

Studying the Relationship Between Horizontal Curves and Speed on Two-way Rural Roads

Dr. Hiba Daghmah*

(Received 9 / 1 / 2020. Accepted 26 / 7 / 2020)

□ ABSTRACT □

Horizontal curves are one of the main elements in the design of the horizontal path of the road, which greatly affects the speed, especially on rural roads where there are lots of curves abound. The vehicle's operating speed on the curves depends on many factors such as longitudinal grade, radius, sight distance etc.

In the current study, a mathematical model was developed to calculate the speed on the horizontal curves of two-way rural roads, using data collected from more than 80 horizontal curves on the Tartous - Sheikh Badr road. We analyzed these data and performed a multiple regression analysis to study the effect of curve radius, sight distance and superelevation on the speed of the vehicles.

The results showed a significant effect of the horizontal curve radius and sight distance on the vehicle speed. The proposed model for estimating the speed gave good correlation with field data, and it was recommended to use the developed model for estimating speed on horizontal curves of two-way rural roads, in addition to its application in designing these curves.

Keywords: Two-way Rural Roads- Engineering Characteristics of the Road - Horizontal Curves - Speed - Sight Distance.

* Academic Assistant - Transport Engineering Department, Faculty of Civil Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.<hiba.daghmah@gmail.com>

دراسة العلاقة بين المنحنيات الأفقية والسرعة على الطرق الريفية بحارتين باتجاهين

د. هبه عبد الكريم دغمه*

(تاريخ الإيداع 9 / 1 / 2020. قُبِلَ للنشر في 26 / 7 / 2020)

□ ملخص □

تعد المنحنيات الأفقية من العناصر الرئيسية في تصميم المسار الأفقي للطريق، والتي تؤثر بشكل كبير على السرعة خاصةً على الطرق الريفية التي تكثُر فيها المنحنيات. تعتمد سرعة تشغيل المركبات في منطقة المنحنيات على العديد من العوامل المختلفة كالميل الطولي، نصف القطر، مسافة الرؤية... الخ.

تمّ في الدراسة الحالية تطوير نموذج رياضي يساعد في تقدير سرعة المركبات على المنحنيات الأفقية للطرق الريفية بحارتين باتجاهين باستخدام البيانات التي تمّ جمعها من أكثر من 80 منحنى أفقي على محور طرطوس - الشيخ بدر، حيث قمنا بتحليل هذه البيانات وإجراء تحليل الانحدار المتعدد لدراسة تأثير نصف قطر المنحني، مسافة الرؤية والرفع العرضاني على سرعة المركبات.

أظهرت النتائج وجود تأثير كبير وهام للعوامل المدروسة على سرعة المركبة، وأعطى النموذج المقترح لتقدير السرعة ارتباطاً جيداً مع البيانات الحقلية، وتمت التوصية باستخدام النموذج المطور لتقدير السرعة على المنحنيات الأفقية للطرق الريفية، بالإضافة إلى إمكانية تطبيقه في تصميم هذه المنحنيات.

الكلمات المفتاحية: الطرق الريفية - الخصائص الهندسية للطريق - المنحنيات الأفقية - السرعة - مسافة الرؤية.

* قائم بالأعمال - قسم هندسة المواصلات والنقل - كلية الهندسة المدنية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية.

<hiba.daghmah@gmail.com>

مقدمة:

يعتمد التصميم الجيد للطريق على اختيار العناصر الهندسية التي تتيح سرعة قيادة ثابتة على طول الطريق المحدد، وبالتالي توفير حركة فعالة ومريحة وأمنة [1]. يتكون مسار الطريق من ثلاثة عناصر أساسية هي المسار الأفقي، المسار الشاقولي والمقطع العرضي. تلعب دراسة تصميم عناصر المسار الأفقي للطرق دوراً هاماً فيما يتعلق بالسرعة والسلامة والأداء [2]، حيث يجب أن يتمتع تصميم المسار بالتناسق والتدرج الملائم لتأمين حركة مرورية آمنة. يعد اختيار السرعة في مرحلة التصميم الهندسي الخطوة الأولى التي يعتمد عليها كل من المسار الأفقي والشاقولي [2]، ويتم استخدام السرعة التصميمية لتحديد نصف قطر المنحنيات الأفقية. تسير المركبات بشكل عام على الطرق وفق سرعة تُعرف بالسرعة التشغيلية تختلف عن السرعة التصميمية، مما يؤدي إلى عدم التناسق بين الأقسام المتعاقبة من الطريق [3].

تم إجراء العديد من الدراسات التي تناولت السرعة وتطوير نماذج خاصة بتقديرها على الطرق بالاعتماد على الخصائص الهندسية، وتوصلت معظم الدراسات إلى أن سرعة التشغيل تتأثر بشكل كبير بالبارامترات الهندسية المختلفة [4,5]. تنوعت نماذج السرعة المطورة تبعاً لتصنيف الطريق، الخصائص السلوكية للسائق، حجم حركة المرور، ومنهجية جمع البيانات [6]، واستخدمت هذه النماذج في تقييم تناسق التصميم الهندسي للمنحنيات الأفقية.

تبيّن دراسات السرعة على الطرق ذات السرعة التصميمية الأقل من 100 كم/ساعة أن متوسط السرعة على المنحنيات يكون عادة أعلى من السرعة التصميمية، وتعد هذه المشكلة واضحة بشكل خاص على المنحنيات الحادة التي تلي منحنيات ذات أنصاف أقطار كبيرة [1]. أظهرت الأبحاث أن سرعة تشغيل المركبة تتغير بشكل كبير على المنحنيات الأفقية ذات نصف القطر 250 م أو أقل، في حين أنه لا يوجد تأثير يذكر على المنحنيات التي نصف قطرها أكبر من 400 م [7]، ولذلك تناولت العديد من الدراسات المنحنيات ذات نصف قطر في حدود 30-100م أثناء تطوير نماذج التنبؤ بسرعة التشغيل على المنحنيات الأفقية [3,8,9].

درس Van Aerde و Yagar تأثير الظروف الهندسية والبيئية على السرعات المتوسطة، ووجدوا بأن متوسط السرعة يرتبط بميل الطريق، عرض حارة المرور، استخدام الأرض، نقاط الوصول إلى الطريق، وحدود السرعة [10]. وجد Polus وآخرون أن السرعة 85th على مماسات المنحنيات تعتمد بشكل رئيسي على طول المماس ونصف قطر المنحنيات والمماس التالي، بينما كانت عوامل أخرى أقل أهمية مثل حدود السرعة، عرض المقطع العرضي، الميل الطولي، المنحدرات الجانبية، التضاريس العامة، وتضارح وتباطؤ المركبة، وتم تطوير نماذج التنبؤ بالسرعة 85th لمجموعات مختلفة من أطوال المماسات وأنصاف أقطار المنحنيات [11].

بيّن ويلسون (1968) وبابكوف (1975) من خلال دراسات السلامة على الطرق أن هناك علاقة وثيقة بين مسار الطريق ومعدلات الحوادث، حيث أن معدل الحوادث في المنحنيات الحادة (نصف قطر المنحنى أقل من 200 متر) يبلغ حوالي 4 إلى 5 أضعاف ذلك على منحنيات ذات نصف قطر كبير (أكبر من 900 متر) [12,13]. ذكر Giunta و Pratico أن التباين في سرعة التشغيل على الطرق الجبلية يصل إلى 55 % بسبب التأثير المشترك للخصائص الهندسية لكل من المنحنيات الأفقية والرأسية [14].

أهمية البحث وأهدافه:

التحديات التي يواجهها المهندسون عند تصميم الطرق تستدعي إجراء دراسات مستمرة على العناصر الأساسية لمسار الطريق مع التركيز على تحسين السلامة عليه، وعلى الرغم من الأبحاث الكثيرة التي تناولت دراسة السرعة، لا يزال هناك حاجة لمعرفة المزيد عن العوامل المؤثرة على سرعة الحركة وخاصة في المناطق الريفية ذات التضاريس المتنوعة، كما أن النماذج المطورة والمستخدمة في التنبؤ بالسرعة لا يمكن تعميمها نتيجة اختلاف الخصائص (الهندسية- المرورية- سلوك السائق) بين منطقة وأخرى.

الغرض الرئيسي من هذه الورقة دراسة تغير السرعة في منطقة المنحنيات من الطرق الريفية بحارتين باتجاهين، وتطوير نماذج رياضية خاصة بالتنبؤ بالسرعة بالعلاقة مع الخصائص الهندسية للمنحنيات (نصف القطر- مسافة الرؤية- الرفع العرضاني) باستخدام بيانات أكثر موثوقية ودقة.

طرائق البحث ومواده:

تحديد موقع الدراسة:

تم إجراء الدراسة على محور طرطوس- الشيخ بدر، وهو طريق ريفي مكون من حارتين (حارة لكل اتجاه بعرض 3.5 م وأكتاف جانبية بعرض 1.5م). يمر هذا الطريق في منطقة هضبية متعرجة حيث تكثر فيه المنحنيات الأفقية، وبلغ طول القسم المدروس حوالي 25 كم. الشكل (1) يوضح المحور المدروس.



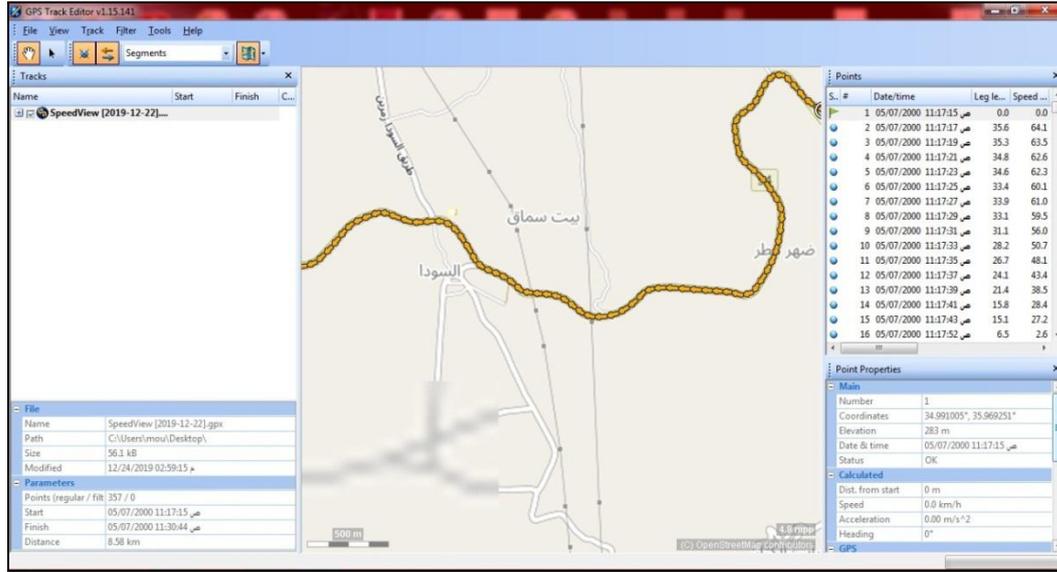
الشكل(1) المحور المدروس (طرطوس- الشيخ بدر) مأخوذة من الـ Google Earth

تجميع البيانات:

من أجل إجراء الدراسة تم تجميع البيانات اللازمة (بيانات المنحنيات الأفقية والسرعة) من المنحنيات التي تقع في مناطق مستوية (الميل أقل من 3%) وذلك من أجل إبعاد تأثير الميل على السرعة والإبقاء على تأثير نصف قطر

المنحنيات فقط، كما تمّ القياس خارج أوقات الذروة على الطريق بحيث تكون الغزارة المرورية منخفضة لضمان سرعة جريان حر دون إعاقات.

تمّ الحصول على البيانات الهندسية للمنحنيات الأفقية (الطول، نصف القطر، مسافة الرؤية، الرفع العرضاني....) بالاعتماد على برنامج الـ Google Earth وعلى برنامج AutoCAD وعلى القياسات الحقلية. أما بيانات السرعة فتمّ جمعها عن طريق استخدام الـ GPS، حيث ثبت جهاز مزود بتقنية الـ GPS في مركبة تسير على الطريق المدروس، وقمنا بإعادة القياس عدة مرات للدقة، والشكل (2) يوضح تفريغ بيانات الجهاز.



الشكل (2) تفريغ بيانات الـ GPS

بعد الانتهاء من قياس السرعة ومعرفة تغيراتها على طول الطريق المدروس، تم تحديد السرعة على المنحنيات الملائمة للدراسة والتي بلغت 87 منحنى أفقي، والجدول الآتي يوضح تلك البيانات.

الجدول (1) بيانات المنحنيات الأفقية المدروسة والسرعة

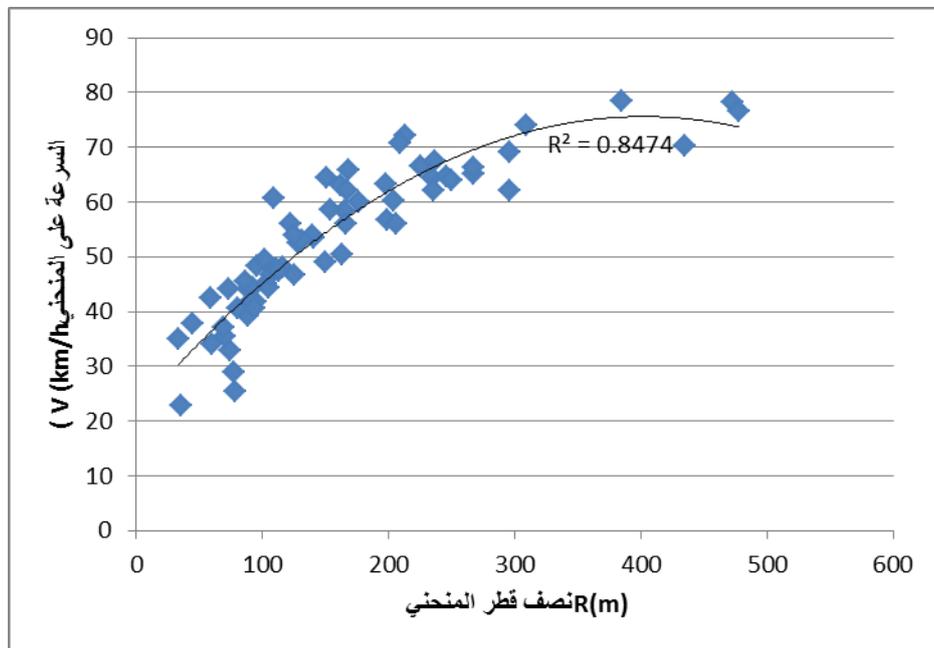
المنحني	طول المنحني(م)	نصف القطر(م)	مسافة الرؤية(م)	الرفع العرضاني %	السرعة(كم/سا)
1	50.52	88.37	41	3.9	44.2
2	54.5	95.13	44.5	3.9	48.2
3	76.14	131.28	71.14	3.8	53
4	104.33	164.68	91.8	3.7	58.3
5	161.3	477.34	136.4	2	76.6
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
83	54.12	59.83	50.3	3	34.1
84	31	35.52	31	2.5	22.8
85	35.55	33.08	30.55	3.3	35.1
86	54.54	44.61	40.9	3.3	37.7
87	45.86	66.38	41.86	3.2	44

تحليل البيانات:

1- تأثير نصف قطر المنحنيات الأفقية على السرعة:

عدد الوفيات الناجمة عن الحوادث في منطقة المنحنيات الأفقية للطرق الريفية مرتفعة إلى حد كبير، فالسرعة غير الآمنة للمركبة هي واحدة من الأسباب الأساسية لهذه الحوادث. سرعة المركبة هي المعبر الأساسي عن تصور وإدراك السائق لهندسة الطريق وبيئة القيادة، فالتصور الخاطئ وفشل السائق في فهم التغيير في هندسة الطريق يؤدي إلى سرعة غير آمنة، لذلك من الضروري إدراك تأثير هندسة الطرق الريفية (لا سيما المنحنيات الأفقية) على التغيير المطلوب في سرعة المركبات [15].

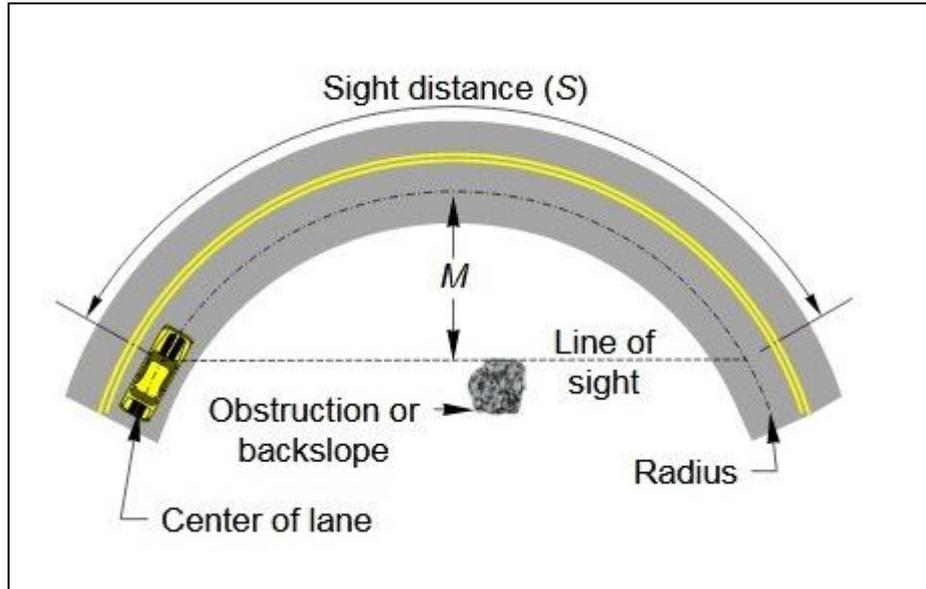
تراوحت قيم أنصاف أقطار المنحنيات المدروسة بين 33 م و 477م. يظهر الشكل (3) العلاقة بين نصف القطر والسرعة، حيث نلاحظ بأن هناك ارتباط جيد بينهما، فزيادة نصف القطر تزداد السرعة بشكل تدريجي لتثبت تقريباً بعد نصف القطر 250م.



الشكل (3) العلاقة بين نصف قطر المنحني الأفقي والسرعة

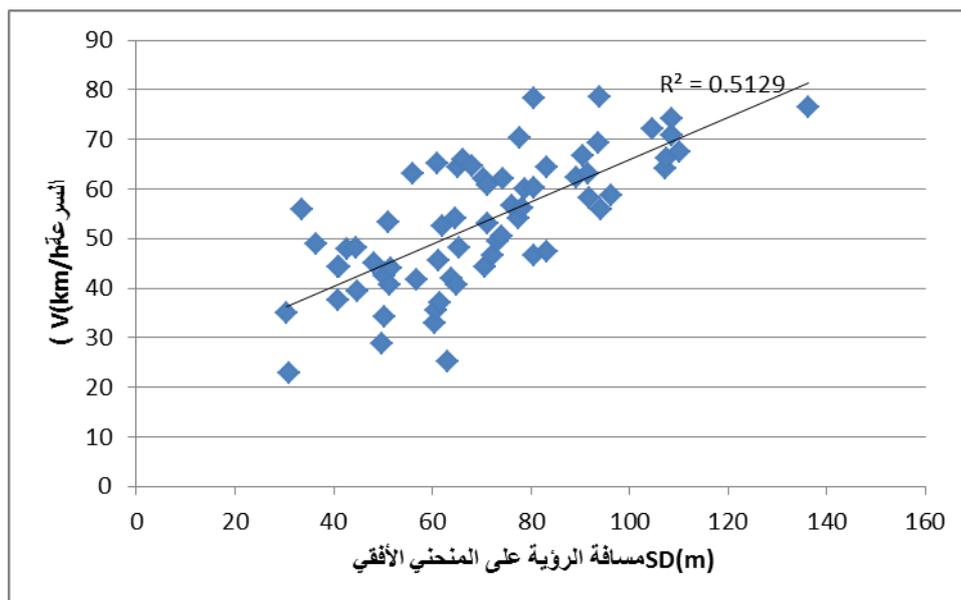
2- تأثير مسافة الرؤية على المنحنيات الأفقية على السرعة:

تُعرف مسافة الرؤية بأنها طول الجزء المستمر و المرئي من الطريق أمام السائق، فمن الضروري جداً في التصميم توفر مسافة رؤية كافية لضمان أمان التشغيل، وبالتالي ينبغي إجراء التصميم الهندسي للطريق بحيث يكون أي عائق على طول الطريق مرئياً للسائق من مسافة بعيدة [16]. تلعب مسافة الرؤية على المنحنيات الأفقية دوراً هاماً في تحديد السرعة التي يمكن أن تجتاز المركبة بها المنحني الأفقي، فوجود عوائق في منطقة المنحني تؤثر سلباً على رؤية السائق وبالتالي على سرعته. الشكل (4) يوضح مسافة الرؤية على المنحنيات الأفقية.



الشكل (4) مسافة الرؤية على المنحنيات الأفقية

يوضح الشكل (5) العلاقة بين مسافة الرؤية على المنحنيات الأفقية والسرعة، حيث لاحظنا من خلال البيانات التي تمّ تجميعها على الطريق المدروس أنّ السرعة تتأثر بمسافة الرؤية، فزيادة مسافة الرؤية تزداد سرعة المركبة.



الشكل (5) العلاقة بين مسافة الرؤية على المنحنيات الأفقية والسرعة

3- الرفع العرضاني على المنحنيات:

في حال حركة السيارة على منحنى أفقي يتم إجراء رفع جانبي (عرضاني) للطريق بدرجة كافية لتخفيف القوة الطاردة المركزية الناتجة عن الحركة على المنحنى، أي يتم إجراء الرفع العرضاني للطرق لتحقيق أمان الحركة ومتطلبات راحة المستخدم على المنحنيات [17].

يستند تصميم منحنيات الطرق على علاقة مناسبة بين السرعة التصميمية والانحناء وعلى علاقتهما المشتركة مع الرفع العرضاني. يتم الحفاظ على سرعة العربة على المنحنيات الأفقية من خلال إجراء رفع عرضاني للمنحنى بحيث تحافظ العربة على تسارعها ضمن منطقة المنحنى وضمان عدم خروجها عن مسارها نتيجة فرق التسارع بين الاستقامة والمنحنى. هناك حدود عليا عملية لمعدل الرفع العرضاني على المنحنى الأفقي، وتتعلق هذه الحدود باعتباريات المناخ، قابلية التنفيذ، استخدام الأراضي المجاورة وتواتر المركبات بطيئة الحركة [17]. يمكن إهمال الرفع العرضاني في حالة المنحنيات ذات أنصاف الأقطار الكبيرة جداً.

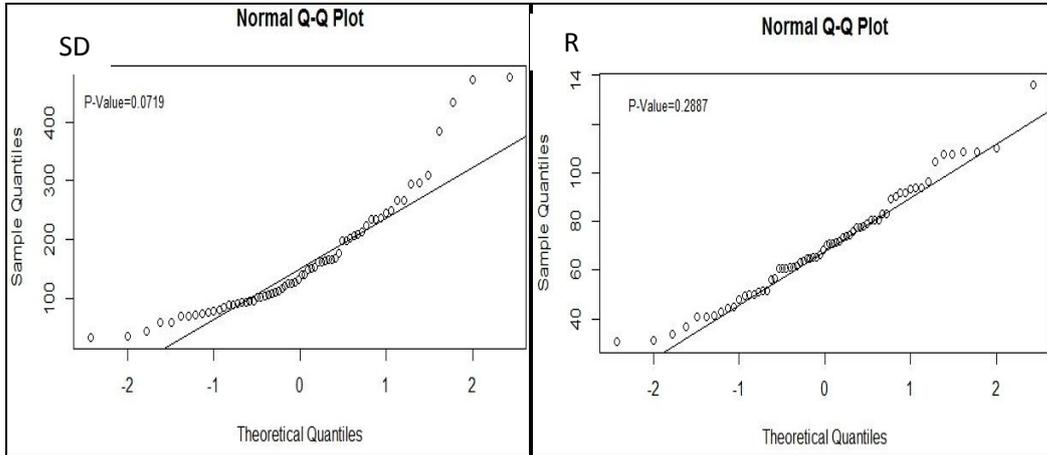
تطوير نموذج السرعة:

تم في الدراسة الحالية تطوير نموذج لتقدير السرعة على الطرق الريفية بما يناسب الظروف المحلية، وذلك بالاعتماد على مجموعة من العوامل التي قد تؤثر على قيمة السرعة. بدأت عملية تطوير النموذج بتحليل معامل الارتباط للمتغيرات المستقلة والتي تضمنت نصف قطر المنحنى (R)، مسافة الرؤية (SD) والرفع العرضاني (e). أجريت دراسة إحصائية لتأثير كل من نصف القطر، مسافة الرؤية والرفع العرضاني على تقدير السرعة، حيث تم ترتيب البيانات في ملفات ذات طبيعة إحصائية وأجريت الاختبارات عليها، كما تم تحديد بيانات عدد من المنحنيات بغرض استخدامها لاحقاً في التحقق من النموذج. الجدول (2) يوضح البيانات التي تم استخدامها في تطوير النموذج والتي تخص المنحنيات المحددة للدراسة.

الجدول (2) البيانات التي تم استخدامها في تطوير النموذج

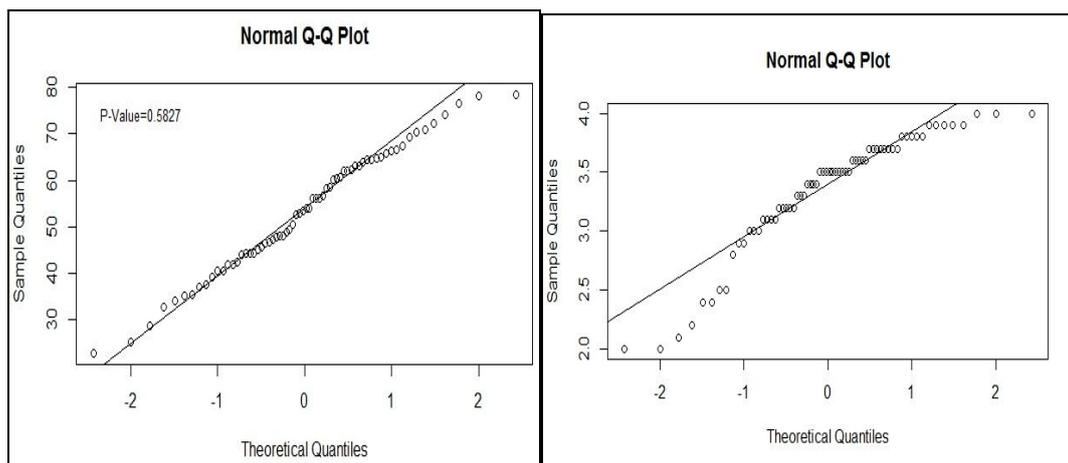
المنحني	طول المنحني (m)	نصف القطر (m) R	مسافة الرؤية (m) SD	الرفع العرضاني (%) e	السرعة V (km/h)
1	50.52	88.37	41	3.9	44.2
2	54.5	95.13	44.5	3.9	48.2
3	76.14	131.28	71.14	3.8	53
4	104.33	164.68	91.8	3.7	58.3
5	161.3	477.34	136.4	2	76.6
6	87.8	434.32	77.8	3.1	70.3
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
61	72.72	78.22	63.2	2.4	25.3
62	95.32	235.61	89.32	3.4	62.2
63	54.12	59.83	50.3	4	34.1
64	104.64	106.65	80.6	3	46.7
65	35.55	33.08	30.55	3.3	35.1
66	54.54	44.61	40.9	3.8	37.7

تم استخدام طريقة الانحدار المتعدد للتنبؤ بالسرعة على المنحنيات الأفقية، حيث تم استخدام البرنامج الإحصائي R لتطوير نموذج السرعة. في المرحلة الأولى تم اختبار البيانات وتحليلها لمعرفة التوزيع الطبيعي لها ومدى تناسبها وتجانسها، وهذا ضروري لكي لا يكون هناك انقطاع أو نقص في البيانات المطلوبة، حيث تبين أن البيانات تتبع التوزيع الطبيعي كما توضحه الأشكال (6)(7)(8)(9).



الشكل (7) اختبار التوزيع الطبيعي لبيانات مسافة الرؤية

الشكل (6) اختبار التوزيع الطبيعي لبيانات نصف القطر



الشكل (8) اختبار التوزيع الطبيعي لبيانات السرعة الشكل (9) اختبار التوزيع الطبيعي لبيانات الرفع العرضاني

تمت دراسة تأثير العوامل المحددة على السرعة على المنحنيات الأفقية المدروسة وصولاً إلى بناء نموذج رياضي خاص بتقدير السرعة على هذه المنحنيات، وباستخدام تحليل الانحدار المتعدد تم اقتراح أفضل النماذج والموضحة بالجدول (3).

الجدول (3) المقارنة بين النماذج المقترحة لتقدير السرعة

NO.	Prediction models	R square	P-value
1	$V = -0.003 * R^2 + 0.268 * R + 21.74$	0.8426	< 0.000001
2	$V = 0.133 * R + 8.82 * e + 2.25$	0.8187	< 0.000001
3	$V = 0.111 * R + 0.135 * SD + 8.475 * e - 2.67$	0.8452	< 0.000001
4	$V = 0.091 * R + 0.152 * SD + 29.847$	0.7585	< 0.000001
5	$V = -0.0002 * R^2 + 0.222 * R + 0.07 * SD + 6.3 * e - 0.522$	0.8867	< 0.000001

من الجدول السابق وجدنا أن النموذج 5 هو الأفضل والمقترح عملياً مع قيمة لمعامل التحديد بلغت 88.67%.

$$V = -0.0002 * R^2 + 0.222 * R + 0.07 * SD + 6.3 * e - 0.522$$

حيث: V سرعة المركبة (km/h)

R نصف قطر المنحني الأفقي (m)

SD مسافة الرؤية على المنحني (m)

e الرفع العرضاني على المنحني (%)

لكي يكون النموذج قابل للتطبيق، يجب تحديد مجال تطبيقه من خلال تحديد الحد الأدنى والحد الأقصى لكل من نصف القطر، مسافة الرؤية والرفع العرضاني، والجدول (4) يوضح المتغيرات التي لها تأثير كبير على السرعة مع الخصائص الإحصائية.

الجدول (4) مجال البيانات والخصائص الإحصائية من أجل النموذج

	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation
R	33	477	162	99
SD	33.5	136.4	70.3	22.18
e	2	4	3.34	0.5

التحقق من صحة النموذج:

تقوم عملية التحقق بتحديد ما إذا كان النموذج المحدد مناسباً أم لا في شروط محددة، حيث تقارن نتائج نموذج التنبؤ المقترح مع القياسات الحقلية الأخرى. الهدف من التحقق هو تقييم مدى ملائمة نماذج التنبؤ المقترحة، وقياس خطأ أو دقة التنبؤ. من أجل القيام بعملية التحقق من صحة ونتائج النماذج المقترحة لتقدير السرعة على المنحنيات الأفقية، تم استخدام بيانات لـ 21 منحنى جديد على الطريق المدروس.

تم التحقق من نموذج السرعة الذي تم تطويره في الفقرة السابقة باستخدام البيانات التي تم جمعها من المنحنيات الجديدة والتي لم يتم استخدام بياناتها في تطوير النموذج. تم تحديد السرعة على هذه المنحنيات بالقياس الحقلية (GPS) وبالنموذج المقترح لحساب السرعة. الجدول (5) يوضح نتائج مقارنة تقدير السرعة وفق النموذج المقترح والنتائج الحقلية.

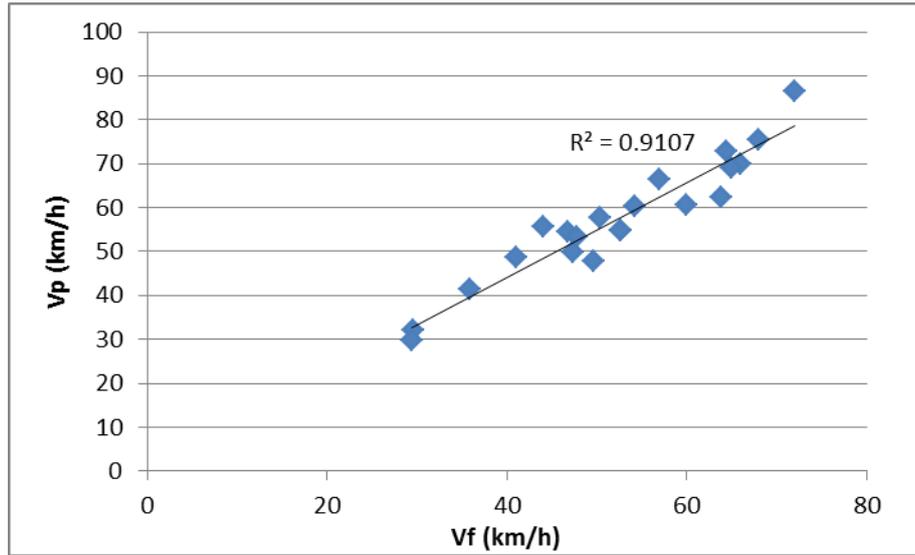
الجدول (5) مقارنة نتائج السرعة وفق النموذج المقترح والسرعة الحقلية

Curve	R	SD	e	Vf	Vp	Difference(km/h)
1	310.23	91.1	3.2	68	75.6	7.6
2	138.04	81.6	3.6	52.6	54.7	2.1
3	161.19	101.8	3.7	60	60.5	0.5
4	122.29	51.8	3.6	47.3	49.9	2.6
5	339.61	68.5	2.1	66	69.8	3.8
6	88.47	71.2	3	35.9	41.4	5.5
7	198.5	46.93	3.4	54.2	60.4	6.2
8	160.24	81.5	3.5	50.3	57.7	7.4
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
16	66.38	41.86	2.5	29.6	32	2.4
17	164.36	113.6	3.8	63.8	62.5	-1.3
18	135.4	59.19	3.7	47.8	53.3	5.5
19	241.21	71.14	3.2	57	66.5	9.5
20	48.83	49.78	2.6	29.5	29.7	0.2
21	114.9	55.67	3.4	49.6	47.7	-1.9

حيث: V_p : السرعة المقدره وفق النموذج المقترح (كم/سا)

V_f : السرعة الحقلية على المنحنيات (كم/سا)

الشكل (10) يبين الترابط بين السرعة المقاسة (حقلياً) والسرعة المقدره (من النموذج)، حيث لوحظ أنّ هناك ترابط وتطابق جيد بين السرعة الحقلية والسرعة المقدره، كما وجد بأنّ 90.5% من الفرق بين القيمتين كان أقل من 10 كم/سا.



الشكل (10) الترابط بين السرعة الحقلية والسرعة المقدرة

الاستنتاجات والتوصيات:

- 1- تم دراسة ثلاثة متغيرات هامة تؤثر في تقدير قيمة السرعة على المنحنيات الأفقية هي نصف القطر، مسافة الرؤية المتوفرة والرفع العرضاني، وإجراء التحليل الإحصائي للعلاقة بين السرعة وكل من المتغيرات، حيث أظهرت العوامل المدروسة تأثيراً واضحاً على هذه السرعة.
 - 2- بيّنت هذه الدراسة أنّ أفضل نموذج لتقدير السرعة على المنحنيات الأفقية على الطرق الريفية مع قيمة لـ R^2 بلغت 88.67% هو:
- $$V = -0.0002 * R^2 + 0.222 * R + 0.07 * SD + 6.3 * e - 0.522$$
- 3- يظهر نموذج الانحدار الذي تم تطويره لتقدير السرعة علاقة جيدة مع القيم الحقلية حيث بلغت قيمة R^2 (91.07%).
 - 4- النموذج المطور قد لا يكون مناسباً لقيم متغيرات تقع خارج المجال المحدد لتطبيق النموذج، ولذلك يجب إجراء المزيد من الدراسات على مواقع أخرى وباستخدام بيانات مختلفة.
 - 5- يمكن استخدام النموذج المطور في تصميم المنحنيات وفق السرعات التصميمية المحددة.
 - 6- يوصى بدراسة تأثير عوامل أخرى على السرعة في منطقة المنحنيات الأفقية كالميل الطولي وعرض حارة المرور.

References:

1. CVITANIC, D; MALJKOVIC, B. *Methods for ensuring consistency of horizontal alignment elements*. Article in Gradevinar, GRAĐEVINAR 64 (2012) 5, December 2013, 385-393.
2. BIN, B. *Effect of Horizontal Alignment on Driver Speed Behavior on Different Road Classifications*. A thesis submitted to the Faculty of Graduate Studies and Research in partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Applied Science, 2006, 4-20.
3. SHALLAM, K; Ahmed, A. *Operating Speed Models on Horizontal Curves for Two-Lane Highways*. Transportation Research Procedia 17, 2016, 445 – 451.

4. JACOB, A. *Operating speed of different classes of vehicles at horizontal curves on two-lane rural highways*. J Transp Eng 139:287–294. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)TE.1943-5436.0000503](https://doi.org/10.1061/(ASCE)TE.1943-5436.0000503), 2013, 8.
5. TORREGROSA, C; ZURIAGA,P. *New geometric design consistency model based on operating speed profiles for road safety evaluation*. Accidental Prev 61, <https://doi.org/10.1016/j.aap.2012.10.001>, 2013, 33–42.
6. MISAGHI, P; HASSAN, Y. *Modeling operating speed and speed differential on two-lane rural roads*. J Transp Eng 131:408–418. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-947X\(2005\)131:6\(408\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-947X(2005)131:6(408)), 2005, 3.
7. FITZPATRICK, K & et al. *Speed prediction for two-lane rural highways*. FHWA-RD-99-171. U.S. Department of Transportation Washington, DC, 2000, 3-4.
8. MISAGHI, P; HASSAN, Y. *Modeling operating speed and speed differential on two-lane rural roads*. J Transp Eng 131(6):,2005, 408–418.
9. HASSAN, Y; SARHAN, M. *Modeling operating speed*. Transportation research circular, E-C151, Federal Highway Administration, Transportation Research Board, Washington, DC, 2011, 2.
10. YAGAR, S; VAN AERDE, M. *Geometric and Environmental Effects on Speeds of Two-Lane Highways*. Transportation Research Part A: Policy and Practice, Vol. 17A, No. 4, 1983, pp. 315–325.
11. POLUS, A; FITZPATRICK, K, and FAMBRO, D. *Predicting Operating Speeds on Tangent Sections of Two-Lane Rural Highways*. In Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, No. 1737, TRB, National Research Council, Washington, D.C. 2000, pp. 50–57.
12. WILSON, T.D. *Road Safety by Design*. Journal of the Institute of Highway Engineers Vol. 15, 1968, pp.23-33
13. BABKOV, V.F. *Road Conditions and Traffic Safety (English Version)*, Mir Publishers, Moscow, 1975.
14. PRATICO, FG; GIUNTA, M. *Modeling operating speed of two lane rural roads*. Proc Soc Behav Sci 53:664–671, 2012.
15. CHOUDHARI, T; MAJI, A. *Effect of Horizontal Curve Geometry on the Maximum Speed Reduction: A Driving Simulator-Based Study*. Transportation in Developing Economies, 2019, 5-14 <https://doi.org/10.1007/s40890-019-0082-07> August 2019.
16. MATHEW, V. T. *Sight Distances. Lecture Notes in Transportation Systems Engineering*. https://www.civil.iitb.ac.in/~vmtom/nptel/303_SigDst/web/web.html.
17. AASHTO. *Geometric Design of Highways and Streets*. American Association of State Highway and Transportation Officials 444North Capitol Street, N.W, Suite 249 Washington, D.C, 2011,163-182.