

Estimating the Passenger Car Equivalent (PCE) for Different Type of Vehicles on the Signalized Intersections

Ahmed Subhi

Building and Construction Engineering Department, University of Technology/ Baghdad
Email: uot_magaz@yahoo.com

ABSTRACT

Drivers in Iraq tend to disregard lane markings and use every available meter of signalized intersections approach width. Thus, actual vehicles queues usually exceed marked lanes. This paper analyzes the effect of this behavior on signalized intersection capacity by estimating the passenger car equivalent (PCE) for different types of vehicles under these prevailing conditions. Multiple linear regression analysis was employed by considering all the through lanes in the approach as the unit of analysis; the necessary data were collected from a congested signalized intersection within Al-Hilla Province by using videotaping and for a period of four days (8 hours per day). The study resulted in some useful findings for signalized intersections capacity analysis. The saturation flow rate was estimated to be 1818 passenger cars per hour of green per marked lane. The results revealed that the minibus (e.g., 25-seat Toyota Coaster) and the passenger car time headways were equal, and thus have the same effect on intersection capacity. It is believed that this is due to the observed reckless driving of minibus drivers.

Key words: Signalized Intersections, Conversion Factors, Traffic Engineering

إيجاد المكافئات المرورية لأنواع مختلفة من المركبات للتقاطعات المزودة بإشارة ضوئية

الخلاصة

يميل السائقون في العراق إلى تجاهل الخطوط الأرضية المدهونة على أرضية الطريق واستغلال كل متر من عرض مدخل التقاطع المزود بإشارة ضوئية. فالمركبات تتزاحم في مدخل التقاطع لتكوين عدد من صفوف الانتظار يتجاوز عادة عدد الممرات المرورية المخططة على أرضية الطريق. في الدراسة الحالية سنقوم بتحليل أثر هذا السلوك على سعة التقاطعات المزودة بإشارات ضوئية وتقدير قيم مكافئ سيارات الركاب الصغيرة لأربعة أنواع مختلفة من المركبات في ظل هذه الظروف. وتم توظيف طريقة تحليل الانحدار الخطي المتعدد، ولكن مع تطويرها بحيث يتم اعتبار إجمالي بيانات جميع الحارات المرورية التي تستخدمها المركبات المتجهة للأمام، وليس لممر واحد كما هو المتبع عادة. وجمعت البيانات اللازمة لتقدير نموذج الانحدار من أحد

التقاطعات المزدهمة في مدينة الحلة والذي هو تقاطع الام باستخدام التصوير بالفيديو ولفترة اربعة ايام ولمدة ثمان ساعات لليوم الواحد. وتوصلت الدراسة إلى عدة نتائج مفيدة لتحليل سعة التقاطعات المزودة بإشارات ضوئية، وكشفت النتائج ان تدفق الاشباع يساوي 1818 مركبة قياسية لكل ساعة خضراء، وأن الحافلة الصغيرة (مثل حافلة تويوتا كوستر الاقل من 24 راكب) تقريبا مكافئة لسيارة الركاب الصغيرة، من حيث تقاطرها الزمني وبالتالي تأثيرها على سعة التقاطع، يرجع ذلك إلى الرعونة والتهور الملحوظين لمعظم سائقي تلك الحافلات.

كلمات دالة: تقاطعات بإشارة ضوئية، معاملات تحويل، هندسة المرور

مقدمة

يمكن اعتبار علم هندسة المرور، من جوانب عدة، على أنه من العلوم السلوكية، فهو مبني على سلوك مستخدم الطريق في تفاعله مع الخواص الطبيعية للمركبة والطريق. لذا، فإن الفهم العميق لهذا التفاعل يعد شرطا ضروريا للخروج بحلول عملية. ومعظم المعرفة الحالية في هذا العلم مبنية بشكل أساسي على ظروف الدول المتقدمة، مثل الولايات المتحدة الأمريكية وأوروبا، ولكن الظروف المرورية في الدول النامية، وخصوصا سلوك السائقين، عادة ما تكون مختلفة اختلافا جذريا عنها في الدول المتقدمة [1].

من جانب آخر، يعد التقاطع السطحي من أهم عناصر تصميم الطرق وتشغيلها. ويختلف تحليل سعة التقاطعات اختلافا جذريا عن تحليل سعة الطرق. ففي الطرق، يفترض عدم تعرض حركة المرور لأية مقاطعة بحيث لا تضطر المركبات للتوقف لأسباب خارجة عن حركة المرور. ولكن في حالة التقاطعات، يجب على المركبات التوقف، على سبيل المثال، عند الإشارات المرورية. بالإضافة لذلك، فإن سعة الطريق لا تتأثر إلا بالخصائص الهندسية للطريق نفسه وعوامل الحركة المرورية عليه فقط، في حين أن سعة التقاطع تتأثر بالخصائص الهندسية لجميع الطرق التي تتقابل عنده وعواملها المرورية. وهذا بالطبع يجعل تحليل سعة التقاطعات أشد تعقيدا منه للطرق. ويتم عادة أخذ تأثير العوامل المرورية على سعة التقاطعات المزودة بإشارات ضوئية بالاعتبار من خلال استخدام عوامل وزنية، تسمى مكافئ سيارات الركاب الصغيرة. وهي تعطي لأصناف المركبات المختلفة، على حسب طولها وقدرات تسارعها وتباطؤها ومقدار حملتها والوقت الذي تستغرقه مقارنة بسيارات الركاب الصغيرة، مما يؤثر بدوره على معدل التدفق المشبع لمدخل التقاطع المزود بإشارة ضوئية.

ويستخدم مفهوم مكافئ سيارات الركاب الصغيرة للأخذ بالاعتبار الآثار السلبية للمركبات الثقيلة على حركة المرور، فالمركبات الثقيلة، بسبب زيادة أبعادها وانخفاض معدلات تسارعها وتباطؤها، ربما تؤثر سلبيا على أداء حركة المرور عند التقاطعات. ويعرف مكافئ سيارات الركاب الصغيرة لمركبة من نوع معين بأنه عدد سيارات الركاب الصغيرة التي لها نفس التأثير على حركة المرور الذي تسببه مركبة واحدة من هذا النوع. أو بمعنى آخر هو عدد سيارات الركاب الصغيرة التي تزيحها مركبة واحدة تحت ظروف الطريق وحركة المرور السائدة. فالمركبات الثقيلة الواقفة عند التقاطع تتسبب في حدوث فجوات زمنية (تقاطع زمني) أطول منها للسيارات الصغيرة عند عبورها للتقاطعات، وبالتالي تتسبب في تأخير المركبات خلفها. ولا يقتصر سبب حدوث التأخير على الزيادة في زمن تقاطع المركبة الثقيلة نفسها، ولكنه يشمل أيضا الزيادة في التقاطع الزمني للمركبات التي خلفها [2].

وفي العراق، يختلف سلوك السائقين أثناء وقوفهم في طوابير انتظار عند الإشارات الضوئية في التقاطعات، عنه في كثير من الدول الأخرى. فالمركبات تتزاحم في مدخل التقاطع لتكوين عدد من صفوف الانتظار يتجاوز عدد الحارات المرورية المخططة والمدهونة على رصيفية الطريق. كما أن بعض السائقين لا يلتزم بالحارة المرورية المخصصة للمناورة التي ينوي القيام بها. فمثلا، قد يسلك السائق الحارة المرورية التي في أقصى اليمين، والتي قد تكون مخصصة فقط للانعطاف لليمين، وهو يريد الاستمرار للأمام أو حتى الانعطاف لليمن أو الدوران للخلف عند بدء

زمن الأخضر للإشارة. ويهدف هذا البحث لتقدير مكافئ سيارات الركاب الصغيرة لمختلف أنواع المركبات، وذلك للحركة المستمرة إلى الأمام (بدون انعطافات) عند التقاطعات المزودة بإشارات ضوئية في احد مدن العراق وهي مدينة الحلة.

اهم الدراسات السابقة في هذا المجال

أجريت عدة أبحاث من أجل فهم تأثيرات الأنواع المختلفة للمركبات على سعة التقاطعات المزودة بإشارات ضوئية. وفي سبيل تقدير مكافئ سيارات الركاب الصغيرة فقد سلكت تلك الدراسات عدة طرق وأساليب سيتم عرضها أدناه.

طريقة ويبستر (Webster)

في عام 1958م، قام ويبستر بإجراء تجربة محكمة، على طريق مخصص للتجارب، لحساب مكافئ سيارات الركاب الصغيرة. وقد صنف المركبات إلى صنفين هما المركبات الخفيفة والمركبات المتوسطة والثقيلة. 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 الإحداثي الصادي، مع متوسط عدد المركبات الخفيفة لكل دورة، على الإحداثي السيني. وقد وجد أن النقاط المرسومة كانت تشكل خطاً مستقيماً، يمثل مقلوب ميله مكافئ سيارات الركاب الصغيرة للمركبات الثقيلة [3]. وفي دراسة أخرى، أوصى ويبستر باستخدام قيمة للمكافئ قدرها 1.75 للشاحنات الثقيلة وقيمة 2.25 للحافلات، وذلك عند حساب معدل التدفق المشبع للحركة المستمرة للأمام عند التقاطعات [4].

طريقة الانحدار الخطي

عرض برانستون وفانزويلين (Branston and Van Zuylen) [5] وبرانستون وقيبيز (Branston and Gipps) [6] طريقة للانحدار الخطي المتعدد لتقدير المعاملات المرورية عند التقاطعات المزودة بإشارات ضوئية، بما في ذلك مكافئ سيارات الركاب الصغيرة. حيث تم تقسيم زمن الأخضر المخصص لمدخل التقاطع إلى ثلاث فترات متتابعة للحصر سُميت الفترات "الأولى" و "الوسطى" و "الأخيرة". وتغطي الفترة الأولى تزايد معدل التدفق من الصفر عند بدء زمن الأخضر وحتى الوصول للتدفق المشبع، في حين تغطي الفترة الوسطى طول فترة التدفق المشبع الثابت، أما الفترة الأخيرة فتشمل انخفاض معدل التدفق عن المعدل المشبع خلال زمن الأصفر. وتم تسجيل أزمان مغادرة المركبات لخط الوقوف عند التقاطع وحصر أنواعها لفترة زمنية قدرها (T)، والتي تبدأ وتنتهي عند أزمنة اختيارية. بعد ذلك تم تطبيق معادلة الانحدار الاتية لتقدير معدل التدفق المشبع لسيارات الركاب الصغيرة (b_0) ومكافئ سيارات الركاب الصغيرة لكل صنف i من المركبات الأخرى (b_i):

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

حيث أن:

$$n_{pc} = \text{عدد سيارات الركاب الصغيرة التي تم حصرها في دورة الإشارة}$$

$$n_i = \text{عدد المركبات الأخرى من الصنف } i$$

$$e = \text{مقدار الخطأ العشوائي}$$

وقد سجلت أزمان مغادرة المركبات بطريقتين مختلفتين هما "المتزامنة" و "اللامتزامنة"، حيث يتم في الأولى الالتزام بإنهاء المشاهدات عند لحظة المغادرة لأية مركبة، ولكن في الطريقة الثانية يتم إنهاء المشاهدات في أي زمن اختياري. وتوصلت الدراسة المذكورة لتقدير قيمة المكافئ للمركبات الثقيلة بـ 1.74 للطريقة المتزامنة و 1.59 للطريقة الالامتزامنة، وذلك عند تطبيق

طريقة الانحدار على الحركة المستمرة للأمام عند التقاطعات، وبعد استبعاد الزمن الضائع عند بدء الحركة.

كما قام برانستون أيضا، في دراسة أخرى، بتطبيق أسلوب تحليل الانحدار الخطي على بيانات الحركة المرورية المستمرة للأمام في تقاطع مستو بدون ميول، وتوصل لتقدير المكافئ بالقيم 1.35 و 1.68 للشاحنات المتوسطة والثقيلة، على التوالي [7].
وقد أجريت دراسة لتقدير تأثير الشاحنات الخفيفة (Light Duty Trucks) على سعة التقاطعات المزودة بإشارات ضوئية [8]. وتم في هذه الدراسة تقسيم الشاحنات الخفيفة إلى أربع مجموعات هي:

1. المركبات الرياضية-الخدمية (Sport-Utility Vehicle) الطويلة، وهي ما يزيد طولها عن خمسة أمتار
2. المركبات الرياضية-الخدمية القصيرة، وهي ما لا يزيد طولها عن 5 أمتار
3. مركبات الـ "فان" الصغيرة (Minivan)
4. الشاحنات الصغيرة (Pickup)

وقد استخدمت الدراسة المذكورة معادلة الانحدار التالية لتقدير مكافئ السيارات الصغيرة للشاحنات الخفيفة:

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

حيث:

- T = مجموع الزمن اللازم لطابور المركبات لعبور خط الوقوف عند الإشارة
 α = الزمن الضائع المرتبط بالمركبات الأولى في الطابور زائداً الزمن اللازم للمركبة الأولى لإخلاء مدخل التقاطع
Bj = متوسط الزمن الإضافي اللازم لشاحنة خفيفة من النوع j لعبور خط الوقوف مقارنة بسيارة الركاب الصغيرة
 γ_k = متوسط الفجوة الزمنية للتدفق المشبع المرتبطة بزواج مركبة - سيارة 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 الطابور (مع استبعاد المتغير الثنائي لسيارة الركاب الصغيرة)
P = عدد التباديل المميزة لترتيب أزواج المركبة - سيارة ركاب صغيرة
n = عدد اصناف الشاحنات الخفيفة المشمولة بالتحليل
Dj = متغير ثنائي (واحد أو صفر) للدلالة على ما إذا كانت المركبة الأولى في الطابور من النوع j
xk = عدد المركبات في الطابور من النوع k أمام سيارة ركاب صغيرة
yj = عدد الشاحنات الخفيفة من النوع j في الطابور
e = الخطأ الذي يمثل الزمن المتراكم من الخصائص غير المشاهدة لجميع المركبات في الطابور، وخصائص سائقها.
وبعد معايرة المعادلة رقم (2) أعلاه، بناء على قياسات ميدانية، قامت الدراسة بتقدير مكافئ السيارات الصغيرة لمختلف أنواع المركبات باستخدام المعادلة التالية:

$$PCE_i = \frac{\delta_i + \Delta \gamma_i}{\gamma_p} \quad \dots (3)$$

التقاطع سيكون ملموسا مما يتطلب أخذه بالاعتبار في هذه الدراسة تقسيم أنواع المركبات إلى اربعة أصناف هي: سيارات الركاب الصغيرة، و سيارات الفان والباصات اقل من 24 راكب ، الشاحنات الصغيرة والباصات الاكثر من 24 راكب والشاحنات الثقيلة .
ونظرا للطبيعة الخاصة لسلوك السائقين في العراق، من حيث عدم التزامهم بالوقوف في طوابير ضمن الممرات المرورية المخططة والمدهونة على ارضية الطريق، فإن المركبات غالبا ماتكون متداخلة مع بعضها البعض ولاتقف في صفوف انتظار منتظمة، وبالتالي فهي لاتسير في الغالب، في صفوف منتظمة عند تحركها مع بدء زمن الأخضر للإشارة. وهذا السلوك يحد من إمكانية الاستخدام المباشر لأي من الأساليب الميدانية المطروقة في الدراسات السابقة (الطرق الثلاث الأولى في الجزء السابق). إذ أن تلك الأساليب مبنية على أن تكون القياسات مأخوذة لطابور من المركبات المنتظمة في ممر واحد، مثل التقاطر الزمني بين كل مركبة والمركبة التي تسير أمامها مباشرة في حارة مرورية واحدة. وللتغلب على هذه المشكلة لابد من اعتبار جميع المركبات المستمرة للأمام في مدخل التقاطع بأكمله، أي عدم الاقتصار على حارة مرورية واحدة.
بناء على ذلك، سيتم استخدام طريقة تحليل الانحدار الخطي المتعدد، ولكن مع تحويرها بحيث يتم اعتبار جميع الحارات المرورية التي تستخدمها المركبات المتجهة للأمام فقط، واستبعاد الحارات المرورية التي بها حركات الانعطاف، سواء كانت تلك الحارات مخصصة بالكامل لحركات الانعطاف أو تستخدم لخليط من مركبات منعطفة وأخرى مستمرة للأمام.
ويأخذ نموذج الانحدار الخطي المقترح استخدامه في هذه الدراسة الصيغة الآتية:

$$T = B_0 + B_{P.C} N_{P.C} + B_{P.V.B} N_{P.V.B} + B_{T.B} N_{T.B} + B_{T.T} N_{T.T} \quad \dots (5)$$

حيث أن:

T = إجمالي الزمن اللازم لطوابير المركبات المنتظرة عند الإشارة لعبور خط الوقوف منذ بدء الزمن الأخضر للإشارة أثناء الحركة المرورية المشبعة، أو طول زمن الأخضر، أيهما أقل،
بالثواني

$N_{P.C}$ = إجمالي عدد سيارات الركاب الصغيرة التي تغادر خط الوقوف خلال T ، لجميع الممرات المستمرة للأمام

$N_{P.V.B}$ = إجمالي عدد الباصات الاقل من 24 راكب ومركبات الفان التي تغادر خط الوقوف خلال T ، لجميع الممرات المستمرة للأمام

$N_{T.B}$ = إجمالي عدد الباصات الاكثر من 24 راكب والشاحنات الخفيفة التي تغادر خط الوقوف خلال T ، لجميع الممرات المستمرة للأمام

$N_{T.T}$ = إجمالي عدد الشاحنات الثقيلة التي تغادر خط الوقوف خلال T ، لجميع الممرات المستمرة للأمام

B_0 = الزمن الضائع لبدء الحركة منذ إضاءة الإشارة الخضراء وحتى الوصول لمعدل التدفق المشبع، بالثانية

B_i = متوسط التقاطر الزمني للتدفق المشبع المرتبط بمركبة من النوع i ، وهي معاملات المعايرة، ووحداتها هي ثانية /مركبة / جميع الممرات المستمرة للأمام في مدخل التقاطع.

ويمكن من خلال معايرة نموذج الانحدار الخطي أعلاه تقدير متوسط التقاطر الزمني المشبع لكل نوع من أنواع المركبات الاربعة المشمولة في النموذج. وبقسمة متوسط التقاطر الزمني لنوع المركبات المعين (B_i) على متوسط التقاطر الزمني لسيارات الركاب الصغيرة (B_0) يمكن الحصول على مكافئ سيارات الركاب الصغيرة لهذا النوع من المركبات. ويعرض الجزء التالي أسلوب جمع البيانات اللازمة لمعايرة نموذج الانحدار الخطي المتعدد.

جمع البيانات

نظرا لتركيز الدراسة على حركة المركبات المستمرة للأمام، والتي تشغل عادة أكثر من ممر مروري واحد، 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 تم استخدام التصوير بالفيديو لتسجيل حركة المركبات عند التقاطع تحت الدراسة في أوقات الذروة، ومن ثم تفريغ البيانات منها مكتيبا. ولكن نموذج الانحدار في المعادلة رقم (5) يفترض حساب الزمن الإجمالي لجمع البيانات لكل دورة (T) بدقة منذ لحظة بدء زمن الأخضر، لذا فقد روعي إجراء تعديل طفيف على نموذج الانحدار بحيث يتم إلغاء المعامل (B_0)، أو الزمن الضائع لبدء الحركة منذ إضاءة الإشارة الخضراء وحتى الوصول لمعدل التدفق المشبع، وذلك بإجبار خط الانحدار على المرور بنقطة الأصل، ليصبح نموذج الانحدار كالآتي:

$$T = B_{P.C} N_{P.C} + B_{P.V.B} N_{P.V.B} + B_{T.B} N_{T.B} + B_{T.T} N_{T.T} \dots (6)$$

وهذا يتطلب تعديلا مقابلا لأسلوب جمع البيانات بحيث يتم البدء بقياس الزمن (T)، وأيضا حصر أعداد المركبات حسب أنواعها، بعد مرور فترة زمنية لاتقل عن الزمن الضائع لبدء الحركة، تم في هذه الدراسة اعتماد البدء بقياس الزمن (T) بعد مرور فترة زمنية قدرها ثلاث ثوان من بدء تحرك المركبة الأولى في طابور المركبات المنتظرة عند مدخل التقاطع. وقد تم جمع البيانات اللازمة للدراسة كما ذكرنا سابقا من تصوير احد التقاطعات في مدينة الحلة، مع الاخذ بنظر الاعتبار المعايير هندسية ومرورية تشمل ما يأتي:

1. عدم وجود عوائق طبيعية (كالجسور) تحد من وضوح تصوير مدخل التقاطع.
 2. تنوع المركبات التي تستخدم التقاطع.
 3. توافي الأوقات التي يتم فيها منع دخول المركبات الثقيلة لبعض الطرق الرئيسية.
 4. وجود حركة مرورية مشبعة مستمرة للأمام عند التقاطع، أي في أوقات ذروة.
 5. عدم وجود إعاقات خارجية للحركة عند التقاطع، مثل مواقف السيارات الجانبية.
 6. أن يكون التقاطع في منطقة مستوية (بدون أية ميول).
 7. أن يكون عرض الممر المروري في مدخل التقاطع مثاليا (3.65 مترا).
- تم اختيار احد التقاطعات المزحمة في محافظة بابل والذي هو تقاطع الام كنموذج لاخذ بيانات التصوير الفديوي لهذا التقاطع، ومن ثم تفريغ بيانات أشرطة الفيديو بطريقة يدوية، مع تكرار عملية التفريغ مرتين على الأقل، للتأكد من صحة تفريغ البيانات. وتشمل عملية تفريغ البيانات، لكل دورة من دورات الإشارة ولكل مدخل من المداخل المشمولة في الدراسة في التقاطعات المختارة، تسجيل إجمالي الزمن المنقضي بعد مرور ثلاث ثواني من مغادرة المركبة الأولى في الطابور لخط الوقوف، وحتى مغادرة آخر مركبة في طوابير المركبات المنتظرة عند الإشارة الحمراء في الدورة السابقة، أو حتى انتهاء زمن الأخضر للإشارة، أيهما أقل، والذي يرمز له بالرمز (T). وكذلك تسجيل عدد المركبات المغادرة لخط الوقوف خلال هذا الزمن حسب نوعها. ويلخص الجدول رقم (1) البيانات التي تم جمعها لكل مدخل من المداخل الأربعة المشمولة في الدراسة. الصورة رقم (1) توضح صورة فضائية لتقاطع الام في مركز مدينة الحلة / محافظة بابل.

جدول رقم (1) التقاطع المشمول بالدراسة وملخص البيانات التي تم جمعها.

اسم التقاطع	المقرب	عدد الحارات المستمرة للأمام	إجمالي عدد المركبات
1	القادم من معمل النسيج	2	1414

372	2	القادم من الشاوي	
731	2	القادم من فلكة الام	
1709	2	القادم من باب المشهد	
4226			المجموع

صورة (1) صورة فضائية لتقاطع الام في مركز مدينة الحلة.



تحليل النموذج واستخراج النتائج

باستخدام طريقة الانحدار الخطي المتعدد باستخدام برنامج SPSS 18 تم تحليل البيانات التي جمعت وتقدير معاملات نموذج الانحدار (الخطي) كالاتي:

$$T = 0.989 P.C$$

$$n = 676, R_{adj}^2 = 0.998, F = 1.737 \quad \dots(7)$$

حيث يظهر من قيمة معامل التحديد (R_{adj}^2) جودة تقدير النموذج، والأرقام التي بين قوسين هي قيم اختبار (t) الإحصائي، والتي تدل قيمة كل منها على أن قيمة معامل الانحدار المقابلة كانت ذات دلالة إحصائية عند مستوى معنوية (α) قدره 0.05. والجدير بالذكر أن قيم معاملات الانحدار في النموذج ماهي إلا متوسطات التقاطر الزمني لأنواع المركبات المقابلة مقسومة على متوسط عدد الحارات المرورية المستمرة للأمام.

وباستخدام معاملات الانحدار التي تم تقديرها في النموذج أعلاه، يمكن حساب مكافئ سيارات الركاب الصغيرة لكل نوع من أنواع المركبات المختلفة وذلك بقسمة قيمة معامل الانحدار لنوع المركبات المعين على قيمة معامل الانحدار لسيارات الركاب الصغيرة. كما يمكن أيضا حساب متوسط التقاطر الزمني لأنواع المركبات المختلفة وذلك من خلال ضرب قيمة معامل الانحدار في متوسط عدد صفوف المركبات المستمرة للأمام، البالغ 2.0 ممر مروري فعلي في هذه الدراسة. ويلخص الجدول رقم (2) نتائج هذه الحسابات.

جدول رقم (2) ملخص نتائج تقدير نموذج الانحدار الخطي.

نوع المركبة	رمزها	معامل الانحدار	متوسط التقاطر	معدل التفوق المشبع (مركبة / ساعة / خضراء)	مكافئ سيارات الركاب الصغيرة
سيارة ركاب صغيرة	P.C	0.989	1.98	1818	1.000
سيارات الفان والباصات اقل من 24 راكب	P.V.B	0.994	1.988	1810	1.005
الشاحنات الصغيرة والباصات الاكثر من 24 راكب	T.B	1.955	3.91	920	1.980
الشاحنات الكبيرة	T.T	2.074	4.148	867	2.010

ويظهر من الجدول أن قيم معاملات الانحدار، وبالتالي مكافئ سيارات الركاب الصغيرة، متقاربة لكل من المركبات الاتية:

1. الشاحنات الصغيرة والباصات الاكثر من 24 راكب والشاحنات الكبيرة
قيمة معامل الانحدار للمتغير T.B و T.T متقاربة، للتحقق من امكانية تساوي معاملتي الانحدارين قمنا بعمل نموذج مختزل جديد بدمج متغيري الـ (T.B و T.T) بمتغير جديد واجرينا الفحوص الاحصائية، حيث تكون فرضية عدم تساوي المعاملين هي:

$$H_0: B_{T.B} = B_{T.T} \quad \dots (8-a)$$

$$H_1: B_{T.B} \neq B_{T.T} \quad \dots (8-b)$$

النموذج المختزل الجديد هو:

$$T = 0.991 P.C + 0.998 P.V.B + 1.680 (T.B + T.T) \quad \dots (9)$$

$$\text{Adjusted } R^2 = 0.997$$

$$N (\text{sample size}) = 689$$

جدول رقم (3) ملخص نتائج تقدير نموذج الانحدار المختزل.

نوع المركبة	رمزها	معامل الانحدار	متوسط التقاطر	مكافئ سيارات الركاب الصغيرة
سيارة ركاب صغيرة	P.C	0.991	1.982	1.00
سيارات الفان والباصات اقل من 24 راكب	P.V.B	0.998	1.996	1.01

1.67	3.36	1.680	T.B + T.T	الشاحنات الصغيرة والباصات لكث من 24 راكب الشاحنات الكبيرة
------	------	-------	--------------	--

سيتم اختبار الفرضيه اعلاه بأستخدام اختبار F الاحصائي(14) :

$$F = \frac{\frac{SSE(R)-SSE(F)}{df_R-df_F}}{\frac{SSE(F)}{df_F}} \quad \dots (10)$$

حيث أن :

SSE(R) = مجموع مربعات الأخطاء للنموذج الكامل (معادلة رقم 7)

SSE(F) = مجموع مربعات الأخطاء للنموذج المختزل (معادلة رقم 9)

df_F = درجات الحرية للنموذج الكامل

df_R = درجات الحرية للنموذج المختزل

وبعد حساب قيمة F* يتم مقارنتها مع القيمة النظرية لاختبار F عند حد ثقة (1-α) ، حيث α هو مستوى المعنوية ، وعند درجتى حرية (df_R-df_F) و (df_F). أي بالنسبة للحالة التي نحن بصدد دراستها تكون قيمة F النظرية [32]:

For confidence level = 95 % , 13, 688, F = 1.737
F calculated = 2.6085

وعندما تكون قيمة F* المحسوبة أكبر من القيمة النظرية (أي 2.6089) فيجب رفض فرضية العدم (H₀)، التي تقول بأن معاملي الانحدار متساويين. وبذلك يصبح نموذج الانحدار النهائي وهو النموذج الاول الكامل بالصيغة الآتية:

$$T = 0.989 P.C +$$

من جانب آخر، يقدر دليل سعة الطرق (الأمريكي)، في الظروف الهندسية والتشغيلية المثالية للتقاطعات المزودة بإشارات ضوئية، معدل التدفق المشبع للمر الواحد بـ 1900 سيارة ركاب صغيرة لكل ساعة خضراء كاملة للإشارة لكل ممر مروري [12]. وعلى ذلك يبدو أن معدل التدفق المشبع الذي تم التوصل إليه في هذه الدراسة، وهو 1818 سيارة ركاب صغيرة لكل ساعة خضراء كاملة للإشارة لكل ممر مروري مخطو واحد ، وهذا الرقم قريب من دليل سعة الطرق (الأمريكي).

كما بينت نتائج هذه الدراسة أن الشاحنة الثقيلة و الحافلة الكبيرة تكافئ 2.1سيارة ركاب صغيرة. وبمقارنة هذه القيمة مع نظيراتها في بعض الدول الأخرى، يظهر أنها تساوي تقريبا القيمة 2.00، التي اعتمدها الطبقات الثلاث الأخيرة لدليل سعة الطرق، للأعوام 1994م، 1997م، و 2000م [10-12]، وأكبر من القيمة 1.50 التي اعتمدها الطبعة الثالثة للدليل نفسه، لعام 1985م [9].

ومن النتائج التي توصلت إليها هذه الدراسة أن الباصات والاقبل من 24 راكب وكذلك الفانات، تكافئ 1.005 سيارة ركاب صغيرة. وهذه القيمة قريبة من الواحد الصحيح ومتوقعة وذلك بسبب سهولة المناورة والسياسة المتهورة من قبل سائقي هذه المركبات وخصوصا مركبات النقل الخاص (كيا والكوستر).

معايرة النموذج

بناء على النتائج التي تم التوصل إليها ، يمكن الخروج بالاستنتاجات التالية:

- تبين من مراجعة الدراسات السابقة أن الأساليب الميدانية المستخدمة لتقدير مكافئ سيارات الركاب الصغيرة، لأنواع المختلفة من المركبات، مبنية على أن جمع البيانات يتم لكل ممر مروري واحد على حده، حيث تكون المركبات منتظمة في الممرات المرورية المخططة على أرضية مدخل التقاطع. وهذا على خلاف ما هو مشاهد في معظم التقاطعات في العراق، بسبب عدم التزام السائقين بالممرات المرورية المخططة. لذا، وجد أنه لا يمكن استخدام تلك الأساليب مباشرة، خصوصا طريقة نسبة التقاطع الزمني الشائعة الاستخدام. وللتغلب على هذه المشكلة لابد من اعتبار جميع المركبات المستمرة للأمام في مدخل التقاطع بأكمله، أي عدم الإقتصار على ممر مروري واحد.
- قامت الدراسة بتطبيق أسلوب تحليل الانحدار الخطي المتعدد، المستخدم في بعض الدراسات السابقة، بعد تحويله ليغطي المدخل بأكمله كي يتوافق مع سلوك السائقين. وذلك بأن يتم اعتبار جميع الممرات المرورية التي تستخدمها المركبات المتجهة للأمام فقط، واستبعاد الممرات المرورية التي بها حركات انعطاف، سواء كانت مخصصة أو مشتركة.
- نظرا لأن تركيز مثل هذا النوع من الدراسات على حركة المركبات المستمرة للأمام، والتي تشغل عادة أكثر من ممر مروري واحد، فإن ذلك يشكل صعوبة في جمع البيانات المطلوبة من خلال المسح الميداني اليدوي المباشر، وذلك بسبب سلوك السائقين من حيث عدم تقيدهم بالممرات المرورية المخططة على الطريق مما لا يتيح تسجيل البيانات بدقة. لذا فلابد من استخدام التصوير بالفيديو لتسجيل حركة المركبات عند التقاطعات ومن ثم تفرغ البيانات منها مكتيبا.
- بعد جمع بيانات 689 دورة إشارة مرورية، في تقاطع الام في مدينة الحلة، تم تقدير نموذج انحدار يشمل اربعة اصناف من المركبات المتواجدة في حركة المرور، وهي سيارات الركاب الصغيرة، الباصات الاقل من 24 راكب والفانات، والباصات الاكثر من 24 راكب والشاحنات الخفيفة واخيرا الشاحنات الثقيلة .
- تبين أن معدل التدفق المشبع الذي تم التوصل إليه في هذه الدراسة، وهو 1818 سيارة ركاب صغيرة لكل ساعة خضراء كاملة للإشارة لكل ممر مروري مخطط واحد في مدخل التقاطع، يتفق مع تلك القيم التي يقترحها دليل سعة الطرق (الأمريكي).
- ظهر من النتائج أنه لا يوجد تأثير سلبي لوجود الحافلات الصغيرة في حركة المرور على سعة التقاطع، إذ تبين أن الحافلة الصغيرة تكافئ تقريبا سيارة ركاب صغيرة واحدة. ويبدو أن ذلك يعود إلى أن معظم الحافلات الصغيرة المشمولة في الدراسة هي من الحافلات الأهلية، التي يؤخذ على سائقيها السرعة والتهور ورعونة القيادة.
- بينت النتائج أن الشاحنة الثقيلة و الحافلة الكبيرة (المركبات الثقيلة) تكافئ 2.1 سيارة ركاب صغيرة. ويظهر أن هذه القيمة اعلى بقليل من قيمة 2.00، التي اعتمدها الطبعة الرابعة لدليل سعة الطرق (2000م).
- ضرورة توعية وتنقيف السائقين بالالتزام بالممرات المرورية المخططة على مداخل التقاطعات والتشدد في فرض الأنظمة المرورية.
- وتوصي الدراسة بإجراء عدد من الدراسات التكميلية المرتبطة بموضوع هذه الدراسة، مثل:
 - دراسة لتقدير عوامل تصحيح سعة التقاطعات بسبب العوامل المرورية الأخرى مثل حركات الانعطاف، خصوصا حركات الدوران (U-turn) عند التقاطعات.
 - دراسة تأثير تظليل زجاج المركبات، من حيث حجبها للرؤية عبرها، على سعة التقاطعات

- دراسة تأثير مواقع تثبيت أعمدة الإشارات، في الجانب القريب أو البعيد من مدخل التقاطع، على سعة التقاطعات.

المصادر

- [1].Thagesen, Bent (Editor). Highway and Traffic Engineering in Developing Countries. Chapman & Hall, London, UK, First Edition, 1996.
- [2].Molina, C. J. Development of passenger car equivalencies for large trucks at signalized intersections. ITE Journal, November 1987.
- [3].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.
- [4].Webster, F. V. and B. M. Cobbe. Traffic Signals. Road Research Technical Paper No. 56, HMSO, London, 1966.
- [5].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.
- [6].Branston, D. and P. Gipps, "Some experience with a multiple linear regression method of estimating parameter of the traffic signal departure process. Transportation Research 15, 445-458, 1981.
- [7].Branston, D. Some factors affecting the capacity of signalized intersections. Traffic Engineering and Control, 20 (8/9), 390-396, 1979.
- [8].Kockelman , Kara M . and Raheel A . Shabih. Effect of light-duty trucks onthe capacity of singlarized intersection. J. Transportation Engineering, ASCE, V. 126, No. 6, pp. 506 –512, NOV/DEC 2000.
- [9]. Transportation Research Board. Highway Capacity Manual. National Research Council, Special Report 209, 2nd edition, Washington, D.C., 1985.
- [10]. Transportation Research Board. Highway Capacity Manual. National Research Council, Special Report 209, 3rd edition, Washington, D.C., 1994.
- [11]. Transportation Research Board. Highway Capacity Manual. National Research Council, Special Report 209, 3rd edition, Washington, D.C., 1997.
- [12].Transportation Research Board. Highway Capacity Manual. National Research Council, Special Report 209, 4th edition, Washington, D.C., 2000.
- [13].Intertec publishing Corp. Ward's automotive yearbook, 1998.
- [14].Neter, J. et al. Applied Linear Statistical Models. Irwin Inc., Third Edition, 1990.
- [15].AlGadhi, Saad A. H. Evaluation of performance of Riyadh urban public transportation services. Transportation Research Record 1433, pp. 10-15, 1993.