

التنقل الذكي المستدام في المملكة العربية السعودية عبر إنترنت الأشياء والذكاء الاصطناعي (تقييم التجارب المحلية وتحديات التطبيق)

Sustainable Smart Mobility in Saudi Arabia through the Internet of Things and Artificial Intelligence (An Evaluation of Local Initiatives and Implementation Challenges)

إعداد الدكتورة/ حنان عبدالرزاق شوشان

أستاذ مساعد، جامعة شقراء، المملكة العربية السعودية

Email: hanene@su.edu.sa

المخلص:

يتناول هذا البحث دراسة التنقل الذكي المستدام في المملكة العربية السعودية من خلال استخدام تقنيتي إنترنت الأشياء والذكاء الاصطناعي، ويهدف إلى تقييم التطبيقات المحلية لهذه التقنيات في تحسين نظم النقل الذكي. يركز البحث على مشاريع فعلية مثل نظام إدارة المرور الذكي في منطقة الملك عبد الله المالية وتجربة السيارات ذاتية القيادة في الرياض، بالإضافة إلى تحليل التحديات التنظيمية، التقنية، والاجتماعية التي تواجه تطبيق هذه التقنيات في المملكة، حيث يسهم البحث في زيادة المعرفة بحلول التنقل الذكي في السياقات العربية والاقتصادات النامية مما يعزز من التقدم التكنولوجي، وتقديم التجربة السعودية دروساً قيمة للدول الأخرى في المنطقة والعالم الراغبة في تطبيق تقنيات النقل الذكي. يعتمد البحث على منهجية تحليلية مدمجة تشمل دراسة الحالات الفعلية والتحليل المقارن للتقنيات المستخدمة في المشاريع الحالية. وتشير النتائج إلى أن السعودية حققت تقدماً ملحوظاً في استخدام تقنيات الذكاء الاصطناعي وإنترنت الأشياء لتحسين النقل، إلا أن هناك تحديات متبقية تتعلق بالبنية التحتية الرقمية، وغياب التنسيق بين الهيئات المختلفة، وعدم توحيد السياسات التنظيمية. كما أظهرت النتائج أهمية التعاون بين الجهات الحكومية والقطاع الخاص لتسريع تطبيق هذه التقنيات. في الختام، يوصي البحث بتطوير البنية التحتية الرقمية، وتوحيد التشريعات الخاصة بالتنقل الذكي، وتعزيز وعي المجتمع بفوائد هذه التقنيات، مع تنفيذ سياسات تدعم الاستدامة البيئية لتحقيق أهداف رؤية السعودية 2030.

الكلمات المفتاحية: التنقل الذكي، الذكاء الاصطناعي، إنترنت الأشياء، الاستدامة البيئية، النقل المستدام، المملكة العربية السعودية، السيارات ذاتية القيادة.

Sustainable Smart Mobility in Saudi Arabia through the Internet of Things and Artificial Intelligence (An Evaluation of Local Initiatives and Implementation Challenges)

Dr. Hanene Chouchane

Assistant professor, Shaqra University, Kingdom of Saudi Arabia

Abstract:

This study examines sustainable smart mobility in Saudi Arabia through the integration of Internet of Things (IoT) and Artificial Intelligence (AI) technologies. It aims to evaluate the local applications of these technologies in improving smart transportation systems. The research focuses on actual projects such as the Smart Traffic Management System in the King Abdullah Financial District (KAFD) and the Autonomous Vehicle Trials in Riyadh, in addition to analyzing the regulatory, technical, and social challenges facing the implementation of these technologies in the Kingdom. This research contributes to increasing knowledge of smart mobility solutions in Arab contexts and developing economies, thus enhancing technological progress, and providing valuable lessons from the Saudi experience for other countries in the region and the world wishing to implement smart transportation technologies. The study uses an analytical methodology that combines case studies and a comparative analysis of the current projects. The results show that Saudi Arabia has made significant progress in utilizing AI and IoT technologies to enhance transportation; however, challenges remain concerning digital infrastructure, lack of coordination among different entities, and unifying regulatory policies. The findings also highlight the importance of collaboration between government agencies and the private sector to accelerate the deployment of these technologies. In conclusion, the study recommends the development of digital infrastructure, unifying transportation regulations, and raising public awareness of the benefits of these technologies to ensure the successful implementation of future smart mobility projects. Additionally, the study emphasizes the need to implement policies that support environmental sustainability and contribute to achieving the objectives of Saudi Vision 2030 in enhancing the transportation ecosystem.

Keywords: Smart mobility, Artificial Intelligence, Internet of Things, Environmental sustainability, Sustainable transportation, Saudi Arabia, Autonomous vehicles.

1. المقدمة:

يشهد العالم في القرن الحادي والعشرين تحوُّلاً جذرياً في نظم النقل الحضري نتيجة الزيادة المطَّردة في النمو السكاني والتحضر، حيث يتوقع أن يرتفع عدد سكان المدن إلى أكثر من 67% من إجمالي السكان بحلول عام 2050، مما يزيد من الضغط على نظم النقل التقليدية ويطرح تحديات كبيرة تتعلق بالازدحام والإدارة البيئية والفعالية التشغيلية. لمواجهة هذه التحديات، ظهرت مفاهيم مثل التنقل الذكي والنقل المستدام كاستجابة ضرورية تجمع بين التحوُّل الرقمي والأهداف البيئية والاجتماعي (Abul Kashem 2025) (et al., Alamoudi et al., 2024).

في السياق العالمي، يُعرَّف التنقل الذكي على أنه دمج التقنيات الرقمية المتقدمة ضمن أنظمة النقل بهدف تحسين كفاءة الحركة وتقليل الانبعاثات وتحسين جودة الحياة في البيئات الحضرية. ويتضمن ذلك اعتماد تكنولوجيات مثل الذكاء الاصطناعي (AI)، إنترنت الأشياء (IoT)، التحليل التنبؤي، وأنظمة النقل كخدمة (MaaS) التي تعمل على بناء منظومات اتصال ذكية بين المركبات والبنية التحتية والتطبيقات المركزية لإدارة الحركة في الوقت الحقيقي (Alanazi, 2023.; Alam et al., 2024).

تُعد هذه التحوُّلات جزءاً من رحلة أوسع نحو الاستدامة في النقل المستقبلي، حيث ترتبط الاستدامة ليس فقط بتحسين الكفاءة التشغيلية وإنما أيضاً بتحقيق أهداف التنمية المستدامة (SDGs) من خلال تخفيض الانبعاثات الكربونية، وتحسين السلامة المرورية، وتعزيز العدالة في الوصول إلى خدمات النقل (Abul Kashem et al., 2025).

أما فيما يتعلَّق بتكنولوجيا الذكاء الاصطناعي وإنترنت الأشياء، فهما يشكلان بنية أساسية لتوفير البيانات الحية والتحليلات الدقيقة التي تمكن النظم الذكية من التنبؤ بالسلوك المروري، وتحسين تدفق الخدمات، وإدارة الموارد بشكل ديناميكي. توفر أجهزة الاستشعار الموزعة والشبكات المتصلة عبر IoT بيانات لحظية، بينما تعالج خوارزميات الذكاء الاصطناعي تلك البيانات لتحسين اتخاذ القرار وتشغيل النظم بذكاء عالي (Alam et al., 2024).

في هذا الإطار، تتجسد الأنظمة المتكاملة مثل (AIoT) الذكاء الاصطناعي + إنترنت الأشياء (كمحرِّك أساسي لتحويل البيانات إلى حلول تشغيلية فعالة، وهي تعد ركيزة أساسية في بناء النقل الذكي المستدام لما توفره من تحسين انسيابية الحركة، تقليل الازدحامات، وتعزيز السلامة البيئية ضمن منظومات حضرية متصلة (Alanazi, 2023).

على الصعيد المحلي، اتخذت المملكة العربية السعودية خطوات استراتيجية نحو التحول الرقمي في قطاع النقل، انطلاقاً من أهداف رؤية 2030 التي تسعى لتعزيز الاستدامة والبنية التحتية الذكية، وتقليل الاعتماد على الوقود الأحفوري عبر تطوير حلول نقل فعالة وأمنة. وقد شملت هذه الجهود مشاريع مبتكرة في مجال أنظمة تحكم المرور الذكية، اختبارات المركبات ذاتية القيادة، ونظام إدارة النقل الذكي الذي يربط بين البيانات الحية والمراكز التشغيلية لتحسين الأداء اللوجستي وتقليل الانبعاثات (Alotaibi et al., 2025). ومع تحقيق بعض التقدّم في التطبيقات المحلية، تبقى هناك حاجة لإجراء دراسات شاملة تقيم مدى فاعلية تجارب الذكاء الاصطناعي وإنترنت الأشياء في نظم النقل السعودية بالمقارنة مع نماذج عالمية رائدة. إذ تشير الدلائل إلى أن التحديات التنظيمية، ضعف التكامل بين الأنظمة، والتفاوت في بنية البنية التحتية الرقمية لا تزال عوائق أمام التوسع الشامل لتطبيقات النقل الذكي في المدن الكبرى داخل المملكة (Alamoudi et al., 2024).

بناءً على ما سبق، يحتاج البحث العلمي في هذا المجال إلى ربط الأبعاد التقنية بالتحديات المؤسسية والاجتماعية ضمن إطار تحليلي شامل، يتناول الواقع المحلي ومقارنتها بالتجارب الدولية، بهدف تقديم توصيات عملية وسياسات داعمة لتحقيق نقل حضري أكثر ذكاءً واستدامة.

1.1. مشكلة البحث:

تتمثل المشكلة البحثية في محدودية التحليل النظري المتكامل في الأدبيات العلمية الذي يتناول تطبيق تقنيات الذكاء الاصطناعي (AI) و إنترنت الأشياء (IoT) في مجال التنقل الذكي المستدام داخل المملكة العربية السعودية، رغم التقدم المتسارع عالمياً في هذا المجال. وعلى الرغم من وفرة الدراسات الدولية التي تناولت دور هذه التقنيات في تحسين كفاءة نظم النقل وتعزيز الاستدامة البيئية، إلا أن هناك نقصاً واضحاً في الدراسات التي تربط بين الأطر النظرية والتطبيقات العملية في السياق السعودي، خصوصاً من خلال تحليل مشاريع محلية فعلية ضمن إطار تحليلي مقارن.

كما تفنقر الأدبيات الحالية إلى معالجة شاملة تدمج بين الأبعاد التكنولوجية والتنظيمية والاجتماعية في تفسير واقع تطبيق النقل الذكي في المملكة، حيث غالباً ما يتم تناول هذه الجوانب بشكل منفصل دون تقديم رؤية تكاملية.

وبناءً على ذلك، يسعى هذا البحث إلى معالجة هذه الفجوة من خلال مراجعة تحليلية للأدبيات الحديثة، مدعومة بتحليل وصفي لمشاريع مختارة، بهدف تقديم فهم أعمق لمستوى تطبيق تقنيات AI و IoT في النقل الذكي، وتفسير التحديات المرتبطة بها ضمن إطار نظري متكامل.

2.1. أهداف البحث:

يهدف هذا البحث إلى تقديم تحليل نظري متكامل لتطبيقات التنقل الذكي المستدام في المملكة العربية السعودية من خلال تقنيات الذكاء الاصطناعي (AI) وإنترنت الأشياء (IoT)، وذلك من خلال تحقيق الأهداف التالية:

- تحليل الإطار المفاهيمي والنظري للتنقل الذكي المستدام، مع توضيح دور تقنيات الذكاء الاصطناعي وإنترنت الأشياء في تطوير نظم النقل الحديثة .
- مراجعة وتحليل الأدبيات العلمية الحديثة المتعلقة بتطبيقات AI و IoT في النقل الذكي، بهدف تحديد الاتجاهات البحثية والفجوات المعرفية القائمة .
- تقديم تحليل وصفي تطبيقي لمشاريع مختارة في المملكة العربية السعودية (مثل مشاريع النقل الذكي في الرياض)، لربط الطرح النظري بالواقع العملي .
- تفسير أثر تطبيق تقنيات AI و IoT على كفاءة النقل والسلامة والاستدامة البيئية استناداً إلى ما ورد في الدراسات السابقة والنماذج التطبيقية .
- تحليل التحديات المرتبطة بتطبيق التنقل الذكي من منظور تكاملي يشمل الأبعاد التقنية والتنظيمية والاجتماعية، في ضوء الأدبيات العلمية .
- إجراء تحليل مقارن بين التجربة السعودية والتجارب الدولية الرائدة لاستخلاص أوجه القصور والفرص الممكنة للتطوير .
- تقديم إطار تحليلي وتوصيات استراتيجية تساهم في تعزيز تكامل تقنيات الذكاء الاصطناعي وإنترنت الأشياء في قطاع النقل بالمملكة.

3.1. أهمية البحث:

تكتسب هذه الدراسة أهمية كبيرة لعدة أسباب:

- الأثر الوطني حيث يوفر البحث رؤى حول كيفية مساهمة AI و IoT في تحقيق أهداف النقل المستدام ضمن رؤية 2030 .
- دعم السياسات من خلال مساعدة صناعات القرار على فهم التحديات والفرص في دمج هذه التقنيات ضمن البنية التحتية للنقل.

- يسهم البحث في زيادة المعرفة بحلول التنقل الذكي في السياقات العربية والاقتصادات النامية مما يعزز من التقدم التكنولوجي.
- الأهمية العالمية من خلال تقديم التجربة السعودية دروساً قيمة للدول الأخرى في المنطقة والعالم الراغبة في تطبيق تقنيات النقل الذكي.

4.1. التعريف بمصطلحات البحث:

- **التنقل الذكي:** يشير إلى استخدام التكنولوجيا لتحسين كفاءة وفعالية نظم النقل، مع تقليل التأثيرات البيئية والاجتماعية، من خلال تقنيات مثل المركبات الذاتية القيادة وإدارة حركة المرور الذكية.
- **إنترنت الأشياء (IoT)** هو شبكة من الأجهزة والحساسات المتصلة بالإنترنت التي تجمع البيانات في الوقت الفعلي وتحللها لدعم اتخاذ القرارات التشغيلية. في سياق النقل، يُستخدم IoT لمراقبة حركة المرور وتحسين تدفق المركبات.
- **الذكاء الاصطناعي (AI)** هو فرع من علوم الكمبيوتر يهدف إلى إنشاء أنظمة قادرة على أداء مهام تتطلب عادة الذكاء البشري، مثل التنبؤ بالازدحام، وإدارة حركة المرور، وتشغيل المركبات الذاتية القيادة.
- **التنقل المستدام:** يشير إلى الحلول التي تلبي احتياجات النقل الحالية دون التأثير على قدرة الأجيال المستقبلية على تلبية احتياجاتهم، ويشمل ذلك تقليل الانبعاثات وتحسين كفاءة الطاقة.
- **السيارات ذاتية القيادة:** هي المركبات التي يمكنها العمل دون تدخل بشري، باستخدام الذكاء الاصطناعي، والحساسات، والتعلم الآلي للملاحة وتنفيذ المهام.

5.1. حدود البحث:

- النطاق الجغرافي: المملكة العربية السعودية، مع التركيز على المدن الكبرى مثل الرياض ومنطقة KAFD
- النطاق الزمني: المشاريع المنفذة بين 2015 و2025، فترة مهمة للتوسع في التحول الرقمي .
- النطاق الموضوعي: دمج تقنيات AI و IoT في نظم النقل الذكي، مع تقييم المشاريع المحلية مثل إدارة المرور الذكي والسيارات ذاتية القيادة .
- الاستثناءات: لا يشمل البحث نظم النقل العام التقليدية أو المناطق غير الحضرية التي لم تُطبق فيها تقنيات النقل الذكي .

2. الإطار النظري والدراسات السابقة:

1.2. الإطار النظري:

1.1.2. الذكاء الاصطناعي وإنترنت الأشياء ودورهما في تحسين النقل الذكي

يشكل كلٌّ من الذكاء الاصطناعي (AI) وإنترنت الأشياء (IoT) ركيزتين أساسيتين في تطوير نظم النقل الذكي ضمن بيئة المدن الذكية، حيث يسهم الذكاء الاصطناعي في معالجة كميات ضخمة من البيانات وتحليل الأنماط المرورية بشكل استباقي، بما يمكنه من التنبؤ بالازدحام، وتحسين إدارة حركة المرور، ودعم تشغيل المركبات ذاتية القيادة، وهو ما يؤدي إلى تعزيز الكفاءة التشغيلية وتقليل أوقات التأخير (Dwivedi et al., 2023; Li et al., 2022). في المقابل، توفر تقنيات إنترنت الأشياء بنية تحتية رقمية قائمة على شبكة مترابطة من الحساسات والأجهزة الذكية القادرة على جمع البيانات الحية المتعلقة بمواقع المركبات، وكثافة المرور، وحالة الإشارات المرورية، مما يجعلها المصدر الأساسي للبيانات في أنظمة النقل الذكي (Al-Turjman & Lemayian, 2022; Gubbi

(et al., 2023). وتُعد هذه البيانات عنصرًا حاسمًا في تمكين أنظمة الذكاء الاصطناعي من اتخاذ قرارات تشغيلية دقيقة وفورية، بما يعزز من فعالية إدارة النقل الحضري.

وفي هذا السياق، برز مفهوم تكامل الذكاء الاصطناعي وإنترنت الأشياء (AIoT) كنموذج متقدم لإدارة نظم النقل الذكي، حيث يدمج بين قدرات التحليل التنبؤي التي يوفرها الذكاء الاصطناعي والبيانات الحية التي توفرها إنترنت الأشياء، مما يتيح تطوير أنظمة نقل ديناميكية قادرة على التكيف مع التغيرات في الوقت الحقيقي (Zhang et al., 2023; Zhao & Ge, 2024) وقد أظهرت الدراسات الحديثة أن هذا التكامل يساهم بشكل مباشر في تحسين انسيابية حركة المرور، تقليل مستويات الازدحام، وتعزيز كفاءة استخدام الموارد، وهو ما ينعكس إيجابًا على الأداء العام للنظام المروري (Khan et al., 2023).

علاوة على ذلك، يرتبط تطبيق إطار AIoT ارتباطًا وثيقًا بتحقيق أهداف الاستدامة الحضرية، حيث يساهم في تقليل الانبعاثات الكربونية الناتجة عن الازدحام المروري، وتحسين كفاءة استهلاك الطاقة، وتعزيز جودة الحياة في المدن (Abul Kashem et al., 2025). كما تؤكد تقارير المنظمات الدولية أن التحول نحو النقل الذكي القائم على البيانات والتحليلات التنبؤية يمثل أحد المسارات الرئيسية لتحقيق تنقل حضري مستدام في المدن المستقبلية (UN-Habitat, 2023).

وبناءً على ذلك، يمكن القول إن القيمة الحقيقية لتقنيات AI و IoT لا تكمن في كل منهما على حدة، بل في تكاملهما ضمن إطار موحد (AIoT)، حيث يؤدي هذا التكامل إلى تحويل البيانات الحية إلى قرارات ذكية تدعم الكفاءة التشغيلية والاستدامة البيئية في آن واحد، مما يجعلها حجر الأساس في تطوير أنظمة النقل الذكي الحديثة. ويمثل هذا التكامل الأساس النظري لتحليل تطبيقات النقل الذكي في السياق السعودي

2.1.2. أثر التنقل الذكي على الكفاءة التشغيلية والسلامة والاستدامة البيئية

يمثل التنقل الذكي أحد المحاور الأساسية في تحسين أداء النظم الحضرية، حيث يساهم بشكل مباشر في تعزيز الكفاءة التشغيلية وتقليل الاختناقات المرورية من خلال توظيف تقنيات الذكاء الاصطناعي (AI) وإنترنت الأشياء (IoT) في تحليل البيانات الحية واتخاذ القرارات التنبؤية في الزمن الحقيقي. إذ تُمكن خوارزميات التعلم الآلي من التنبؤ بأنماط الحركة المرورية وتحسين توقيت الإشارات وإدارة تدفق المركبات بشكل ديناميكي، مما يؤدي إلى تقليل أوقات الرحلات وتحسين استخدام البنية التحتية للنقل (Zhang et al., 2020; Zheng & Liu, 2019).

وعلى مستوى السلامة المرورية، يساهم التنقل الذكي في تقليل الحوادث الناجمة عن الأخطاء البشرية، والتي تشكل النسبة الأكبر من أسباب الحوادث عالميًا، من خلال اعتماد أنظمة القيادة الذاتية وأنظمة المراقبة الذكية القائمة على تحليل البيانات متعددة المصادر (Multimodal Data) وتُظهر الدراسات مثل دراسة (Smith et al., 2022) أن دمج الذكاء الاصطناعي وإنترنت الأشياء في إدارة النقل يمكن أن يعزز الاستجابة الفورية للحوادث، ويحسن مراقبة السلوك المروري، ويزيد من موثوقية النظام المروري ككل.

أما من الناحية البيئية، فيُعد التنقل الذكي أداة فعالة لتحقيق الاستدامة من خلال تقليل استهلاك الطاقة والانبعاثات الكربونية، وذلك عبر تحسين انسيابية الحركة وتقليل فترات التوقف والتشغيل غير الفعال للمركبات. وتشير الأدبيات الحديثة، مثل أبحاث (Chen & Wang (2021) و (Patel et al., 2023)، إلى أن تطبيق نماذج النقل الذكي القائمة على تكامل AI و IoT يمكن أن يحقق انخفاضًا ملموسًا في زمن الرحلات واستهلاك الطاقة والانبعاثات، مع تحقيق وفورات تشغيلية تدعم أهداف المدن المستدامة.

علاوة على ذلك، فإن التكامل بين هذه التقنيات ضمن إطار المدن الذكية يعزز من تحقيق أهداف التنمية المستدامة (SDGs)، حيث يتيح إدارة متكاملة للموارد الحضرية تعتمد على البيانات الضخمة والتحليلات التنبؤية، مما يساهم في بناء نظم نقل أكثر كفاءة، آمنًا، واستدامة بيئيًا (Batty et al., 2020; United Nations, 2022).

بناءً على ذلك، يمكن اعتبار التنقل الذكي نموذجًا متكاملًا يجمع بين الكفاءة التشغيلية، السلامة المرورية، والاستدامة البيئية، حيث لا يقتصر تأثيره على تحسين أداء النقل فحسب، بل يمتد ليشكل ركيزة أساسية في التحول نحو المدن الذكية المستدامة.

3.1.2. التحديات التقنية والتنظيمية والاجتماعية

يساهم التنقل الذكي بشكل مباشر في تعزيز الكفاءة التشغيلية للنقل الحضري من خلال تحسين انسيابية حركة المرور، تقليل أوقات الانتظار، ودعم الجدولة الديناميكية للطرق، ما يؤدي إلى استخدام أفضل للموارد المتاحة وتقليل الازدحام (Abul Kashem et al., 2025; Liu & Wang, 2024). كما يلعب هذا النهج دورًا مهمًا في تعزيز السلامة المرورية، حيث تقلل أنظمة التحكم الذكي في الإشارات المرورية والمركبات الذاتية القيادة من الحوادث المرتبطة بالخطأ البشري، وتُحسن الاستجابة للحوادث الطارئة من خلال تكامل الذكاء الاصطناعي وإنترنت الأشياء (AI/IoT) في نظم المراقبة والتحليل (Smith et al., 2023; Zhang et al., 2024). من الناحية البيئية، يساهم النقل الذكي في خفض الانبعاثات الكربونية واستهلاك الطاقة عن طريق تحسين التدفق المروري وتقليل فترات التوقف الطويلة، وهو ما يدعم أهداف الاستدامة البيئية ويرتبط مباشرة بمحاور التنمية الحضرية المستدامة للمدن الذكية (Chen & Kumar, 2022; Patel et al., 2023).

مع ذلك، تواجه جهود تطبيق التنقل الذكي مجموعة من التحديات التقنية والتنظيمية والاجتماعية التي يمكن أن تعيق تحقيق هذه الأهداف. من الناحية التقنية، تشمل هذه التحديات محدودية البنية التحتية الرقمية، صعوبات التكامل بين الأنظمة المختلفة، وتعقيد إدارة كميات البيانات الضخمة (Big Data) وضمان جودة البيانات في الزمن الحقيقي (Real-time) (Al-Farsi & Mahmoud, 2024; He et al., 2022). أما على الصعيد التنظيمي، فتبرز الحاجة إلى أطر قانونية واضحة تراعي جوانب السلامة، المسؤولية القانونية، والخصوصية والأمن السيبراني، خاصة في سياق المركبات الذاتية القيادة والتطبيقات الذكية المعتمدة على مشاركة البيانات (European Commission, 2023; Saudi Vision 2030 Transportation Framework, 2024).

يشير التحليل الاجتماعي إلى أن قبول المجتمع للتقنيات الذكية يتأثر بعدة عوامل ديموغرافية وثقافية. تميل الفئات الأصغر سنًا والأفراد ذوو التعليم العالي والمعرفة الرقمية الأكبر إلى تبني واستخدام تقنيات النقل الذكي والاعتماد على المركبات الذاتية القيادة بشكل أسرع، بينما تظهر مقاومة لدى الفئات الأكبر سنًا والأفراد ذوي الخبرة الرقمية المحدودة، خصوصًا فيما يتعلق بمخاوف الخصوصية، الأمن السيبراني، والثقة في نظم اتخاذ القرار الآلي (Al-Qahtani & Farooq, 2025; Nguyen et al., 2023). كما تؤثر العادات المرورية المحافظة على درجة تقبل هذه الأنظمة، في حين يعزز الاعتياد على التطبيقات الرقمية والانخراط في المجتمع الرقمي من احتمالية التبني (Hassan & Samara, 2024).

على المستوى الوطني، تظهر فجوة بحثية واضحة في سياق المملكة العربية السعودية فيما يتعلق بتطبيق تقنيات النقل الذكي. فعلى الرغم من التقدم العالمي في هذا المجال، تفتقر السعودية إلى دراسات معمقة تركز على تقييم التطبيقات الفعلية للذكاء الاصطناعي وإنترنت الأشياء في المدن الكبرى. ويُلاحظ تفاوت ملموس بين المدن السعودية الكبرى من حيث استعداد البنية التحتية الرقمية وتكامل نظم النقل الذكي؛ فمدينة الرياض تُعد الأكثر تقدمًا نسبيًا في هذا المجال، بينما تواجه جدة تحديات في تكامل البيانات والتحليل، وتظل مشاريع الدمام محدودة إلى حد كبير وتعتمد بشكل رئيسي على الحلول التقليدية (Al-Harbi, 2025).

توضح هذه الفجوة الحاجة إلى إجراء تقييمات تجريبية شاملة تجمع بين البيانات الحية من مصادر متعددة، وترتبط بين مستوى تبني التكنولوجيا وكفاءة النظام البيئي للنقل والاستدامة البيئية والاجتماعية. تُعد هذه التقييمات أساسًا لتصميم برامج توعية وتدريب موجهة حسب الفئة السكانية والموقع الجغرافي، مما يساهم في تحقيق تطبيق مستدام وفعال للتنقل الذكي داخل المملكة (Saudi Transport Research Forum, 2024; World Bank, 2023).

2.2. الدراسات السابقة:

تناولت الدراسات الحديثة دور الذكاء الاصطناعي وإنترنت الأشياء في تعزيز استدامة النقل وتحسين كفاءة الأنظمة الحضرية. في هذا السياق، قدمت دراسة (Aleessawi & Elmaskali (2026) تحليلاً متعمقاً لتكامل AI و IoT في المدن الذكية، حيث أبرزت الدراسة أن الدمج بين هاتين التقنيتين يمكن أن يحسن تدفق حركة المرور، يقلل الانبعاثات البيئية، ويوفر حلولاً مستدامة للنقل والطاقة. وعلى الرغم من القيمة النظرية لهذه الدراسة، إلا أن تطبيق هذه النتائج في السياق السعودي يتطلب المزيد من البحث حول الممارسات المحلية والتحديات التنظيمية والتقنية التي قد تواجهها المدن الكبرى مثل الرياض وجدة والدمام.

في دراسة أخرى، ركز (Abdenasser et al. (2025) على أثر إنترنت الأشياء في تحسين كفاءة النقل الذكي، مع تسليط الضوء على تحليلات البيانات الحية وإدارة المرور. أشارت النتائج إلى أن تطبيق IoT يمكن أن يساهم بشكل ملموس في تقليل التأخير والحوادث المرورية، ويعزز من انسيابية حركة المركبات. ومع ذلك، فإن الدراسة لم تتناول دمج الذكاء الاصطناعي بشكل كامل، مما يبرز الحاجة لتقييم أطر AI و IoT المشتركة في بيئة المملكة العربية السعودية.

كما أظهرت دراسة (Khaleel et al. (2025) أن الذكاء الاصطناعي يعد أداة أساسية لتحسين أداء النقل الذكي، من خلال تحليل البيانات الكبيرة والتنبؤ بأنماط حركة المرور المستقبلية. وقد ركزت الدراسة على فعالية الأنظمة الذكية في البيئات الحضرية، لكنها لم تقدم تقييماً مباشراً لتطبيق هذه التقنيات في السياق السعودي، خاصة فيما يتعلق بالتنسيق بين الحكومة والقطاع الخاص لتطوير البنية التحتية الرقمية. وفي الوقت نفسه، استكشف (Mohsen (2024) التحسين الذكي للوجستيات الحضرية عبر تطبيق AI، مؤكداً أن دمج الذكاء الاصطناعي في إدارة النقل العام يقلل أوقات السفر ويزيد من كفاءة استخدام الموارد. على الرغم من أهمية هذه النتائج، لم تعط الدراسة التجربة السعودية بشكل مباشر، ما يبرز الحاجة لإجراء دراسات تجريبية على الواقع المحلي.

وأخيراً، أكدت دراسة (Hegazy (2025) أن الدمج بين AI و IoT يمكن أن يحسن الإدارة الحضرية في السعودية بشكل عام، مع خفض استهلاك الطاقة والانبعاثات، وتعزيز الاستجابة السريعة للطوارئ. هذه الدراسة تدعم تطبيق التقنيات الذكية محلياً، إلا أن التحديات التقنية والتنظيمية تظل عائقاً أمام التنفيذ الكامل على أرض الواقع.

تشير هذه الدراسات مجتمعة إلى أن هناك أساساً نظرياً قوياً لدعم تطبيق AI و IoT في النقل الذكي، مع توضيح الفوائد البيئية والتشغيلية. ومع ذلك، فإن التجارب السعودية لا تزال محدودة، وتحتاج إلى دراسة شاملة تشمل المدن الكبرى، وتقييم الفروق في البنية التحتية الرقمية، ومستوى تقبل المجتمع للتقنيات الحديثة، والتحديات التنظيمية التي قد تؤثر على سرعة التطبيق. كما يُظهر الجدول التالي ملخصاً للدراسات السابقة، مع الإشارة إلى نتائجها، ومستوى الاعتماد على البيانات الحية، والمنهجية، والتقنيات المستخدمة، والسياق:

جدول (1): الجدول الملخص للدراسات السابقة

#	الدراسة	السنة	الموقع/السياق	الهدف	التقنية المستخدمة	المنهجية	النتائج الرئيسية	التعقيب والفجوة البحثية
1	Aleessawi & Elmaskali	2026	المدن الذكية العالمية	دراسة دور AI و IoT في تعزيز الاستدامة	AI + IoT	كمي	تحسين تدفق حركة المرور، تقليل الانبعاثات،	توفر أساس نظري قوي؛ لم يُطبق بعد في السياق السعودي

	حلول نقل مستدامة							
2	Abdennasser et al.	2025	المدن الكبرى	أثر IoT على كفاءة النقل الذكي	IoT	دراسة حالة	تحسين إدارة المرور، التأخير والحوادث	مفيد لفهم IoT؛ يحتاج لتكامل مع AI وتطبيق على السعودية
3	Khaleel et al.	2025	البيئات الحضرية	تحليل أداء النقل الذكي باستخدام AI	AI + البيانات الضخمة	كمي	تحسين فعالية الأنظمة، التنبؤ بحركة المرور المستقبلية	يبرز أهمية AI؛ تأثيرها في السعودية غير محدد، خاصة التعاون بين الحكومة والقطاع الخاص
4	Mohsen	2024	المدن الذكية	تحسين اللوجستيات الحضرية باستخدام AI	AI	كمي	تقليل أوقات السفر، زيادة كفاءة استخدام الموارد	يوفر رؤى مهمة؛ التجربة السعودية لم تُدرس بعد
5	Hegazy	2025	المملكة العربية السعودية	تطبيق التقنيات الرقمية لتطوير المدن الذكية	AI + IoT	دراسة حالة	تحسين الإدارة الحضرية، تقليل استهلاك الطاقة، والانبعاثات، استجابة أسرع للطوارئ	يدعم التطبيق في السعودية؛ التحديات المرتبطة بالبنية التحتية والتنظيمات لا تزال قائمة

تستخلص هذه الدراسات عدة فجوات رئيسية تتعلق بالسياق السعودي، أبرزها نقص الدراسات المعمقة حول تطبيق AI و IoT على مستوى المدن المختلفة، والحاجة إلى دمج البيانات الحية من مصادر متعددة لمقارنة الفعالية التشغيلية والتأثير البيئي، بالإضافة إلى قلة البحث في التحديات التنظيمية والتقنية والاجتماعية التي تؤثر في تقبل المجتمع للتقنيات الحديثة وكفاءة النظام البيئي للنقل. لذا، يبرز دور الدراسات المستقبلية لتقييم هذه العلاقة بشكل تجريبي، مع مراعاة الاختلافات بين المدن الكبرى مثل الرياض، جدة، والدمام، لضمان تصميم حلول نقل ذكي مستدام متكاملة وفعالة.

3.2. تحليل النظريات الداعمة للإطار النظري:

تشكل النظريات المستخدمة في هذا البحث إطارًا تفسيريًا متكاملًا يساعد على فهم أبعاد التنقل الذكي المستدام من منظور تقني، مؤسسي، وسلوكي. إذ لا يقتصر تطبيق تقنيات الذكاء الاصطناعي (AI) وإنترنت الأشياء (IoT) على الجانب التكنولوجي فقط، بل يرتبط أيضًا بعوامل التنبؤ المجتمعي، تكامل الأنظمة، وكفاءة إدارة الموارد.

تُعد نظرية الابتكار التكنولوجي (Rogers, 2003) الأساس لفهم كيفية انتشار تقنيات النقل الذكي داخل المجتمع، حيث تفسر التباين في مستويات التبني بين الأفراد والفئات المختلفة. ففي السياق السعودي، يمكن من خلالها تفسير الفجوة بين الأجيال في تقبل التقنيات الحديثة مثل المركبات ذاتية القيادة، حيث يميل الأفراد الأصغر سنًا وذوو المعرفة الرقمية الأعلى إلى تبني هذه التقنيات بشكل أسرع مقارنة بالفئات الأخرى. كما تساعد هذه النظرية في تحليل العوامل المؤثرة في تبني الابتكار مثل الثقة في التكنولوجيا، سهولة الاستخدام، والإدراك بالفائدة. من جهة أخرى، توفر نظرية النظم (Bertalanffy, 1968) إطارًا تحليليًا لفهم النقل الحضري كنظام متكامل يتكون من عناصر مترابطة تشمل البنية التحتية، المركبات، المستخدمين، والجهات التنظيمية. في هذا السياق، يبرز دور تكامل بيانات إنترنت الأشياء مع خوارزميات الذكاء الاصطناعي في تحسين كفاءة النظام ككل، حيث يؤدي أي خلل في أحد مكونات النظام (مثل ضعف البنية التحتية الرقمية أو غياب التنسيق المؤسسي) إلى تقليل فعالية النظام بالكامل. وعليه، تفسر هذه النظرية التحديات التي تواجه تطبيق النقل الذكي في المملكة من حيث ضعف التكامل المؤسسي والتقني.

أما نظرية إدارة الموارد المستدامة (Hart, 1997)، فتركز على الاستخدام الأمثل للموارد لتحقيق الاستدامة طويلة المدى، وهو ما يتجلى في تطبيقات النقل الذكي التي تسعى إلى تقليل استهلاك الوقود والانبعاثات الكربونية من خلال تحسين تدفق حركة المرور وتقليل الازدحام. في هذا الإطار، يساهم دمج AI و IoT في تحقيق كفاءة أعلى في استخدام الطاقة والموارد، مما يدعم توجه المملكة نحو تحقيق أهداف الاستدامة البيئية ضمن رؤية 2030.

أخيرًا، تبرز نظرية اتخاذ القرار القائم على البيانات (Provost & Fawcett, 2013) كأحد الأعمدة الأساسية لفهم كيفية عمل أنظمة النقل الذكي، حيث تعتمد هذه الأنظمة على البيانات الحية والتحليلات التنبؤية لاتخاذ قرارات فورية تتعلق بإدارة المرور، توزيع الأحمال، والاستجابة للأحداث الطارئة. يوضح هذا الإطار كيف يمكن للبيانات أن تتحول إلى أداة استراتيجية لتحسين الأداء التشغيلي وتقليل التأخير، مما يعزز من فعالية النقل الذكي ويزيد من موثوقيته.

بشكل تكاملي، توضح هذه النظريات أن نجاح تطبيق النقل الذكي لا يعتمد فقط على توفر التكنولوجيا، بل يتطلب تفاعلًا بين ثلاثة أبعاد رئيسية:

- البعد التكنولوجي (AI و IoT)
- البعد المؤسسي والتنظيمي (تكامل الأنظمة والسياسات)
- البعد الاجتماعي (تقبل المستخدمين للتقنيات)

وبالتالي، يوفر هذا الإطار النظري أساسًا قويًا لتحليل التجربة السعودية، وتفسير الفجوات الحالية، واقتراح حلول عملية لتعزيز التحول نحو نقل ذكي ومستدام.

3. منهجية البحث:

يعتمد هذا البحث على المنهج النظري الوصفي التحليلي، الذي يهدف إلى تفسير وتحليل ظاهرة التنقل الذكي المستدام من خلال دمج الأطر النظرية الحديثة مع تحليل التطبيقات العملية في السياق السعودي. ويرتكز هذا المنهج على مراجعة منهجية للأدبيات العلمية

والدراسات السابقة الصادرة خلال الفترة (2015-2025)، إضافة إلى تحليل تقارير المؤسسات الدولية والوطنية المتعلقة بتقنيات الذكاء الاصطناعي (AI) وإنترنت الأشياء (IoT) في قطاع النقل.

كما يوظف البحث منهج دراسة الحالة (Case Study Approach) بشكل تحليلي تفسيري، من خلال اختيار نماذج تطبيقية محلية تمثل ممارسات واقعية للتنقل الذكي في المملكة العربية السعودية، مثل مشروع حي الملك عبدالله المالي (KAFD)، وتجارب السيارات ذاتية القيادة في مدينة الرياض، وأنظمة النقل الذكي في مدينتي الرياض وجدة. ويتم تحليل هذه الحالات في ضوء الأطر النظرية المعتمدة، بهدف تقييم مدى توافقها مع مفاهيم الكفاءة التشغيلية، السلامة المرورية، والاستدامة البيئية.

إضافة إلى ذلك، يعتمد البحث على التحليل المقارن الدولي (Comparative Analysis) من خلال مقارنة التجارب السعودية بنماذج رائدة عالمياً، مثل تجارب سنغافورة ودبي، وذلك لتحديد الفجوات الهيكلية والتقنية والتنظيمية، واستخلاص أفضل الممارسات التي يمكن توظيفها في تطوير منظومة النقل الذكي في المملكة.

ويستند التحليل إلى ثلاث أدوات رئيسية:

- التحليل الوصفي: لعرض خصائص المشاريع والتقنيات المستخدمة
- التحليل التفسيري: لربط النتائج بالإطار النظري
- التحليل المقارن: لتحديد الفجوات والفرص على المستوى الدولي

وبذلك، يهدف هذا النهج المنهجي إلى تقديم إطار تحليلي متكامل يربط بين النظرية والتطبيق، ويدعم تفسير نتائج الدراسة في ضوء أهدافها المعلنة.

4. التجارب الدولية كنماذج تحليلية:

في إطار المقارنة الدولية لتحليل موقع المملكة العربية السعودية في مسار التنقل الذكي المستدام، يمكن الاستفادة من تجارب دول متعددة ذات سياقات تقنية وتنظيمية متقدمة، مما يوفر منظوراً أعمق عن مستويات التقدم المختلفة في دمج الذكاء الاصطناعي (AI) وإنترنت الأشياء (IoT) في نظم النقل. فيما يلي إعادة صياغة تحليلية متعمقة بدعم مراجع واضحة لكل تجربة:

1.4. جمهورية الصين الشعبية كنموذج متقدم في الابتكار العملي:

تُعد الصين من بين الدول العالمية الرائدة في تطبيق حلول النقل الذكي التي تعتمد على الذكاء الاصطناعي وإنترنت الأشياء في تنظيم حركة المرور وتحسين الأداء التشغيلي للنقل الحضري. وقد تم تنفيذ مشاريع واسعة النطاق تشمل استخدام الحافلات الذكية ذات المسارات الافتراضية المستندة إلى نظم الملاحة الذكية وتقنيات AI عالية الدقة، مما أسهم في زيادة كفاءة التشغيل وتقليل الأثر البيئي مقارنة بالأنظمة التقليدية. تعتمد الصين أيضاً التعاون الدولي في هذا المجال، كما ينضج من انعقاد مؤتمرات مشتركة لتعزيز تبادل الخبرات والتقنيات بين الصين ودول الشرق الأوسط وشمال أفريقيا بما فيها السعودية والإمارات .

2.4. سنغافورة كمثال في القيادة في الحوكمة الرقمية وإدارة البيانات:

تُعد سنغافورة نموذجاً عالمياً في تنمية المدن الذكية، حيث يُشكل مشروع Smart Nation إطاراً استراتيجياً يشمل دمج الاستشعار الذكي متعدد النقاط وحلول AI و IoT لإدارة المرور العام، تحسين تدفق المركبات، وتوفير بيانات حية لمعالجة المشكلات التشغيلية في الوقت الفعلي. وقد أظهر هذا النهج تميزاً على مستوى التعاون بين الحكومة والقطاع الخاص والمؤسسات البحثية، مما عزز جودة الخدمات ومستوى قبول المجتمع للتقنيات الحديثة، وساهم في تصنيف سنغافورة كواحدة من أبرز المدن الذكية آسيويًا وعالمياً .

على سبيل المثال، تُستخدم شبكات حساسات واسعة النطاق لمراقبة ظروف المرور، حركة المشاة، وعوامل بيئية تُغذي أنظمة تحليل البيانات التي تدعم التخطيط المروري وتحسين كفاءة الخدمات اللوجستية الحضرية .

3.4. الإمارات العربية المتحدة: دبي كنموذج إقليمي مبتكر:

تُظهر الإمارات، وخصوصًا دبي، نهجًا متقدمًا في دعم التحول الرقمي للنقل الذكي من خلال تطوير بيئة تنظيمية تشجع الابتكار والاستثمار في البنية التحتية الرقمية. تتيح إستراتيجيات Smart Dubai 2030 اعتماد تقنيات ذكية في أنظمة النقل العام والمركبات الذاتية التشغيل، مع دعم مؤسسي قوي بين الجهات الحكومية. كما تُعد دبي مركزًا لاستضافة فعاليات عالمية في التكنولوجيا والنقل الذكي، ما يعزز من تبادل المعرفة وتشجيع المشاريع الابتكارية في مجال AI و IoT.

و من المبادرات الملحوظة تقديم حلول نقل ذكية متقدمة مثل مشروع AI-powered Trackless Tram الذي جرى الإعلان عنه في معرض GITEX 2025 ، ما يدل على التزام المدينة بالتحول التدريجي نحو حلول تنقل أكثر ذكاءً واستدامة .

4.4. ألمانيا كنموذج أوروبي في التكامل التشغيلي والتنظيمي:

تمثل ألمانيا نموذجًا متقدمًا في السياق الأوروبي لدمج الحلول الذكية في النقل الحضري، مدفوعة بسياسات تنظيمية قوية واستثمارات في منصات Mobility as a Service (MaaS) وتطبيقات التنقل المتكامل بين مختلف الوسائل. يقدّر سوق التنقل الذكي في ألمانيا بمليارات الدولارات، ويعتمد على التعاون بين مزودي الخدمات العامة والخاصة لتعزيز الكفاءة التشغيلية، الوصول، وتحسين الشبكات الموحدة للنقل .

بالإضافة إلى ذلك، توجد مشروعات بحث وتطبيقات عملية تشمل مشاريع المركبات الذاتية والمواصلات الذكية في مناطق حضرية مثل هامبورغ ومنطقة الراين-ماين، ما يعكس تطورًا ملحوظًا في دمج AI و IoT ضمن البيئات التنظيمية الأوروبية الأوسع .

5. التجارب المحلية بالمملكة العربية السعودية:

1.5. تحليل مشروع حيّ الملك عبدالله المالي (KAFD) كنموذج للتنقل الذكي

يشكل مشروع حيّ الملك عبدالله المالي (KAFD) نموذجًا متقدمًا لتطبيق تقنيات الذكاء الاصطناعي (AI) وإنترنت الأشياء (IoT) في مجال النقل الذكي بالمملكة العربية السعودية. يركز المشروع على إدارة حركة المرور بشكل ذكي من خلال جمع وتحليل البيانات اللحظية الصادرة عن الحساسات والكاميرات وأجهزة الاستشعار الموزعة في أنحاء الحي. هذا التكامل بين البيانات الحية والتحليلات الذكية يتيح تعديل إشارات المرور تلقائيًا، مما يحسن تدفق المركبات ويقلل من الازدحام بشكل ملحوظ، ويؤدي إلى انخفاض أوقات التأخير وزيادة الكفاءة التشغيلية للشبكة المرورية.

كما يسهم المشروع في تعزيز الاستدامة البيئية من خلال تقليل الانبعاثات الكربونية الناتجة عن المركبات المتوقفة أو البطيئة الحركة، وتطبيق إدارة أفضل للموارد الطاقية ضمن نظام النقل. يمثل هذا النهج مثالًا عمليًا لكيفية دمج التكنولوجيا ضمن البنية التحتية للمدن الحديثة، ما يعكس مفهوم النقل الذكي كعنصر أساسي في التخطيط الحضري وليس مجرد إضافة تقنية منفصلة.

على الرغم من النجاحات الملحوظة، تشير الدراسات المقارنة إلى أن تكامل البيانات، توحيد السياسات التنظيمية، وتطوير البنية التحتية الرقمية على المستوى الوطني هي عوامل حاسمة لضمان تعميم مثل هذه التطبيقات على نطاق أكبر. بالمقارنة مع تجارب رائدة عالميًا، مثل دبي وسنغافورة، يظهر المشروع السعودي تقدمًا في التطبيق المحلي، لكنه لا يزال يواجه تحديات تتعلق بالتكامل الشامل للأنظمة والسياسات المؤسسية.

إن تحليل KAFD يبرز قيمة التحليل النظري الوصفي التحليلي في فهم كيفية تطبيق تقنيات الذكاء الاصطناعي وإنترنت الأشياء في النقل الذكي، ويتيح استخلاص الدروس المستفادة التي يمكن أن توجه تطوير مشاريع مماثلة في مدن المملكة الأخرى، بما يتماشى مع أهداف رؤية المملكة 2030 نحو مدن ذكية ومستدامة.

2.5. تحليل تجارب السيارات ذاتية القيادة في مدينة الرياض

تمثل تجارب السيارات ذاتية القيادة في مدينة الرياض نموذجًا حديثًا لتطبيق تقنيات الذكاء الاصطناعي وإنترنت الأشياء في تحسين السلامة والكفاءة التشغيلية في قطاع النقل بالمملكة. تعتمد هذه التجارب على أنظمة ذكية قادرة على مراقبة البيئة المحيطة، تحليل حركة المرور، واتخاذ القرارات اللحظية لتقليل الأخطاء البشرية المرتبطة بالقيادة التقليدية.

أظهرت التحليلات أن هذه التجارب تسهم في خفض معدلات الحوادث المرورية وزيادة كفاءة التنقل داخل المدينة، من خلال تحسين انسيابية الحركة وتقليل حالات الازدحام في المناطق التجريبية. كما توفر هذه الأنظمة بيانات حية ومؤشرات تشغيلية يمكن الاستفادة منها في التخطيط المروري المستقبلي وتطوير البنية التحتية الذكية.

بالرغم من الفوائد الملحوظة، تشير المقارنات الدولية إلى أن نجاح السيارات ذاتية القيادة يعتمد بشكل كبير على جودة البنية التحتية الرقمية، تكامل البيانات بين مختلف الجهات، ووضع سياسات تنظيمية واضحة لضمان التشغيل الآمن على نطاق أوسع. مقارنة بتجارب الدول الرائدة مثل سنغافورة ودبي، يظهر أن التجارب السعودية ما زالت في مرحلة التطبيق المحدود، لكنها توفر دروسًا استراتيجية مهمة لتوسيع نطاق النقل الذكي وتحسين السلامة والكفاءة في المدن الكبرى.

إن تحليل هذه التجارب يوضح الدور الحيوي للذكاء الاصطناعي وإنترنت الأشياء في تحقيق التنقل الذكي المستدام، ويبرز الحاجة إلى تنسيق تكنولوجي وتنظيمي متكامل لضمان تعميم هذه الابتكارات بما يخدم أهداف رؤية المملكة 2030 في تطوير المدن الذكية والمستدامة.

3.5. تحليل أنظمة النقل الذكي في المدن الكبرى (جدة والرياض)

تُعد أنظمة النقل الذكي المطبقة في المدن الكبرى مثل جدة والرياض نموذجًا مهمًا لكيفية استخدام تقنيات الذكاء الاصطناعي (AI) وإنترنت الأشياء (IoT) لتحسين كفاءة النقل وتقليل الانبعاثات الكربونية. تعتمد هذه الأنظمة على شبكات حساسات متكاملة، كاميرات مراقبة، وخوارزميات تحليل البيانات الحية لإدارة حركة المرور بشكل ديناميكي، ما يساهم في تقليل الاختناقات المرورية وتحسين انسيابية حركة المركبات في أوقات الذروة.

أظهرت الدراسات أن تطبيق هذه الأنظمة يؤدي إلى خفض استهلاك الوقود وانبعاثات الغازات الضارة بنسبة ملحوظة، خاصة في المناطق الحضرية المكتظة، مما يعكس أثرها الإيجابي على الاستدامة البيئية والتحول نحو مدن أكثر كفاءة وذكاءً. كما توفر هذه الأنظمة بيانات دقيقة للتخطيط المروري المستقبلي، وتحسين استجابة النقل لمختلف الأحداث الطارئة مثل الحوادث أو ازدحام الطرق المفاجئ.

على الرغم من التقدم المحرز، تشير المقارنات الدولية إلى أن تكامل البنية التحتية الرقمية، توحيد السياسات، والتعاون بين الجهات الحكومية والخاصة تعتبر عوامل حاسمة لتحقيق أقصى استفادة من هذه الأنظمة على نطاق أوسع. بالمقارنة مع تجارب رائدة عالميًا مثل سنغافورة ودبي، يظهر أن السعودية ما زالت في مرحلة التطوير والتكامل الجزئي، إلا أن هذه المبادرات تمثل خطوة استراتيجية مهمة نحو تحقيق أهداف رؤية المملكة 2030 في تطوير النقل الذكي والمدن المستدامة.

وفي ضوء هذه التحليلات، يتضح أن الاستفادة من التجارب العالمية في التخطيط والتنظيم والتعاون متعدد الأطراف يمكن أن يسرع من انتقال المملكة نحو منظومة نقل حضري ذكي ومستدام، مع مراعاة الخصوصية الاجتماعية والاقتصادية المحلية.

في ضوء الإطار النظري المعتمد، والذي تم تنظيمه حول ثلاثة محاور رئيسية تتمثل في:

- دور الذكاء الاصطناعي وإنترنت الأشياء في تحسين النقل،
- أثر التنقل الذكي على الكفاءة التشغيلية والسلامة والاستدامة،
- التحديات التقنية والتنظيمية والاجتماعية،

تم إعادة تحليل المشاريع المحلية في المملكة العربية السعودية وفق هذه المحاور، بهدف تحقيق توافق منهجي بين أهداف البحث وبنية التحليل. كما تم توظيف المقارنة الدولية مع تجارب رائدة مثل سنغافورة ودبي كأداة تفسيرية لتحديد مستوى التقدم النسبي للتجربة السعودية، واستخلاص الفجوات والفرص.

وبناءً عليه، لا يتم عرض النتائج هنا كمعطيات وصفية فقط، بل كتحليل نظري تطبيقي يعكس مدى تحقق أهداف البحث، ويربط بين الأطر المفاهيمية والتطبيقات الواقعية في مجال التنقل الذكي المستدام.

6. دور AI و IoT في تحسين النقل الذكي:

أظهرت نتائج تحليل المشاريع المحلية، خاصة في مشروع KAFD وأنظمة النقل الذكي في الرياض وجدة، أن تكامل الذكاء الاصطناعي وإنترنت الأشياء يسهم بشكل مباشر في تحسين إدارة حركة المرور عبر تحليل البيانات اللحظية والتنبؤ بالازدحام. ويتوافق ذلك مع الإطار النظري القائم على اتخاذ القرار المعتمد على البيانات، حيث أصبحت البيانات الحية عنصراً محورياً في تحسين الأداء التشغيلي للنقل.

أثر التنقل الذكي على الكفاءة والسلامة والاستدامة: تشير النتائج إلى أن تطبيق تقنيات AI و IoT أدى إلى تحسين الكفاءة التشغيلية من خلال تقليل أوقات التأخير، كما ساهم في تعزيز السلامة المرورية عبر تقليل الأخطاء البشرية، خاصة في تجارب السيارات ذاتية القيادة. وعلى المستوى البيئي، لوحظ انخفاض نسبي في الانبعاثات نتيجة تحسين تدفق الحركة، وهو ما يدعم نظرية إدارة الموارد المستدامة.

التحديات المرتبطة بتطبيق النقل الذكي: كشفت النتائج عن مجموعة من التحديات الهيكلية، أبرزها ضعف تكامل البيانات، وتعدد الجهات التنظيمية، وعدم توحيد السياسات، إضافة إلى التفاوت في تقبل المجتمع للتقنيات الحديثة. ويمكن تفسير هذه التحديات في ضوء نظرية النظم، التي تشير إلى أن ضعف التكامل بين مكونات النظام يقلل من كفاءته الكلية.

المقارنة الدولية وتحديد الفجوات: أظهرت المقارنة مع التجارب الدولية، خاصة سنغافورة ودبي، أن الفجوة في الحالة السعودية لا تكمن في توفر التكنولوجيا، بل في مستوى التكامل المؤسسي وحوكمة البيانات. حيث تعتمد هذه الدول على أنظمة موحدة وسياسات واضحة، مما يعزز من فعالية النقل الذكي على نطاق واسع.

جدول (2): تحليل مشاريع التنقل الذكي في السعودية مقارنة بالتجارب الدولية

التحديات الرئيسية	أثر التنقل الذكي على الكفاءة والسلامة والاستدامة	دور AI و IoT في تحسين النقل	الدولة / المشروع
ضعف تكامل البيانات،	تحسين تدفق المركبات، تقليل	جمع وتحليل البيانات اللحظية	السعودية: حي الملك عبدالله
تفاوت مستوى البنية التحتية،	أوقات التأخير، خفض	من الحساسات والكاميرات	المالي (KAFD)
عدم توحيد السياسات المؤسسية	الانبعاثات الكربونية	لتعديل إشارات المرور وتخفيف الازدحام	

السعودية: تجارب السيارات ذاتية القيادة في الرياض	أنظمة ذكية لمراقبة البيئة وتحليل حركة المرور واتخاذ قرارات لحظية	خفض معدل الحوادث، زيادة انسيابية الحركة، توفير بيانات للتخطيط المروري	جودة البنية التحتية الرقمية، تكامل البيانات بين الجهات، الحاجة لسياسات تنظيمية واضحة
السعودية: أنظمة النقل الذكي في جدة والرياض	شبكات حساسات متكاملة وكاميرات مراقبة لتحليل البيانات الحية وإدارة المرور	تقليل الاختناقات المرورية، خفض استهلاك الوقود والانبعاثات، تحسين استجابة النقل للأحداث الطارئة	تنسيق بين الجهات الحكومية والخاصة، توحيد السياسات، تعميم الأنظمة على نطاق واسع
الصين: شنغهاي وبكين	حافلات ذكية، أنظمة AI عالية الدقة، تكامل مع المدن الذكية	تحسين الأداء التشغيلي، تقليل الأثر البيئي، إدارة المرور بشكل متقدم	التوسع الوطني يتطلب مزيد من التنسيق الدولي والمحلي، وتعزيز تبادل الخبرات
سنغافورة: مشروع Smart Nation	شبكات استشعار واسعة النطاق، تحليل البيانات الحية، تكامل وسائل النقل	إدارة دقيقة للمرور، تحسين تدفق المركبات، رفع قبول المجتمع للتقنيات الحديثة	صيانة مستمرة للبنية التحتية، إدارة البيانات الضخمة، توسيع نطاق التكامل
الإمارات: دبي، Smart Dubai 2030	مركبات ذاتية القيادة، إدارة مرور ذكية تعتمد على البيانات اللحظية	تحسين انسيابية المرور، تقليل الانبعاثات، دعم الابتكار المؤسسي	الحفاظ على التنسيق المؤسسي، صيانة البنية التحتية الرقمية، تكامل الأنظمة المتعددة
ألمانيا: هامبورغ ومنطقة الراين-ماين	منصات MaaS، تحليلات تنبؤية، تكامل النقل الحضري	تقليل الانبعاثات، تحسين السلامة المرورية، كفاءة تشغيلية عالية	مواومة الأطر التنظيمية، تعزيز التعاون بين القطاع العام والخاص، توسعة التغطية على مستوى المدن الكبرى

7. نتائج الدراسة:

1.7. نتائج تحليل الإطار المفاهيمي والنظري للتنقل الذكي

أظهر التحليل النظري أن مفهوم التنقل الذكي المستدام يقوم على تكامل متزامن بين ثلاثة أبعاد رئيسية:

- البعد التكنولوجي: يشمل تقنيات الذكاء الاصطناعي (AI) وإنترنت الأشياء (IoT)، والتي تتيح جمع البيانات الحية وتحليلها لتحسين إدارة المرور والتنبؤ بالازدحام.
- البعد المؤسسي والتنظيمي: يتضمن السياسات، الأطر القانونية، ومعايير التشغيل التي تضمن التوافق بين مختلف الجهات المعنية.

- البعد الاجتماعي: يتمثل في سلوك المستخدمين، ووعي المجتمع بأهمية النقل الذكي، ومدى تقبلهم للتقنيات الحديثة مثل المركبات الذاتية القيادة .

وأظهرت الأدبيات أن غياب أي من هذه الأبعاد يعيق تحقيق الكفاءة التشغيلية والاستدامة البيئية. كما تبين أن الانتقال نحو أنظمة النقل الذكي يرتبط ارتباطاً وثيقاً بمبادئ المدن الذكية وإدارة الموارد المستدامة، ما يعزز الحاجة إلى منظور متعدد الأبعاد يدمج التقنية، السياسات، والمجتمع.

2.7. نتائج مراجعة الأدبيات وتحديد الفجوات البحثية

كشفت مراجعة الأدبيات عن هيمنة الدراسات التقنية التي ركزت على تطبيقات AI وIoT، مع ضعف التركيز على الأبعاد التنظيمية والاجتماعية، خصوصاً في الدول النامية. كما أظهرت المراجعة وجود فجوة واضحة في الدراسات التطبيقية المتعلقة بالسياق السعودي، حيث تفتقر الأبحاث إلى تحليلات متكاملة تجمع بين النظرية والتطبيق.

أبرز الفجوات البحثية يمكن تلخيصها في:

- ضعف الربط بين تكامل الأنظمة والسياسات التنظيمية، ما يحد من القدرة على تطبيق حلول النقل الذكي بشكل شامل .
- محدودية الدراسات التي تدمج التحليل الاجتماعي مع التكنولوجيا، خصوصاً فيما يتعلق بسلوك المستخدمين وتقبلهم للتقنيات الحديثة .
- نقص الدراسات المقارنة التي تضع التجربة السعودية ضمن سياق عالمي، ما يقلل من فهم القدرة التنافسية للمملكة مقارنة بالتجارب الرائدة .

3.7. نتائج التحليل الوصفي للمشاريع المحلية في السعودية

أظهر تحليل المشاريع المحلية أن المملكة أحرزت تقدماً ملموساً في تبني تقنيات التنقل الذكي، لا سيما في المدن الكبرى مثل الرياض. ومن أبرز المخرجات:

- مشاريع مثل حيّ الملك عبدالله المالي (KAFD) تعكس مستوى متقدماً في استخدام أنظمة إدارة المرور الذكية القائمة على البيانات الحية، ما يحسن تدفق الحركة المرورية ويقلل الاختناقات .
 - تجارب السيارات ذاتية القيادة أظهرت إمكانات واعدة في تحسين السلامة وتقليل الأخطاء البشرية .
 - أنظمة النقل الذكي في الرياض وجدة ساهمت في تحسين إدارة المرور وتقليل زمن الرحلات .
- ومع ذلك، يظل هذا التقدم جزئياً ومركزاً جغرافياً، مما يشير إلى غياب التعميم الوطني وعدم توحيد الجهود ضمن استراتيجية موحدة.

4.7. نتائج تحليل أثر AI وIoT على الكفاءة والاستدامة

أظهرت النتائج، بالاعتماد على الأدبيات والتطبيقات العملية، أن دمج تقنيات AI وIoT يحقق أثراً إيجابياً متعدد الأبعاد:

- تحسين الكفاءة التشغيلية من خلال تقليل الازدحام، تحسين توقيت الإشارات، وتسريع تدفق الحركة المرورية .
 - تعزيز السلامة المرورية عبر تقليل الأخطاء البشرية والمخاطر المرتبطة بسلوك السائقين .
 - تحقيق الاستدامة البيئية عن طريق خفض الانبعاثات وتقليل استهلاك الوقود .
- كما تبين أن التحليلات التنبؤية واستخدام البيانات الحية تمثل عناصر جوهرية لتحسين الأداء، حيث تتيح التنبؤ بالاختناقات ومعالجة المشكلات قبل وقوعها.

5.7. نتائج تحليل التحديات:

أظهر التحليل أن التحديات تمتد عبر ثلاثة مستويات مترابطة:

أ. التحديات التقنية وتمثلت بتفاوت مستوى البنية التحتية الرقمية بين المدن، ومحدودية تكامل البيانات بين الأنظمة المختلفة، ما يعيق تبادل المعلومات وتحقيق الكفاءة المثلى .

ب. التحديات التنظيمية بغياب إطار تشريعي موحد للنقل الذكي، وضعف التنسيق المؤسسي بين الجهات الحكومية والخاصة، مما يحد من تطبيق الحلول المتكاملة .

ج. التحديات الاجتماعية بتفاوت مستوى الوعي الرقمي بين فئات المجتمع، ومخاوف تتعلق بالخصوصية والأمن السيبراني، مما قد يقلل من قبول التقنيات الحديثة.

تشير النتائج إلى أن هذه التحديات مرتبطة ببعضها البعض، وبالتالي تتطلب استراتيجية شاملة ومتزامنة لمعالجتها..

6.7. نتائج التحليل المقارن مع التجارب الدولية:

أظهرت المقارنة مع التجارب الدولية الرائدة، مثل دبي وسنغافورة، أن هذه المدن تحقق مستويات متقدمة بفضل:

- تكامل عالٍ بين التكنولوجيا والسياسات والبنية التحتية .

- حوكمة بيانات متقدمة وأنظمة تشغيل موحدة، ما يضمن تحسين الأداء التشغيلي والاستدامة البيئية .

- مستويات أعلى من الكفاءة والتشغيل الموحد مقارنة بالتطبيقات المحلية .

في المقابل، لا تزال المملكة في مرحلة انتقالية، حيث تتركز الجهود على مشاريع منفصلة بدلاً من منظومة متكاملة، ما يبرز فجوة في التكامل المؤسسي والتنظيمي.

8. التوصيات المستخلصة من نتائج البحث:

في ضوء التحليل النظري والتطبيقي لواقع التنقل الذكي في المملكة العربية السعودية، تقترح هذه الدراسة مجموعة من التوجهات الاستراتيجية التي يمكن أن تسهم في تسريع التحول نحو منظومة نقل ذكي مستدام ومتكامل:

أولاً، يتطلب تطوير منظومة التنقل الذكي تبني مقاربة تكاملية قائمة على بناء منظومات رقمية مترابطة، تسمح بتدفق البيانات بشكل سلس بين مختلف مكونات النظام، بما يعزز من كفاءة التشغيل ويدعم اتخاذ القرار في الوقت الحقيقي، انسجاماً مع مبادئ النظم المعتمدة على البيانات.

ثانياً، تبرز أهمية صياغة أطر حوكمة مرنة تستوعب التطور السريع في تقنيات النقل الذكي، من خلال تطوير سياسات استباقية قادرة على مرافقة الابتكار، مع ضمان التوازن بين الكفاءة التشغيلية ومتطلبات الأمان والخصوصية.

ثالثاً، يُعد تعزيز التكامل المؤسسي عنصراً حاسماً في نجاح تطبيقات التنقل الذكي، وذلك عبر تبني نماذج تعاون متعددة الأطراف تقوم على الشراكة بين الجهات الحكومية والقطاع الخاص، بما يدعم تسريع الابتكار وتحقيق الكفاءة النظامية الشاملة.

رابعاً، يستدعي التحول نحو النقل الذكي الاستثمار في بناء القدرات البشرية، من خلال تطوير المهارات الرقمية وتعزيز الثقافة التكنولوجية، بما يساهم في رفع مستوى التفاعل الإيجابي مع الحلول الذكية ويعزز من استدامة استخدامها على المدى الطويل.

خامساً، يمثل توسيع نطاق تطبيقات النقل الذكي عبر بيئات حضرية متنوعة فرصة لتعزيز كفاءة النماذج التطبيقية، حيث يتيح ذلك اختبار الحلول في سياقات مختلفة، ودعم تطوير نماذج تشغيل أكثر مرونة وقابلية للتكيف.

سادسًا، تبرز الحاجة إلى تبني نماذج تقييم ديناميكية تعتمد على مؤشرات أداء متقدمة، تسمح بقياس الأثر الفعلي لتطبيقات النقل الذكي على المستويين التشغيلي والبيئي، بما يدعم التحسين المستمر للسياسات القائمة على الأدلة.

أخيرًا، يؤكد التحليل المقارن أهمية الاستفادة من الخبرات الدولية في مجال التنقل الذكي، من خلال تبني منهجيات تكيفية تراعي الخصوصية المحلية، بما يضمن نقل المعرفة بشكل فعال دون الإخلال بالاعتبارات السياقية الوطنية.

9. الخاتمة:

خلصت هذه الدراسة إلى أن توظيف تقنيات الذكاء الاصطناعي وإنترنت الأشياء يمثل ركيزة أساسية في تطوير نظم التنقل الذكي المستدام في المملكة العربية السعودية، خاصة في ظل التوجهات الاستراتيجية المرتبطة برؤية 2030 التي تسعى إلى تعزيز التحول الرقمي وتحقيق الاستدامة البيئية. وقد أظهرت النتائج أن هذه التقنيات تسهم بشكل ملموس في تحسين كفاءة النقل الحضري، من خلال تقليل الازدحام المروري، وتحسين انسيابية الحركة، وخفض مستويات الانبعاثات، وهو ما يتماشى مع مبادئ الإدارة المستدامة للموارد ونماذج اتخاذ القرار القائم على البيانات.

كما أكدت الدراسة أن التكامل بين الذكاء الاصطناعي وإنترنت الأشياء (AIoT) يعزز من فعالية الأنظمة الحضرية، بما يدعم الطرح النظري المرتبط بنظرية النظم، حيث تعمل هذه التقنيات على ربط مكونات النظام المروري في إطار ديناميكي يعتمد على البيانات الحية والتحليل التنبؤي. ومع ذلك، أظهرت النتائج أن هذا التكامل لا يزال جزئيًا في السياق السعودي، ويعاني من تحديات تتعلق بضعف تكامل البنية التحتية الرقمية، وتعدد الجهات المعنية، وغياب إطار تنظيمي موحد يضمن التنسيق الفعال بين مختلف الفاعلين.

ومن منظور اجتماعي، أبرزت الدراسة أن نجاح تطبيق تقنيات التنقل الذكي لا يعتمد فقط على كفاءتها التقنية، بل يرتبط أيضًا بمستوى تقبل المجتمع لها، وهو ما يتأثر بعوامل متعددة مثل العمر، ومستوى التعليم، والمعرفة الرقمية، والعادات المرورية. ويتسق ذلك مع نظرية انتشار الابتكار، التي تفسر التباين في تبني التقنيات الحديثة بين الفئات الاجتماعية المختلفة، حيث أظهرت النتائج أن الفئات الشابة والأكثر وعياً رقمياً تميل إلى تقبل هذه التقنيات بشكل أكبر مقارنة بالفئات الأخرى.

وعلى مستوى التحليل المقارن، بينت الدراسة أن المملكة، رغم التقدم الملحوظ الذي حققته، لا تزال في مرحلة انتقالية مقارنة بالنماذج الدولية الرائدة مثل دبي وسنغافورة، حيث تتميز هذه النماذج بدرجة أعلى من التكامل المؤسسي، ونضج البنية التحتية الرقمية، ووضوح الأطر التنظيمية. وبشير ذلك إلى وجود فجوة متعددة الأبعاد تتطلب معالجة شاملة لا تقتصر على الجانب التكنولوجي، بل تشمل كذلك الجوانب التنظيمية والاجتماعية.

وتتمثل الإضافة العلمية لهذه الدراسة في ربطها بين الأطر النظرية العالمية والتطبيقات المحلية، من خلال تحليل واقع التنقل الذكي في المملكة في ضوء السياق المؤسسي والاجتماعي. كما تبرز أهمية الانتقال من مرحلة المشاريع التجريبية المحدودة إلى مرحلة بناء منظومة متكاملة للتنقل الذكي قائمة على تكامل البيانات، وتنسيق السياسات، وتعزيز الشراكات بين القطاعين العام والخاص، ورغم ما توصلت إليه الدراسة من نتائج مهمة، إلا أنها تواجه بعض القيود، من أبرزها محدودية نطاق العينة وتركيزها على مدن رئيسية، إضافة إلى الاعتماد على بيانات مقطعية لا تسمح بقياس الأثر طويل المدى لهذه التقنيات. وعليه، توصي الدراسة بإجراء بحوث مستقبلية تعتمد على نماذج تحليلية أكثر تقدمًا، وتغطي نطاقًا جغرافيًا أوسع، مع التركيز على التقييم التجريبي طويل الأجل لأثر تقنيات الذكاء الاصطناعي وإنترنت الأشياء على استدامة النقل.

وفي الختام، يمكن التأكيد على أن تحقيق تنقل ذكي مستدام في المملكة العربية السعودية يتطلب تبني مقاربة شمولية تجمع بين الابتكار التكنولوجي، والتكامل المؤسسي، والتمكين المجتمعي، بما يسهم في بناء نظام نقل ذكي قادر على دعم التنمية المستدامة وتحسين جودة الحياة في المدن السعودية.

10. المصادر والمراجع:

1.10. المصادر العربية:

الحماد، ع. (2023). دور الذكاء الاصطناعي في تحسين أنظمة النقل الذكي في المملكة العربية السعودية. مجلة الرياض للتكنولوجيا، 10(4)، 112 - 130.

الربيعي، م. (2022). التحديات التقنية والتنظيمية في تطبيق التقنيات الذكية في السعودية. مجلة دراسات المستقبل، 18(3)، 87-104.

الزهراني، ف. (2024). التنقل الذكي: تقنيات الذكاء الاصطناعي وإنترنت الأشياء في تحسين النقل الحضري. مجلة النقل والمواصلات، 32(2)، 45-62.

الشعلان، ن. (2025). البنية التحتية للتنقل الذكي في السعودية: التحديات والفرص. مجلة الدراسات الحضرية، 26(1)، 33-50.

العنبي، س. (2021). إدخال السيارات ذاتية القيادة في المملكة العربية السعودية: الواقع والمستقبل. المجلة العربية للهندسة، 39(2)، 88-102.

جريدة الوطن السعودية (2024). 2 يوليو. (مجلس الشورى يدعو وزارة النقل للتوسع في استخدام الذكاء الاصطناعي لإدارة حركة المرور. <https://www.alwatan.com.sa/article/1147687>

جريدة الوطن السعودية (2025). 15 مارس. (المملكة تسرع دمج المركبات الذاتية لتحقيق هدف 15% في النقل العام بحلول 2030. <https://www.alwatan.com.sa/article/1168728>

وزارة النقل والخدمات اللوجستية السعودية. (2025). تقرير تبني التقنيات الناشئة في الوكالات الحكومية: مشروع Serb لإدارة أصول الطرق باستخدام البيانات الكبيرة والذكاء الاصطناعي وإنترنت الأشياء.

<https://dga.gov.sa/sites/default/files/2025-07/Emerging%20Technologies%20Adoption%20Readiness%20in%20Government%20Agencies%202025-V3.0.pdf>

وزارة النقل والخدمات اللوجستية السعودية. (2025). تجارب المركبات ذاتية القيادة في 7 مواقع بالرياض ضمن الاستراتيجية الوطنية للنقل المستدام. صحيفة العربية/23/07/2025. <https://www.alarabiya.net/aswaq/cars/2025/07/23>

الهيئة السعودية للبيانات والذكاء الاصطناعي (سدايا) & جامعة الملك سعود. (2025). مستقبل التنقل الذكي ودور الذكاء الاصطناعي في هندسة المرور والمركبات الذكية بالمملكة. وكالة الأنباء السعودية.

<https://www.urdupoint.com/arabic/story/2063445.html>

2.10. المراجع الأجنبية

Abdennasser, L., Al-Sharif, R., & Khalid, M. (2025). *Impact of IoT on smart mobility efficiency: A case study in urban cities*. Journal of Urban Transport Research, 18(2), 45–63.

Abul Kashem, M., Alam, T., & Lee, J. (2025). *Smart mobility and urban traffic optimization*. International Journal of Transportation Science and Technology, 14(3), 210–225.

- Alam, S., Alotaibi, F., & Khan, R. (2024). *AI and IoT integration for urban transport systems: Enhancing predictive traffic management*. *Journal of Intelligent Transportation Systems*, 28(4), 500–518.
- Alamoudi, M., Alqahtani, H., & Farooq, S. (2024). *Challenges and opportunities in implementing smart mobility in Saudi Arabia*. *Saudi Transport Research Forum*.
- Alotaibi, F., Alghamdi, N., & Alqahtani, H. (2025). *Digital transformation in Saudi transport: AI and IoT applications for sustainable urban mobility*. *Transportation Research Journal – Saudi Edition*, 12(1), 34–52.
- Al Qahtani, A., & Farooq, S. (2025). *Social acceptance of smart mobility technologies in urban Saudi contexts*. *Journal of Technology Adoption and Society*, 7(1), 14–29.
- Al-Turjman, F., & Lemayian, J. (2022). *IoT-enabled smart transportation systems: A review*. *IEEE Access*, 10, 12345–12360.
- Alanazi, H. (2023). *AIoT-based smart transport: Improving urban mobility in smart cities*. *Journal of Future Transportation*, 6(2), 101–118.
- Batty, M., Axhausen, K. W., Giannotti, F., Pozdnoukhov, A., Bazzani, A., Wachowicz, M., ... Portugali, Y. (2020). *Smart cities of the future*. *European Physical Journal*, 8, 1–24.
- Chen, L., & Kumar, R. (2022). *Smart mobility and urban sustainability: Energy and environmental perspectives*. *Sustainable Cities and Society*, 71, 103–120.
- Chen, W., & Wang, Y. (2021). *AIoT for traffic optimization and emission reduction*. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 124, 102–117.
- Dwivedi, Y. K., Rana, N. P., Jeyaraj, A., Clement, M., & Williams, M. D. (2023). *Artificial intelligence in smart cities: Traffic and mobility applications*. *Information Systems Frontiers*, 25, 455–470.
- European Commission. (2023). *Autonomous vehicles and legal frameworks in the EU*. Brussels, Belgium: Publications Office of the European Union.
- Gubbi, J., Buyya, R., Marusic, S., & Palaniswami, M. (2023). *Internet of Things (IoT): A vision, architectural elements, and future directions*. *Future Generation Computer Systems*, 110, 94–112.
- Hassan, R., & Samara, A. (2024). *Digital adoption patterns in smart mobility: Societal insights from urban Saudi Arabia*. *Journal of Urban Technology*, 31(1), 87–102.
- Hart, S. L. (1997). *Sustainable value: Creating value for business and society simultaneously*. *Academy of Management Review*, 20(1), 99–120.

- He, Y., Zhang, X., & Li, Q. (2022). *Big data and AI integration in urban mobility: Challenges and solutions*. *Journal of Advanced Transportation*, 2022, 1–14.
- Hegazy, R. (2025). *AIoT integration for urban management in Saudi Arabia: Energy and emergency response*. *Journal of Smart Cities Research*, 3(2), 56–72.
- Khaleel, H., Al-Mutairi, A., & Farah, A. (2025). *Predictive analytics and AI in urban transportation systems*. *International Journal of Intelligent Transportation*, 9(3), 120–138.
- Li, X., Wang, H., & Zhao, J. (2022). *AI-powered traffic flow prediction in urban environments*. *Transportation Science and Technology*, 12(2), 75–89.
- Liu, X., & Wang, J. (2024). *AI-based traffic flow optimization in smart cities: Comparative study of GCC vs non-GCC contexts*. *Journal of Smart Transportation Systems*, 16(1), 33–50.
- Mohsen, A. (2024). *Smart logistics optimization in urban areas using AI*. *Journal of Intelligent Systems and Urban Planning*, 5(4), 77–94.
- Nguyen, T., Le, H., & Pham, D. (2023). *User acceptance of autonomous vehicles and smart mobility solutions: A cross-cultural analysis*. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 92, 285–302.
- Patel, R., Singh, V., & Chen, L. (2023). *AIoT-driven sustainable mobility: Energy and emission perspectives*. *Journal of Cleaner Production*, 401, 136–154.
- Provost, F., & Fawcett, T. (2013). *Data science for business: What you need to know about data mining and data-analytic thinking*. O'Reilly Media.
- Rogers, E. M. (2003). *Diffusion of innovations* (5th ed.). Free Press.
- Saudi Transport Research Forum. (2024). *Smart mobility adoption and urban planning in Saudi Arabia*. Riyadh, Saudi Arabia.
- Saudi Vision 2030 Transportation Framework. (2024). *Strategic objectives for sustainable mobility*. Riyadh, Saudi Arabia.
- Smith, R., Johnson, P., & Lee, T. (2022). *Multimodal data and AI in urban traffic safety*. *International Journal of Traffic Safety*, 14(3), 102–119.
- Smith, R., Zhao, J., & Li, K. (2023). *Smart traffic management and AI/IoT integration: A case study approach*. *Journal of Urban Technology*, 30(4), 99–115.
- UN-Habitat. (2023). *Digital technologies for sustainable urban mobility*. United Nations Human Settlements Programme.

United Nations. (2022). *Sustainable development goals: Mobility and urban transport targets*. New York, NY: United Nations.

Zhang, Y., Li, H., & Chen, X. (2020). *AI-assisted traffic signal control for urban congestion reduction*. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 112, 12–28.

Zhang, Z., Li, W., & Ge, L. (2023). *AIoT frameworks for adaptive urban transportation systems*. *Smart Cities Journal*, 7(2), 45–62.

Zhao, J., & Ge, L. (2024). *Dynamic traffic management through AIoT integration*. *International Journal of Intelligent Transportation Systems*, 18(1), 22–38

جميع الحقوق محفوظة © 2026، الدكتورة/ حنان عبدالرزاق شوشان، المجلة الأكاديمية للأبحاث والنشر العلمي

(CC BY NC)

Doi: <http://doi.org/10.52132/Ajrsp/v7.84.2>