

التحليل الإحصائي لحوادث الطرق حالة دراسية على مدينة مصراتة

عبد المنعم عبد الحميد الكبير
كلية الهندسة، جامعة مصراتة، ليبيا
قسم الهندسة المدنية

menem.kabeer@eng.misuratau.edu.ly

على الصعيد المحلي، ووفقاً لتقرير منظمة الصحة العالمية لعام 2015 احتلت ليبيا المرتبة الأولى في العالم من حيث معدلات الوفيات بالرغم من كونها مصنفة في البلدان متوسطة الدخل (12930 دولار للفرد)، حيث بلغ معدل الوفيات 73.4 لكل 100 ألف شخص وبعدد وفيات (4398 حالة وفاة)، وهو في الحقيقة معدل لا يوجد له نظير ولا حتى مقارب له. بل حتى تايلاند التي جاءت في المرتبة الثانية عالمياً سجلت معدل وفيات 36.2 لكل 100 ألف شخص بحسب ما جاء في التقرير [4]. وهذا في الحقيقة أمر مأساوي وكارثي يدعو بالحاح إلى تسخير كل الجهود والطاقت لتوصيف هذه الكارثة ودراسة خصائصها وأسبابها لوضع حلول ومعالجات لها. من هنا دعت الحاجة لمثل هذا البحث الذي يسعى لتحقيق هدفين رئيسيين؛ الأول، هو التحليل الإحصائي الوصفي لحوادث المرور استناداً إلى البيانات المتوفرة من قسم المرور والترخيص خلال الفترة من 2012-2021 في حين يتمثل الهدف الثاني في إجراء نمذجة رياضية لحوادث المرور لربط المتغير التابع المتمثل في معدلي الحوادث المرورية أو الوفيات لكل 10 آلاف مركبة بمتغير مستقل يتمثل في مستوى امتلاك المركبة motorization level، باستخدام أساليب الانحدار الإحصائي الكلاسيكية المبنية على المربعات الدنيا، وباستخدام الشبكات العصبية الاصطناعية Artificial Neural Networks (ANN).

2. الدراسات السابقة

تعود الجذور التاريخية لنمذجة وفيات حوادث الطرق إلى عام 1938 عندما قام سميذ Smeed بتطوير أول علاقة رياضية تربط بين معدل الوفيات بمتغير تابع ومعدل امتلاك المركبة كمتغير مستقل. وقد اعتمد النموذج على تحليل بيانات الحوادث لسنة 1938 لعشرين دولة من مختلف قارات العالم. وقد عرف النموذج لاحقاً باسم قانون سميذ والذي يعطي في الصورة الرياضية التالية [5]:

$$\frac{D}{N} = 0.0003 \left(\frac{N}{P}\right)^{-2/3} \quad (1)$$

حيث: D عدد الوفيات سنوياً، N عدد السيارات المسجلة، و P عدد السكان.

وكانت الفكرة الرئيسية لنموذج سميذ هو أن الزيادة في معدلات ملكية المركبة (N/P) سيؤدي إلى انخفاض معدلات الوفيات (D/N). وعلى الرغم من وجود انتقادات من بعض الباحثين مثل أندرسون 1985 وأدامس 1987 حول نموذج سميذ إلا أن الباحثين سواء في الدول المتقدمة أو النامية لا يزالون يستخدمون صيغة سميذ ولكن مع بعض التعديلات إما للأس أو للجزء المقطوع أو باقتراح نماذج أخرى مثل كثيرات الحدود [6]. قام غرابيه، 1994 بدراسة حول تطبيق صيغة سميذ لتقييم السلامة المرورية في الأردن. كانت هذه العلاقة بين معدلات الوفاة ومستوى ملكية المركبة. تم تطبيق معادلة سميذ على البيانات وأظهر تحليل الانحدار جودة عالية بمعامل تحديد (R^2) يساوي 93% [7].

كما فحص إسلام والحضرمي، 2012 بيانات هيئة الطرق والمواصلات في عمان للفترة ما بين 2000 و2009، وذكروا أن عدد الحوادث انخفض من 13040 حالة في عام 2000 إلى 7253 في عام 2009 مع انخفاض بنسبة 44 في المائة خلال فترة الدراسة على الرغم من حقيقة ازدياد معدلات ملكية المركبة خلال فترة الدراسة بنسبة 26 % خلص

المخلص— تعد مشكلة حوادث الطرق من المعضلات الرئيسية سواء من حيث تهديدها لسلامة البشر أو من حيث إضرارها بالاقتصاد الوطني، وكما هو معلوم فإن مشكلة الحوادث تتجه نحو مزيد من التعقيد مع استمرار التمدد العمراني والزيادة المطردة والهائلة في عدد المركبات وحجم المشاة والنقل. إن حوادث المرور هي أحد أهم الأسباب المساهمة في تزايد حالات الوفيات والإصابات سنوياً بمدينة مصراتة، ونظراً لضرورة فهم العوامل المسببة في هذه الحوادث من أجل اتخاذ قرارات مناسبة للتخفيف من حدة هذه الظاهرة، فقد برزت الحاجة لمثل هذا البحث الذي يركز على هدفين؛ الأول تحليل وصفي للحوادث المرورية استناداً إلى تحليل باثر رجعي خلال الفترة من سنة 2012 – 2021 بمساعدة البيانات المتحصل عليها من قسم الترخيص والمرور. بينما يتناول الهدف الثاني اقتراح مجموعة من النماذج الرياضية لكل من أعداد الحوادث والوفيات كمتغيرات تابعة مرتبطة بمتغير مستقل يتمثل في مستوى امتلاك المركبة وذلك باستخدام نماذج الانحدار الإحصائي التقليدية وأيضاً باستخدام الشبكات العصبية الاصطناعية (ANN) وقد أعطت الأخيرة دقة كبيرة وعالية مقارنة بنماذج الانحدار التقليدية.

الكلمات المفتاحية: حوادث المرور على الطرق، الوفيات، مستوى امتلاك المركبة، نماذج رياضية.

1. المقدمة

تُعرّف حوادث المرور على الطرق بأنها اصطدام مركبة بعائق أو بجسم صلب كالاصطدام بمركبة أخرى أو بأحد المشاة أو عمود أو شجرة ... إلخ. وتعد السرعة والتصميم الهندسي للطريق وسلوك السائق ومهاراته وتصميم المركبة بالإضافة لحالة الرصف والظروف الجوية من أهم العوامل المساهمة في حوادث المرور.

في 31 أغسطس 1869، وقعت أول حالة وفاة على الطريق بسبب حادث مروري حيث توفيت عالمة الأيرلندية ماري وارد Mary Ward عندما سقطت من سيارة ابن عمها البخارية ودهستها. بعد مائة عام تقريباً تطورت مجتمعات مختلفة حول العالم حيث زاد عدد المركبات المسجلة بشكل كبير مما نتج عنه ارتفاع عدد الوفيات والإصابات [1].

على الصعيد العالمي، ووفقاً لمنظمة الصحة العالمية (WHO)، يموت حوالي 1.25 مليون شخص كل عام نتيجة لحوادث المرور على الطرق، وتحدث حوالي 85 بالمائة من هذه الوفيات في البلدان النامية، علاوة على ذلك، يعاني ما يصل إلى 50 مليون شخص من إصابات غير مميتة، ويتعرض الكثير منهم لإعاقات دائمة نتيجة لتلك الإصابات [2]. كما تسبب حوادث الطرق في فقدان 500 طفل حياتهم كل يوم بالإضافة لكونها السبب الرئيسي لوفاة الشباب الذين تتراوح أعمارهم بين 15 و29 عاماً، وثامن سبب رئيسي لوفاة على مستوى العالم. إلى جانب المأساة الإنسانية المذكورة يُفقد كل عام 500 مليار دولار أمريكي بسبب وفيات حوادث الطرق التي تمثل ما يقرب من 3 إلى 5 في المائة من الناتج القومي الإجمالي لبلدان العالم [3].

استلمت الورقة بالكامل في 27 نوفمبر 2022 وروجعت في 10 ديسمبر 2022 وقبلت للنشر في 19 ديسمبر 2022

ونشرت وماتحة على الشبكة العنكبوتية في 20 ديسمبر 2022.

وضعها في صورة تساعد الأكاديميين. أما أعداد المركبات المسجلة فقد تم الحصول عليها من واقع بيانات قسم الترخيص، وفيما يخص أعداد السكان بالمدينة فقد تم جمعها من مصلحة الأحوال المدنية بالمنطقة الوسطى مع التنبيه على وجود بعض السنوات المفقودة من المصدر قام الباحث باستكمالها بكثيرة حدود من الدرجة الخامسة $R^2 (0.9943)$. ونظراً للظروف السياسية التي مرت بها البلاد خلال العشر سنوات الماضية ونتيجة للانفلات الأمني والضبطي فقد تم إدخال أعداد العمالة الوافدة المتحصل عليها من مكتب العمل وأعداد النازحين المتحصل عليها من وزارة الشؤون الاجتماعية، وأعداد الهجرة غير الشرعية من جهاز مكافحة الهجرة غير الشرعية ضمن متغير السكان نظراً لتأثيرهم في عملية الحوادث. والجدول (1) يوضح أعداد الحوادث والوفيات والإصابات وعدد السكان والمركبات المسجلة خلال فترة الدراسة.

جدول 1. السكان، المركبات المسجلة، الحوادث، الوفيات، الإصابات في مصراتة

السنة	عدد السكان	عدد المركبات المسجلة	عدد الحوادث	عدد الوفيات	عدد الإصابات
2012	332998	76192	298	150	238
2013	336940	97498	266	135	184
2014	348657	105667	255	144	145
2015	376706	110052	313	200	194
2016	395313	113184	312	197	208
2017	394334	115684	432	271	226
2018	389830	118345	373	226	235
2019	392709	123385	370	193	283
2020	473461	128106	323	190	92
2021	478206	131089	402	161	304

4. التحليل الإحصائي الوصفي للحوادث

أ. عدد الحوادث

يوضح الشكل (1) التوزيع السنوي لحوادث المرور لعدد 3344 حصلت خلال الفترة 2012-2021 مع المتوسط السنوي للحوادث البالغ 334 حادث. ومن الواضح أن هناك انخفاضاً تدريجياً لعدد الحوادث خلال العامين 2013 و 2014 ثم بدأ في الارتفاع في السنوات الثلاث التالية ليصل إلى الذروة 432 في عام 2017. ويمكن أن تعزى هذه الزيادة بسبب تزايد أعداد النازحين من جراء الحروب التي حدثت في الشرق والغرب كما يمكن أن يكون لحركة الاستيراد للسيارات الخاصة بأعداد كبيرة دور في ازدياد الحوادث حيث يغلب على المجتمع الليبي استعمال السيارات الخاصة بسبب عدم توفر نقل عام مريح وأمن واقتصادي. ويلاحظ أن الانخفاض خلال السنوات التالية لعام 2017 لم يكن كبيراً إذ ظلت أعداد الحوادث أكبر أو مساوية للمتوسط تقريباً.

وعلى الرغم من أن تذبذب بيانات الحوادث المرورية واضح من الناحية الرسومية في الشكل (1)، فقد تم إجراء مزيد من التحقيقات باستخدام اختبار Mann-Kendall test لاكتشاف ما إذا كان هناك اتجاه ثابت بالزيادة أو الانخفاض مع الزمن، حيث تعتبر الفرضية الصفرية H_0 أنه ليس هناك نزعة للبيانات في الارتفاع أو الانخفاض عند مستوى معنوية $(\alpha = 5\%)$ لاختبار ذي طرفين [15].

ومن خلال البرنامج XLSTAT تم الحصول على p -value (0.049) وهي أصغر من α مما يعني رفض الفرضية الصفرية وقبول الفرضية البديلة H_a وهي أن هناك نزعة واتجاه للبيانات بالزيادة مما يعني أن متغير الزمن مؤثر في عدد الحوادث.

الباحثان في النهاية إلى أن 70% من حوادث الطرق حدثت للسائقين الذين تتراوح أعمارهم بين 17 و36 عاماً [8]. استخدم بشار وآخرون، 2013 بيانات حوادث المرور في المملكة الأردنية لمدة ثلاثة عشر عاماً من 1998 إلى 2010 لتطوير نموذج دالة القوى الذي يربط عدد حوادث المرور سنوياً (ACC) بمستوى ملكية المركبات M وكان النموذج كالتالي [9]:

$$ACC = 56.47 M^{1.57} \quad R^2 = 0.9 \quad (2)$$

كما اقترح الباحثون أيضاً النموذج متعدد الحدود التالي الذي يتنبأ بوفيات الحوادث سنوياً (F) باستخدام مستوى الملكية (M) كمتغير مستقل:

$$F = -9.109M^2 + 2847M - 9879R^2 = 0.87 \quad (3)$$

ذكر تشان وان، 2016 أن وفيات حوادث الطرق قد زادت بشكل كبير في الصين خلال الفترة 2002-2012. ورجح الباحثان أن السبب الرئيسي لهذه الزيادة هو التطور السريع في مستوى امتلاك المركبات، فقد زاد عدد المركبات الخاصة في الصين من 7.7 مليون عام 2001 إلى 73.2 مليون عام 2011، وزاد العدد الإجمالي للمركبات المسجلة من 65.2 مليون عام 2001 إلى 209.1 مليون عام 2011. كما ذكر الباحثان أن 57% من، وفيات الحوادث تحدث بين الأفراد الذين تتراوح أعمارهم بين 45 وما فوق وذلك في الفترة من 2011-2012 [10].

قام البياتي وآخرون 2018 بتطوير نماذج من كثيرات الحدود من الدرجة الأولى والثانية والثالثة تربط معدلات الحوادث، الوفيات، والجرحي كمتغير تابع، ومستوى الملكية كمتغير مستقل للبيانات من 2002 - 2015 في العراق. وقد تراوحت معاملات التحديد من 0.365 للدرجة الأولى إلى 0.723 للدرجة الثالثة مع تطوير نموذج من الدرجة الثالثة كدالة في عدد السكان بمعامل تحديد $R^2 0.817$ ، 0.780 ، 0.775 لكل من معدلات الحوادث والوفيات والجرحي على التوالي [11].

العديد من الباحثين حول العالم قاموا بنمذجة حوادث المرور باستخدام الشبكات العصبية الاصطناعية ANN بتقنيات مختلفة بدءاً من الشبكات المفردة البسيطة ذات الطبقة الواحدة من الدخل والخرج single layer perceptron (SLP)، وانتهاء بنماذج معقدة من طرق تعليم الآلة مثل: Recurrent neural network (RNN), Convolutional neural network (CNN), Multilayer perceptron (MLP) neural network and Radial basis function (RBF). [12]

قام Umapathi and K Geetha، 2018 بتطوير نموذج من الشبكة العصبونية متعددة طبقات الدخل (MLPNN) للتنبؤ بأعداد الحوادث كدالة في عدد السيارات المسجلة والسكان وطول الطرق المرصوفة بالإضافة لمتوسط دخل الفرد كمتغيرات مستقلة، وقد استخدم الباحثون 70% من العينات للتدريب و 15% للتحقق و 15% للاختبار وقد أعطى نموذج الشبكات العصبية دقة عالية بمعامل تحديد $R^2=0.992$ [13].

Alqatawna وآخرون (2021) قارنوا نماذج الانحدار متعددة المتغيرات مع تسع نماذج مختلفة من الشبكات العصبية كدالة دراسة في اسبانيا، حيث تم هيكلة النموذج متعدد طبقات الدخل بعدة متغيرات مستقلة وهي السنوات، طول الطريق بالمتر، متوسط المرور اليومي، نسبة المركبات الثقيلة، قطر المنحنى الأفقي، وسرعة $th85$ %، الميل وأخيراً تصنيف الطريق. وبطريقة مخفية واحدة تبدأ من 2 وتنتهي ب 10 عقد لإنشاء تسع نماذج وبطريقة خرج واحدة تمثل عدد الحوادث، تم اختيار القيم الافتراضية للتدريب والتحقق والاختبار الموجودة في برنامج ماتلاب وهي 70% و 15% و 15% على التوالي وباستخدام Tan- sigmoid كدالة تحويل للطبقة المخفية و Linear transfer كدالة تحويل لطبقة الخرج. النماذج التسعة أعطت قيم عالية الدقة بمعامل تحديد 0.9 غير أن أعلاها دقة كان النموذج ذا التسع عقد حيث كان معامل الارتباط $r=0.9992$ بينما كانت دقة نموذج الانحدار المتعدد بنفس المتغيرات المستقلة المستخدمة في الشبكات العصبية $r=0.976$ مما يدل على أن نماذج الشبكة العصبية أقوى من نموذج الانحدار الخطي المتعدد [14].

3. مصدر البيانات

البيانات المستخدمة في هذا البحث تم جمعها من مصادر مختلفة، حيث تم تصنيف وترتيب أعداد الحوادث والوفيات والإصابات وأعمار الوفيات وأماكن وقوع الحوادث من تقارير قسم شرطة المرور بمدينة مصراتة، مع وجود بعض الصعوبات سواء من حيث إتاحة البيانات للباحثين أو من حيث

كان الفرق كبيراً بين أعداد سكانهما، وذلك لأن الأرقام المجردة لا تعطي تصوراً واضحاً لمشكلة الحوادث. فمن هذه المقاييس: حادث أو وفاة أو إصابة / يوم، عدد الحوادث أو الوفيات أو الإصابات / 10,000 مركبة، عدد الحوادث أو الوفيات أو الإصابات / 100,000 نسمة [16]. كما أن هناك بعض المقاييس الأخرى التي تقيس حجم المسألة الناتجة عن الحوادث المرورية مثل مؤشر الخطورة Severity Index الذي يمكن أن يعبر عنه بطرق مختلفة سنختار منها عدد الوفيات مقسوماً على إجمالي عدد الحوادث [17].

وبطبيعة الحال كلما زادت قيمة أي من هذه الأساليب فإن ذلك يدل على زيادة حدة قوة الحوادث ومرارة نتائجها وخطورة مردودها على كافة النواحي الاجتماعية والاقتصادية. والجدول (2) يلخص أهم المؤشرات مع التركيز هنا على معدلات الوفيات فقط باعتبار بياناتها الأكثر إتاحة بين الدول.

جدول (2) معدل الوفيات لكل عشرة آلاف مركبة و لكل مائة ألف نسمة، مؤشر الخطورة لمدينة مصراتة

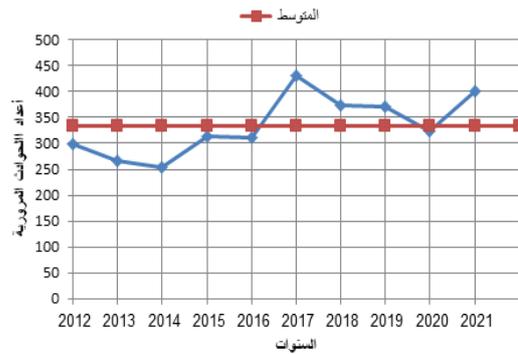
السنة	المؤشر	
	مؤشر الخطورة severity Index	الوفيات/10,000 مركبة
2012	0.50	19.69
2013	0.51	13.85
2014	0.56	13.63
2015	0.64	18.17
2016	0.63	17.41
2017	0.63	23.43
2018	0.61	19.10
2019	0.52	15.64
2020	0.59	14.83
2021	0.40	12.28
المتوسط	0.56	16.80

من خلال المؤشرات المبينة بالجدول (2) يمكننا عمل مقارنات مع بيانات دول أخرى- باعتبار بياناتها متاحة أكثر من المدن- من خلالها يتضح حجم الكارثة سواء على الصعيد الإقليمي أو الدولي. يظهر الجدول (3) بيانات الوفيات للولايات المتحدة الأمريكية لكل عشرة آلاف مركبة ولكل مائة ألف نسمة، وبالمقارنة مع معدلات الوفيات لمدينة مصراتة سواء من خلال المتوسط أو لكل سنة على حدة نجد أن الفرق شاسع وكبير جداً، ويتضح لنا بجلاء حجم الكارثة والمسألة التي نعيشها، إذ تفوق معدلات الحوادث في مدينة مصراتة الولايات المتحدة مجتمعة بما يقرب من اثني عشر ضعفاً وأربعة أضعاف لكل من عدد الوفيات لكل 10 آلاف مركبة و100 ألف نسمة على التوالي.

جدول (3) معدلات الوفيات بسبب حوادث المرور بالولايات المتحدة الأمريكية [18]

السنة	الوفيات لكل 10 آلاف مركبة	الوفيات لكل 100 ألف نسمة
2012	1.44	11.60
2013	1.38	11.20
2014	1.36	11.10
2015	1.43	11.80
2016	1.50	12.50
2017	1.48	12.40
2018	1.42	12.00
2019	1.41	11.90
2020	1.53	12.90
المتوسط	1.44	11.93

وبعيداً عن المقارنة بدولة بحجم الولايات المتحدة يظهر الجدول (4) معدلات الوفيات لكل 100 ألف نسمة لبعض الدول العربية حسب تقرير منظمة الصحة العالمية عن حالة السلامة على الطرق 2015، وبالمقارنة مع دول الجوار نجد أن معدلات الوفيات بمدينة مصراتة مرتفعة للغاية إلى درجة أنه لا يوجد مؤشر قريب منه وهذا ما يحتم على الجهات المعنية وضع حلول عاجلة للتخفيف من حجم المسألة.



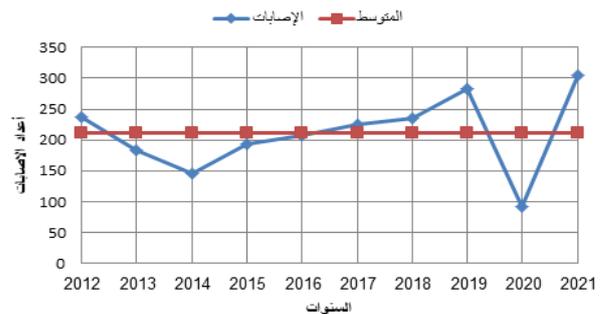
شكل (1) التوزيع السنوي لأعداد الحوادث

ب. الوفيات والإصابات

إن الحوادث على الطرق لها تأثير فظيع على البشر والمجتمعات والبلدان. ومن واقع البيانات المتحصل عليها قُتل في مدينة مصراتة حوالي 1867 شخصاً خلال الفترة من 2012 إلى 2021، إلى جانب 2109 شخصاً أصيبوا بسبب الحوادث. اعتماداً على الشكلين (2) و(3) فإن متوسط أعداد الوفيات والإصابات خلال فترة التحليل كان بواقع 187 و211 على التوالي. من خلال النظر إلى مخططي الوفيات والإصابات يمكن ملاحظة أن سنة 2017 و 2019 تمثلان الذروة العليا بواقع 271 وفاة و283 إصابة. وللتحقق من وجود اتجاهات بالارتفاع أو الانخفاض في السلسلة الزمنية للوفيات والإصابات تم استخدام اختبار Mann-Kendall test بمستوى معنوية $(\alpha = 5\%)$ وبشكل مماثل فإن الفرضية الصفرية H_0 تعني أنه لا يوجد اتجاه في السلسلة الزمنية بينما الفرضية البديلة H_a تعني وجود اتجاه بالزيادة في السلسلة الزمنية. أعطت نتائج الاختبار $P\text{-value} = 0.745$ لسلسلة عدد الوفيات وهذه القيمة أكبر من 0.05 مما يعني قبول الفرضية الصفرية وهي أنه لا يوجد اتجاه للبيانات. وبتطبيق نفس الاختبار على سلسلة الإصابات تم الحصول على $P\text{-value} = 0.210$ وهي أيضاً أكبر من مستوى المعنوية 0.05 أي أنه لا يمكننا رفض الفرضية الصفرية التي تقول أنه لا يوجد اتجاه معين للبيانات على امتداد السلسلة الزمنية.



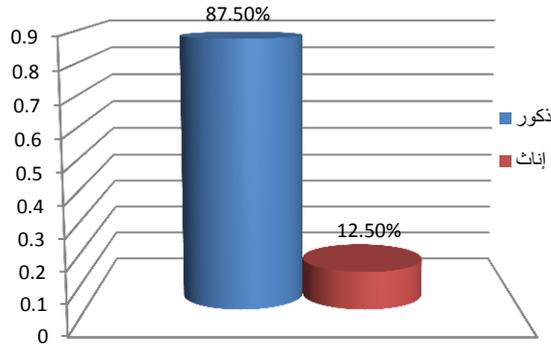
شكل (2) التوزيع السنوي لأعداد الوفيات



شكل (3) التوزيع السنوي لأعداد الإصابات

ج. تحليل مؤشرات الحوادث والخطورة

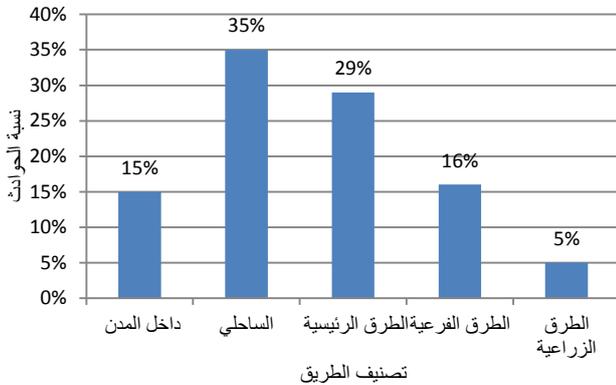
هناك العديد من الأساليب المتعارف عليها محلياً وعالمياً لقياس حجم مشكلة الحوادث وذلك لفانديتها في أغراض المقارنة بين أي دولتين مهما



شكل (5) التوزيع النسبي للوفيات حسب الجنس

هـ. مكان وقوع الحوادث

بالنظر إلى مكان وقوع الحادث يعطي الشكل (6) توزيع النسب المئوية لأماكن وقوع الحادث على الطريق، حيث تم تصنيف الطرق من قبل قسم المرور حسبها هو متعارف عليه في الأوساط العامة لا الهندسية. من خلال الشكل يمكن القول بأن الطريق الساحلي يعتبر نقطة سوداء إذ إن 35 بالمائة من الحوادث خلال الفترة من 2012 إلى 2021 حدثت على الطريق الساحلي تليه الطرق الرئيسية بنسبة 29% في حين كانت الحوادث داخل المدن وعلى الطرق الفرعية الأقل حظاً في نصيب الحوادث. ويمكن أن يعزى سبب كثرة وقوع الحوادث على الطريق الساحلي والطرق الرئيسية إلى السرعة الزائدة من قبل السائقين بالإضافة لعدم توفر المواصفات والمعايير الهندسية على الطريق الساحلي مثل الحماية من الجانبين وأن تكون التقاطعات معزولة (كوبري أو جسر) لا سطحية بالإضافة لعدم توفر الإضاءة الليلية على الطريق طيلة فترة التحليل.



شكل (6) توزيع الحوادث حسب نوع الطريق

5. تطوير النماذج

في نمذجة الحوادث والوفيات، يتمثل الهدف العام في تطوير معادلة تنبؤية تتعلق بربط متغير تابع واحد بمتغير أو أكثر من المتغيرات المستقلة من أجل الاستفادة من النموذج في اتخاذ قرارات لرفع مستوى السلامة المرورية، واعتماداً على جهود سميذ Smeed الأولى ومن أتى بعده من العلماء والباحثين في نمذجة الحوادث سيتم ربط معدلات الحوادث أو الوفيات بمستوى امتلاك المركبات حيث سيتم تطوير عدة نماذج رياضية كالتالي:

- 1- نماذج الانحدار التقليدي التي تعتمد على نظرية المربعات الصغرى، حيث سيتم تطوير نموذجي انحدار بالطرق التقليدية، النموذج الأول سيكون فيه المتغير التابع (المتنبأ به) هو معدل الحوادث المرورية السنوية لكل 10000 مركبة مسجلة، وسيتم له بالرمز (AC/10,000) بينما سيكون المتغير المستقل هو مستوى ملكية المركبة وسيتم له بالرمز (M).
- 2- والنموذج الثاني سيكون فيه المتغير التابع هو عدد الوفيات لكل 10000 مركبة مسجلة وسيتم له بالرمز (D/10,000) في حين سيكون المتغير المستقل هو مستوى ملكية المركبة (M)
- 3- نماذج باستخدام الشبكة العصبية الاصطناعية (ANN) حيث سيتم من خلالها تطوير نماذج لمعدلات لحوادث والوفيات وذلك بالاستعانة

جدول (4) معدل الوفيات لبعض الدول العربية WHO 2015

الدولة	معدل الوفيات / 100 ألف نسمة
البحرين	8
الكويت	18.7
قطر	15.2
السعودية	27.4
الإمارات	10.9
مصر	12.8
تونس	24.4

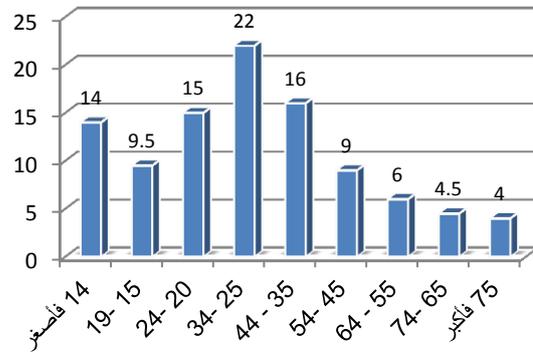
بالنسبة لمؤشر الخطورة فيمكن معرفة مدى خطورته إما بالمقارنة مع معدلاته بالنسبة للسنوات لنفس البيانات، أو بالمقارنة مع معدلات الخطورة لدول أخرى. فعلى مستوى البيانات نفسها نجد أن الاتجاه العام لمؤشر الخطورة هو الزيادة خلال الفترة من 2012 إلى 2018 ثم يأخذ بعدها بالتذبذب انخفاضاً وارتفاعاً خلال السنوات المتبقية، وبالمقارنة مع مؤشرات الخطورة لبعض الدول العربية كما بالجدول (5) نجد أن مؤشر الخطورة مرتفع للغاية إذا يعادل ضعف مؤشر الخطورة للعراق التي بها ظروف سياسية وأمنية مقاربة للبيبا ويعادل ثلاثة أضعاف تونس الدولة الجارة والمستقرة سياسياً وأمنياً.

جدول (5) مؤشرات الخطورة لبعض الدول العربية [20،19]

السنة	العراق	تونس	مصراتة
2016	0.29	0.2	0.63
2017	0.3	0.2	0.61
2018	0.28	0.2	0.52
2019	0.25	0.19	0.59
2020	0.26	0.2	0.6
المتوسط	0.28	0.20	0.59

د. عمر وجنس الوفيات

يُظهر تحليل بيانات الحوادث المتحصل عليها من قسم المرور بناءً على الفئات العمرية الواردة في الشكل (4) أن حوالي 53% من الوفيات تقع ضمن نطاق الفئة العمرية (20-44) عاماً، وكانت الفئة العمرية (25-34) أعلى نسبة من بين كل الفئات إذ كانت بواقع 22%، ومن الواضح أن الشباب هم الأكثر عرضة لحوادث المرور الأمر الذي يجعل من الحوادث مشكلة كارثية لأن معظم الوفيات تمثل القوى العاملة والفاعلة في المدينة. أما فيما يخص جنس الوفيات فنرى من الشكل (5) أن نسبة الوفيات من الذكور كانت 87.5% في حين أن نسبة وفيات الإناث كانت 12.5% أي إن نسبة موت الذكور أعلى من الإناث بمقدار سبعة أضعاف، على الصعيد العالمي، كانت نسبة موت الذكور تفوق نسبة موت الإناث بما يقرب من ثلاثة أضعاف بحسب تقرير منظمة الصحة العالمية.



شكل (4) التوزيع النسبي للوفيات حسب الفئات العمرية خلال فترة الدراسة

شكل (8) بنية الشبكة العصبية الممثلة لمعدل الوفيات

خوارزمية التدريب المستعملة كانت **Levenberg-Marquardt** خوارزمية **back propagation algorithm** تسمى عادة **trainlm** والتي تعتبر من أكثر الخوارزميات كفاءة وسرعة، ودوال التحويل للطبقة المخفية وطبقة الخرج هي **Tan-sigmoid** والتي لها كفاءة أعلى في حل المشاكل غير الخطية تم تدريب 70 % من البيانات في حين كانت 15 % من البيانات للتحقق و 15 % للاختبار بمعدل تعلم 0.01. أعطت نماذج الشبكة العصبية دقة عالية مقارنة بنماذج الانحدار التقليدي كما هو مبين بالشكلين (9) (10) حيث قيمة R^2 0.99 0.95 لكل من معدل الحوادث والوفيات على التوالي. كما تم استخدام متوسط الخطأ المطلق **The mean absolute error (MAE)** بين القيمة الحقيقية والقيمة المتنبأ بها والذي يعطى بالعلاقة التالية:

$$MAE = \frac{1}{N} \sum_i^n |p_i - q_i| \quad (4)$$

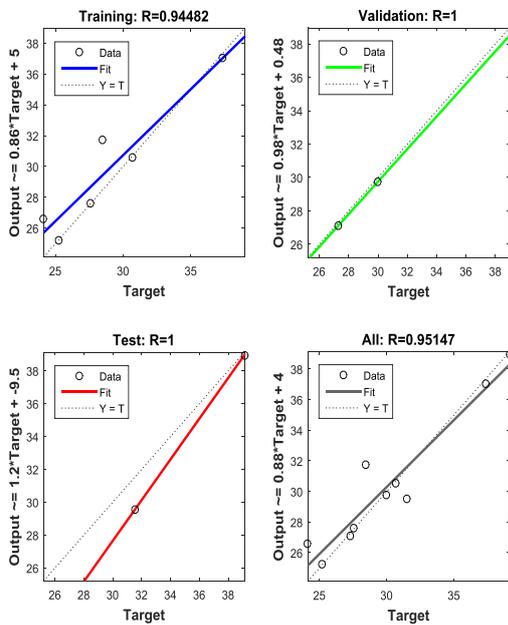
حيث:

N = عدد العينات

P_i = القيمة الحقيقية

q_i = القيمة المتنبأ بها

والجدول (7) يبين مقارنة الخطأ المطلق بين القيم الحقيقية والقيم المتنبأ بها من خلال الشبكة العصبية لكل من معدل الحوادث والوفيات.



شكل (9) نتائج التنبؤ بنموذج الشبكة العصبية (معدلات الحوادث)

برنامج **Matlab 2015** في هذه النمذجة مع استخدام معامل الارتباط **R** بين الدخل والخرج كمعيار أداء لاختبار صلاحية النموذج.

6. مناقشة النتائج

تمت محاولة بناء نماذج مختلفة لكل من عدد الحوادث والوفيات و قد فحصت العديد من النماذج والدوال كالنموذج الآسي واللوغاريتمي والخطي والجيبى وكثيرات الحدود، باستخدام برنامجي **Curve Expert** و **SPSS** كما استخدم في عملية المقارنة المعامل R^2 إذ هو المتوفرة في جميع برامج ملائمة المنحنيات، علاوة على ذلك يوفر برنامج **SPSS** اختبار **F-test** وقيمة **Sig (p-value)**. والجدول (6) يوضح أفضل نماذج تم الحصول عليها لمعدلات الحوادث والوفيات كدوال في مستوى امتلاك المركبة.

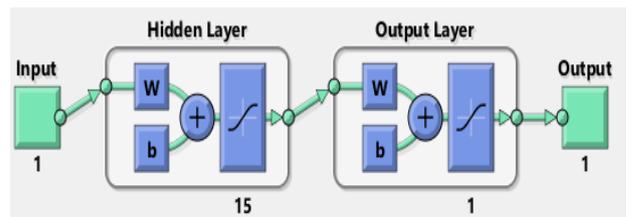
من خلال الجدول يمكن ملاحظة قيمة معامل التحديد R^2 (0.39) لنموذج من الدرجة الثانية لمعدل الحوادث وفي الواقع تعتبر هذه القيمة منخفضة، عوضاً عن ذلك تم فحص نموذج الدرجة الثالثة ووجد أن قيمة معامل التحديد تحسنت قليلاً لتصل إلى 0.45 ومع ذلك تعتبر القيمة منخفضة أيضاً ولا يمكن الاعتماد عليها في التنبؤ. علاوة على ذلك يمكن ملاحظة أن قيمة اختبار **F** منخفضة للغاية مع قيمة عالية لمستوى الدلالة أي إن $P\text{-value} > 0.05$ مما يجعل من كلا النموذجين التربيعي والتكعيبي ليسا ذا دلالة إحصائية بمعنى أنه لا يمكن الاعتماد عليهما في التنبؤ. وبشكل مشابه تقريباً ينسحب نفس الكلام على معدل الوفيات ل نجد أن أفضل قيمة لمعامل التحديد R^2 0.33 من بين كل النماذج وهي أيضاً قيمة منخفضة للغاية لا يمكن الاعتماد عليها في التنبؤ.

جدول (6) نماذج الانحدار التقليدي لمعدل الحوادث والوفيات

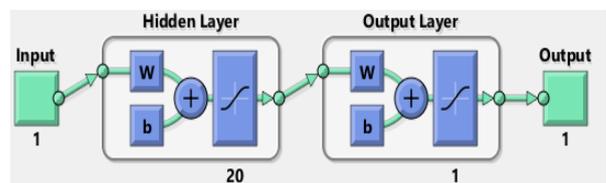
p-valu	F-test	R ²	معادلة النموذج
0.178	2.23	0.39	$AC/10,000V = 268.6 - 1.6707M - 0.0029M^2$
0.178	2.23	0.45	$AC/10,000V = 2302.5 - 24.33M + 0.0864M^2 - 0.0001M^3$
-	-	0.33	$D/10,000V = 3161029 - 34.68M + 0.127M^2 - 0.000153M^3$

نماذج الشبكة العصبية الاصطناعية *Artificial Neural Network*

تعتبر الشبكات العصبية أداة فعالة في حل المشاكل المعقدة وغير الخطية في مجال الهندسة المدنية، إن نموذج الشبكة العصبية المستخدم في هذه الورقة يهدف إلى الحصول على دقة أفضل من الدقة المتحصل عليها من نماذج الانحدار التقليدي. وقد تم استخدام برنامج **Matlab** لتكوين شبكتين، حيث تكونت الشبكة الأولى من طبقة دخل واحدة تمثل المتغير المستقل وهو مستوى امتلاك المركبة **M** وطبقة مخفية واحدة لها 15 عقدة (**neurons**) وطبقة إخراج واحدة بعقدة واحدة تمثل المتغير التابع وهو يمثل معدل الحوادث لكل 10 آلاف سيارة. في حين تكونت الشبكة الثانية من طبقة دخل واحدة تمثل مستوى امتلاك المركبة **M** وطبقة مخفية ب 20 عقدة وطبقة خرج واحدة بعقدة واحدة تمثل معدل الوفيات لكل 10 آلاف مركبة والشكل (7) و (8) يبينان بنية الشبكتين المستخدمتين.



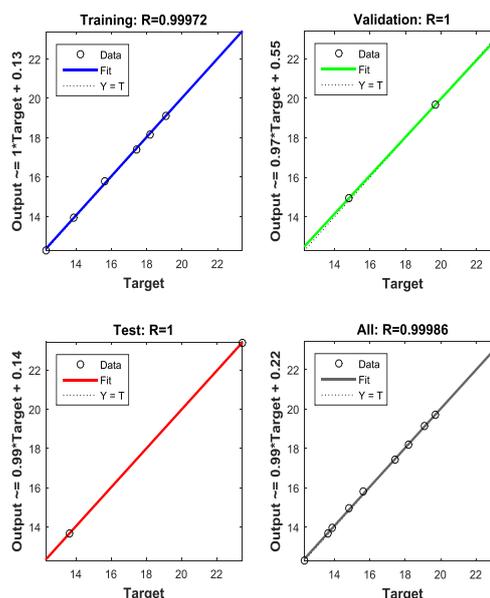
شكل (7) بنية الشبكة العصبية الممثلة لمعدل الحوادث



- مؤشر الخطورة لبيانات حوادث مصراتة مرتفع للغاية إذ كان بمتوسط 0.60 خلال فترة المقارنة مع متوسط مؤشرات الخطورة لدولتي تونس والعراق وهو يعادل ضعف مؤشر الخطورة للعراق التي بها ظروف سياسية وأمنية مقارنة لليبيا ويعادل ثلاثة أضعاف تونس الدولة الجارة والمستقرة سياسياً وأمنياً.
- بناءً على تحليل الفئات العمرية للوفيات، فإن حوالي 53% من الوفيات بسبب الحوادث تقع ضمن نطاق الفئة العمرية (20-44) عاماً وهو ما يشير إلى أن معظم الوفيات من القوة العاملة والفاعلة بالمدينة.
- نسبة الوفيات من الذكور كانت 87.5% في حين أن نسبة وفيات الإناث كانت 12.5% أي إن نسبة موت الذكور أعلى من الإناث بسبعة أضعاف.
- 35 بالمائة من الحوادث حدثت على الطريق الساحلي تليه الطرق الرئيسية بنسبة 29% في حين كانت الطرق الزراعية الأقل نسبة في عدد الحوادث وهو ما يمثل 15% من إجمالي الحوادث.
- أظهرت النماذج التي تم الحصول عليها باستخدام تقنية الشبكات العصبية الاصطناعية ANN قدرات فائقة في التنبؤ بمعدلات الحوادث والوفيات مقارنة بتلك النماذج التي تم الحصول عليها باستخدام الانحدار الإحصائي التقليدي.

المراجع

- [1] Khasawneh, M. A., Al-Omari, A. A., & Ganam, B. (2018). Forecasting traffic accidents in Jordan using regression techniques. *Jordan Journal of Civil Engineering*, 12(4).
- [2] Yan, M., & Shen, Y. (2022). Traffic Accident Severity Prediction Based on Random Forest. *Sustainability*, 14(3), 1729.
- [3] Chukwutoo C. Ihueze, U. O. (2018). Road traffic accidents prediction modelling: An analysis of Anambra State, Nigeria. *journal homepage: Accident Analysis & Prevention*, 112, pp.21-29
- [4] World Health Organization. (2015). Global status report on road safety 2015. World Health Organization.
- [5] R.J. Smeed, Variations in the pattern of accident rates in different countries and their causes, *Traffic Engineering & Control* 10 (7) (1968) 364–371.
- [6] Ponnaluri, R. V. (2012). Modeling road traffic fatalities in India: Smeed's law, time invariance and regional specificity. *IATSS research*, 36(1), 75-82.
- [7] Gharaybeh, F. (1994). "Application of Smeed's formula to assess development of traffic safety in Jordan". *Accident Analysis and Prevention Journal*, 26 (1), 113-120.
- [8] Islam, M. M., and Al Hadhrami, A. Y., 2012, Increased Motorization and Road Traffic Accidents in Oman, *Journal Emerging Trends in Economics and Management Sciences*, Vol.3, No.6, PP. 907.
- [9] Bashar, A. L., Ghuzlan, K., and Hasan, H., 2013, Traffic Accidents Trends and Characteristics in Jordan, *International Journal of Civil and Environmental Engineering*, Vol.13, PP. 9–16.
- [10] Wang, C. W., & Chan, C. L. (2016). Estimated trends and patterns of road traffic fatalities in China, 2002–2012. *Traffic injury prevention*, 17(2), 164-169.
- [11] Albayati, A. H., & Lateif, R. H. (2018). Statistical analysis of mortality and morbidity due to traffic accidents in Iraq. *Journal of Engineering*, 24(1), 20-40.
- [12] Shaik, M. E., Islam, M. M., & Hossain, Q. S. (2021). A review on neural network techniques for the prediction of road traffic accident severity. *Asian Transport Studies*, 7, 100040.
- [13] Umaphathi, M., & Geetha, K. (2018). Forecast of road traffic accidents in Jordan utilizing artificial neural network (ANN)
- [14] Alqatawna, A., Álvarez, A. M. R., & García-Moreno, S. S. C. (2021). Comparison of multivariate regression models and artificial neural networks for prediction highway traffic accidents in Spain: a case study. *Transportation research procedia*, 58, 277-284.
- [15] <https://help.xlstat.com/6653-mann-kendall-trend-test-excel-tutorial>
- [16] Al-Ghamdi, A. S. (1970). Road accidents in Saudi Arabia: a comparative and analytical study. *WIT Transactions on the Built Environment*, 26.



شكل (10) نتائج التنبؤ بنموذج الشبكة العصبية (معدل الوفيات)

جدول (7) القيم الحقيقية والمتنبأ بها ومتوسط الخطأ لمعدلات الحوادث والوفيات

AC / 10,000V			D / 10,000V		
القيمة الحقيقية لمعدل الحوادث	القيمة المتنبأ بها باستخدام ANN	الخطأ المطلق absolute error	القيمة الحقيقية لمعدل الوفيات	القيمة المتنبأ بها باستخدام ANN	الخطأ المطلق absolute error e
39.11	38.95	0.16	19.69	19.69	0
27.28	27.10	0.18	13.85	13.95	0.1
24.13	26.61	2.48	13.63	13.66	0.03
28.44	31.72	3.28	18.17	18.18	0.01
27.57	27.58	0.01	17.41	17.41	0
37.34	37.03	0.31	23.43	23.38	0.05
31.52	29.53	1.99	19.1	19.13	0.03
29.99	29.74	0.25	15.64	15.79	0.15
25.21	25.21	0.00	14.83	14.96	0.13
30.67	30.56	0.11	12.28	12.28	0
متوسط الخطأ	MAE	0.88	متوسط الخطأ	MAE	0.05

7. الخلاصة

- بناءً على نتائج التحليلات الإحصائية لبيانات الحوادث خلال فترة الدراسة 2012-2021، يمكن استخلاص الاستنتاجات البارزة التالية:
- العدد الكلي للحوادث خلال فترة الدراسة 3344 بمتوسط سنوي قدره 334 حادث.
- فقد 1867 شخصاً حياتهم، بالإضافة إلى 2109 شخصاً أصيبوا بسبب الحوادث على الطرق خلال فترة الدراسة.
- سجلت مدينة مصراتة خلال الفترة 2012 – 2021 متوسط معدل وفيات عالية جداً حيث كانت بواقع 16.8 لكل عشرة آلاف مركبة و47.6 لكل مائة ألف نسمة من السكان.
- بالمقارنة مع دول الجوار نجد أن معدلات الوفيات لكل 100 ألف نسمة بمدينة مصراتة مرتفعة للغاية إلى درجة أنه لا يوجد مؤشر قريب منه وهذا يحتم على الجهات المعنية وضع حلول استراتيجية للتخفيف من حجم المأساة.

[17] George, Y., Athanasios, T., & George, P. (2017). Investigation of road accident severity per vehicle type. Transportation research procedia, 25, 2076-2083.

[18] National Safety Council, Injury Facts, <https://injuryfacts.nsc.org/>

[19] جمهورية العراق، و وزارة التخطيط، الجهاز المركزي للإحصاء ، التقرير السنوي لإحصاء النقل والاتصالات، إحصاء حوادث المرور المسجلة لسنة 2020.

[20] المرصد الوطني التونسي لسلامة المرور، إحصائيات حوادث المرور <https://onsr.nat.tn/onsr/index.php?page=4ar&ty=cause&an=2022>