محاكاة مرور المركبات باستخدام أسلوب النمذجة بناءً على العميل

رضوان علي بلقاسم حسين

كلية تقنية المعلومات-جامعة طرابلس

تاريخ الاستلام 2023/08/21 r.husain@uot.edu.ly

الملخص:

المدن الرئيسية التي تتركز فيها الخدمات، والوظائف، والأعمال التجارية، ينزح لها الناس بحثاً على فرص العمل والمأوى. النزوح إلى هذه المدن يؤدي إلى زيادة في السكان. تؤدي هذه الزيادة إلى ارتفاع أعداد المشاركين في حركة المرور وبالتالي تشكل تحدياً لنظام النقل الحضري. تصميم المدينة، وقدرات الطرق يقيّدان حركة المرور الحضرية. تجدد التغيرات في عدد وديموغرافية السكان تتسبب في تباين سلوك القيادة في عواصم النزوح، كما تتسبب في تفاقم التحديات التي تواجه مستقبل النقل في تلك المدن. بناء نماذج ذكية تحاكي حاضر نظام المرور سيساعد في فهم آثار التوسع الجاري، وتيسر توقع التحديثات في نظام النقل، ويساعد على التغلب على تلكم التحديات. وفقاً لقواعد ومتغيرات محددة مسبقاً يمكن تمثيل سلوك سائق المركبة في منطقة محددة بواسطة نمذجة قائمة على العميل Agent Based Modeling. النمذجة القائمة على العميل تستخدم سيناريوهات سلوك المرور المستقبلي لقدرتها على التكيف بسهولة مع قيود جديدة في الإطار العام للنموذج. في هذا البحث اعتبرت منطقة طرابلس الحضرية كدراسة حالة، ويتم استخدام بيئة

NetLogo كبرنامج لبناء النموذج. بعد إعداد النموذج، يتم تقييم سيناريوهات مختلفة لتغيير نظام النقل الحضري عند ربط المناطق السكنية أو الصناعية الجديدة أو المناطق المعاد تأهيلها بالنظام النقلي.

كلمات مفتاحية:

النمذجة بالعميل، محاكاة، حركة المرور، ABM.

1. مقدمة

المناطق الحضرية تتزايد بسبب الزيادة المستمرة في عدد السكان نتيجة لعملية التحضر. وتتبع هذه العملية زيادة في الطلب على التنقل في المدن (Wegener، 2013). بالإضافة إلى ذلك، تغير التكوين السكاني وحركة النقل اليومي والاتجاه نحو المدن الكبيرة يؤثران على متطلبات التنقل الحضري. يعتبر تحليل نظام التنقل الحضري من منظور واحد فقط غير كافٍ بسبب الطابع المتعدد التخصصات للتنقل. وبالتالي، من وجهة نظر نظرية، يجب النظر على الأقل إلى أربعة جوانب مختلفة لإجراء دراسة شاملة لنظام التنقل الحضري: الديموغرافيا، ونظام النقل، والهيكل الحضري، وسلوك السفر. السمات الأساسية للسكان من وجهة نظر ديموغرافية هي توزيع الأعمار وعمليات النمو أو الانكماش ونسبة السكان العاملين وتطوير المناطق السكنية من حيث مستويات الأسعار والموقع. نظراً للتدفق المستمر للأشخاص الذين ينتقلون إلى المناطق الحضرية أو يغادرونها، تتذبذب هذه السمات. ومع ذلك، يقوم المقيمون الجدد بتغيير الروتينات التنقلية الحالية في جميع أنحاء منطقة البحث، خاصة في المناطق الحضرية. تعد المعلومات حول المنطقة الحضرية وتطوير

السكن ضرورية لإجراء تحليل شامل للمتغيرات الهيكلية الديموغرافية التي تصف السكان (Gaube و Remesch، 2013).

حدود نظام التنقل الحضري هي النقل ذاته أو قيود شبكة النقل. يكون النقل محدوداً في قدراته وهيكله لأنه يستخدم بواسطة عدد مختلف من مجموعات المستخدمين، حيث لكل مجموعة منها احتياجاتها الخاصة (السائقون الاعتياديون، سياح، راكبي الدراجات، وغيره من المركبات). تؤثر شبكة النقل بطرق مختلفة على حركة المرور نفسها، مثل تحسين الوصول إلى المحطات، زيادة تردد وسائط النقل، زيادة مسارات النقل وتقليل أوقات الوصول والمغادرة (Legara et al.، 2014). تتكون مراكز تجمع المرور والتقاطعات، على سبيل المثال، من طبيعة المنطقة الحضرية. وبالتالي، تحدد الهياكل الحضرية القيود على تطوير ومراقبة التنقل. تتحول المناطق الحضرية، وعلى وجه الخصوص، بشكل مستمر نتيجة زيادة السكان في معظم الحالات. ومع ذلك، لا يوجد حلاً للتنقل يكون صالحاً عموماً للمنطقة الحضرية بأكملها بسبب تشكيل السكان المتنوع. تم تحديد الكثافة والتعبئة العمرانية والتنوع في الاستخدام كقوى دافعة للهياكل الحضرية (Batty، 2012). بالإضافة إلى ذلك، يرتبط الهيكل الحضري بمسافات السفر (Holz-Rau et al.، 2014) وسلوك السفر (Næss، 2011). سلوك السفر البشري يتأثر بشكل قوي بالعوامل النفسية. معاملات مثل السعر أو توفر وسائل النقل لا توفر وصفاً كافياً لسلوك السفر. الراحة أو الوعي البيئي، على سبيل المثال، تعتبر ذات أهمية في اختيار وسيلة السفر. وباختصار، يمكن القول أن سلوك السفر يجمع بين القرارات الذاتية والموضوعية. وبالتالي، إدراج سلوك السفر في تحليل شامل يشمل الديموغرافيا

والنقل والهياكل الحضرية (والتي تعتمد فقط على حقائق صلبة) يتطلب اتخاذ قرارات دقيقة في اختيار أساليب قياس كفاءة النظام (Anable، 2005).

تركز هذه الدراسة على محاكاة تغير نظام التنقل الحضري بسبب نمو السكان وبالتالي زيادة عدد المشاركين في حركة المرور. تختلف النتائج المترتبة على نظام التنقل الحضري بشكل كبير اعتماداً على وسائل النقل المستخدمة (على سبيل المثال، يتطلب شخص يستخدم سيارته الخاصة مساحة أكبر من شخص يستخدم وسائل النقل العامة). أيضاً، موقع محطات العمل في المنطقة الحضرية أو الأنشطة الأخرى تؤثر على تدفق حركة المرور. تشمل وسائل النقل المستخدمة في هذه الدراسة السيارات العادية فقط ولا تشمل وسائل النقل العام. في البداية، يتم تقديم المواد والأساليب المقصودة، تليها النتائج الأولية المتعلقة بالسؤال البحثي ومنطقة البحث. وأخيراً، يتم إجراء مناقشة للمنهجية المقدمة مع النظر في محاولات بحث بديلة ممكنة وإضافات محتملة لنموذج مبرمج في بيئة NetLogo، بالإضافة إلى الآثار الأولية المحتملة للنموذج على عينة شبكة طرق في مدينة طرابلس بليبيا.

2. تطبيقات سابقة لنمذجة العميل في المواصلات

تم تطوير نماذج لمحاكاة نظام المواصلات باستخدام نماذج لحساب شغر المركبات لمنطقة تواجدها، ونمذجة تنقلاتها (Dotoli و Fanti، 2006). سنة 2010 استخدم Badamchizadeh و Joroughi شبكة بتوزيع افتراضي عشوائي ومحدد (SDPN) لنمذجة خصائص سلوك المرور، مثل قياس متوسط وقت انتظار للمركبات في تقاطعات الطرق. يُستخدم SDPN أيضاً لتحليل أداء شبكة المرور. في هذا العمل، يفترض وقت وصول المركبة إلى التقاطعات أنه عشوائي، ويمكن للنموذج

تقدير طول قائمة الانتظار للمركبات في التقاطعات. يتم استخدام نمذجة العملاء في بحوث النقل والمواصلات لإعادة إنتاج صنع القرار البشري وسلوك السفر بكفاءة لأغراض البحث المحددة (Bazzan and Klügl 2014). تم بناء نموذج لإخلاء طوارئ لفحص فعالية استراتيجية الإخلاء باستخدام NetLogo كأداة نمذجة بالعميل ABM. تم إضافة طبقات جغرافية مثل محطات الطوارئ، والطرق، والمباني، والملاجئ من نظام معلومات جغرافية (GIS) وتم تعديلها إلى البقع (Patches) المكونة لبيئة عالم المحاكاة (Hwang و Heo، 2021). في سنة 2023 قام كل من Cristian وStefoni بتطوير ثلاثة نماذج لدمج ردود فعل محددة غير مرتبطة بمحاكاة حركة مرور سيارات الطوارئ والمتعلقة بتغيير المسارات وتسلق الرصيف والاقتراب من تقاطع الطرق، بالإضافة إلى خوارزميتين لتشغيل إشارات المرور في التقاطعات. تم ترميز هذه النماذج والخوارزميات في برنامج محاكاة المرور NetLogo للتغلب على قيود البرامج، ولمحاكاة ظروف حركة المرور المضطربة وسلوك سائقي المركبات غير الطارئة وغير المعتادة المرئية في وجود مركبات الطوارئ. استخدمت نمذجة العميل مع NetLogo لبناء نموذج يوفر ديناميكية حركة المركبات بشكل فردي على نطاق جغرافي معين. كل مركبة تحتوي على معرف فريد لها، وسرعة، ومسافة متبقية للوصول، وهدف محدد لتصل إليه، ومسارها المحدد. يمكن استعمال ملفات الشكل القياسية لأنظمة المعلومات الجغرافية (GIS) لأظهار أن هذا نموذج العملاء يمكنه محاكاة بنجاح ديناميكية مئات الآلاف من المركبات التي تتحرك على نظام الطرق السريعة نحو أهداف آمنة محددة مسبقاً مثل المرافق الطبية أو نقاط الخروج أو الملاجئ المعينة (Qabaja et al., 2023).

3. منهجية العمل

لإجراء دراسة حول نظام التنقل الحضري في هيكله الديناميكي الكامل، يتعين أن يجمع المنهج البحثي بين جميع الآراء المذكورة أعلاه بطريقة معينة. ولذلك، تُستخدم نمذجة العميل كأسلوب بحث في هذه الدراسة. أحد التعريفات للنمذجة بالعميل تعتبر النموذج المبني على العميل الذي يتم تنفيذه عادةً في البر مجيات يتكون على شكل كائنات. تحتوي كائنات العملاء على حالات وقواعد سلوك كائنات نظام المحاكاة. وتتمثل بساطة تشغيل مثل هذا النموذج في إنشاء مجموعة عملاء فردية، والسماح للعملاء بالتفاعل، ومن ثم مراقبة ما يحدث (Axtell، 2000). بدلاً من استخدام تدفقات المرور لتمثيل التنقل، كما يفعل برامج نمذجة المرور مثل VISUM، تمثل نمذجة العميل كل مشارك في حركة المرور كعيمل مستقل وتستخدم جدول زمني محدد للأنشطة المعينة لكل عميل.

يهدف هذا البحث إلى اختيار نمذجة العيمل كمنهجية بحثية تؤدي إلى المساهمة الفعالة في صنع القرار البشري. النمذجة بالعملاء تهدف إلى تحديد التوازن بين تكلفة المشغل، جودة الخدمة للمستفيدين، ودعم التأثير البيئي، مع الأخذ في الاعتبار عوامل التصميم مثل الكثافة المكانية لنقاط التوزيع المركزية. يوجد مجموعة متنوعة من حزم البرامج المتاحة للنمذجة المبنية على العميل في البحوث المتعلقة بالنقل والمرور (Bazzan وKlügl، 2014). بالنظر لوظائف كل حزمة برامج متاحة، تم اختيار NetLogo (Wilensky, 1999) كبرنامج لهذه الدراسة. يعمل برنامج NetLogo أساساً على بناء هيكل عملية النمذجة حسب مراحل لإنشاء السيناريوهات. هذه المراحل تتمثل في نمذجة الكائن الفردي الأولي (وهو العميل Agent)، والتحليل الإحصائي

لنشاطات النموذج. يقوم العملاء بتنفيذ خطة أنشطتهم التفاعلية على بيانات شبكة طرق متكاملة، مع اعتبار الوقت كمتغير معتمد. بفضل هيكله البرمجي المعياري، يمكن السماح للعملاء برحلات متعددة، بالإضافة إلى إدراج أوقات الانتظار وعمليات الوصول والمغادرة. علاوة على ذلك، تتطلب وسائل النقل المختلفة توبولوجيا شبكة الطرق بناءً على تصميمها وسرعتها المتوسطة وقدرتها. يمثل العملاء هنا الآلية المتحركة على الطرقات، وأيضاً الطريق التي يعبر عليها المركبات تمثل بعميل خاص بها له حالاته وقواعده الخاصة به. ميزة كبيرة في استخدام نماذج المبنية على العملاء هي أن كل عميل مبرمج لأداء سلسلة من المهام دون ضرورة أن يكون على علم بحالة العملاء الأخرين في النظام، وبالتالي يمكننا دراسة ظهور أي سلوك جماعي، وفي بعض الأحيان يكون له نتائج غير متوقعة.

4. بناء نموذج محاكاة حركة المرور

العوامل الرئيسية المدخلة لنموذج محاكاة حركة المرور تتمثل في الميزات الهندسية المكانية لمنطقة الدراسة، وتوصيف العنصر الفعال في حركة المرور (العملاء)، ومدة المحاكاة. تُستخدم منهجية النمذجة بالعميل ABM لدعم فهم كيفية التخطيط الحضري للمرور عن طريق اعتبار الحلول الفعالة من منظور الاستدامة ورضا أصحاب المصلحة (Calabrò, 2022). ستركز خطوات البحث على إجراء اختبارات وجعلها أكثر واقعية من خلال نمذجة الحل المقترح على طرقات واقعية في مدينة طرابلس.

1.4. العميل

ليس هناك اتفاق على تعريف مصطلح "عميل" نظراً لتنوع التطبيقات والبيئات، مما يجعل من الصعب استخلاص ميزات متسقة وموجزة. ومع ذلك، الجوهر هو أن العميل يعتبر الوحدة الأساسية في النموذج المبني على العملاء، يمكن أن يكون العميل تمثيلًا لأي نوع من الكيانات المستقلة، يعمل بشكل مستقل داخل بيئة محددة في سبيل تحقيق أجندته أو أهدافه، ويتفاعل بنشاط مع عملاء آخرين إذا لزم الأمر (Chen و Rakha، 2016). العميل النموذجي في النموذج المبني على العملاء يتمتع بالميزات التالية: (أ) الاستقلالية: العمل بدون تدخل خارجي مباشر؛ (ب) الاجتماعية: التعاون مع البيئة وعملاء آخرين لتحقيق مهمته؛ (ج) الاستجابة/التحسس: الإدراك للتأثيرات الخارجية والاستجابة للتغييرات؛ (د) الاستباقية: عرض سلوك ذاتي موجه نحو الأهداف. (هـ) التكيف/التعلم: تعلم المعرفة من الخبرة والبيئة وضبط نفسه لبيئة وأهداف المحاكاة (Bonabeau، 2002) و (Heppenstall et al.، 2016).

1.1.4.عميل المركبة

عميل المركبة لديه خصائص (سمات) تبين حالة الكائن الذي يحاكيه وهو الكتلة الأساسية في بناء النموذج. سمات العميل تبين حالات العميل الداخلية بالإضافة إلى قواعد تفاعل العميل مع عالم النموذج. تُعيّن قيم مختلفة لهذه السمات اعتماداً على نوع العميل. سمات عميل المركبة تشمل المعرف الفريد، سرعة المركبة، المسافة المتبقية لإكمال المسار، نقطة الوصول، الموقع الحالي، اتجاه السير، ومستوى قيادة السائق وهو عامل يحدد مدى التزام السائق بقواعد المرور. بافتراض الوضع المثالي لحركة عميل المركبة في ظروف قيادة خالية من الازدحام أو توقف حركة المرور، فإن

الفترة الزمنية القصوى CT التي تستغرقها المركبة لاكمال مسارها يمكن وصفها بالمعادلة الرياضية رقم (1) (Calabròa، 2022)، حيث L تعبر عن طول المسار و d_s هي المسافة بين نقطتي توقف.

$$CT_{max} = \frac{2(L-(d_s/2))}{v} + \left(\frac{2L}{d_s} - 1\right).\tau_s \quad (1)$$

معادلة حساب الفترة الزمنية المستغرقة لعميل المركبة تجمع بين حدين لمركبين، الحد الأول يمثل نسبة بين طول المسار الكامل وسرعة v للمركبة السائرة على المسار، والحد الثاني يقدر وقت الانتظار عند أي موقف τ_s، بما في ذلك وقت التسارع ووقت كبح المركبة.

2.1.4.عميل الطريق

كل طريق ممثلة كعميل في هذا النموذج ولديها سمات تصف حالتها، وهذه الخصاص تتضمن نوع الطريق، اتجاه حركة السير، كما أن إحداثيات مسار الطريق تكون في طبقة جغرافية مضافة. عميل الطريق يتجسد على هيئة مايسمى ببقع العالم World Patches لترسم مسارات الطرق على طبقة مخصصة كأرضية عالم تفاعل العملاء.

2.4. قواعد تفاعل العميل

عملاء نظام المحاكاة يتفاعلون مع بيئة العالم حسب قواعد معينة تحكم طريقة تحركهم، وتغير قيم سماتهم. حسب قيم متغيرات البيئة يقرر أي عميل تصرفاته بشكل فردي، وهذه التصرفات الفردية تشكل سلوك عام يعبر عن النظام الذي بني له النموذج ليحاكيه.

1.2.4. تسارع وكبح المركبة

تعبر سرعة المركبة عن المسافة التي يجب أن تقطعها السيارة في الإطار الزمني التالي. تشكل هذه المسافة مقدارالتسارع وهو الذي يتم تحديده بواسطة السرعة القصوى للمركبة، والتسارع الذي يعتمد على سلوك السائق في القيادة. سرعة المركبة لن تتجاوز الحد الأقصى للسرعة. وهذا يعني أن السيارة ستتسارع بالقدر المسموح به حتى تصادف سيارة أمامها أو حتى تصل إلى الحد الأقصى للسرعة. يوجد حالات التي تكون فيها السيارة في وضع تستقر فيه السرعة، أو يتطلب تقليل السرعة، أو تغيير موقع السيارة، فيجب على العميل أن يقرر ما إذا كان سيقلل السرعة أو سيغير المسار.

كبح سرعة المركبة يتحقق بتقليل تسارع السيارة. يسمح الكبح للسيارة بالتوقف قبل الاصطدام، ويتم ذلك عن طريق معرفة المسافة بين السيارتين ثم التباطؤ الذي يتم تحديده بواسطة حساب مقدرا انخفاض التسارع. باستخدام المعلومات بين مركبة العميل المتفاعل والعميل الأمامي، سيُعرف ما إذا كانت المسافة بين السيارتين كافية لعملية الفرملة أم لا . قرار تغيير المسار سيكون من اختصاص العميل إذا كانت عملية الفرملة ستتسبب في حدوث اصطدام أو إذا كان العميل يميل إلى تغيير المسار من البداية. معادلة حساب تسارع عميل المركبة يحسب من خلال المعادلة (2) (Bokare و Maurya، 2017).

$$a_{n+1} = \frac{v_{n+1} - v_n}{t_{n+1} - t_n},\ d_{n+1} = \frac{v_n - v_{n+1}}{t_{n+1} - t_n} \quad (2)$$

في المعادلة (2)، فإن a_{n+1} متغير تسارع المركبة في الخطوة التالية، و d_{n+1} هي متغير كبح السرعة في الخطوة التالية، و v_n تعبر عن سرعة المركبة في الزمن t_n عند الخطوة n، و v_{n+1} تعبر عن سرعة المركبة في الزمن t_{n+1} عند الخطوة التالية $n+1$.

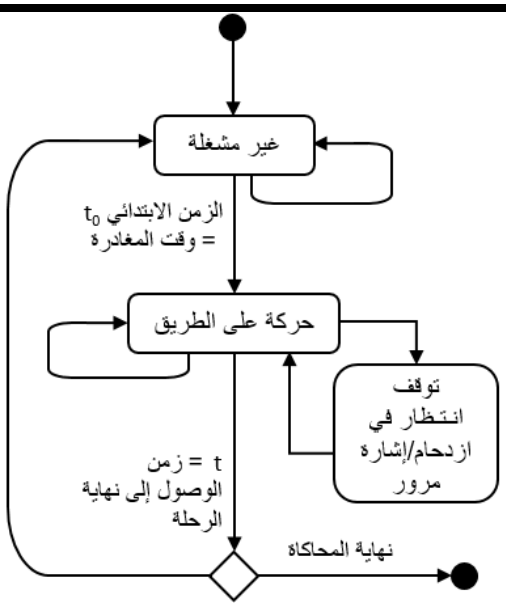
2.2.4. تغيير المسار

تتم عملية تغيير مسار المركبة عندما يجد عميل السائق حافزاً للتغيير، وعندما يكون تغيير المسار آمناً . الحافز هو أن حالة السيارة في المسار الجديد ستكون أفضل من حالة السيارة في المسار الحالي. بعبارة أخرى، يجب أن تكون المسافة إلى السيارة التالية في المسار الجديد أكبر من المسافة إلى السيارة التالية في المسار الحالي. ثم يأتي شرط السلامة الذي ينص على أن هذا الحركة يجب أن تكون آمنة وأن هناك مساحة كافية لإجراء تغيير المسار. سرعة السيارة القادمة من الخلف في المسار الجديد لن تسمح لها بالوصول إلى نفس الموضع الذي ستكون فيه السيارة التي تغير المسار، مع مراعاة سرعة السيارة التي تغير المسار. وهذا سيجنب وقوع اصطدام عندما تغير السيارة مسارها .

المسافة بين مركبتين h يمكن تقديرها باستخدام المعادلة رقم (3)، حيث τ_t تعبر عن الحد الأدنى لوقت الانتظار، والعامل n_v يعبر عن عدد المركبات (Calabròa, 2022).

$$h = \frac{CT_{max} + \tau_t}{n_v} \quad (3)$$

أثناء عملية المحاكات، تتغير حالة عميل المركبة من خلال تغير قيم عوامل وصف العميل، كالسرعة، والاتجاه. الحالات التي يمر بها العميل يمكن وصفها في المخطط الموضح في الشكل (1).

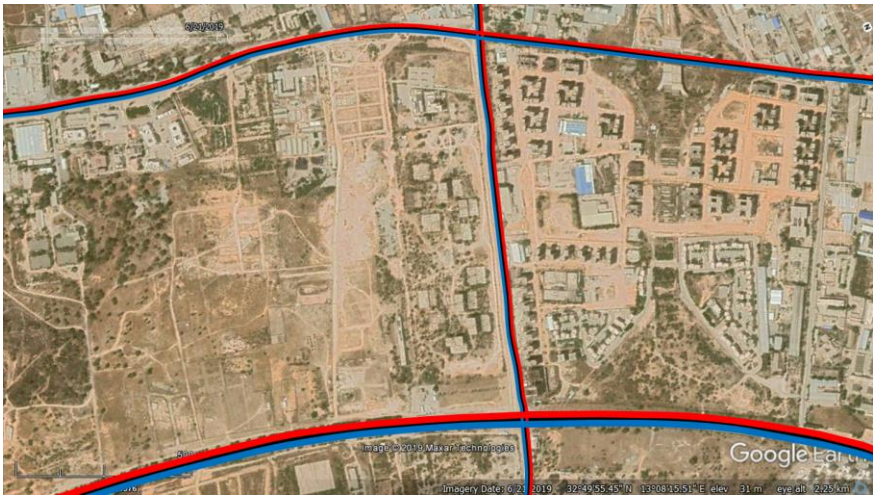


شكل (1): مخطط حالات عميل المركبة

5. التطبيق العملي

خلال عملية تنفيذ نظام محاكاة مرور السيارات، حركة عملاء المركبات تصور على عينة من نظام الطرق السريعة في مدينة طرابلس. النظام يكوِّن كائنات عالم نظام المحاكاة على صورة فضائية لطريق مطار طرابلس الدولي وترابطها عبر إشارة المرور مع طريق السواني، كما هو موضح في الشكل (2). الطرق الرئيسية التي تسير عليها المركبات مكونة في طبقة جغرافية مرسومة بإحداثيات مطابقة لطرق الصورة الفضائية. الشكل رقم (3) يعرض طبقة الطرقة مدمجة على طرق الصورة الفضائية حيث لون الطريق يميز اتجاها عن الطريق المجاورة لها.

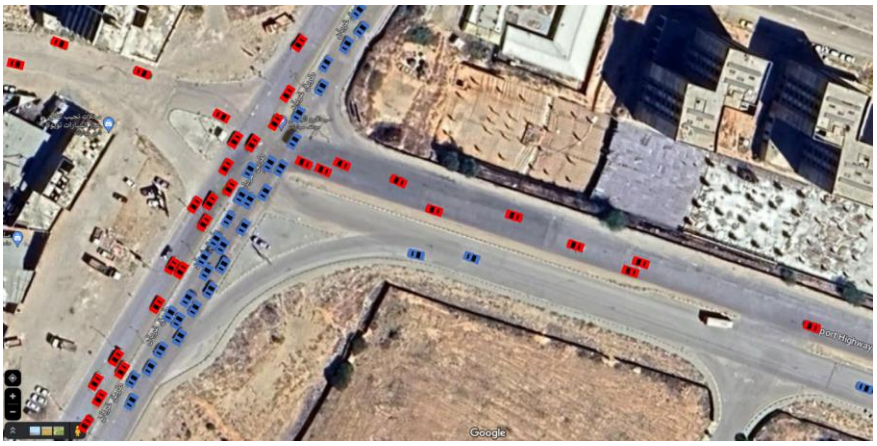
شكل (2): صورة فضائية لطرق منطقة الإشارة الضوئية بطريق مطار طرابلس الدولي



شكل (3): إضافة طبقة جغرافية لخارطة الطرق على الصورة الفضائية

تم توزيع عينة عشوائية تتألف من 10,000 عميل تمثل المركبات التي تسير على الطرق باتجاهات مختلفة. تمثيل كل مركبة كان على هيئة مستطيل ملون حسب اتجاه الطريق الي يعبرها، ولكل مركبة أحداثي خاص بها يتغير بتغير موقعها على الطريق. الشكل (4) يرسم كائنات المركبات

عند تقاطع إشارة المرور. يظهر الشكل رقم (4) تحرك المركبات على طول نظام الطرق بعد كمحاكاة لحالة ابتدائية واقعية يمكن للنظام تمثيلها من خلال تحديد موقع ابتدائي محدد لأي مركبة من مركبات العالم، وهذا إضافة إلى ميزة التوزيع العشوائي لمواقع عملاء المركبات على الطرق.



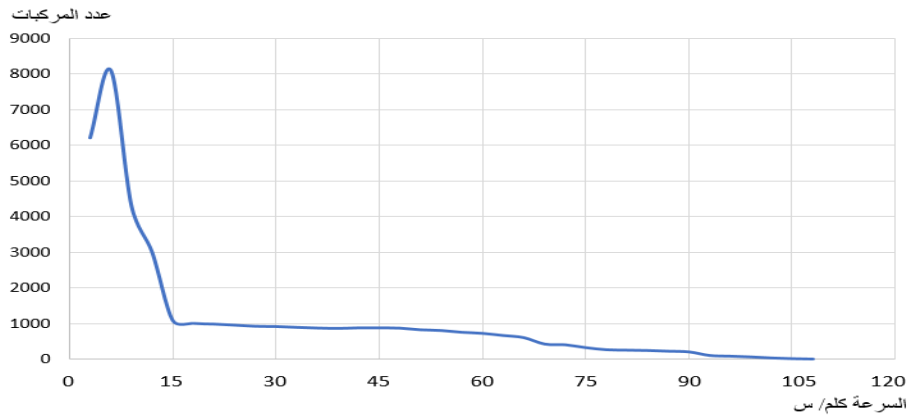
شكل (4): حركة عملاء المركبات على الطريق بناءً على طبقة خارطة الطرق

6. دراسة النتائج

هذا الجزء من الدراسة يقدم نمذجة التسارع لمختلف المركبات المارة على الطرقات. النماذج الحالية للتسارع يتم تقييمها للتحقق من ملائمتها لمجموعة البيانات المقدمة، ثم من بعد ذلك يتم اقتراح نماذج جديدة. لنمذجة السلوك المتوسط للمركبات، يتم حساب متوسط التسارع والسرعة على معدل فاصل زمني موحد بقيمة 1 م/ث (Wang et al.، 2004)، وبناءً عليه يتم تقديم

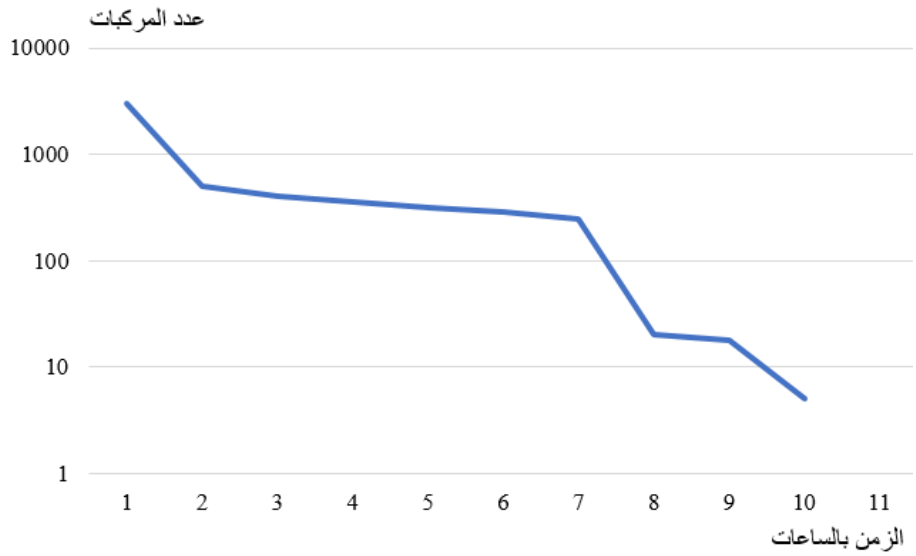
المخطط المثالي المتمثل بالتسارع والسرعة لجميع أنواع المركبات كما هو موضح في الأشكال التالية.

بداية من تشغيل النظام، يبدأ عملاء المركبات بالقيادة نحو أهدافهم. تعتمد سرعات القيادة الفردية على الطرق غير المزدحمة على الحد الأقصى للسرعة المسموح بها على مسار كل طريق. تتراوح معدلات السرعة بين 80٪ و 120٪ من الحد الأقصى للسرعة. يتم حساب السرعة العامة المتوسطة لكل عميل بناءً على المسافة وزمن السفر إلى الهدف، حيث يشمل زمن السفر لفترات الانتظار وفترات الازدحام. يُظهر الشكل (5) توزيع السرعات العامة المتوسطة للمركبات. معظم المركبات لديهم سرعة عامة متوسطة أقل من 15 كيلومتر في الساعة. وبالتالي، يواجه معظم عملاء المركبات ازدحاماً كبيراً أثناء الانتقال إلى أهدافهم. الزمن المستغرق لقطع مسافة السفر من نقطة البداية إلى الأهداف المحددة موضحة في الشكل (6). من المتوقع أن يكون لدى المركبات بأسلوب قيادة هادئ أطول مسافة سفر، بخلاف عملاء مركبات لديه أسلوب قيادة متهور. تبلغ المسافة المتوسطة للسفر20 كلم، انظر للشكل رقم (7).

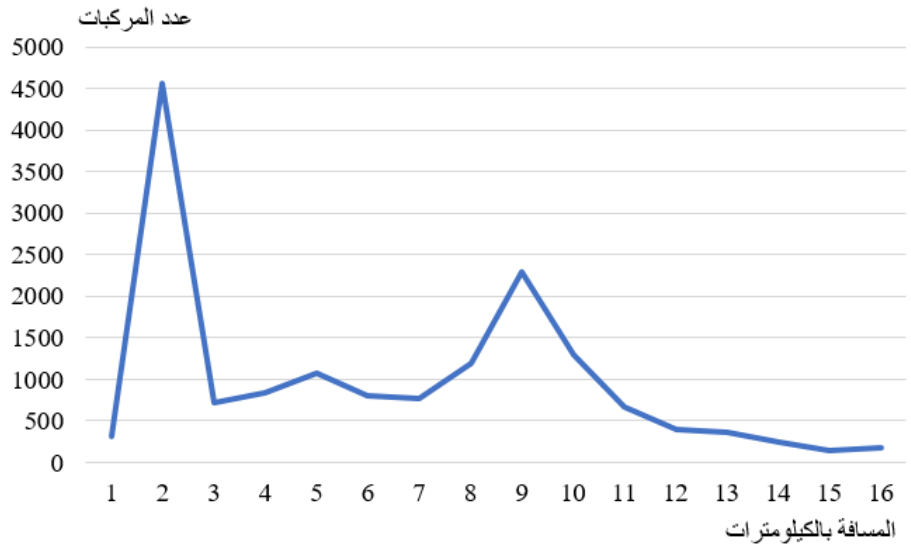


شكل (5): متوسط سرعات عملاء المركبات على طرق المرور

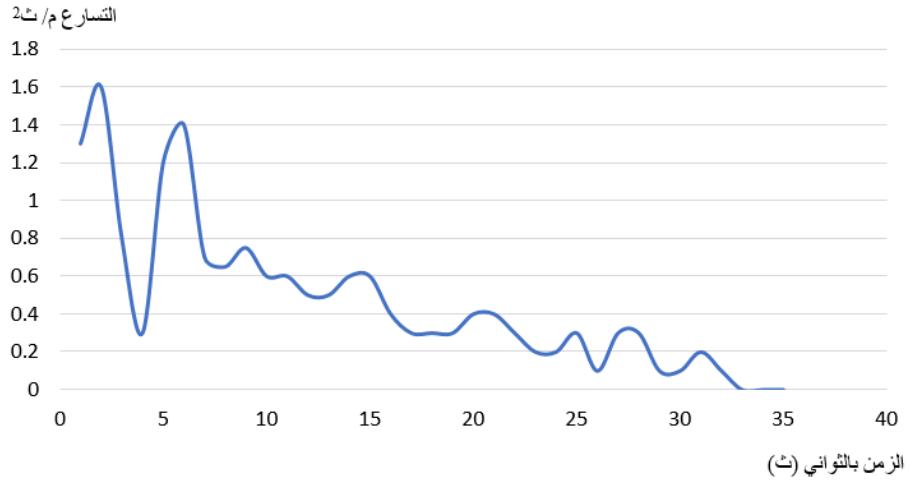
نظام المحاكاة المقدم في هذه الورقة يرسم متوسط تغيرات التسارع لجميع المركبات عند نقطة الإشارة الضوئية باعتبارها نقطة عبور، الشكل (8). من الشكل يمكن ملاحظة أن متوسط التسارع يختلف مع مرور الزمن. وهذا يُظهر أن التسارع له علاقة قوية مع السرعة في جميع أنواع المركبات. فعند نمذجة تسارع المركبات، يُفضّل استخدام السرعة عوضاً عن المسافة كمتغير مستقل كما هو موضع في المعادلة (2)، نظراً لأن السرعة توفر ملاءمة أفضل من المسافة، حيث أن المسافة تعتبر قياس تراكمي، وتتراكم الأخطاء وتتضخم مع مرور الوقت مما يؤدي إلى أخطاء غير واقعية. يمكن ملاحظة ذلك أيضاً من الشكل رقم (7) في بداية ممارسة محاكاة النموذج حيث تكون أعداد المركبات مرتفعة وهي التي تقطع مسافة بسيطة مصاحبة لتسارعات عالية في الشكل (8)، وعلى العكس تكون التسارعات المنخفضة مصاحبة لمسافات كبيرة في نهاية المحاكاة، مما يُشير إلى وجود علاقة قوية بين التسارع والسرعة.



شكل (6): الفترة الزمنية التي قطعتها المركبات لإتمام رحلاتها



شكل (7): المسافات التي قطعتها المركبات لإتمام رحلاتها



شكل (8): تغير متوسط تسارع المركبات

7. الخلاصة

استخدمت نمذجة العميل مع بيئة NetLogo لبناء نموذج يوفر ديناميكية حركة المركبات بشكل فردي على نطاق جغرافي معين. كل مركبة تحتوي على معرف فريد لها، وسرعة، ومسافة متبقية للوصول، وهدف محدد لتصل إليه. تم استعمال ملفات الشكل القياسية لأنظمة المعلومات الجغرافية (GIS) لأظهار أن نموذج العملاء يمكنه محاكاة بنجاح ديناميكية الآلاف من المركبات التي تتحرك على نظام الطرق السريعة نحو أهداف آمنة محددة مسبقاً مثل المرافق الطبية أو نقاط الخروج أو أي أهداف جغرافية معينة تمر بها طرق مرور المركبات. الدراسة بينت أن عملاء المركبات تتبع قواعد التفاعل مع مكونات عالم المحاكاة، وهذا شمل المركبات المحيطة، وحدود الطرق، ونقاط الوقوف كالإشارات الضوئية. وبالتلي يمكن برمجة عملا المركبات بأن تلتزم بقوانين المرور المختلفة. النموذج يعكس إمكانية تفاعل واقعية مع تعقيدات أنظمة الطرق السريعة الفعلية. يمكن استخدام البرنامج المطور لتحليل نقاط الانسداد وتقدير الكفاءة والوقت المطلوب لتحاكي عملية تنقل المركبات، وتقوم بتطوير إحصاءات، وتقييم أنماط تفاعل المركبات مع المواقف المرورية.

8. المراجع

J. Anable, 'Complacent Car Addicts' or 'Aspiring Environmentalists'? Identifying travel behaviour segments using attitude theory. Transport Policy 12 (1), 65–78, 2005.

R. Axtell, Why agents? On the varied motivations for agent computing in the social sciences. Working paper 17, Center on Social and Economic Dynamics, Washington D.C., 2000.

M. Badamchizadeh, and M. Joroughi, Deterministic and Stochastic Petri Net for Urban Traffic Systems. In Proceedings of the 2nd International Conference

on Computer and Automation Engineering (ICCAE), Singapore, 26–28 February 2010.

M. Batty, Building a science of cities. Cities 29, 9-16, 2012.

P. Bokare and A. Maurya, "Acceleration-deceleration behaviour of various vehicle types," Transportation Research Procedia, vol. 25, pp. 4733–4749, 2017.

A. Bazzan, F. Klügl, A review on agent-based technology for traffic and transportation. The Knowledge Engineering Review 29 (03), 375–403, 2014.

E. Bonabeau, Agent-based modeling: methods and techniques for simulating human systems, Proceedings of the National Academy of Sciences, vol. 99, no. 3, pp. 7280–7287, 2002.

Giovanni Calabròa, Michela Le Pira, Nadia Giuffrida, Martina Fazio, Giuseppe Inturri, Matteo Ignaccolo, Modelling the dynamics of fragmented vs. consolidated last-mile ecommerce deliveries via an agent-based model, Elsevier, Transportation Research Procedia Transportation Research Procedia 62, 155–162, 2022.

H. Chen and H. A. Rakha, "Multi-step prediction of experienced travel times using agent-based modeling," Transportation Research Part C, vol. 71, pp. 108–121, 2016.

Cristian E. Cortes, and Bruno Stefoni, Trajectory Simulation of Emergency Vehicles and Interactions with Surrounding Traffic, Hindawi, Journal of Advanced Transportation, 2023.

M. Dotoli, and M. P. Fanti, An urban traffic network model via coloured timed Petri nets. Control Eng. Pract. 2006.

V. Gaube, A. Remesch, Impact of urban planning on household's residential decisions: An agent-based simulation model for Vienna. Environmental Modeling & Software 45, 92-103, 2013.

A. Heppenstall, N. Malleson, and A. Crooks, Space, the final Frontier: how good are agent-based models at simulating individuals and space in cities? Systems, vol. 4, no. 1, p. 9, 2016.

C. Holz-Rau, J. Scheiner, K. Sicks, Travel distances in daily travel and long-distance travel: what role is played by urban form? Environment and Planning A 46 (2), 488-507, 2014.

Y. Hwang, and G. Heo, Development of a radiological emergency evacuation model using agent-based modeling, Nuclear Engineering and Technology, 53, 2195–2206, 2021.

E. Legara, C. Monterola, K. Lee, G. Hung, Critical capacity, travel time delays and travel time distribution of rapid mass transit systems. Physica A: Statistical Mechanics and its applications 406, 100-106, 2014.

P. Næss, 'New urbanism' or metropolitan-level centralization? The Journal of Transport and Land Use 4 (1), 25-44, 2011.

H. Qabaja, M. Ashqer, M. Bikdash, and H. Ashqar, A Meso-Scale Petri Net Model to Simulate a Massive Evacuation along the Highway System, Future Transportation, 3, 311–328, 2023.

J. Wang, K. Dixon, H. Li, J. Ogle, Normal acceleration behavior of passenger vehicles starting from rest at all-way stop-controlled intersections. Transportation Research Record 1883, 158–166, 2004.

M. Wegener, The future of mobility in cities: Challenges for urban modeling. Transport Policy 29, 275-282, 2013.

U. Wilensky, NetLogo. Center for Connected Learning and Computer Based Modeling. Northwestern University, Evanston, IL. In: http://ccl.northwestern.edu/netlogo/, 1999.