مجلة المخطط والتنمية
المجلد (31)، العدد (2)، الشهر (8)، السنة (2026)، الصفحات 157-166
الصفحة الرئيسية للمجلة: https://jpd.uobaghdad.edu.iq/index.php/jpd

P-ISSN: 1996-983X
E-ISSN: 2960-1908

التحول الرقمي في تصميم شبكات النقل الحضرية: شارع بغداد في مدينة النجف أنموذجاً

علي هاشم العميدي [1]*، أ.د. ندى خليفة الركابي [1]

[1] جامعة بغداد/ مركز التخطيط الحضري والاقليمي للدراسات العليا

*بريد إلكتروني للمؤلف المسؤول: ali.abbas2300m@iurp.uobaghdad.edu.iq

حقوق النشر: ©2026 المؤلفون. هذه المقالة هي مقال مفتوح الوصول موزع بموجب شروط رخصة المشاع الإبداعي 4.0 الدولية (CC BY 4.0). ينشر من قبل مركز التخطيط الحضري والإقليمي للدراسات العليا بجامعة بغداد.

تم الاستلام: 2026/1/12
تم المراجعة: 2026/3/2
مقبول: 2026/3/15
متوفر عبر الإنترنت: 2026/8/7

الكلمات المفتاحية:
التحوّل الرقمي، شبكات النقل الحضرية، النقل الذكي، التصميم الحضري، الأداء المروري

الملخص

يهدف هذا البحث إلى دراسة تأثير التحول الرقمي بتصميم شبكات النقل الحضرية من خلال تطبيقه على شارع بغداد في مدينة النجف، حيث يُمثِّل الشارع محورًا مروريًا حيويًا يعاني من زحام مروري متكرر وافتقار إلى أنظمة إدارة حديثة لا سيما في ظل الكثافة السكانية العالية وتدفق الزوار خلال المناسبات الدينية. وانطلقت الدراسة من فرضية مفادها أن دمج تقنيات رقمية كأنظمة النقل الذكية (ITS) وإنترنت الأشياء (IOT) ونظم المعلومات الجغرافية (GIS) يمكن أن يحسّن من كفاءة الحركة ويقلل زمن الرحلات ويعزّز السلامة المرورية. وقد تم تحليل الواقع المروري من خلال بيانات ميدانية وكذلك مسح مروري تفصيلي، تم تصميم مقطع عرضي جديد للشارع يدمج التقنيات الرقمية ضمن التصميم الحضري بصورة وظيفية متكاملة. وأظهرت النتائج تحسنًا ملحوظًا في أداء الشارع، حيث انخفض زمن الرحلة بنسبة 32% كذلك انخفضت نسبة الحوادث وارتفع مستوى رضا المستخدمين عن بيئة التنقل. وأوصى البحث بضرورة تطبيق التصميم المقترح بصورة تدريجيه، وربطه بمركز رقمي للتحكم المروري وإطلاق تطبيق "نجف تنقّل" لخدمة المواطنين والزوار مع إمكانية تعميم التجربة على شوارع حضرية أخرى.

Digital Transformation in Urban Transport Network Design: Baghdad Street in Najaf city as a Model

Ali Hashim Al-ameedee[1]*, Prof. Dr. Nada Khaleefah Alrikabi[1]

[1] University of Baghdad/Center of Urban and Regional Planning for Postgraduate Studies

*Corresponding Author Email: ali.abbas2300m@iurp.uobaghdad.edu.iq

Copyright: ©2026 The Authors. This article is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0). It is published by Center of Urban and Regional Planning for Postgraduate Studies, University of Baghdad.

Received: 12/1/2026
Revised: 2/3/2026
Accepted: 15/3/2026
Available online: 7/8/2026

Keywords:
Digital Transformation, Urban Transportation Networks, Intelligent Transportation, Urban Design, Traffic Performance.

ABSTRACT

This paper aims to study the impact of digital transformation on the design of urban transportation networks, applying it to Baghdad Street in the holy city of Najaf. The street represents a vital traffic hub that suffers from frequent congestion and a lack of modern management systems, especially given the population density and influx of visitors during religious occasions. The study was based on the hypothesis that integrating digital technologies such as Intelligent Transportation Systems (ITS), the Internet of Things (IoT), and Geographic Information Systems (GIS) can improve traffic efficiency, reduce travel times, and enhance traffic safety. The traffic situation was analyzed using field data and a detailed traffic survey, and a new cross-section of the street was designed that functionally integrates these technologies. The results showed a significant improvement in street performance, with travel time reduced by 32%, the accident rate decreased, and user satisfaction with the transportation environment increased. The research recommended the gradual implementation of the proposed design, linking it to a digital traffic control center, and launching the "Najaf Navigate" app to serve citizens and visitors. The study also recommended the possibility of expanding the experience to other urban streets.

المقدمة

في ظل التطورات التكنولوجية المتقدمة أصبح التحول الرقمي أحد أهم الأدوات الحديثة بتطوير المدن وشبكات النقل الحضرية لما يوفره من حلول ذكية لإدارة الحركة كذلك تحسين الكفاءة التشغيلية. وفي المدن الدينية كالنجف الأشرف تشكّل الحشود الموسمية والأنشطة الدينية تحدي مروري حقيقي، خاصة في الشوارع الرئيسة التي تربط مناطق السكن بمراكز الزيارة الدينية. اذا أن من أبرز هذه الشوارع هو شارع بغداد، الذي يُعدُّ محوريًا حيويًا يربط بين شرق المدينة وغربها، ويخدم شريحة واسعة من السكان والزوار. لذلك يتناول البحث دراسة حالة لشارع بغداد بمدينة النجف، بهدف إعادة تصميمه حضرياً اعتماداً على مفاهيم التحول الرقمي، وتحويله إلى محور ذكي يستطيع الاستجابة لمتغيرات الحركة ويرفع من كفاءة النقل والسلامة والتنظيم في المدينة.

مشكلة البحث

تواجه المدن المعاصرة تحديات متزايدة بإدارة الحركة المرورية داخل الشوارع الحضرية، لا سيما في المناطق ذات الكثافة الوظيفية العالية أو التي تشهد تذبذباً في الطلب المروري خلال فترات زمنية محدَّدة. ولا يرتبط الازدحام الحضري في كثير من الحالات بتجاوز السعة التصميمية للطريق فقط، بل يرتبط بدرجة كبيرة بكفاءة الإدارة التشغيلية للحركة المرورية، إذ تتركز نسبة كبيرة من التأخير المروري في البيئات الحضرية عند التقاطعات ومناطق التداخل المروري، مما يؤدّي إلى انخفاض كفاءة استثمار السعة المتاحة للطريق وارتفاع زمن الرحلة داخل الشبكة الحضرية.

فرضية البحث

يفترض البحث أن ضعف الكفاءة التشغيلية للحركة المرورية في الشوارع الحضرية لا يرتبط بالضرورة بنقص السعة التصميمية للطريق، بل يرتبط بدرجة كبيرة بكفاءة إدارة الحركة المرورية وتنظيم التقاطعات وتوزيع التدفقات داخل الشبكة الحضرية. وعليه فإن توظيف أدوات التحول الرقمي وأنظمة النقل الذكية يمكن بأن يساهم في تحسين الكفاءة التشغيلية للحركة المرورية وتقليل زمن التأخير وزمن الرحلة من خلال إدارة التدفق المروري وتنظيم استعمال الفضاء الطرقي من دون الحاجة إلى التوسعة الفيزيائية للطريق.

أهدف البحث

تحليل واقع الأداء المروري والتشغيلي للشوارع الحضرية وتشخيص أسباب انخفاض كفاءة الحركة المرورية.

تطوير تصور تخطيطي يعتمد على أدوات التحول الرقمي وأنظمة النقل الذكية لتحسين إدارة الحركة المرورية داخل الشوارع الحضرية.

تقييم أثر التدخل المقترح من خلال مقارنة مؤشرات الأداء المروري قبل التطبيق وبعده.

أهمية البحث

هذا البحث يكتسب أهمية كبيرة من خلال معالجته لمشكلة مرورية محلية حرجة (شارع بغداد) ضمن مدينة ذات طابع ديني، أذ تقدم نموذج عملي لتوظيف التحول الرقمي بتصميم الشوارع الحضرية، ودعمه للجهود الحكومية نحو إنشاء (مدينة ذكية) بالنجف، وقابليته للتطبيق والتكرار بشوارع أخرى داخل المدينة العراقية وخارجها.

الحدود الزمانية والمكانية

الحدود المكانية: مدينة النجف - مناطق ذات كثافة مرورية (شارع بغداد).

الحدود الزمانية: بيانات بين 2021 - 2024 وتحليل لواقع النقل الحالي والمشاريع الجارية.

منهجية البحث

اعتمد البحث على المنهج الوصفي- التحليلي التطبيقي ضمن إطار دراسة الحالة، وذلك من خلال تحليل الواقع المروري والحضري في شارع بغداد بمدينة النجف بالاستناد إلى البيانات الرسمية والمسح الميداني والعد المروري بفترات الذروة، أذ تم توظيف التحليل الكمي لاشتقاق مؤشرات الأداء المروري بما فيها الحجم المروري و وزمن الرحلة وزمن التأخير عند التقاطعات كذلك مستوى الخدمة المرورية (LOS)، بهدف تشخيص كفاءة التشغيل قبل التدخل التخطيطي. كما اعتمد البحث أيضا على المنهج التطبيقي بإعداد تصميم حضري- مروري مقترح قائم على مبادئ التحول الرقمي من خلال توظيف تقنيات أنظمة النقل الذكية (ITS) ونظم المعلومات الجغرافية (GIS) وإنترنت الأشياء (IoT) لغرض معالجة المشكلات المرورية دون اللجوء إلى التوسعة الفيزيائية التقليدية. واختتمت المنهجية بإجراء تحليل مقارن (قبل/بعد) لتقييم أثر التدخل الرقمي المقترح وقياس مدى فاعليته وإمكانية تعميمه على شوارع حضرية أخرى.

مفهوم التحول الرقمي في التخطيط الحضري

التحول الرقمي هو إدماج التكنولوجيا الحديثة كالذكاء الاصطناعي والبيانات الضخمة وإنترنت الأشياء بعمليات الإدارة والتخطيط والذي يساهم بتحسين كفاءة الخدمات ورفع جودة الحياة الحضرية. ولا يقتصر التحول الرقمي على تحديث الأدوات فقط بل يشمل إعادة هيكلة شاملة بالتفكير العمراني والخدمات العامة.

اذ يوجد تمييز ما بين رقمنه البيانات (Digitization) ورقمنه العمليات (Digitalization) والتحول الرقمي بوصفه تغيير مؤسسي وتشغيلي قائم على البيانات (Digital Transformation) وهو ما تستند إليه الدراسة بإعادة تصميم الشارع وإدارته. (Schwab , 2020.p23,). كما تؤكد دراسة حديثة أن رقمنة المدن تسهم في دعم الاستدامة الحضرية من خلال تحسين إدارة الخدمات ودعم القرار القائم على البيانات (Abd Al-Bari et al., 2025, p. 1317)

إن التحوّل الرقمي بالتخطيط الحضري لا يقتصر على إدخال التقنيات الحديثة بل يرتكز على توظيف البيانات والمؤشرات التحليلية لتحسين كفاءة إدارة الأنظمة الحضرية، ولا سيما شبكات النقل وبما يتيح معالجة الاختناقات التشغيلية عبر الإدارة الذكية للسعة المتاحة بدل التوسعة الفيزيائية التقليدية. (Mohammed & Altaie, 2025, p. 70)

النقل الحضري

يعرف النقل الحضري بأنه هو النظام الذي يمكن السكان التنقل داخل المدينة ويشكل أحد أعمدة التنمية الحضرية بالمدينة. حيث يشمل هذا النظام الطرق ووسائل النقل العام والمشاة والدراجات وكل ما يتعلّق بالحركة داخل المدينة. ويعتمد نجاح النقل الحضري على مدى توافقه مع الأنشطة الاقتصادية والاجتماعية في لمدينة.

فكلما كانت شبكة النقل مرنة ومتكاملة زادت كفاءة التنقل وانخفضت الآثار البيئية السلبية. وتقاس كفاءة النقل الحضري غالبا بمؤشرات زمن الرحلة والتأخير عند التقاطعات كذلك معدل الحوادث ومستوى الخدمة وهي مؤشرات ستعتمدها الدراسة لتقييم أثر الرقمنة. (Rodrigue, 2020, p. 135).

كما أن النقل يعد عنصر أساسي في التخطيط الحضري، حيث ترتبط كفاءة منظومته مباشرة باستعمالات الأرض والنشاطات الحضرية، كما يشكل قطاع النقل ركيزة مهمة بالتنمية الاقتصادية، مما يستوجب اعتماد التحليل التخطيطي العلمي بتطوير الشبكات بدل المعالجات التقليدية. (فليح، 2011، ص 2)

كما أن هناك علاقة وثيقة بين تفعيل آليات النقل الذكي وتقليل الضغط على الشبكات الحضرية خلال ساعات الذروة، وتحسين مستوى الخدمة المقدمة للمستعملين الذي يبرز أهمية دمج الحلول الذكية بتخطيط وتصميم الشوارع الحضرية. (محمد مهدي، 2023، ص 10)

تصميم الطرق والشوارع

إن تصميم الطرق لم يُعدُّ مقتصر على الجوانب الإنشائية والهندسية بل أضحى يشمل الأبعاد البيئية والاجتماعية والتكنولوجية وخصوصاً بالمدن التاريخية والدينية. فالشوارع الحديثة ينبغي أن توفّر بيئة مريحة للمشاة وراكبي الدراجات، بالإضافة إلى كونها مجهزة بأجهزة استشعار وإشارات مرورية ذكية. أذ تشير الأدبيات إلى أن التصميم الجيد للشوارع يؤدي إلى تحسين السلامة المرورية ويعزّز من جودة الحياة. اذ يعد تكامل أنماط الحركة (مشاة/ دراجات/ نقل عام/ مركبات) شرط لرفع الكفاءة حيث تأتي الرقمنة لتدير هذا التكامل عبر التحكم التكيفي والمعلومات الآنية للمستخدمين. (Gehl, 2019, P.112)

أنظمة النقل الذكية (ITS)

أنظمة النقل الذكية تعرف بأنها استخدام التقنيات الحديثة لإدارة شبكات النقل بشكل كفوء ويشمل ذلك نظم الإشارات المتكيفة والتحكم الذكي بالتقاطعات والمراقبة بالكاميرات وتتبع المركبات عبر الإنترنت. اذ تظهر تطبيقات (ITS) في عدد من المدن الأوروبية تحسن ملحوظ في السلامة وزمن الرحلة خصوصاً عبر الإشارات التكيفية وإدارة التقاطعات. (European Commission, 2019, P.54).

البنية التحتية الذكية

البنية التحتية الذكية تُعدُّ العنصر المكمل لأنظمة النقل الرقمية إذ تتضمن شبكة من أجهزة الاستشعار وأنظمة جمع البيانات وبرمجيات تحليل لحظي تُستعمَل لصيانة الطرق ورصد الزحام وتوجيه المركبات بشكل ذكي.
أذ تشير الدراسات إلى أن هذه البنية تقلل من التكاليف التشغيلية بنسبة تصل إلى(20%) مقارنة بالبنى التقليدية (McKinsey 2020, P.67,) .
اذا ان هنالك ضرورة لتوظيف نماذج ونظم معلومات المدينة (CIM) لتحليل المسوحات المرورية وحل الاختناقات فبالشبكات الحضرية، مما يساهم بتحسين تغطية خدمات النقل العام وتعزيز التخطيط المستقبلي للبنى التحتية. (عباس، 2024، ص 22)

نظم المعلومات الجغرافية (GIS) ودورها في التخطيط

تُعدُّ نظم المعلومات الجغرافية من الأدوات الحيوية بتخطيط شبكات النقل إذ تسمح بتحليل التوزيع المكاني للكثافة السكانية وحركة المرور الذي يسهّل على المخططين اتخاذ قرارات دقيقة وجيدة بشأن توزيع الطرق والمحاور المرورية ومحطات النقل العام. وقد أثبت استعمال (GIS) فعاليته بتخفيض أوقات الرحلات وتحديد نقاط الازدحام بدقة(Longley et al., 2015, p52). كما بينت دراسة تطبيقية في بغداد أن نظم المعلومات الجغرافية تساعد في تحديد المواقع الحضرية الأنسب للاستعمالات المستدامة ودعم قرارات التخطيط المكاني (Zari & Alrikabi, 2024)

النقل المستدام

إن النقل المستدام يعد توجه عالمي يهدف إلى تقليل الانبعاثات الكربونية وتعزيز وسائل النقل الجماعي والمشي والدراجات. حيث تشير الدراسات إلى أن اعتماد المدن على الحافلات الكهربائية وخطوط النقل السريع يسهم بتحقيق أهداف الاستدامة وتقليل التلوث البيئي. كما أن النقل المستدام يرتبط ارتباط وثيق بجودة الحياة بالمدينة. اذ تؤدّي إدارة التدفق كذلك تقليل زمن التوقف عبر التقنيات الرقمية إلى خفض الاستهلاك والانبعاثات حيث يجعل الرقمنة أداة مساندة للنقل المستدام وليس مسار منفصل عنه. Cervero, 2013, (P.42).

التنقل كخدمة

مفهوم (التنقل كخدمة) يعتمد على دمج جميع وسائل النقل بمنصة رقمية موحدة مما يسمح للمستخدمين بالتخطيط للرحلات ودفع الأجور والوصول إلى مختلف أنواع وسائل النقل خلال تطبيق واحد. ويعدُّ هذا النموذج أكثر نماذج النقل تطور بأوروبا، أذ أثبت فعاليته في مدينة هلسنكي حيث تحول أكثر من 45% من المستخدمين إلى النقل العام بعد تبني هذه الخدمة (, P.152017 Jittrapirom et al,).

التحديات التي تواجه التحول الرقمي في النقل

على الرغم من التقدم الملحوظ بتقنيات النقل الذكي تواجه المدن اليوم تحديات عديدة في اعتماد هذه التقنيات، من أبرزها (ارتفاع التكاليف التأسيسية وضعف الكفاءات البشرية المحلية ومشاكل حماية البيانات وغياب التنسيق المؤسسي بين الجهات ذات العلاقة). وتشير تقارير المنظمات الدولية إلى أن التغلب على هذه التحديات يتطلب إصلاحات تنظيمية واستثمارات في التدريب والبنية التحتية. وفي السياقات المحلية تبرز تحديات إضافية مرتبطة في تعدد الجهات المشغلة وضعف تكامل قواعد البيانات واستدامة التشغيل والصيانة. (OECD, 2019, P.12).

بناء على ما سبق فإن التحول الرقمي في النقل لا يعالج الازدحام عبر توسعة الطرق فقط بل عبر رفع الكفاءة التشغيلية للسعة القائمة وذلك من خلال الإدارة التكيفية للتقاطعات وإعادة توزيع التدفقات وتوفير معلومات آنية للمستعملين وتحسين السلامة وهو ما ستختبره الدراسة بشكل تطبيقي في شارع بغداد بمدينة النجف الاشرف.

إن التحول الرقمي يعد أحد الأدوات الاساسية في تعزيز المرونة الحضرية كذلك رفع قدرة المدن على التكيف مع الضغوط البيئية والمناخية من خلال تحسين كفاءة إدارة الموارد ودعم اتخاذ القرار القائم على البيانات بالإضافة لتعزيز الاستجابة التكيفية للأنظمة الحضرية المعقدة (UN-Habitat, 2016, p. 22; Townsend, 2013, p. 15; Walker et al., 2004, p. 3).

التجارب العالمية في التحول الرقمي لشبكات النقل

إن التجارب العالمية بمجال التحول الرقمي لشبكات النقل الحضري تمثل مرجع أساسي لفهم الكيفية التي يمكن من خلالها معالجة مشكلات الازدحام المروري وتحسين كفاءة الحركة من دون اللجوء للتوسعة الفيزيائية للبنية التحتية. حيث أثبتت العديد من المدن العالمية بأن توظيف التقنيات الرقمية ولا سيما أنظمة النقل الذكية (ITS) ونظم المعلومات الجغرافية (GIS) ومنصات إدارة الحركة تعد أداة فعالة لإدارة الطلب المروري وتحقيق الاستعمال الأمثل للطاقة الاستيعابية للطرق. وفيما يأتي عرض لأبرز هذه التجارب وتحليل إمكانية الاستفادة منها في سياق مدينة النجف الاشرف.

تجربة سنغافورة (الإدارة الذكية للحركة المرورية)

تُعدُّ سنغافورة نموذج رائد في توظيف التقنيات الرقمية لإدارة الحركة المرورية، اذ اعتمدت على منظومة متكاملة من الحساسات الأرضية والكاميرات عالية الدقة ونظم تحديد المواقع جميعها مرتبطة بمركز تحكم مروري مركزي يعمل على تحليل البيانات لحظياً. حيث يقوم هذا النظام بتعديل توقيت الإشارات الضوئية وتوجيه المركبات نحو مسارات بديلة وفق مستوى الكثافة المرورية الفعلي.

وساهم هذا الأسلوب برفع الكفاءة التشغيلية للشبكة المرورية دون الحاجة إلى توسعة في البنية التحتية، وقد انخفضت فترات التوقف وتحسنت سرعة التدفق خلال ساعات الذروة. اذ تكمن أهمية هذه التجربة لمدينة النجف بإمكانية تبني نموذج مشابه يعتمد على التحكم الذكي في التقاطعات الرئيسة، ولا سيما في شارع بغداد الذي يشهد تذبذب كبير في الأحجام المرورية بأوقات الذروة والمواسم الدينية. (Chong et al., 2018, P.42).

تجربة هلسنكي – فنلندا (نموذج التنقل كخدمة)

اعتمدت مدينة هلسنكي مفهوم (التنقل كخدمة) بوصفه إطار رقمي يدمج مختلف أنماط النقل ضمن منصة واحدة تتيح للمستخدم التخطيط للرحلة واختيار الوسيلة الأنسب من حيث الزمن والتكلفة والاستدامة. حيث أدى هذا النموذج إلى تقليل الاعتماد على المركبات الخاصة، وتحسين توزيع الطلب المروري عبر المدينة.

وتكمن أهمية هذه التجربة في أنها لا تعتمد على زيادة الطاقة الاستيعابية للشوارع، بل على إدارة الطلب من خلال المعلومات الرقمية وتوجيه السلوك المروري، ويعد هذا النهج مناسب للتطبيق بمدينة النجف، خصوصاً بأوقات الزيارات الدينية، اذ يمكن من خلال منصة رقمية موحدة توجيه حركة الزائرين نحو مسارات ومواقف بديلة، مما يخفف الضغط على الشوارع المركزية. (P12,Jittrapirom et al.,2017).

تجربة دبي- الإمارات العربية المتحدة (الإدارة الذكية المتكاملة للنقل)

تُمثِّل دبي نموذج متقدم في تطبيق أنظمة النقل الذكية من خلال إنشاء مركز موحد لإدارة الحركة المرورية يربط ما بين الإشارات الضوئية وأنظمة المراقبة وتطبيقات المستخدمين وقواعد البيانات المركزية. اذ أتاح هذا التكامل تحسين زمن الاستجابة للحوادث وتقليل زمن الرحلة ورفع مستوى السلامة المرورية. حيث تبرز أهمية هذه التجربة باعتمادها على التحليل اللحظي للبيانات واتخاذ القرار الفوري، وهو ما يمكن الاستفادة منه في حالة شارع بغداد عبر إنشاء منظومة تحكم محلية تعنى بإدارة التقاطعات الحيوية وربطها بمنصة تحليل مركزية بما يُعزّز كفاءة التشغيل دون الحاجة إلى توسعة فيزيائية للطريق. (P.27,Dubai RTA, 2020).

تجربة ستوكهولم – السويد (إدارة الطلب المروري عبر التسعير الذكي)

تُعدُّ مدينة ستوكهولم من أبرز النماذج العالمية بتوظيف الأدوات الرقمية لإدارة الطلب المروري، من خلال تطبيق نظام الرسوم المرورية الذكية (Congestion Pricing)، الذي يُعدُّ أحد أكثر الأساليب فاعلية في الحد من الازدحام داخل المناطق الحضرية ذات الكثافة العالية. اذ يقوم هذا النظام على فرض رسوم إلكترونية متغيرة على المركبات عند دخولها إلى مركز المدينة خلال ساعات الذروة، ويتم احتسابها تلقائياً باستخدام كاميرات التعرف على لوحات المركبات وأنظمة قراءة رقمية متصلة بقاعدة بيانات مركزية.

أسهم هذا النظام بتقليل حجم الحركة المرورية بنسبة تجاوزت 30% خلال فترات الذروة، بالإضافة إلى تحسين زمن الرحلة وتقليل الانبعاثات الكربونية دون الحاجة إلى توسعة الشبكة الطرقية أو إنشاء بنى تحتية جديدة. يعود نجاح هذه التجربة إلى اعتمادها على مبدأ إدارة الطلب بدل من زيادة العرض، وهو ما جعلها نموذج عالمي يحتذى به في المدن ذات الكثافة المرورية العالية.

اذ تكتسب هذه التجربة أهمية خاصة عند مقارنتها بحالة شارع بغداد حيث يمكن توظيف مبدأ التنظيم المروري القائم على التحكم بالدخول أو إدارة المواقف خلال أوقات الذروة، وليس من خلال فرض رسوم مباشرة بالضرورة بل عبر آليات تنظيمية رقمية مثل تنظيم أوقات الدخول أو تخصيص مسارات زمنية أو التحكم الذكي بالمواقف. وبهذا تظهر تجربة ستوكهولم أن الحلول الرقمية قادرة على تقليل الضغط المروري وتحسين الأداء الوظيفي للشبكة من دون اللجوء إلى توسعات إنشائية مكلفة أو غير ممكنة ضمن النسيج الحضري القائم. (Banister, 2018 , P.36).

مؤشرات التجارب:

أن هذه المدن تشترك في مجموعة من المؤشرات الناجحة كما موضح في جدول (1) منها:

- الاعتماد على البيانات الحية والتحكم الفوري.
- إدماج المستعمل في منظومة النقل الذكي عبر التطبيقات.
- الربط بين التخطيط المكاني والتحول الرقمي.
- تقديم حوافز لاستعمال النقل المستدام.

اذ تؤكِّد هذه التجارب بأن التحول الرقمي في إدارة الحركة لا يرتبط بالضرورة بحجم المدينة أو مستوى تطورها بل بمدى كفاءة توظيف البيانات والتقنيات الذكية بإدارة الطلب المروري، وهو ما يجعل تطبيق هذه المبادئ ممكن وفعّال في سياق مدينة النجف.

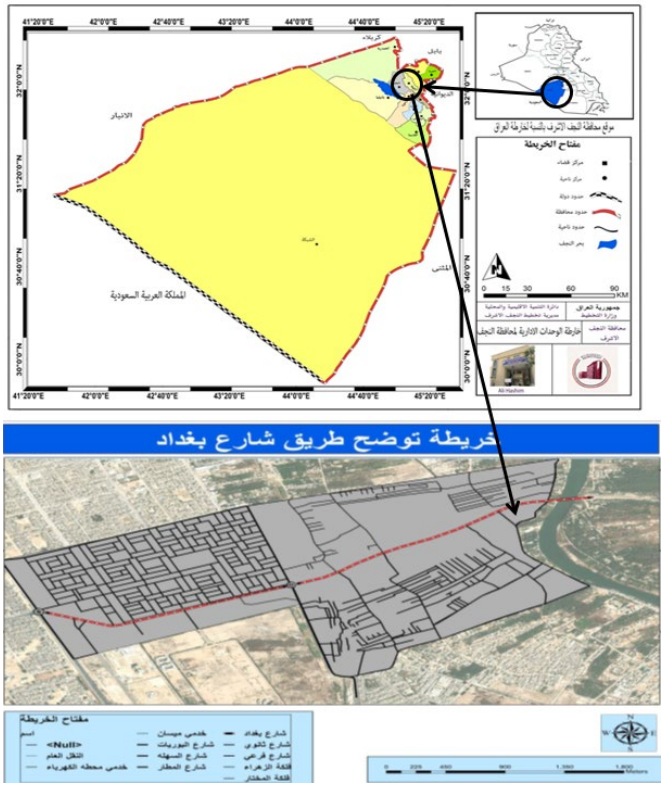
جدول (1): المقارنة بين التجارب العالمية في التحول الرقمي لشبكات النقل

المدينة	الأداة الرقمية الرئيسة	آلية المعالجة الرقمية للازدحام	الأثر المروري المحقق	الدروس المستفادة وإمكانية التطبيق في شارع بغداد
سنغافورة	أنظمة نقل ذكية (ITS) + مركز تحكم مروري	جمع بيانات انية من الحساسات والكاميرات و تحليل فوري للتدفقات، تعديل توقيت الإشارات بشكل تكيفي، إعادة توجيه الحركة	تقليل زمن التوقف عند التقاطعات، تحسين سرعة التدفق، رفع الكفاءة التشغيلية دون توسعة الطرق	إمكانية تطبيق إشارات مرورية تكيفية في تقاطعات شارع بغداد الحيوية خلال الذروة والمواسم الدينية، وإنشاء مركز تحكم محلي مبسّط
هلسنكي - فنلندا	التنقل كخدمة (MaaS)	إدارة الطلب المروري عبر منصة رقمية موحدة تدمج وسائل النقل وتوجّه المستخدمين لاختيار البدائل الأنسب	خفض الاعتماد على المركبات الخاصة، تقليل الضغط على الشبكة	إمكانية تطوير تطبيق)نجف تنقل (لتوجيه الزائرين نحو النقل العام والمواقف البديلة خلال الزيارات
دبي - الإمارات	منظومة إدارة نقل ذكية متكاملة	ربط الإشارات، المراقبة المرورية، الحوادث، وتطبيقات المستخدمين في منصة واحدة لاتخاذ قرار لحظي	تقليل زمن الرحلة، تحسين السلامة المرورية، تسريع الاستجابة للحوادث	اعتماد نموذج تكامل مؤسسي بين بلدية النجف والمرور لإنشاء منصة تحكم موحدة لشارع بغداد
ستوكهولم -السويد	إدارة الطلب عبر التسعير والتنظيم الذكي	التحكم بالدخول إلى المناطق المزدحمة باستخدام أنظمة رقمية، تعديل السلوك المروري خلال الذروة	خفض حجم الحركة المرورية بنسبة كبيرة، تحسين البيئة الحضرية دون توسعة	إمكانية تنظيم الدخول والمواقف في شارع بغداد خلال الذروة عبر أدوات رقمية تنظيمية دون فرض رسوم مباشرة

المصدر: الباحث بالاعتماد على التجارب أعلاه.

منطقة الدراسة: (بلدية النجف، 2022، ص1)

إن شارع بغداد هو احد الشوارع المهمة بمحافظة النجف الاشرف ويعد مدخل للمحافظة من جهة الشرق ويقع في الجزء الشرقي من مدينة النجف كما موضّح في خريطة (1) ، وأن امتداد الشارع من نفق المختار الى شارع المطار وان نوع الاسفلت في الشارع من النوع المتوسط، ويمتد بطول يقارب 2.5 كم من منطقة قرب الفرات شرقاً حتى مركز المدينة غرباً. ويُعدُّ هذا الشارع من الشوارع الرئيسية التي تربط بين عدة أحياء ذات طابع سكني وتجاري. ويُستعمَل الشارع بكثافة من السكان والزوار، نظراً لارتباطه بمناطق دينية وتجارية.



خريطة (1) موقع شارع بغداد في محافظة النجف الاشرف

المصدر: دائرة التنمية الإقليمية والمحلية/ مديرية تخطيط النجف الاشرف، 2022

تحليل الواقع المروري والحضري لشارع بغداد:

تم جمع بيانات ميدانية عن الشـــارع من خلال تنفيذ مســـح مروري مباشر شمل رصد الخصائص الفيزيائية للطريق وأنماط الحركة المرورية خلال فترات الذروة، وذلك بالاعتماد على منهجية العد المروري الميداني المستعملة في دراسات تخطيط النقل الحضري (JICA, 2007).

عدد الحارات: 2 في كل اتجاه.

عرض الطريق الكلي: 25 متر.

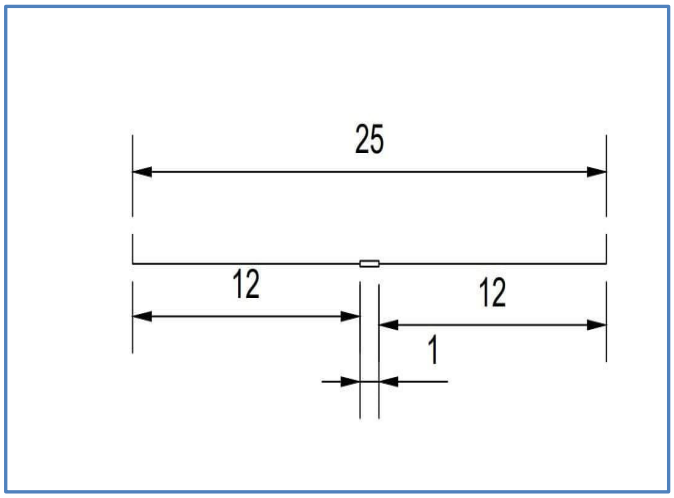
الأرصفة: غير متصلة، بعضها أقل من 1.5 م وبعضها غير موجود.

التشجير والظل: شبه معدوم.

مواقف السيارات: غير نظامية وتحتل الرصيف غالبا.

الإشارات المرورية: تقليدية أو غائبة.

شكل (1) المقطع العرضي في شارع بغداد
المصدر: الباحث بالاعتماد على المسح الميداني.



شكل (2) تخطيط المقطع العرضي في شارع بغداد
المصدر: الباحث بالاعتماد على المسح الميداني.

تحليل عناصر التصميم الحضري (ما قبل الرقمنة):

أولاً: الأرصفة والمشاة:

يعاني المشاة من تضييق الشارع بسبب ركن المركبات على الأرصفة، وغياب ممرات آمنة، مما يعرضهم للخطر.

ثانياً: مواقف المركبات

تم تسـجيل عشـوائية واضـحة في أماكن الوقوف، دون خطوط تنظيمية أو نظام حجز.

ثالثاً: مسارات المركبات

تفتقر إلى تنظيم رقمي أو لافتات ذكية، ما يؤدي إلى ازدحام مسـتمر، خاصة عند التقاطعات.

رابعاً: التقاطعات والإشارات

تم رصـــد غياب إشـــارات ذكية أو عدادات رقمية في معظم نقاط التقاطع.

2-4: إدماج التحول الرقمي – المفهوم والتطبيق:

التحول الرقمي في النقل لا يقتصر على الرقمنة الظاهرية، بل يشمل:

جدول (2) عناصر الذكاء والرقمنة وتطبيقها بشارع بغداد

العنصر	التطبيق في شارع بغداد
ITS (أنظمة النقل الذكية)	إشارات تكييفية – عدادات زمن
IOT (إنترنت الأشياء)	أعمدة إنارة ذكية – حساسات مرور وبيئة
GIS	تحليل الكثافات وتوزيع المواقف
AI	تحليل تنبؤي للازدحام وتوجيه السير
تطبيق ذكي	تطبيق "نجف تنقّل" لحجز المواقف وتتبع الباصات

المصدر: الباحث

التحليل الكمي لحركة المرور في شارع بغداد :

اعتمدت الدراســـة على إجراء مســـح مروري ميداني مباشـــر (Manual Traffic Count) في المقطع الحضـــري من شـــارع بغداد بمدينة النجف الأشـــرف، وذلك بهدف تحديد حجم الحركة المرورية وتركيبها خلال فترات الذروة. وتم تنفيذ المسـح في يوم دوام اعتيادي من أيام منتصـف الأسـبوع (الثلاثاء) لتجنب تأثيرات التذبذب المروري المرتبطة بعطلة نهاية الأســـبوع أو المناسبات الدينية.

شـمل المسـح المروري ثلاث نقاط رصـد رئيسـية تم اختيارها عند أكثر المواقع تأثيراً في التدفق المروري على طول الشارع، وهي:

مقطع مدخل شارع بغداد قرب نفق المختار (مدخل الحركة من الجهة الشرقية).

المقطع الأوسط للشارع قرب المنطقة التجارية والخدمية.

المقطع الغربي عند تقاطع شارع المطار بوصفه نقطة تداخل مروري رئيسة باتجاه مركز المدينة.

تم تنفيذ العد المروري خلال فترتي الذروة الصباحية والمسائية، حيث بدأ المسـح الصـباحي من السـاعة 7:00 صـباحاً ولغاية 10:00 صـباحاً، بينما تم تنفيذ المسـح المسـائي من السـاعة 3:00 مسـاءً ولغاية 6:00 مسـاءً، مع تسـجيل الأحجام المرورية بفواصـل زمنية مقدارها 15 دقيقة وفق الأسـاليب المعتمدة في دراسات تخطيط النقل الحضري.

كما تم تصنيف المركبات أثناء عملية العد المروري إلى أربعة أصناف رئيسة تمثل تركيب الحركة المرورية في الشوارع الحضرية، وهي: المركبات الخاصة، مركبات النقل العام، الشاحنات، والدراجات النارية، وذلك بهدف تحليل تركيب التدفق المروري وتحديد نسبة مساهمة كل نوع من المركبات في الحجم المروري الكلي للطريق.

بعد تجميع بيانات العد تم تحديد ساعة الذروة المرورية بالاعتماد على أعلى أربع فترات زمنية متتالية ضمن مدة (60) دقيقة التي تمثل أعلى طلب مروري على الطريق (Peak Hour Volume)، كما تم تحليل انتظام التدفق باستخدام مفهوم معامل ساعة الذروة (Peak Hour Factor – PHF) لبيان طبيعة تذبذب الحركة المرورية خلال فترة التحليل. كما تم احتساب معامل ساعة الذروة (Peak Hour Factor – PHF) لقياس درجة تذبذب التدفق المروري داخل الساعة التحليلية، وذلك وفق العلاقة:

$$PHF = V / (4 \times V15)$$

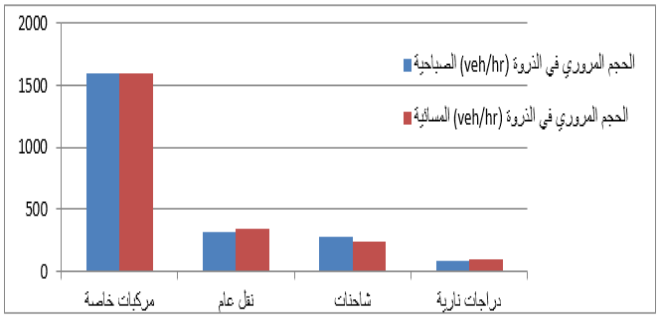
حيث يمثل (V) الحجم المروري خلال ساعة الذروة، و(V15) أعلى حجم مرور مسجل خلال (15) دقيقة ضمن نفس الساعة، وبالاعتماد على هذه القيم تم تفسير طبيعة الحركة المرورية واتجاهاتها خلال فترتي الذروة الصباحية والمسائية.

أولًا: حجم الحركة المرورية خلال ساعة الذروة الصباحية والمسائية (Peak Hour Volume)

جدول (3) حجم الحركة المرورية خلال ساعة الذروة (Peak Hour Volume) في شارع بغداد بالنجف

نوع المركبة	الحجم المروري في الذروة (veh/hr) الصباحية	النسبة %	الحجم المروري في الذروة (veh/hr) المسائية	النسبة %
مركبات خاصة	1600	%70.1	1601	%70.2
نقل عام	320	%14.0	343	%15.0
شاحنات	276	%12.1	240	%10.5
دراجات نارية	88	%3.8	97	%4.3
المجموع الكلي	2284	100%	2281	100%

المصدر: المصدر: الباحث بالاعتماد على نتائج المسح المروري الميداني وتحليل ساعة الذروة



شكل (3) حجم الحركة خلال ساعة الذروة المرورية في شارع بغداد
المصدر: الباحث بالاعتماد على جدول رقم (3)

يبيّن تحليل تركيب الحركة المرورية خلال ساعة الذروة بأن المركبات الخاصة تمثل النسبة الأكبر من التدفق المروري في المقطع المدروس، أذ تجاوزت نسبتها (70%) من الحجم الكلي للحركة، وهو ما يعكس اعتماد مرتفع على النقل الفردي داخل المقطع الحضري. في المقابل تمثل مركبات النقل العام والشاحنات نسبة أقل نسبياً، إلا أن وجودها يساهم في زيادة التداخلات المرورية داخل المقطع الحضري. ويعدُّ تحليل النسب المئوية لتركيب المركبات من المؤشرات المهمة في دراسات هندسة المرور، إذ يساعد في تفسير طبيعة التدفق المروري وتحديد خصائص الطلب على الطريق خلال ساعة الذروة.

ثانياً: الحجوم المرورية الكلية ومعدل الاستخدام (Veh/hour/lane)

بافتراض وجود حارتين للحركة في كل اتجاه (أربع حارات إجمالاً)، يبلغ الحجم المروري الكلي خلال ساعة الذروة نحو (2280) مركبة/ساعة، أي ما يعادل تقريباً (570 مركبة/ساعة/حارة). ويُعدُّ هذا المعدل أقل بكثير من السعة النظرية للحارة المرورية في الشوارع متعددة الحارات التي قد تصل في الظروف المثالية إلى نحو 1800–2000 مركبة/ساعة/حارة وفق أدبيات هندسة المرور. وبناءً على ذلك فإن الأحجام المرورية المسجلة في المقطع المدروس لا تشير إلى وجود اختناق ناتج عن تجاوز السعة التصميمية للطريق، بل تعكس أن أسباب انخفاض كفاءة الحركة المرورية ترتبط بصورة رئيسة بالعوامل التشغيلية والتنظيمية داخل المقطع الحضري، ولا سيما أداء التقاطعات والتداخلات الجانبية وعدم انتظام الوقوف على جانبي الطريق، وهي عوامل تؤدي إلى زيادة زمن التأخير وانخفاض انسيابية التدفق المروري خلال فترات الذروة.

قياس زمن الرحلة وتحديد منشأ ومقصد الرحلة:

تم قياس زمن الرحلة للمقطع المدروس من شارع بغداد بين مدخل نفق المختار شرقاً وتقاطع شارع المطار غرباً بطول يقارب 2.5 كم، باستخدام أسلوب المركبة العائمة (Floating Car Method) المعتمد في دراسات السرعة وزمن الرحلة في الطرق الحضرية. وتعتمد هذه الطريقة على قيادة مركبة اختبارية ضمن تيار الحركة المرورية بحيث تتحرك بسرعة قريبة من متوسط سرعة المركبات الأخرى مع تسجيل الزمن اللازم لقطع المقطع المدروس.

تم تنفيذ 6 رحلات ميدانية خلال فترتي الذروة الصباحية والمسائية، وتم تسجيل زمن الرحلة لكل تجربة كما في الآتي:

جدول (4): نتائج رحلات قياس زمن الرحلة (Travel Time Runs) للمقطع المدروس في شارع بغداد

رقم الرحلة	1	2	3	4	5	6
زمن الرحلة دقيقة	11	12	12	13	11	11

المصدر: الباحث بالاعتماد على بيانات المسح المروري الميداني.

تم حساب متوسط زمن الرحلة باستخدام المعادلة:

$$Tavg = \sum Ti/n : Tavg = (11+12+12+13+11+11)/6 = 12 \text{ دقيقة}$$

وبالاعتماد على طول المقطع المدروس (2.5 كم) تم حساب متوسط سرعة الرحلة وفق العلاقة:

$$V=L/T : V= 2.5/12/60 = 13 \text{ كم/ساعة}$$

أي أن متوسط سرعة الرحلة بلغ نحو (13 كم/ساعة)، وهي سرعة منخفضة تعكس تأثير التقاطعات والإشارات المرورية والتداخلات الجانبية والتوقفات المتكررة داخل المقطع الحضري، مما يؤدي إلى زيادة زمن الرحلة خلال فترات الذروة.

تحديد مستوى الخدمة المرورية (Level of Service – LOS)

تم تحديد مستوى الخدمة المرورية للمقطع المدروس بالاعتماد على نسبة الحجم إلى السعة (Volume to Capacity Ratio) وفق منهجية Highway Capacity Manual (HCM) المستخدمة في تحليل أداء الطرق الحضرية. وتحسب هذه النسبة وفق العلاقة:

$$V/C= V/C$$

حيث:

V = الحجم المروري خلال ساعة الذروة (مركبة/ساعة)

C = السعة النظرية للطريق (مركبة/ساعة)

وبالاعتماد على نتائج المسح المروري، بلغ الحجم المروري الكلي خلال ساعة الذروة نحو 2280 مركبة/ساعة، ومع وجود أربع حارات مرورية وبافتراض سعة نظرية تقارب 2000 مركبة/ساعة/حارة، فإن السعة الكلية للطريق تبلغ نحو 8000 مركبة/ساعة. وبناءً على ذلك تم حساب نسبة الحجم إلى السعة كما يأتي:

$$V/C = 2280/8000 = 0.28$$

أذ تشير هذه القيمة إلى أن الأحجام المرورية أقل من السعة النظرية للطريق. إلا أن تقييم مستوى الخدمة في الشوارع الحضرية لا يعتمد على نسبة الحجم إلى السعة فقط، بل يعتمد بدرجة كبيرة على متوسط سرعة الرحلة والتأخير عند التقاطعات وفق منهجية HCM لتحليل الشوارع الحضرية.

وبالاعتماد على متوسط سرعة الرحلة البالغة نحو 13 كم/ساعة والتأخير المسجل عند التقاطعات، يمكن تصنيف مستوى الخدمة في المقطع المدروس ضمن المستويات المتدنية (E)، وهو ما يعكس انخفاض كفاءة الأداء المروري نتيجة تأثير التقاطعات والتداخلات الجانبية داخل المقطع الحضري، على الرغم من أن الأحجام المرورية لا تتجاوز السعة التصميمية للطريق.

جدول (5): مؤشرات الأداء المروري المستخلصة من التحليل الكمي لحركة المرور بشارع بغداد (قبل التدخل الرقمي)

المؤشر	القيمة / الوصف	الأساس الحسابي للمؤشر	الدلالة التخطيطية
الحجم المروري الكلي في ساعة الذروة	مركبة/ساعة 2280	نتائج المسح المروري الميداني	حجم حركة مرتفع نسبياً ضمن مقطع حضري رئيسي
معدل التدفق المروري للحارة الواحدة	مركبة/ساعة/حارة570	2280 ÷ 4 حارات	أقل من السعة النظرية للحارة (≈2000 مركبة/ساعة/حارة)
طول المقطع المدروس	كم 2.5	قياس ميداني للمقطع	مقطع حضري رئيسي يربط شرق المدينة بغربها
متوسط زمن الرحلة	دقيقة12	متوسط 6 رحلات ميدانية	زمن عبور مرتفع نسبياً بالنسبة لطول المقطع
متوسط سرعة الرحلة	كم/ساعة 13	V = L/T	سرعة منخفضة مقارنة بالسرعة التشغيلية المتوقعة للشوارع الحضرية
زمن التأخير عند التقاطعات	دقائق4	الفرق بين زمن الرحلة الفعلي والزمن الحر	تأثير واضح للتقاطعات والتداخلات المرورية
مستوى الخدمة المرورية (LOS)	اعتماداً على سرعة الرحلة HCM وفق (E)	اعتماداً على سرعة الرحلة والتأخير وفق HCM	تدفق غير مستقر وانخفاض مستوى الخدمة
استقرار التدفق المروري	غير مستقر	تحليل سرعة الرحلة والتوقفات	حساسية عالية لأي زيادة بالحركة
الكفاءة التشغيلية العامة	منخفضة نسبياً	تحليل المؤشرات السابقة	الحاجة لتحسين إدارة التقاطعات والحركة

المصدر: إعداد الباحث بالاعتماد على بيانات المسح المروري والتحليل وفق منهجية ((HCM.

تشير نتائج تحليل زمن الرحلة ومؤشرات الأداء المروري إلى أن ارتفاع زمن العبور في المقطع المدروس لا يرتبط بالحجم المروري فقط، بل يرتبط بصورة رئيسة بالعوامل التشغيلية المرتبطة بتنظيم الحركة المرورية داخل الشارع الحضري، ولا سيما زمن التأخير عند التقاطعات والتداخلات المرورية الجانبية وتوقف المركبات على جانبي الطريق. إذ تعد التقاطعات من أكثر عناصر الشبكة الحضرية تأثيراً في انسيابية الحركة، حيث تُمثِل نقاط تركّز للتباطؤ والتوقفات المتكررة للمركبات، الأمر الذي يؤدي إلى انخفاض كفاءة استثمار السعة المتاحة للطريق وارتفاع زمن الرحلة حتى في الحالات التي تبقى فيها الأحجام المرورية ضمن الحدود المقبولة نظرياً.

وعلى الرغم من أن معدل التدفق المروري للحارة الواحدة في المقطع المدروس لا يصل إلى السعة النظرية للشوارع متعددة الحارات، فإن تقييم مستوى الخدمة المرورية (LOS) لم يعتمد على الحجم المروري فقط، بل استند إلى مؤشرات الأداء التشغيلية الفعلية، وفي مقدمتها متوسط سرعة الرحلة وارتفاع زمن التأخير عند التقاطعات وعدم انتظام التدفق الناتج عن التداخلات الجانبية وكثرة نقاط الوصول المباشر على طول الشارع. وبناءً على هذه المؤشرات التشغيلية تم تصنيف الأداء المروري للمقطع ضمن مستويات الخدمة المتدنية (E) وفق منهجية تحليل الشوارع الحضرية الواردة في دليل السعة الطرقية (HCM)، وهو ما يعكس انخفاض الكفاءة التشغيلية للحركة المرورية خلال فترات الذروة.

منهجية تقييم نتائج التدخل الرقمي المقترح:

اعتمد تقييم نتائج التصميم الرقمي المقترح على منهجية دراسة زمن الرحلة والتأخير من خلال تحليل مصادر التأخير المروري والتي تم تشخيصها ميدانياً ضمن الحالة القائمة، خصوصاً زمن التوقف عند التقاطعات والتداخلات الجانبية والوقوف العشوائي على جانبي الطريق. وبالاستناد إلى مبادئ التقييم قبل وبعد والمستعملة في دراسات هندسة المرور، أذ تم تقدير مقدار التحسن التشغيلي المتوقع الناتج عن تطبيق الإشارات التكيفية وتنظيم المواقف وتحسين انسيابية الحركة، وعليه تم اشتقاق مؤشرات الأداء بعد التطبيق بوصفها قيماً تحليلية مستندة إلى تقليل زمن التأخير التشغيلي وليس تقديراً شخصياً للباحث.

التصميم المقترح لشارع بغداد بعد الرقمنة:

استناداً إلى مؤشرات الأداء المروري المستخلصة من التحليل الكمي والتي أظهرت انخفاض متوسط سرعة الرحلة (13 كم/ساعة) وارتفاع زمن الرحلة (12 دقيقة) إضافة إلى تدني مستوى الخدمة المرورية (LOS) وعدم استقرار التدفق المروري نتيجة التأخير عند التقاطعات والتداخلات الجانبية، تم إعداد تصور تصميمي حضري–مروري مقترح لشارع بغداد قائم على مبادئ التحول الرقمي في إدارة النقل الحضري بهدف تحسين الكفاءة التشغيلية للشارع دون اللجوء إلى التوسعة الفيزيائية التقليدية للطريق.

يرتكز التصميم المقترح على إعادة تنظيم المقطع العرضي للشارع وتكامل عناصره الوظيفية مع أنظمة نقل ذكية، بما يساهم في معالجة مؤشرات الأداء المروري التي تم تشخيصها. إذ تم تنظيم مسارات الحركة المرورية وتخصيص حارات واضحة للمركبات وربطها بنظام مراقبة مرورية يعتمد على حساسات أرضية وكاميرات ذكية لجمع البيانات المرورية في الزمن الحقيقي، مما يتيح مراقبة التدفق المروري وتحسين توقيت الإشارات المرورية وتقليل زمن التأخير عند التقاطعات. وتشير الدراسات إلى أن أنظمة الإدارة المرورية الذكية قادرة على تحسين انسيابية الحركة وتقليل التأخير المروري من خلال التحكم الديناميكي بالإشارات المرورية اعتماداً على البيانات اللحظية لحركة المركبات.

كما تضمَّن التصميم إدماج مسار مخصص للنقل العام مدعوم بمحطات توقف ذكية، بهدف تعزيز كفاءة النقل الجماعي وتقليل الاعتماد على المركبات الخاصة، بالإضافة إلى تطوير الأرصفة ومسارات المشاة والدراجات بما يعزّز السلامة المرورية ويرفع جودة البيئة الحضرية للشارع.

ويتضمَّن التصميم أيضاً نظاماً رقمياً لإدارة المواقف يعتمد على الحجز المسبق وتنظيم زمن الوقوف، مما يساهم في تقليل التوقفات العشوائية التي تؤثِّر في استقرار التدفق المروري. كما تم ربط عناصر التصميم كافة بمنصة تحكم مروري رقمية تعتمد على نظم المعلومات الجغرافية (GIS) لتحليل البيانات المكانية ودعم اتخاذ القرار التشغيلي في الزمن الحقيقي.

وبذلك فإن التصميم المقترح لا يقتصر على تحسين الخصائص الفيزيائية لشارع بغداد، بل يركز على رفع الكفاءة التشغيلية للنظام المروري من خلال تقليل زمن الرحلة والتأخير عند التقاطعات وتحسين مستوى الخدمة المرورية وتعزيز السلامة المرورية، بما ينسجم مع توجهات التحول الرقمي في إدارة النقل الحضري.

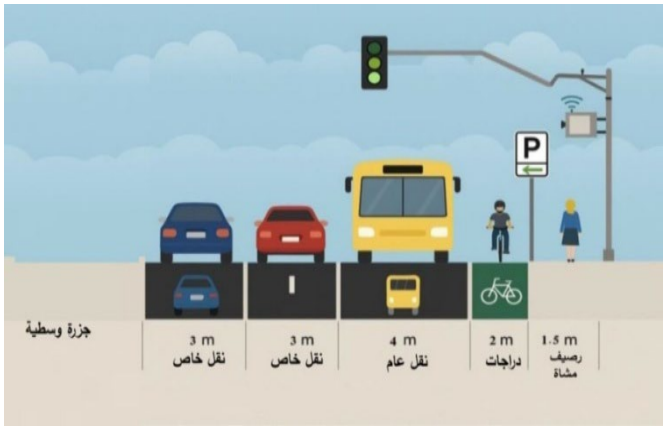
Running Time=12−4=8 دقائق

جدول (6) توزيع المقطع العرضي الجديد (Cross Section)

العنصر	العرض الجديد	المكون الرقمي
ممر مركبات مزدوج	3 م × 4 حارات = 12 م	كاميرات + حساسات أرضية
ممر حافلات ذكية	4 م	محطات رقمية
رصيف تفاعلي للمشاة	1.5 م	إنارة ذكية + لوحات بيانات
مسار دراجات محمي	2 م	تتبع حركة آني
شريط تشجير ذكي	1.5 م	قياس جودة الهواء
مواقف رقمية ذكية	1.5 م	حجز مسبق عبر التطبيق

المصدر: الباحث.

تم تحديد أبعاد المقطع العرضي المقترح في شارع بغداد بالاعتماد على المعايير التخطيطية لتصميم الشوارع الحضرية بما ينسجم مع الوظيفة المرورية للشارع وطبيعة الاستخدام المكثف للمشاة والزوار. حيث تم اعتماد عرض الحارة المرورية (3.0 م) انسجاماً مع معايير تصميم الشوارع الحضرية المقيدة داخل مراكز المدن، والتي تسمح باستخدام حارات بعروض تتراوح بين (3.0–3.3) م وذلك بهدف تهدئة السرعة وتحسين السلامة المرورية دون التأثير على كفاءة التشغيل و بما يحقق توازن بين القدرة الاستيعابية والسلامة المرورية. جرى أيضا توزيع بقية عناصر المقطع العرضي (ممرات النقل العام والأرصفة ومسارات الدراجات والمواقف) استناد إلى مبادئ التصميم الحضري المتكامل، مع مراعاة عدم اللجوء إلى التوسعة الفيزيائية للمقطع القائم، والتركيز بدل من ذلك على إعادة التوزيع الوظيفي المدعوم بالتقنيات الرقمية. أذ يفترض أن يساهم هذا التوزيع، عند ربطه بأنظمة النقل الذكية والإدارة التكيفية للحركة، في رفع الكفاءة التشغيلية للشارع من دون الحاجة إلى زيادة العرض الكلي للطريق.



شكل(4) المقطع العرضي الجديد لشارع بغداد
المصدر: الباحث

مخرجات التطبيق الرقمي:

لغرض تقييم أثر النظام الرقمي المقترح على الأداء المروري لشارع بغداد تم تطبيق نموذج التحليل التشغيلي الذي يعتمد على مؤشرات الأداء المروري المستخرجة من المسح الميداني، وبالاعتماد على معادلات تحليل زمن الرحلة والتأخير عند التقاطعات المستخدمة في هندسة المرور.

أظهرت نتائج القياس الميداني أن طول المقطع المدروس يبلغ 2.5 كم، في حين بلغ متوسط زمن الرحلة في الحالة الحالية نحو 12 دقيقة، مما يعني أن متوسط **سرعة الرحلة يحسب وفق العلاقة:**

كم/ساعة13 = V=L/T : V= 2.5/12/60

كما أظهرت نتائج تحليل زمن الرحلة أن زمن التأخير عند التقاطعات يبلغ نحو 4 دقائق من زمن الرحلة الكلي، وعليه فإن زمن الحركة الفعلي دون توقف يساوي:

ولتحليل تأثير النظام الرقمي تم اعتماد نموذج تنسيق الإشارات المرورية التكيفية (Adaptive Signal Coordination) الذي يعمل على تحسين توزيع الأزمنة الخضراء وتقليل زمن التوقف عند التقاطعات. وتبين الدراسات التطبيقية لأنظمة الإشارات الذكية أن هذا النوع من التحكم يمكن أن يقلل التأخير المروري في التقاطعات بنسبة تتجاوز 40٪ نتيجة تحسين انسيابية التدفق المروري.

وبتطبيق هذا التحسين على التأخير المروري يصبح:

Delay new=4×0.55=2.2 دقيقة

كما يؤدي تنسيق الإشارات على طول المحور المروري (Green Wave Coordination) إلى تقليل التوقفات المتكررة بين التقاطعات وتحسين زمن الحركة الفعلي بنسبة تقارب 25٪ نتيجة تقليل التباطؤ والتسارع المتكرر للمركبات، وعليه يصبح زمن الحركة الجديد:

Running Timenew=8×0.75=6 دقائق

فإن زمن الرحلة بعد تطبيق النظام الرقمي يحسب وفق العلاقة:

Delaynew +Travel Time=Running Timenew

Travel Time=6+2.2=8.2 دقيقة

وبالاعتماد على طول المقطع المدروس تم حساب متوسط سرعة الرحلة الجديدة كما يأتي:

كم/ساعة19 = V=L/T : V= 2.5/8.2/60

وتشير نتائج التحليل إلى أن تطبيق نظام الإدارة المرورية الرقمية يؤدي إلى تقليل زمن الرحلة من 12 دقيقة إلى نحو 8.2 دقيقة، ورفع متوسط سرعة الرحلة من 13كم/ساعة إلى نحو 19 كم/ساعة، أي بزيادة تقارب 46٪ في سرعة الحركة، وهو ما يعكس تحسناً واضحاً في الكفاءة التشغيلية للشريان الحضري نتيجة تقليل زمن التأخير عند التقاطعات وتحسين انسيابية التدفق المروري.

أولاً: نتائج كمية:

جدول (7) نتائج كمية لمخرجات التطبيق الرقمي لشارع بغداد

المؤشر	قبل الرقمنة	بعد الرقمنة
زمن العبور الكامل للشارع	12 دقيقة	8.2 دقيقة
زمن انتظار عند التقاطعات	4 دقائق	أقل من 2.2 دقيقة
معدل الحوادث الأسبوعي	7 حوادث	أقل من حادث واحد
كثافة المركبات بالساعة	2280 مركبة	950 مركبة (بانسيابية)

المصدر: الباحث بالاعتماد على نتائج التصميم المقترح.

ثانياً: نتائج نوعية:

1- تحسن كبير في أمان المشاة.
2- زيادة رضا السكان والزوار.
3- تحسن جودة الهواء بفضل التشجير والمراقبة الذكية.
4- تسهيل إدارة المرور وتوزيع المهام بين الجهات.

خطة التنفيذ المرحلية للتصميم الرقمي المقترح:

استناد إلى مؤشرات الأداء المروري التي تم تشخيصها سابقاً وإلى مخرجات التصميم الرقمي المقترح ونتائج التقييم قبل/بعد، يقترح البحث خطة تنفيذ مرحلية لغرض تطبيق التدخلات الرقمية بشارع بغداد بصورة تدريجية، وبهدف تقليل

المخاطر التشغيلية وضمان قابلية القياس والتحسين المستمر بما ينساجم مع طبيعة المدينة الدينية وتذبذب الأحجام المرورية خلال المواسم.

المرحلة الأولى: تطبيق تجريبي على مقطع (500) م

تمتد المرحلة التجريبية لمدة (6) أشـــهر، أذ تهدف هذه المرحلة لاختبار فاعلية التدخلات الرقمية الأكثر تأثير وبكلفة معقولة على مقطع محدد من الشـارع يعد الأعلى ضـغط (يفضـل أن يكون قرب تقاطع رئيس أو منطقة جذب تجاري/خدمي). أذ تتضـمن هذه المرحلة تركيب حسـاسـات مرورية وكاميرات رصـد وتشـغيل إشـارات تكيفية/ عدادات زمن لتنظيم المواقف رقمياً بصـورة جزئية، وتفعيل لوحات إرشاد رقمية. أذ يعد نجاح هذه المرحلة شرط للانتقال إلى التوسع.

المرحلة الثانية: التوسع على طول الشارع

بعد تقييم نتائج المرحلة الأولى ينتقل الى توسـيع نطاق التدخلات الرقمية لتشـمل كامل شـارع بغداد مع اسـتكمال مسـارات النقل العام ومحطاته الذكية وتحسين الأرصفة ومسارات الدراجات كذلك بتطبيق نظام إدارة المواقف بالحجز المسـبق. كما يتم تعزيز تكامل البيانات مع (GIS) لتحديد نقاط الاختناق المتغيرة ودعم القرارات التشغيلية، وتمتد هذه المرحلة 12 شهر.

المرحلة الثالثة: التكامل المؤسسي والتعميم

هذه المرحلة تركز على ربط شارع بغداد بمنصة إدارة مرورية على مسـتوى المدينة (أو مركز تحكم مبسـط في البداية) وتوحيد قاعدة البيانات بين البلدية والمرور والجهات الخدمية حيث تمتد من (18-24) شـهر. كما أن هذه المرحلة تتضـمن إطلاق التطبيق الذكي (نجف تنقل) بصـورة رسـمية، ثم نقل التجربة إلى شوارع مماثلة بعد قياس الأثر (مثل شارع السهلة وشارع الكورنيش) وفق معايير اختيار واضحة (الحجم المروري، حساسية الذروة، كثافة المشاة).

جدول (8): خارطة طريق تنفيذ التدخلات الرقمية المقترحة في شارع بغداد

المرحلة	نطاق التطبيق	التدخلات الرقمية ذات الأولوية	الجهة/الجهات المقترحة للتنفيذ	مخرجات القياس (KPIs) للتحقق
الأولى (pilot)	مقطع عالي الضغط م 500	حساسات + كاميرات وإشارات تكيفية/عدادات زمن و تنظيم مواقف جزئي و لوحات إرشاد رقمية	بلدية النجف و مديرية المرور	زمن التأخير عند التقاطعات وزمن الرحلة بالمقطع وانتظام الوقوف و السلامة
الثانية (Scale-up)	كامل شـارع بغداد	تعميم (ITS) استكمال ممر النقل العام ومحطات ذكية و إدارة مواقف بالحجز و ربط بيانات (GIS)	بلدية النجف + المرور + النقل/البلدية	زمن الرحلة الكلي و مستوى الخدمة (تقديري) و استقرار التدفق و رضا المستخدم
الـثـالـثـة (Integration)	على مسـتوى المدينة/شوارع مختارة	مركز تحكم (محلي أو تدريجي) وتطبيق (نجف تنقل) تكامل قواعد البيانات وتعميم النموذج لشوارع أخرى	محافظة النجف + بلدية النجف + المرور + شركات + جامعة	تحسن مستدام بالمؤشرات وخفض الحوادث وتقليل الاختناقات الموسمية و قابلية التكرار

المصدر: الباحث بالاعتماد على نتائج التحليل والتصميم المقترح

وتؤكِّد خطة التنفيذ المرحلية أن التحول الرقمي بالنقل الحضـري لا يتطلَّب بالضرورة توسعات إنشائية مكلفة بل يمكن تحقيق تحسين ملموس بالكفاءة التشـغيلية عبر إدارة السـعة القائمة وتوجيه الطلب المروري شـريطة بأن يتم التطبيق تدريجياً وبمؤشـرات قياس واضـحة وبما يضـمن اسـتدامة التشـغيل والصيانة وتكامل الأدوار المؤسسية.

الاستنتاجات:

نتائج التحليل المروري أن المقطع المدروس يعمل ضـمن حدود السـعة التصـميمية للطريق، حيث بلغ معدل التدفق المروري للحارة الواحدة نحو 570 مركبة/سـاعة/حارة وهو أقل بكثير من السعة النظرية للشوارع الحضرية متعددة الحارات، مما يدل على أن مشـكلة الأداء المروري في المقطع لا ترتبط بتجاوز السعة الفيزيائية للطريق.

بين تحليل زمن الرحلة أن متوسـط زمن العبور للمقطع البالغ طوله 2.5 كم يبلغ نحو 12 دقيقة بمتوسط سرعة رحلة يقارب 13 كم/سـاعة، وهو ما يشير إلى انخفاض الكفاءة التشغيلية للحركة المرورية داخل الشارع الحضري.

أظهر تحليل مكونات زمن الرحلة أن زمن التأخير عند التقاطعات يمثل نحو 33٪ من زمن الرحلة الكلي (4 دقائق من أصـل 12 دقيقة)، مما يؤكِّد أن التقاطعات تشـكل نقاط الاختناق الرئيسـة في المقطع المدروس، حيث يعتمد تقييم أداء الشـوارع الحضـرية أسـاسـاً على مقدار التأخير المروري الناتج عن التحكم المروري والتقاطعات

أظهرت نتائج تحليل مسـتوى الخدمة المرورية أن الأداء التشـغيلي للمقطع يقع ضـمن مسـتويات الخدمة المتوسـطة إلى المتدنية (LOS E) نتيجة ارتفاع زمن التأخير وعدم انتظام التدفق المروري، على الرغم من أن الأحجام المرورية لا تتجاوز السعة التصميمية للطريق.

أظهرت نتـائج التحليـل للنظـام الرقمي المقترح أن تحسـين إدارة الإشارات المرورية وتنسيقها على طول المحور المروري يؤدِّي إلى تقليل زمن التأخير عند التقاطعات وتحسين استقرار التدفق المروري، مما يؤدِّي إلى خفض زمن الرحلة إلى نحو 8.2 دقيقة ورفع متوسـط سـرعة الرحلة إلى نحو 19 كم/ساعة.

تشير نتائج التحليل إلى أن تحسين الإدارة التشغيلية للحركة المرورية يمكن أن يحقّق تحسـناً ملحوظاً في الأداء المروري من دون الحاجة إلى التوسـعة الفيزيائية للطريق، وذلك من خلال تحسـين توقيت الإشـارات المرورية وتنظيم الوقوف وتقليل التداخلات الجانبية.

تؤكِّد نتائج الدراسـة أن اعتماد أنظمة النقل الذكية والإدارة الرقمية للحركة المرورية يُمثِّل أداة فعالة لتحسين كفاءة الشوارع الحضرية ذات الطلب المروري المتذبذب، خصوصاً في المدن الدينية التي تشهد تغيرات كبيرة في حجم الحركة خلال فترات زمنية محددة.

التوصيات

1. اعتماد التصميم الرقمي المقترح لشارع بغداد كنموذج تجريبي.
2. إنشاء مركز تحكم رقمي مروري في بلدية النجف.
3. إطلاق تطبيق (نجف تنقل) لتكامل المواقف وتتبع الحافلات والبلاغات.
4. تنفيذ المرحلة الأولى على مقطع طوله 500 م وتقييم الأداء.
5. تطوير كادر بلدي متخصص بإدارة النقل الرقمي من خلال ورش وشراكات.
6. تعميم التجربة على شوارع أخرى بعد قياس الأثر (شارع السهلة وشارع الكورنيش).
7. تشجيع القطاع الخاص على الاستثمار في محطات الباصات الرقمية ومواقف السيارات الذكية.
8. دمج بيانات النقل مع نظم معلومات بلدية النجف للاستفادة في التخطيط المستقبلي.

9. المصادر

Abd Al-Bari, E.S., Alrikabi, N.K., Alwan, K.H., Saadoon, R.A. (2025). Digitization of Cities and Its Impact on City Sustainability. International Journal of Sustainable Development and Planning, 20(3), 1317–1325. https://doi.org/10.18280/ijsdp.200337 .

Banister, D. (2018). Transport, urban form and carbon emissions in developed cities. Journal of Transport Geography.

Cervero, R. (2013). Sustainable Transportation Planning. Wiley.

Chong, A., Lee, C. H., , & Teo, E. (2018). Smart Mobility and Data-Driven Urban Planning in Singapore. Springer.

Dubai RTA. (2020). Annual Smart Transportation Report. Road and Transport Authority, Dubai.

ECD. (2019). The Future of Transport: Challenges and Opportunities. Organisation for Economic Co-operation and Development.

European Commission. (2019). Its in Europe: Results and Outlook. Directorate-General for Mobility and Transport.

Gehl, J. (2019). Cities for People. Island Press.

Jittrapirom, P., & et al. (2017). Mobility as a Service: A Critical Review of Definitions, Assessments of Schemes, and Key Challenges. Urban Planning Journal.

Longley, P. A., Goodchild, M. F., Maguire, D. J., , & Rhind, D. W. (2015). Geographic Information Systems and Science. Wiley.

McKinsey Global Institute. (2020). Smart Cities: Digital Solutions for a More Livable Future.

Mohammed, E., , & Altaie, M. R. (2025). Review and Analysis of Smart City Evaluation Frameworks, Journal of Engineering. University of Baghdad, 31(4), 62–81.

Rodrigue, J-P. (2020). The Geography of Transport Systems (5th ed.). Routledge.

Schwab, K. (2020). The Fourth Industrial Revolution. World Economic Forum.

Stern, N. (2007). The Economics of Climate Change: The Stern Review. Cambridge University Press.

Townsend, A. M. (2013). Smart Cities: Big Data, Civic Hackers, and the Quest for a New Utopia. W. W. Norton & Company.

UN-Habitat. (2016). Smart Cities: Strategies for Sustainability. World Cities Report 2016.

Walker, B., Holling, C. S., Carpenter, S. R., , & Kinzig, A. (2004). Resilience, Adaptability, and Transformability in Social–Ecological Systems. Ecology and Society, 9(2), 43.

Zari, F.K.M., Alrikabi, N.K.M.A. (2024). Identifying the Best Suitable Places for Urban Agriculture in Baghdad City: “Abu Ghraib District,” as a Case Study. Pakistan Journal of Life and Social Sciences, 22(1), 3049–3060. https://doi.org/10.57239/PJLSS-2024-22.1.00221

Zimmerman, R., , & Faris, C. (2011). Climate Change Mitigation and Adaptation in Urban Planning. Journal of Urban Technology, 18(1), 33.

بلدية النجف الأشرف. (2022). الخارطة الأساسية لمدينة النجف الأشرف.

دائرة التنمية الإقليمية والمحلية – مديرية تخطيط النجف الأشرف. (2021). بيانات ومخططات استعمالات الأرض لمدينة النجف الأشرف. النجف، العراق.

عباس، مضر عبد الكريم. (2024). تطبيق نظام معلومات المدينة لتعزيز شبكة البنية التحتية للنقل. رسالة ماجستير، مركز التخطيط الحضري والإقليمي للدراسات العليا، جامعة بغداد.

علي، حسين. (2021). النقل العام الذكي في المدن المقدسة-دراسة مقارنة بين كربلاء والنجف. جامعة الكوفة-كلية التخطيط العمراني. جامعة الكوفة.

غني، مصطفى. (2018). دور العمارة في الحفاظ على الهوية الروحية للمدن الدينية-دروس من مكة. المجلة العربية للمدن.

فليح، مهيب كامل. (2011). واقع شبكة النقل في العراق. مجلة المخطط والتنمية، العدد (23)، 1-24. مركز التخطيط الحضري والإقليمي للدراسات العليا، جامعة بغداد.

الكناني، زينب. (2020). تأثير تصميم الطرق على جودة الحركة المرورية في المدن ذات الطابع الديني-حالة النجف. المجلة العراقية للتخطيط الحضري، العدد 8.

محمد مهدي، طيبة. (2023). النقل الذكي وتشكيل المدن: دراسة حالة مدينة تكريت. رسالة ماجستير، مركز التخطيط الحضري والإقليمي للدراسات العليا، جامعة بغداد.