذكر سابقاً أن محافظة دمشق صنفت المركبات في بعض الدراسات كالتالي:

- وحدة مركبة الركاب
- حافلة الركاب الصغيرة
- حافلة الركاب المتوسطة
- المركبة الشاحنة المفردة الخفيفة، والمتوسطة والحافلات الكبيرة.

إلا أن التيار المروري في محافظة دمشق لا يتضمن الشاحنات كما تكون الحافلات الصغيرة "الميكروباص" نسبة كبيرة من وسائل النقل الداخلي.

و في ضوء هذه الموضوعات فقد صنفت المركبات في هذه الدراسة إلى أربعة أصناف و يبين الجدول رقم (2) هذا التصنيف.

الجدول رقم (2)

تصنيف المركبات المشمولة بالدراسة

الصف	تفاصيل
سيارة ركاب صغيرة "PCU"	7-2 ركاب
حافلات صغيرة ميكروباص "MB"	أقل من 12 ركاباً
حافلات كبيرة باص "B"	أكثر من 50 ركاباً
حافلات نقل متوسطة "SB"	20 ركاباً

5. البيانات الميدانية وتحليلها:

استخدمت طريقة نسبة التتابع بحيث يُحسب مكافئ المركبة الحسائية النموذجية للمركبة من النوع (PCE) i وفق المعادلة رقم (3) ويتبين من هذه المعادلة اختصار العوامل المحيطة كلها المؤثرة في أنواع المركبات المختلفة. ولتقليص عدد العوامل المحيطة المؤثرة في زمن التتابع فيما بين التقاطعات - فضلاً عما ذكر سابقاً في اختيار التقاطعات - أُجري القياس في حارة واحدة من التقاطعات التي يمكن أخذ القياسات فيها لرثل من المركبات منتظمة في حارة مرورية واحدة و غالباً ما تكون الحارة اليسارية ومن ثمَّ عُرِلَ تأثير كلٍّ من مواقف المركبات و مواقف حافلات النقل والحركات المنعطفة يميناً أو يساراً على القياسات الحقلية ويبقى من العوامل المؤثرة عرض الحارة المرورية لاختلافها بين التقاطعات، إلا أن تأثير تبليين عرض الحارة المرورية في غزارة الإشباع يمكن حسابه من خلال عامل التصحيح الآتي [11-13]:

$$F_w = 1 + \frac{(W - 3.6)}{9} \quad (6)$$

F_w عامل يتعلق بعرض حارة المرور

W عرض حارة المرور (م)

ويتبين من خلال الجدول (1) أن عرض الحارة التي أُجريت القياس فيها يراوح بين 2.9 م ~ 3.25 م ومن ثمَّ فإن تأثير عرض الحارة المرورية يراوح بين 0.922 ~ 0.967 بالترتيب؛ وذلك على غزارة الإشباع المقيسة بـ (مركبة/ الساعة) كما سبق ذكره، أمّا على زمن التتابع المقيس لكل مركبة على حدة بالثانية فيكون تأثير تبليين عرض حارة المرور بين التقاطعات مهملاً.

و يستخرج متوسط زمن التتابع \bar{h}_{vt} لكل نوع من الأنواع الأربعة وفق المعادلة الآتية [17]:

$$\bar{h}_{vt} = \frac{\sum h_{vti}}{n} \quad (7)$$

(e) أقل من 0.10 ثانية ومستوى ثقة 0.95%؛ وذلك من خلال المتراجحة الآتية [17]:

$$e \leq \frac{1.96 s_{vt}}{\sqrt{n}} \quad (9)$$

أدرجت نتائج جمع البيانات مفصلة للنقاط رقم (1) في الجدول رقم (3)، كما حُسيب متوسط زمن التابع للمركبات الصغيرة h_i والانحراف المعياري لهذا القياس δ_1 . في حين أن ملخص نتائج القياسات للنقاطات كلها أدرجت في الجدول رقم (4)

الجدول رقم (3)

أزمان التابع للمركبات على تقاطع الفرع الشرقي لتقاطع المجتهد

رقم الدورة الضوئية							ترتيب المركبة بحسب وقتها في الرتل
7	6	5	4	3	2	1	
2.68	4.56	2.51	4.33	6.57	3.37	2.66	1
2.02	2.65	2.73	2.38	2.91	2.49	3.09	2
3.26	3.46	6.63	2.82	2.32	3.79	2.83	3
1.91	1.87	2.2	2.84	2.07	3.87	1.13	4
2.29	2.38	1.84	2.66	2.68	2.24	4.04	5
2.14	3.62	1.52	1.72	2.42	2.26	2.38	6
1.66	1.74	2.23	4.82	3.38	1.78	1.78	7
1.71	2.18	1.95	2.85	2.14	1.27	1.86	8
2.72	2.29	2.2	1.67	2.44	1.25	2.07	9
2.35	2.44	1.57	2.38	2.48	2.88	2.53	10
1.91	3.22	2.1	2.84	2.01	2.92	1.25	11
2.48		1.47		1.72	2.38	1.06	12
1.68		1.82		2.35		1.76	13
1.47				3.54		1.7	14

تتمة الجدول رقم (3)

أزمان التابع للمركبات على تقاطع الفرع الشرقي لتقاطع المجتهد

δ_1	h_i	رقم الدورة الضوئية							ترتيب المركبة بحسب وقتها في الرتل
		13	12	11	10	9	8	7	
1.44	3.91	4.67	5.44	3.24	1.49	4.15	2.28	1	
0.49	2.63	1.96	2.33	2.24	3.55	2.46	3.37	2	
0.62	2.89	2.88	2.31	2.17	1.89	2.37	3.6	3	
0.69	2.22	2.49	2.14	2.23	1.99	1.44	2.31	4	
0.67	2.37	2.48	1.99	2.95	1.56	2.24	1.42	5	
0.70	2.01	1.19	2.08	2.3	1.9	2.09	1.9	6	
0.96	2.36	1.89	1.55	1.83	3.43	2.14	2.44	7	
0.44	1.81	1.85	1.85	1.43	1.18	1.72	1.52	8	
0.62	2.03	2.07	1.34	3.44	1.29	1.93	1.71	9	
0.79	2.32	1.97	2.01	2.38	1.27	1.47	4.42	10	
0.62	2.24	1.6		1.7	2.13	2.18	2.99	11	
0.55	1.71	2.3		1.15	1.3	1.51		12	
0.41	1.69				1.33	1.18		13	
0.93	2.24					2.26		14	
	SB		B	MB		PCU		مفتاح الخلايا	

المركبات الخمس الأولى مركبات صغيرة، وحُسبَ هذا الرقم من خلال جمع الفرق بين زمن التتابع للمركبات الخمس الأولى - قبل استقرار هذا الزمن - وزمن التتابع المستقر.

ولما كان الهدف من البحث الوصول إلى مكافئ المركبة الحسابية النموذجية وفق الظروف المحيطة في مدينة دمشق فقد استُثنت المركبات الخمس الأولى من الحسابات لتأثيرها بسلوك السائق في التجاوب مع تغيير الإشارة من الأصفر إلى الأخضر. ومن ثمّ فإن جمع البيانات تملأ أكثر من 2000 مركبة في خمسة تقاطعات بمدينة دمشق، إلا أنه وبعد استثناء المركبات الخمس الأولى من كل دورة ضوئية للسبب المذكور سابقاً انخفض العدد إلى 1026 مركبة موزعة على أربعة أصناف من المركبات المكونة للتيار المروري في مدينة دمشق.

تبيّن من خلال هذه القياسات أن استقرار زمن التتابع يكون بعد المركبة الخامسة، وقد تم تبيان ذلك وفق الشكل رقم (6)، مما يبيّن تأثير سلوك السائق في التجاوب مع تغيير الإشارة من الأصفر إلى الأخضر،



كما نلاحظ من الشكل أعلاه أن مجموع متوسط الزمن الضائع نتيجة تأخر رد فعل السائق للمركبات الخمس الأولى يساوي تقريباً 3.76 ثانية؛ وذلك هل كانت

الجدول رقم (4)

نتائج أزمان التتابع للمركبات للحركات كلها

رقم الشكل	اسم التقاطع	الفرع	رمز الحركة	نوع المركبة	عدد المركبات المقاسة	متوسط زمن التتابع	S_{vt}
2	تقاطع المجتهد	الشرقي	M1	PCU	82	2.04	0.67
				MB	2	2.14	0.34
				B	2	2.18	0.12
				SB	0		
2	تقاطع المجتهد	الغربي	M2	PCU	93	2.05	0.54
				MB	17	2.29	0.56
				B	5	3.31	0.94
				SB	3	2.59	0.62
3	تقاطع المدفع	من ساحة الأمويين	MD1	PCU	124	2.17	0.56
				MB	8	2.45	0.33
				B	2	4.39	2.13
				SB	8	2.50	1.00
		من جسر الرئيس	MD2	PCU	80	2.30	0.67
				MB	12	2.45	0.35
				B	5	2.93	0.95
				SB	8	2.35	0.23
		من	M D3	PCU	128	2.18	0.69

0.96	2.00	7	MB				
1.17	3.05	3	B				
1.37	2.20	4	SB				
0.62	1.95	60	PCU	SI	من تقاطع شارع الحمراء	مدرسة دار السلام	4
0.34	2.23	10	MB				
1.23	2.95	4	B				
0.52	2.53	8	SB				
0.48	1.88	68	PCU	Z	الجنوبي	تقاطع اتوستراد الزاهرة الإشارة الأولى بعد القرن	5
0.30	2.40	18	MB				
0.69	3.24	10	B				
1.10	2.52	6	SB				
0.46	2.13	150	PCU	MA1	من الأمويين	تقاطع اتوستراد المزه إشارة المشاة	6
0.36	2.37	4	MB				
2.13	4.39	3	B				
1.00	2.50	7	SB				
0.60	2.03	45	PCU	MA2	من السومرية	تقاطع اتوستراد المزه إشارة المشاة	6
1.36	2.59	8	MB				
0.95	2.93	9	B				
0.80	2.70	23	SB				

الجدول رقم (5)

ملخص نتائج أزمان التتابع للمركبات للحركات كلها

نوع المركبة	عدد المركبات المقاسة (n)	متوسط زمن التتابع	S_{vt}	$e_{(sec)}$	مكافئ المركبة الحسابية لنموذجية
PC	830	2.08	0.128	0.009	1.00
MB	86	2.32	0.180	0.04	1.12
B	43	3.26	0.312	0.09	1.57
SB	67	2.49	0.152	0.04	1.19

إذ إن:

$$P_i = \text{نسبة المركبات من النوع } i$$

$$E_i = \text{مكافئ مركبة الركاب الصغيرة للمركبات من النوع } i.$$

وعلى سبيل المثال، باستخدام نسب توزيع أنواع المركبات للعينة التي جُمعت في هذه الدراسة (5.5% حافلات نقل متوسطة (20 راكباً)، و 18% حافلات صغيرة، و 2.5% حافلات كبيرة والباقي مركبات ركاب صغيرة)، وبتطبيق المعادلة رقم (10)، تكون قيمة عامل

وعليه فإن غزارة الإشباع $S=3600/h$ هي 1730 مركبة ركاب صغيرة لكل ساعة خضراء كاملة للإشارة لكل حارة مرورية؛ وذلك عندما تكون الشروط المرورية والطرقية المسيطرة مثالية، أمّا عند اختلاف هذه الشروط فلا بدّ أن تؤخذ بالحسبان.

وبناء على النتائج التي تم التوصل إليها، يمكن حساب عامل تصحيح سعة التقاطع لنوع المركبات $(f_{vt} i)$ باستخدام المعادلة:

$$f_{vt} i = \frac{1}{[1 + P_i (E_i - 1)]} \quad (10)$$

ويتبين من ذلك أن متوسط انخفاض معدل التدفق المشبع للحركة المستمرة للأمام في التقاطعات المزودة بإشارات ضوئية بسبب وجود مركبات أخرى غير المركبة الحسابية النموذجية لا يزيد على 2.3%، فيما عدا القيم المعتمدة من قبل محافظة دمشق فإن متوسط الانخفاض في معدل التدفق المشبع بلغ 6% أي إن معدل التدفق المشبع الفعلي يراوح بين 1691-1706 بحسب الكودات المذكورة و1690 بحسب هذه الدراسة فيما تقدر بنحو 1625 مركبة/ساعة خضراء كاملة للإشارة/حارة مرورية وفق القيم المعتمدة من قبل محافظة دمشق؛ وذلك باعتبار أن الظروف المحيطة مثالية كلاً ما عدا نسب المركبات المكونة للتيار المروري والمذكورة أعلاه.

6. النتائج والتوصيات

بعد جمع البيانات لأكثر من 2000 مركبة في خمسة تقاطعات بمدينة دمشق، حُسبَ زمن التتابع للأصناف الأربعة من المركبات المكونة للتيار المروري في مدينة دمشق.

6-1- النتائج:

1. بينت النتائج أن الحافلات المتوسطة تكافئ 1.19 مركبة ركاب صغيرة، والحافلة الصغيرة (الميكرو باص) تكافئ 1.12 مركبة ركاب صغيرة، والحافلة الكبيرة تكافئ 1.57 مركبة ركاب صغيرة.

2. تبين أن معدل التدفق المشبع الذي تم التوصل إليه في هذه الدراسة، هو 1730 مركبة ركاب صغيرة لكل ساعة خضراء كاملة للإشارة لكل حارة مرورية في مدخل التقاطع.

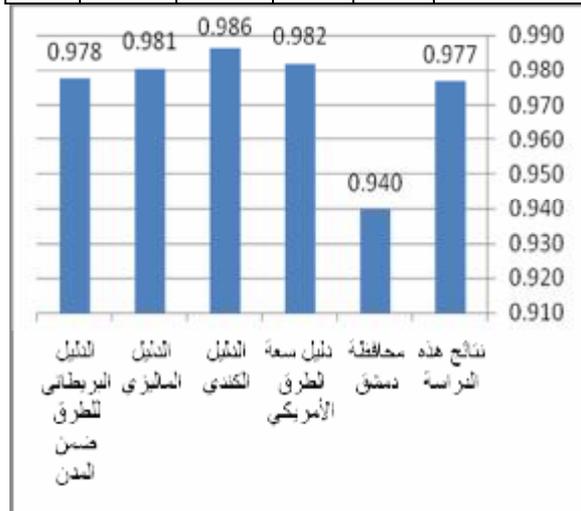
3. إن متوسط الزمن الضائع نتيجة تأخر رد فعل المركبات الخمس الأولى يساوي تقريباً 3.76 ثانية.

تصحیح أنواع المركبات كلها $f_{vt ALL}$ من خلال جداء العوامل السابقة، وندرج أدناه الجدول رقم (6) والشكل رقم (7) اللذين يبينان عامل تصحيح سعة التقاطع الذي يتعلق بنوع المركبات وفقاً لكل من القيم المعتمدة لمكافئ المركبة الحسابية النموذجية من قبل بعض الكودات المذكورة سابقاً مقارنة بالقيم المستنتجة في هذه الدراسة والقيم المعتمدة في بعض الدراسات من قبل محافظة دمشق.

الجدول رقم (6)

عامل تصحيح سعة التقاطع يتعلق بنوع المركبات

$f_{vt ALL}$	SB	B	MB	PCU	نوع المركبة
	0.03	0.02	0.05	0.89	نسبتها %
0.98	0.993	0.991	0.993	1.00	نتائج هذه الدراسة
0.94	0.98	0.98	0.97	1.00	محافظة دمشق
0.98	1.00	0.98	1.00	1.00	دليل سعة الطرق الأمريكي
0.99	1.00	0.99	1.00	1.00	الدليل الكندي
0.98	1.00	0.98	1.00	1.00	الدليل الماليزي
0.98	1.00	0.98	1.00	1.00	الدليل البريطاني للطرق ضمن المدن



الشكل رقم (7) عامل تصحيح سعة التقاطع يتعلق بنوع المركبات

ونسبتها

6-2- التوصيات:

1. ضرورة مراجعة محافظة دمشق للقيم المعتمدة كمكافئات لأنواع المركبات المختلفة؛ وذلك في التقاطعات المضبوطة بإشارات ضوئية.
2. دراسة لتقدير عوامل تصحيح سعة التقاطعات بسبب العوامل المرورية الأخرى مثل حركات الانعطاف، عرض المدخل عند التقاطع.
3. إجراء دراسة لتقدير تأثير نوع المركبة في سعة الطرق (من دون تقاطعات). وتأثير عدم انتظام المركبات بالحارات المرورية.

7. المراجع*

12. Transportation Research Board. Highway Capacity Manual. National Research Council, Special Report 209, 3rd edition, Washington, D.C., 1997.
13. Transportation Research Board. Highway Capacity Manual. National Research Council, Special Report 209, 4th edition, Washington, D.C., 2000.
14. Teply, S. et al. Canadian Capacity Guide for Signalized Intersections. ITE - District 7: Canada, second edition, June 1995.
15. Roads in urban areas 1966 H.M.S.O.
16. NURIKHWANI IDAYU BINTI ZAINAL ABIDIN, EVALUATING SIGNALIZED INTERSECTION CAPACITY BASED ONMALAYSIAN ROAD CONDITIONS, JANUARY 2007.
17. Traffic Engineering, Third Edition, RogerP. Roess,. Elena S. Prassas, William R. McShane,2004 by Pearson Education, Inc.
18. التحليل الإحصائي للمتغيرات المتعددة باستخدام برنامج أسامة ربيع أمين سليمان، القاهرة 2008، SPSS2008.
1. Molina, C. J. Development of passenger car equivalencies for large trucks at signalized intersections. ITE Journal, November 1987.
2. Webster, F. V. A controlled experiment on the capacity of junctions with traffic signals. Road Research Lab. Res. Note No. RN/3313/FVW. BR587, 1958.
3. Webster, F. V. and B. M. Cobbe. Traffic Signals. Road Research Technical Paper No. 56, HMSO, London, 1966.
4. Branston, D. and H. Van Zuylen. The estimation of saturation flow, effective green time and passenger car equivalents at traffic signals by multiple linear regression. Transportation Research 12, 47-53, 1978.
5. Al-Shiha, Mohammed A. Evaluation and optimization of traffic signal control at diamond interchanges in Arriyadh. M.Sc. thesis, Civil Engineering Department, College of Engineering, King Saud University, Riyadh, Saudi Arabia, 1997.
6. سعد بن عبد الرحمن القاضي أستاذ مشارك، قسم الهندسة المدنية، كلية الهندسة، جامعة الملك سعود، "تأثير أنواع المركبات المختلفة على سعة التقاطعات المزودة بإشارات ضوئية" 2008
7. Greenshields, B. D., D. Shapiro and E. L. Erickson. Traffic performance at urban intersection. Bureau of Highway Traffic, Technical Report No. 1, Yale University, New Haven, Conn., USA, 1947.
8. Salter, R. J. and N. B. Hovnsell. Highway Traffic Analysis and Design. Third Edition. Macmillan Press Ltd., 1996.
9. Tsao, S. and S. Chu. Adjustment factors for heavy vehicles at signalized intersections. J. Transportation Engineering, ASCE, 121 (2), 150-157, 1995.
10. Transportation Research Board. Highway Capacity Manual. National Research Council, Special Report 209, 2nd edition, Washington, D.C., 1985.
11. Transportation Research Board. Highway Capacity Manual. National Research Council, Special Report 209, 3rd edition, Washington, D.C., 1994.