Modeling the Effect of Horizontal Curves on Follower Density on Rural Roads
Case study: Tartous-Al Sheikh Badr Axis

Hiba Dogma*

(Received 14 / 11 / 2022. Accepted 16 / 2 / 2023)

□ ABSTRACT □

Two-way rural roads are a large part of the road network in many countries. The engineering design for these roads is one of the most important factors affecting traffic performance. The interaction between the engineering elements of the road and the traffic performance is still unclear and needs more researches.

In this study, the follower density was used as a performance measure on the two-way rural roads. The study was conducted on the rural section of the Tartous- Al Sheikh Badr axis, and the effect number of factors on it was studied such as the radius of the horizontal curves and the length of the sight distance, using data collected from ten horizontal curves on the Tartous-Sheikh Badr road.

The results showed a good statistical significance of the effect of the radius, the sight distance and the direct direction flow rate on the value of the follower density. A model for follower density was developed, which showed a good correlation with field data, and it was recommended to use it in calculating the follower density on the two-way rural roads.

Keywords: Two-way roads - The traffic performance - Horizontal Curves - Follower Density- Tartous- Al Sheikh Badr axis.

***Academic Assistant- Faculty of Civil Engineering- Tishreen University- Lattakia- Syria**

نمذجة تأثير المنحنيات الأفقية على كثافة التتابع على الطرق الريفية
دراسة حالة: محور طرطوس– الشيخ بدر

هبة دغمة*

(تاريخ الإيداع 14 / 11 / 2022. قُبِل للنشر في 16/ 2 / 2023)

□ ملخّص □

تشكل الطرق الريفية بحارتين باتجاهين القسم الأكبر من شبكة الطرق الموجودة في العديد من البلدان. يعتبر التصميم الهندسي لمثل هذه الطرق من أهم العوامل المؤثرة على الأداء المروري. كما أن التفاعل بين العناصر الهندسية للطريق وأداء حركة المرور لا يزال غير واضح ويحتاج إلى مزيد من الأبحاث.

تم في هذه الدراسة استخدام كثافة التتابع كمقياس أداء على الطرق الريفية بحارتين باتجاهين، حيث تم إجراء الدراسة على القسم الريفي من محور طرطوس– الشيخ بدر، وتمت دراسة تأثير مجموعة من العوامل عليه كنصف قطر المنحنيات الأفقية وطول مسافة الرؤية، وذلك باستخدام بيانات تم جمعها من عشرة منحنيات أفقية على طريق طرطوس– الشيخ بدر.

أظهرت النتائج وجود دلالة إحصائية جيدة لتأثير نصف القطر ومسافة الرؤية وغزارة العربات بالاتجاه المباشر على قيمة كثافة التتابع، حيث تم تطوير نموذج لتقدير كثافة التتابع والذي أظهر ارتباطاً جيداً مع البيانات الحقلية، وتمت التوصية باستخدامه في حساب كثافة التتابع على الطرق الريفية بحارتين باتجاهين.

الكلمات المفتاحية:_ الطرق بحارتين باتجاهين– الأداء المروري– المنحنيات الأفقية– كثافة التتابع– محور طرطوس– الشيخ بدر.

* **قائم بالاعمال– كلية الهندسة المدنية– جامعة تشرين– اللاذقية– سورية.**

مقدمة:

تعتبر الطرق الريفية بحارتين باتجاهين عنصراً أساسياً في نظام الطرق لمعظم الدول، حيث توجد هذه الطرق في كافة المناطق الجغرافية وتخدم مجالاً واسعاً من الحركات المرورية. يعتبر التصميم الهندسي لمثل هذه الطرق من أهم العوامل المؤثرة على الأداء المروري والسلامة [1]. كما أن التفاعل بين العناصر الهندسية للطريق وأداء حركة المرور لا يزال غير واضح ويحتاج إلى مزيد من الأبحاث.

تتميز الحركة على الطرق بحارتين باتجاهين بمناورات المرور، تشكل الأرتال في حركة المرور، والتأخير الذي تتعرض له المركبات الخلفية أثناء عدم قدرتها على اجتياز المركبات الرئيسية [2,3].

تُستخدم مجموعة من المؤشرات لتقييم الأداء المروري ومستوى الخدمة على الطرق بحارتين باتجاهين، حيث تعكس هذه المؤشرات مستوى الحرية للسائقين في اختيار السرعات المرغوبة وتجاوز المركبات البطيئة. قياس الأداء عملية هامة في التحليل التشغيلي ومشاريع تحسين الطرق، فمثلاً يمكن تحسين مستوى الخدمة المنخفض (LOS) على جزء من الطريق المكون من حارتين عن طريق إضافة حارة مرور أو توسيع المسار إلى قسم من ثلاثة حارات[3].إن استخدام نسبة الحجم إلى السعة قد لا يكون مقياساً جيداً لتحليل الأداء على الطرق بحارتين باتجاهين، فمع زيادة الحركة المرورية تنخفض القدرة على المرور بسبب صعوبة التجاوز التي تحدث، ويصبح مستوى الخدمة غير مقبول حتى مع انخفاض نسبة الحجم إلى السعة.

من أجل القيام بعملية التجاوز والعبور للعربات المتحركة في نفس الاتجاه على الطرق بحارتين باتجاهين، على هذه العربات استخدام الحارة الأخرى والمستخدمة من قبل المرور المعاكس، حيث تتأثر إمكانية التجاوز على الطرق بحارتين باتجاهين بمجموعة من العوامل تتضمن ما يلي[4]:

1- حجوم المرور في اتجاه الحركة (المباشر والمعاكس).
2- تفاوت السرعة بين العربات التي تقوم بالتجاوز والعربات المُتجاوزة.
3- الخصائص الهندسية للطريق.
4- توفر مسافة الرؤية.
5- زمن رد فعل السائق وقبول الثغرات (العوامل البشرية).

هناك معياران أساسيان لتقييم أداء الطرق بحارتين باتجاهين حسب دليل سعة الطرق السريعة (HCM2000) هما نسبة الزمن الذي تكون فيه العربة تابعة لعربة أخرى (PTSF) ومعدل سرعة الرحلة (ATS) [5] ، أما في HCM2010 و HCM2016 كما في HCM2000 تستخدم ATS و PTSF كمعايير أداء لتحديد مستوى الخدمة (LOS) للصنف (I) وتستخدم PTSF فقط من أجل الصنف (II)، بينما يتم تحديد مستوى الخدمة للصنف (III) من خلال النسبة المئوية لسرعة الجريان الحر (PFFS) [7 , 6].

إنّ إجراءات HCM تستخدم المعادلات أو القياسات لتقدير PTSF، وهي غير عملية لقياس PTSF في الحقل، لذلك تم اقتراح معيار بديل وهو نسبة العربات التابعة (أي نسبة العربات مع فواصل أقل من3sec). كشفت الدراسات أنّ نتائج معادلات PTSF تتعارض مع قاعدة الـ 3sec، وبسبب مثل هذا التقييد في معيار PTSF تمّ إدخال معايير أداء بديلة من قبل العديد من الباحثين من بلدان مختلفة لتناسب الظروف المحلية، ومن هذه المعايير البديلة كثافة التتابع [8].

تعرّف كثافة التتابع بأنها عدد العربات التي تتبع في حركتها لعربات أخرى في اتجاه تيار المرور على واحدة الطول، أما نسبة التتابع يتمّ قياسها كالنسبة المئوية للعربات التي تسير بفواصل أقل من 3 ثوان في النقطة المختارة. يتم حساب كثافة التتابع من خلال ضرب الكثافة بنسبة التتابع وذلك وفق المعادلتين: [4,8]

الكثافة (D) = الغزارة (Q) \ السرعة المتوسطة (ATS)

كثافة التتابع (FD) = الكثافة(D) × نسبة التتابع (PF)

تناولت العديد من الدراسات استخدام كثافة التتابع كمقياس للأداء المروري على الطرق بحارين باتجاهين، حيث استخدمت كثافة التتابع في جنوب إفريقيا كمعيار خدمة للطرق بحارتين باتجاهين منذ 2006 [9]. اعتبرت هذه الدراسة كثافة التتابع معيار خدمة جيد لأنّه يقيس كل من حرية المناورة ودرجة الازدحام من خلال نسبة التتابع والكثافة على التوالي، وكانت العلاقة بين الغزارة وكثافة التتابع من الدرجة الثانية.

تمت التوصية بكثافة التتابع كمعيار أداء للطرق بحارتين باتجاهين في اليابان من قبل Catbugan عام 2006، وبيّنت الدراسة وجود علاقة قوية بين كثافة التتابع ومعدل الغزارة من خلال القياسات الحقلية لكثافة التتابع على الطرق بحارتين باتجاهين في اليابان[10].

تمّت دراسة تأثير المسار الأفقي على أداء المرور للطرق بحارتين باتجاهين من قبل (Shawky and Hashim) عام 2010 باستخدام كثافة التتابع كمؤشر أداء مناسب لقياس الفعالية (MOE) كبديل لـ PTSF، وكان من الملاحظ ارتفاع كثافة التتابع بتناقص أنصاف الأقطار أو أطوال المماسات عند نفس معدل الغزارة، وقد تأثرت كثافة التتابع بشكل كبير عند أنصاف الأقطار الأقل من (400m) [1].

قام (Hashim and Abdel-Wahed) عام 2011 في مصر بتأسيس علاقة بين معايير الأداء المروري على الطرق الريفية بحارتين باتجاهين وظاهرة تشكل الرتل (platooning) باستخدام مجموعة من معايير الأداء، وأكدت النتائج أنه ومن أجل ظروف الطرق الريفية المصرية بحارتين باتجاهين، فإنّ كثافة التتابع تعد معياراً مناسباً من أجل دراسة الأداء التشغيلي، كما تمّ اقتراح القيم الحدية لمستويات الخدمة المختلفة بالاستناد على هذا المعيار[11].

أهمية البحث وأهدافه:

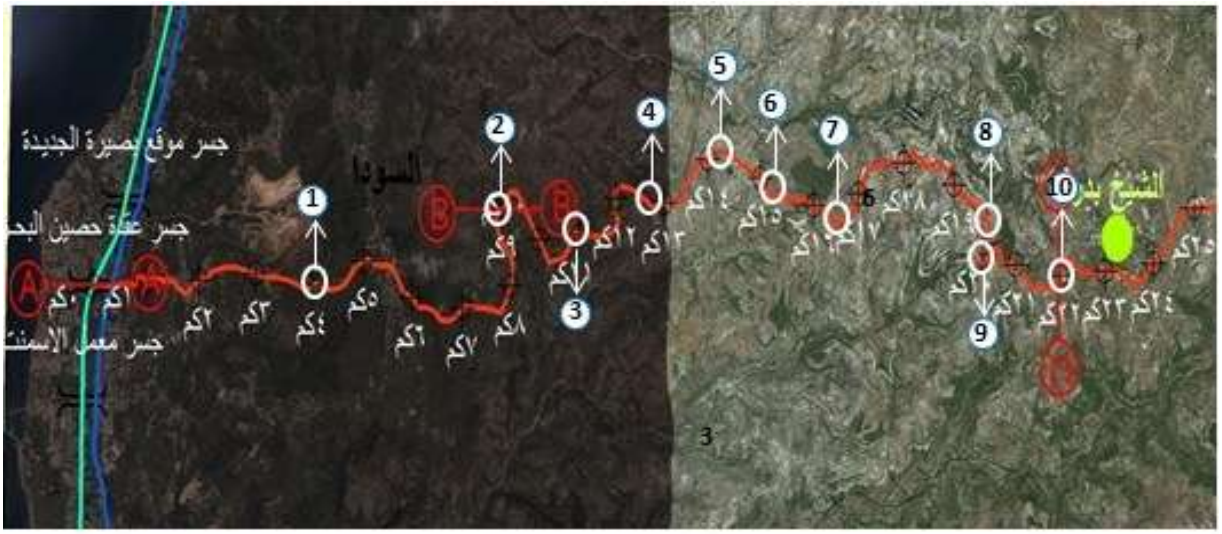
يشكل قياس الأداء المروري على الطرق الريفية بحارتين باتجاهين عملية معقدة بسبب الميزات الخاصة التي تتمتع بها هذه الطرق، حيث تخصص كل حارة للحركة باتجاه، وبالنتيجة يوجد مستوىً عالٍ من التفاعل بين العربات التي تسير عليها بكلا الاتجاهين. على الرغم من الأبحاث الكثيرة التي تناولت دراسة الأداء المروري على الطرق بحارتين باتجاهين، لا يزال هناك حاجة لدراسة المزيد من العوامل المؤثرة وخاصة في منطقة المنحنيات التي تشكل مناطق حساسة من ناحية الأداء المروري على هذه الطرق. كما أنّ النماذج المطورة والمستخدمة في تقدير قيمة كثافة التتابع لا يمكن تعميمها نتيجة اختلاف الخصائص(الهندسية– المرورية– سلوك السائق) بين منطقة وأخرى.

الهدف الرئيسي من هذه الورقة هو دراسة كثافة التتابع كمعيار للأداء المروري على الطرق الريفية بحارتين باتجاهين، وتحديد المتغيرات والعوامل الأكثر تأثيراً عليها، وتطوير نموذج رياضي خاص بتقدير قيمة كثافة التتابع بالعلاقة مع تأثير العناصر الهندسية للمنحنيات الأفقية بشكل رئيسي (نصف القطر– مسافة الرؤية).

طرائق البحث ومواده:

تحديد موقع الدراسة:

تمّ إجراء الدراسة على القسم الريفي من محور طرطوس– الشيخ بدر، وهو طريق من الصنف II مكون من حارتين (حارة لكل اتجاه بعرض 3.5 م وأكتاف جانبية بعرض 1.5م). يمر الطريق في منطقة هضبية متعرجة حيث تكثر فيه المنحنيات الأفقية. الشكل(1) يوضح منطقة الدراسة.



الشكل (1) منطقة الدراسة

تجميع البيانات:

تمّ تجميع البيانات من عشرة منحنيات أفقية على المحور المدروس، واختيار المواقع في مناطق مستوية (لاستبعاد تأثير الميل) وبعيدة عن تأثير نقاط الوصول إلى الطريق. قمنا بتجميع البيانات المرورية باستخدام التصوير بالفيديو والجولات الميدانية في أيام العمل وخلال ساعتي الذروة (ذروة صباحية 8–9 صباحاً وذروة ظهيرة 2–3 مساءً). تضمنت البيانات المرورية ما يلي:

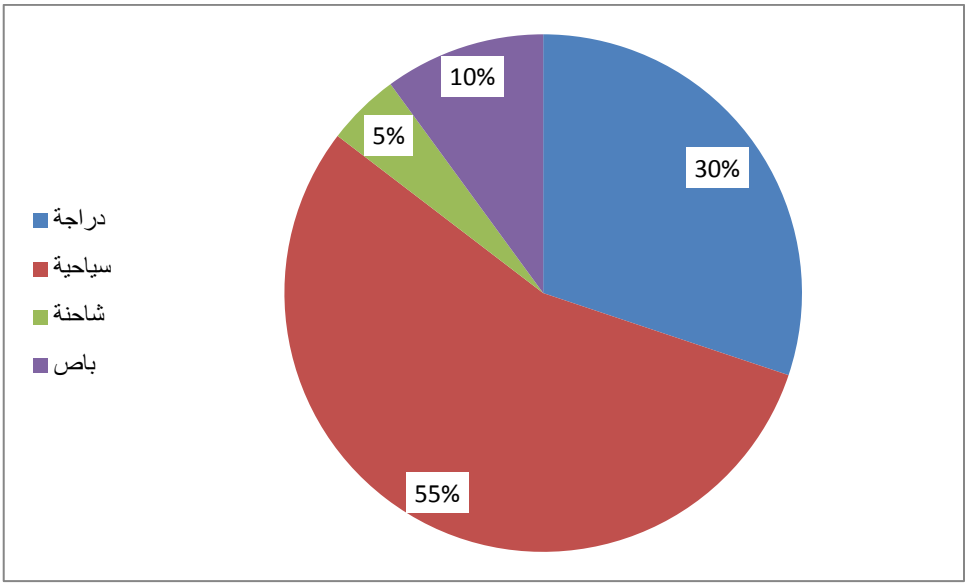
1– الحجوم المرورية.

2– تركيب حركة المرور: عربات، شاحنات، باصات، دراجات.

3– سرعة العربات.

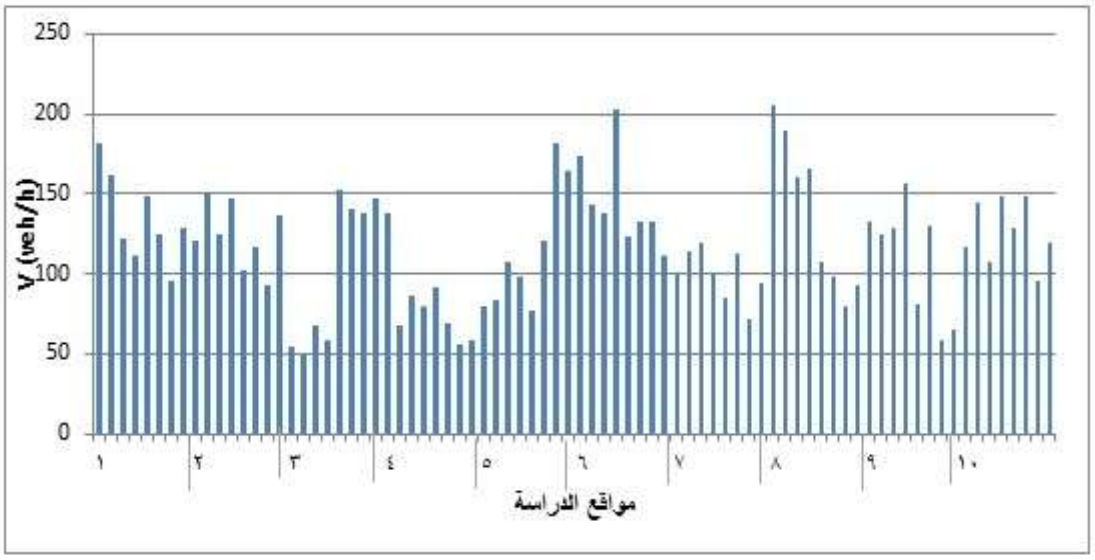
4– الفواصل الزمنية بين العربات.

يوضح الشكل(2) التركيب النوعي للحركة المرورية في أحد المواقع.



الشكل(2) التركيب النوعي للحركة المرورية في الموقع 7

كما يوضح الشكل(3) الغزارات المرورية في مواقع الدراسة على محور طرطوس– الشيخ بدر.



الشكل (3) الغزارات المرورية في مواقع الدراسة

تمّ الحصول على البيانات الهندسية للمنحنيات الأفقية (الطول– نصف القطر– مسافة الرؤية) بالاعتماد على برنامج الـ Google Earth وعلى برنامج AutoCAD، والجدول (1) يبين الخصائص الهندسية للمنحنيات الأفقية المدروسة.

الجدول (1) الخصائص الهندسية للمنحنيات الأفقية المدروسة

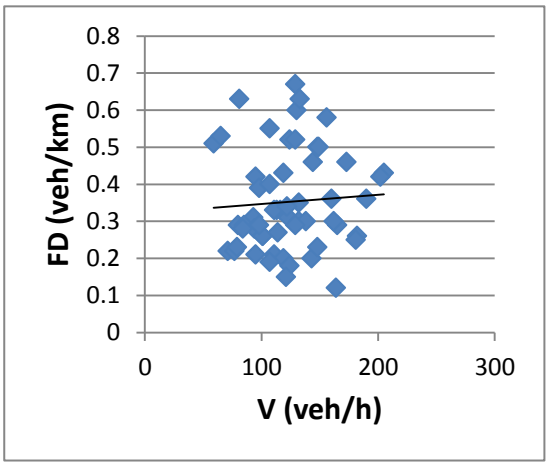
رقم المحني	نصف القطر (م)	طول المنحني (م)	مسافة الرؤية (م)
1	117.3	120.8	109
2	72.4	70.8	70.8
3	120.7	100	79.3

69.5	79	64	4
121.3	110.2	163	5
88	97.6	106	6
129.5	135.5	114.4	7
132.8	132.8	89.9	8
67	74.8	30.1	9
75.6	90.8	62.18	10

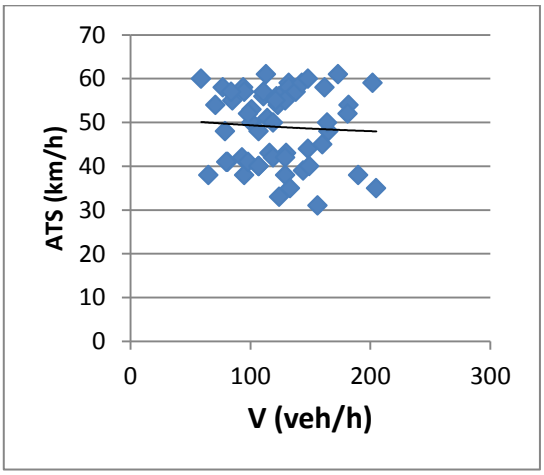
تحليل البيانات:

1- تأثير الغزارة على كثافة التتابع:

تشكل الغزارات المرورية على الطرق بحارتين باتجاهين عاملاً أساسياً في تقييم الأداء المروري، فبزيادة هذه الغزارات تزداد أعداد العربات التابعة لبعضها البعض وخاصة في منطقة المنحنيات الأفقية وتصبح إمكانية التجاوز محدودة بشكل أكبر. الشكل(4) والشكل(5) يوضحان تأثير حجم المرور بالاتجاه المباشر للحركة على كثافة التتابع والسرعة في مواقع الدراسة على محور طرطوس– الشيخ بدر، حيث لاحظنا أنه بزيادة الغزارة المرورية تزداد كثافة التتابع وتنخفض السرعة.



الشكل(4) العلاقة بين غزارة المرور بالاتجاه المباشر وكثافة التتابع

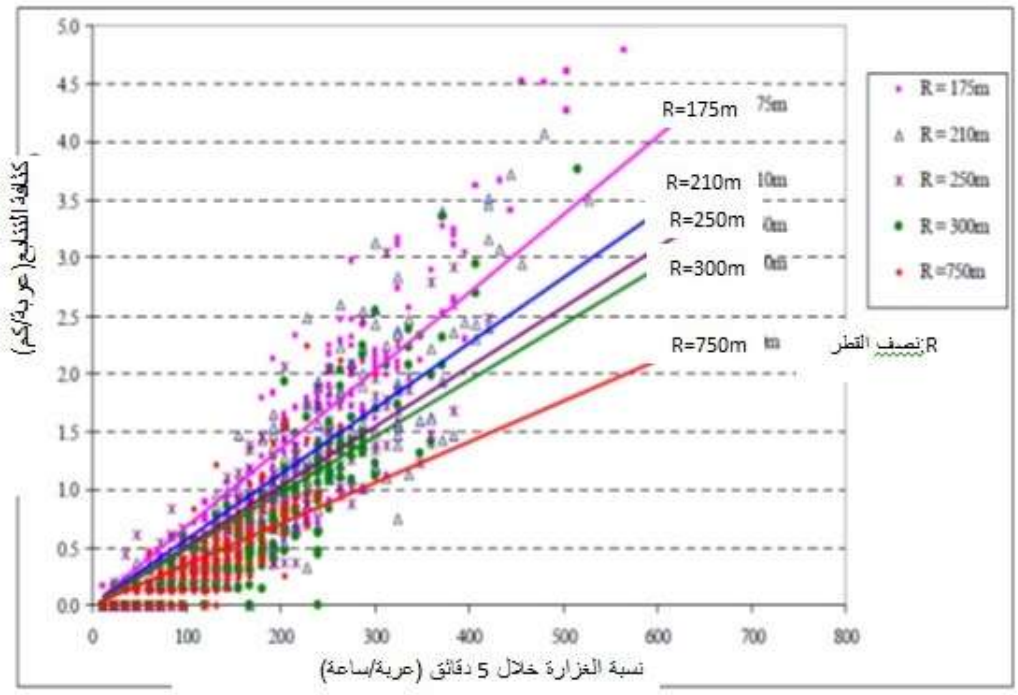


الشكل(5) العلاقة بين غزارة المرور بالاتجاه المباشر والسرعة

2- تأثير نصف قطر المنحنيات الأفقية على كثافة التتابع:

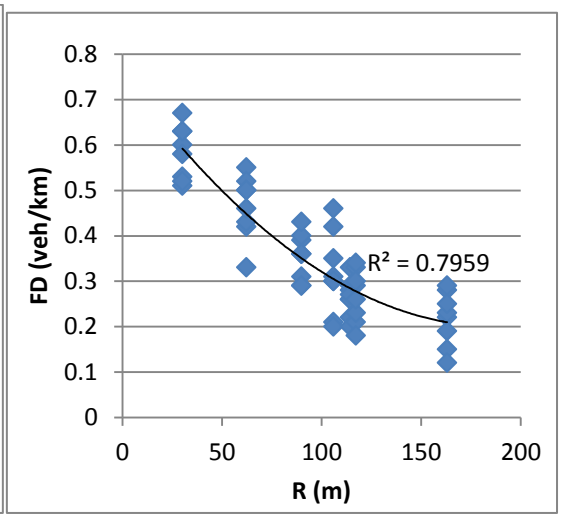
تتكون الطرق من العديد من العناصر الهندسية التي تصفها مثل نوع الطريق، عرض حارة المرور، عرض الأكتاف الجانبية والمنحنيات الأفقية والرأسية. تعتبر المنحنيات الأفقية من أهم عناصر التصميم الهندسي للطرق الريفية بحارتين باتجاهين، وهي تؤثر بشكل كبير على أداء هذه الطرق والحركة المرورية عليها [1,12].

تتأثر مقاييس الأداء على الطرق الريفية بحارتين باتجاهين بشكل كبير بالمسار الأفقي للطريق، والشكل (6) يوضح تأثير أنصاف أقطار المنحنيات الأفقية على كثافة التتابع.

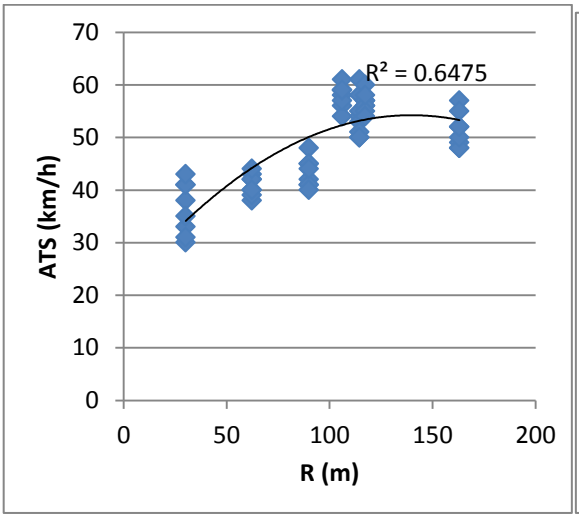


الشكل(6) تأثير أنصاف أقطار المنحنيات الأفقية على كثافة التتابع [1]

من خلال البيانات التي تم تجميعها على الطريق المدروس تبين أن كلاً من السرعة وكثافة التتابع تتأثر بنصف القطر، فبزيادة نصف القطر تزداد سرعة المركبة وتتناقص كثافة التتابع. يوضح كلاً من الشكل (7) والشكل (8) العلاقة بين نصف قطر المنحنيات الأفقية والسرعة وكثافة التتابع.



الشكل(7) العلاقة بين نصف قطر المنحني الأفقي والسرعة



الشكل(8) العلاقة بين نصف قطر المنحني الأفقي وكثافة التتابع

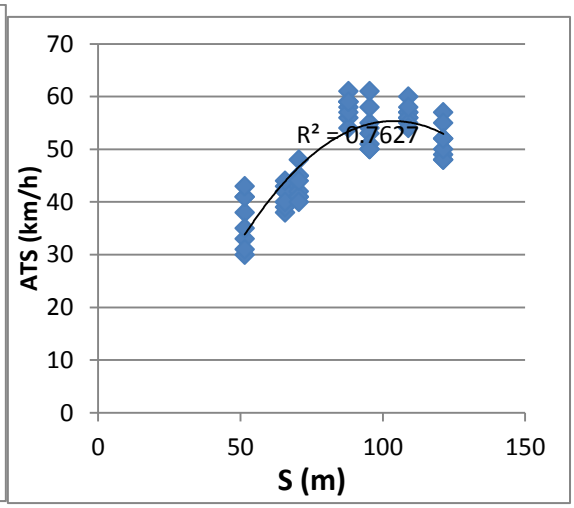
3- تأثير مسافة الرؤية على كثافة التتابع:

مسافة الرؤية هي المسافة المرئية من الطريق أمام السائق والخالية من العوائق، وتؤثر مسافة الرؤية تأثيراً مباشراً على سلامة المرور وعلى سعة الطريق [13]، وعليه فإن على المصمم أن يأخذ في الاعتبار مسافة الرؤية عند تصميم المسار الأفقي والرأسي للطريق وخاصة في منطقة المنحنيات لتجنب أي عوائق مفاجئة قد تقابله أثناء السير على الطريق.

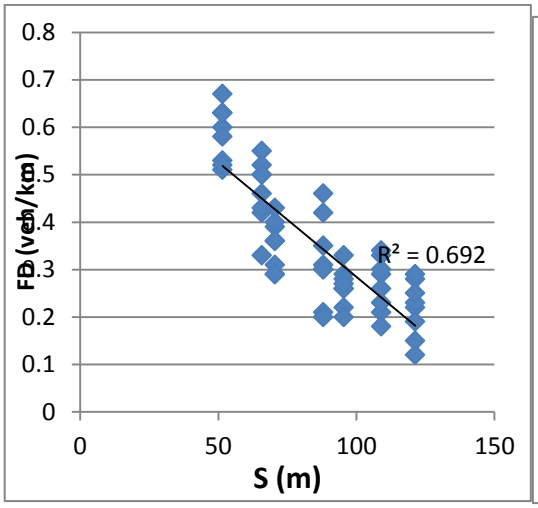
تؤثر مسافة الرؤية على رؤية الاتجاه المعاكس وخاصة على الطرق بحارتين باتجاهين، فهي تؤثر على سرعة العربات على المنحنيات، كما تؤثر على امكانية القيام بعملية تجاوز العربات لبعضها البعض وبالتالي فهي تؤثر بشكل كبير على كثافة التتابع. الشكل (9) يوضح مسافة الرؤية على المنحنيات الأفقية.

الشكل(9) مسافة الرؤية على المنحنيات الأفقية

بعد جمع البيانات المتعلقة بمسافة الرؤية في منطقة المنحنيات الأفقية وتمثيلها بيانياً بالعلاقة مع كثافة التتابع والسرعة كما هو موضح في الشكل (10) والشكل (11) تبين أنه بزيادة مسافة الرؤية تزداد السرعة وتقل كثافة التتابع.



الشكل(10) العلاقة بين مسافة الرؤية وكثافة التتابع



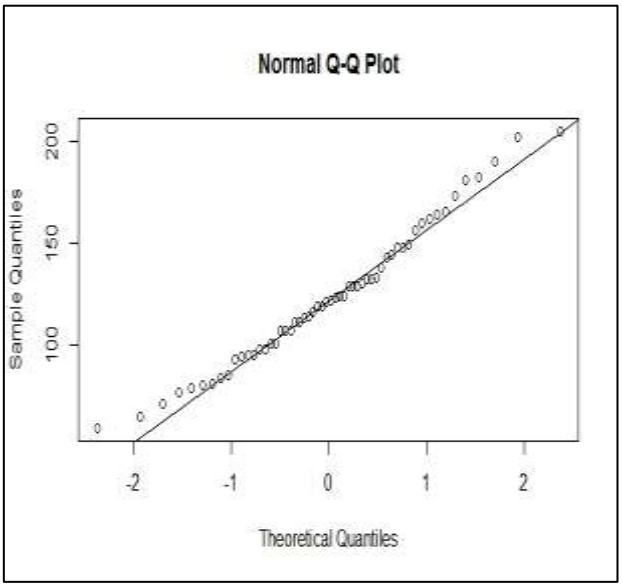
الشكل(11) العلاقة بين مسافة الرؤية والسرعة

تطوير نموذج كثافة التتابع:

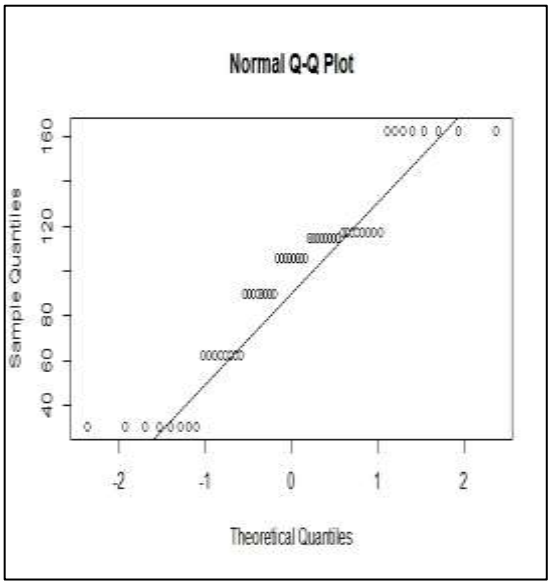
تمّ في هذه الدراسة تطوير نموذج لحساب كثافة التتابع على الطرق بحارتين باتجاهين بما يناسب الظروف المحلية، مع الأخذ بعين الاعتبار مجموعة من العوامل المؤثرة على كثافة التتابع. شملت هذه العوامل نصف قطر المنحني (R) ومسافة الرؤية (S) ومعدل الغزارة (V) مع كثافة التتابع (FD).

تم ترتيب البيانات التي قمنا بتجميعها في ملفات ذات طبيعة إحصائية لإجراء الاختبارات عليها واستخدامها في النمذجة مع استبعاد بيانات عدد من المنحنيات لاستخدامها في التحقق من صحة النموذج الناتج.

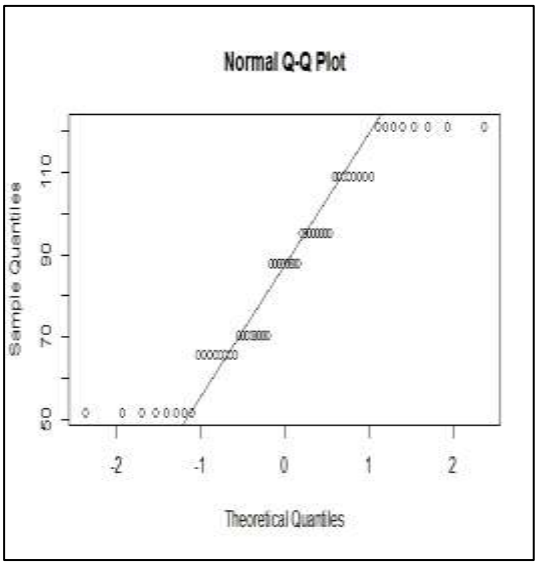
تم استخدام طريقة الانحدار المتعدد (multiple regression) والبرنامج الإحصائي R للتنبؤ بكثافة التتابع وتطوير نموذج خاص بها، والأشكال (12) (13) (14) (15) توضح اختبار البيانات لمعرفة التوزع الطبيعي لها ومدى تناسقها وتجانسها.



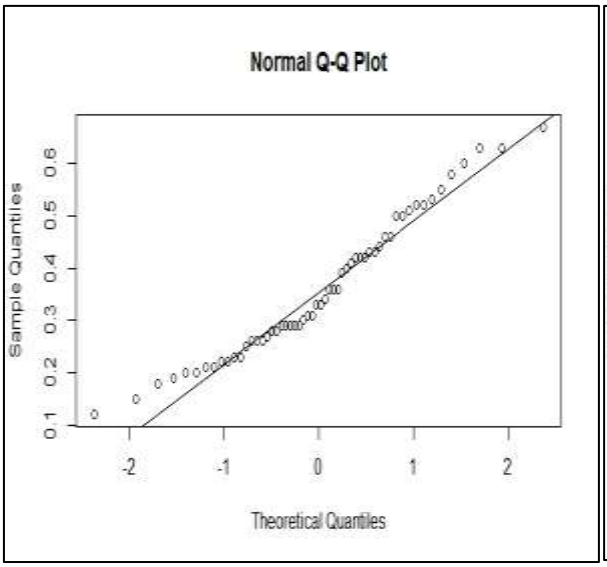
الشكل (12) اختبار التوزيع الطبيعي لبيانات الغزارة



الشكل (13) اختبار التوزيع الطبيعي لبيانات نصف قطر المنحنيات الأفقية



الشكل (14) اختبار التوزيع الطبيعي لبيانات مسافة الرؤية



الشكل (15) اختبار التوزيع الطبيعي لبيانات كثافة التتابع

إنّ البيانات التي تم تجميعها من مناطق الدراسة لا تتبع جميعها التوزيع الطبيعي، ولذلك نستخدم الطرق الإحصائية اللامعلمية (nonparametric methods) في النمذجة والتحليل والتوصل إلى بناء نماذج رياضية صحيحة ودقيقة في حساب كثافة التتابع.

تم تطبيق الانحدار للتوصل إلى اقتراح أفضل النماذج التي يمكن أن تستخدم في تقدير كثافة التتابع والموضحة بالجدول (2).

الجدول (2) المقارنة بين النماذج المقترحة لتقدير كثافة التتابع

NO.	Prediction models	R square	P-value
1	FD=0.00033*V-0.003*R+0.6	0.7532	< 0.000001
2	FD=0.00033*V-0.0032*R+0.00001*S+0.6	0.75	< 0.000001
3	FD=0.0005*V+0.00002*R^2-0.006*R-0.00007*S+0.7	0.813	< 0.000001
4	FD= 0.00002*R^2-0.006*R-0.00086*S+0.79	0.7976	< 0.000001

من الجدول السابق وجدنا أن النموذج (3) هو الأفضل في تقدير قيمة كثافة التتابع حيث بلغت قيمة معامل التحديد .%81.3

$$\mathbf{FD= 0.0005*V+0.00002*R^2-0.006*R-0.00007*S+0.7}$$

حيث: FD كثافة التتابع (veh/km)

V الغزارة المرورية بالاتجاه المباشر للحركة (veh/h)

R نصف قطر المنحني الأفقي(m)

S مسافة الرؤية على المنحني (m)

الجدول (3) يوضح المتغيرات التي لها تأثير كبير على كثافة التتابع الكلي مع الخصائص الإحصائية، كما يوضح حدود تطبيق النموذج من خلال تحديد الحد الأدنى والحد الأقصى للعوامل الداخلة في تشكيل النموذج والتي سيكون عندها النموذج قابلاً للتطبيق.

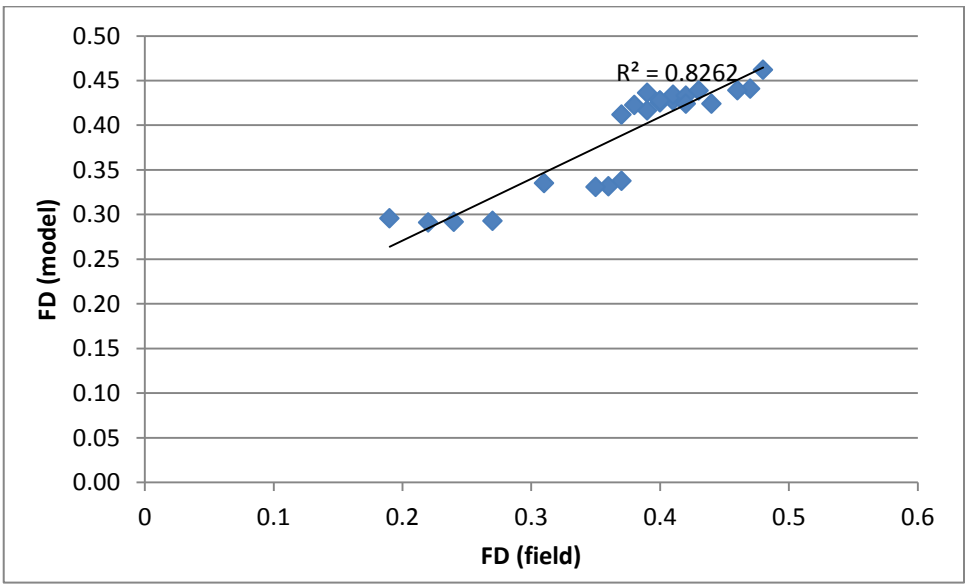
الجدول (3) الخصائص الإحصائية لمتغيرات النموذج

	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation
V	59	205	124	34
R	30.1	163	97.6	39.4
S	51.5	121.3	86	23

التحقق من صحة النموذج:

لكي يكون النموذج صحيحاً ودقيقاً، يجب أن يكون بالإمكان استخدامه ضمن المجال الفعلي للبيانات التي استخدمت أثناء تطويره، ولذلك تمّت معايرة وتجريب النموذج باستخدام بيانات فعلية تقع ضمن المجال المحدد. تقوم عملية التحقق بتحديد ما إذا كان النموذج المحدد مناسبًا أم لا لشروط محددة ومهمة محددة، حيث يُقارن نموذج التنبؤ بالقياسات أو الملاحظات. الهدف من التحقق هو تقييم مدى ملاءمة نموذج التنبؤ المقترح، وقياس خطأ أو دقة التنبؤ، وللقيام بذلك تم تحييد بيانات ثلاثة منحنيات من المنحنيات المدروسة على طريق طرطوس– الشيخ بدر وتحديد قيمة كثافة التتابع على هذه المنحنيات بالطريقة الحقلية وبالنموذج المقترح.

بعد حساب كثافة التتابع حقلياً وكثافة التتابع المقدرة (من النموذج)، وجدنا أنّ هناك ترابط جيد بين القيمتين، ويبين الشكل (16) العلاقة الخطية والترابط بين قيمتي الكثافة.



الشكل(16) العلاقة الخطية والترابط بين كثافة التتابع الحقلية وكثافة التتابع المقدرة بالنموذج

الاستنتاجات والتوصيات:

استخدمت هذه الدراسة كثافة التتابع كمقياس أداء على الطرق الريفية بحارتين باتجاهين، حيث تم اختيار عشرة منحنيات أفقية من القسم الريفي لمحور طرطوس– الشيخ بدر، وقمنا بدراسة تأثير مجموعة من العوامل على كثافة التتابع وصولاً إلى الاستنتاجات والتوصيات التالية:

1- وجود المنحنيات الأفقية على الطرق الريفية يفرض تغيرات كبيرة في كثافة التتابع والتي تنعكس سلباً على أداء الحركة المرورية بشكل عام.

2- تناول البحث دراسة ثلاثة متغيرات أساسية أثرت بشكل كبير في حساب قيمة كثافة التتابع. شملت هذه المتغيرات كل من نصف القطر، مسافة الرؤية والغزارة المرورية بالاتجاه المباشر.

3- تم اقتراح نموذج رياضي لتقدير كثافة التتابع على الطرق الريفية بحارتين باتجاهين مع قيمة لـ R^2 بلغت 81.3% :

$$FD= 0.0005*V+0.00002*R^2-0.006*R-0.00007*S+0.7$$

4- أظهر النموذج المقترح لحساب كثافة التتابع ترابطاً جيداً مع القيم الحقلية.

5- ضرورة إدخال متغيرات أخرى ودراسة تأثيرها على كثافة التتابع كالميول الطولية والغزارة بالاتجاه المعاكس.

6- يوصى بإجراء المزيد من الأبحاث على مواقع أخرى ذات ظروف مرورية وهندسية مختلفة من أجل تعزيز نتائج النمذجة.

References:

1. SHAWKY,M ;.HASHIM,I**.** *Impact of horizontal alignment on traffic performance at rural two-lane highways*, in: Proc. of 4thInternational Symposium on Highway Geometric Design.Valencia, Spain, June 2–5, 2010.
2. TRANSPORTATION DEVELOPMENT DIVISION OREGON DEPARTMENT OF TRANSPORTATION. *Modeling Follower Density on Two-Lane Rural Highways*. ODOT 2010 Study, February, 2014
3. AL-KAISY, A ; JAFARI, A AND WASHBURN, S. *Measuring Performance on Two-Lane Highways: Empirical Investigation*. Transportation Research Record, Journal of the Transportation Research Board 2615, no. 1 (January 2017): 62–72. doi:10.3141/2615-08.
4. KARJALA, R.SARAH. *Estimating Quality Of Traffic Flow On Two-Lane Highways*. Montana State University Bozeman, Montana, July, 2008.
5. TRANSPORTATION RESEARCH BOARD (TRB), *Highway Capacity Manual (HCM)*,National Research Council, Washington, DC, 2000.
6. TRB. (2010). *Highway Capacity Manual (HCM2010)*. Fifth Edition, Transportation Research Board of National Academics, Washington, D.C, 2010.
7. TRB. (2016). *Highway Capacity Manual (HCM2016)*. Sixth Edition, Transportation Research Board of National Academics, Washington, D.C, 2016.
8. MOHAMAD, E. *Evaluation multi-measures of traffic performance for two-way, two-lane rural roads*. Master in Traffic and Transportation Engineering at the Faculty of Civil Engineering, Tishreen University 2016.
9. VAN As, C. *South African Highway Capacity Research.* TRB Workshop Presentation. South African National Roads Agency, 2007.
10. CATBAGAN, J; NAKAMURA, H. *Performance Measure Evaluation for Japan Two- Lane Expressways*. CD-ROM. Proceedings of the Transportation Research Board 85th annual meeting, Washington, D.C., January 22-26, 2006.

11. HASHIM, I; ABDEL-WAHED, T . *Evaluation of performance measures for rural two- lane roads* in *Egypt*. Egypt, Alexandria University, 14 August, 2011**.**
12. ABDEL-WAHED, T. *Effect of Horizontal Alignment Characteristics on Capacity Loss at Rural Two-Lane Roads.* The International Conference on Civil and Architecture Engineering, May 2012.
13. MATHEW, V. T. *Sight Distances. Lecture Notes in Transportation Systems Engineering.* https://www.civil.iitb.ac.in/~vmtom/nptel/303_SigDst/web/web.html, Accessed July,2022.