البحث التطبيقي

جمهورية مصر العربية

معهد التخطيط القومي

الدراسات العليا

عنوان البحث باللغة العربية	متابعة وتقييم أثر تطبيقات المدن الذكية في تعزيز الاستدامة البيئية
عنوان البحث باللغة الإنجليزية	Monitoring and evaluating the impact of smart cities applications in promoting environmental sustainability
إعداد	رحاب يوسف اسماعيل عبد الباقي
إشراف	أ.د/ سحر البهائي

لاستكمال متطلبات

الحصول على الماجستير المهني "المتابعة والتقييم"

مايو 2026

المستخلص

تتمثل مشكلة البحث في غياب إطار منهجي متكامل لمتابعة وتقييم الأثر البيئي لتطبيقات المدن الذكية، رغم التوسع المتزايد في الاعتماد عليها داخل مشروعات التنمية الحضرية الحديثة. فعلى الرغم من الاستخدام الواسع للتقنيات الذكية في إدارة الطاقة والمياه والنفايات والبنية التحتية، إلا أن هناك فجوة واضحة بين الأهداف النظرية لهذه التقنيات ونتائجها البيئية الفعلية القابلة للقياس، بالإضافة إلى صعوبة عزل أثرها عن العوامل المؤسسية والتخطيطية والسلوكية، وضعف مؤشرات القياس والشفافية.

وفي هذا الإطار، تهدف الدراسة إلى تحليل وتقييم فاعلية تطبيقات المدن الذكية في تحقيق الاستدامة البيئية، من خلال دراسة الإطار المفاهيمي، ورصد أهم التقنيات والتطبيقات المستخدمة، وتحديد التحديات والمعوقات التي تحد من فعاليتها، ثم اقتراح إطار عملي لمتابعة وتقييم الأداء البيئي داخل المدن الذكية.

وتبرز أهمية الدراسة في كونها تتناول قضية محورية تتمثل في الاستدامة البيئية باعتبارها أحد أهم أدوات مواجهة التغيرات المناخية، إضافة إلى إبراز دور المدن الذكية كحل حديث لتحسين كفاءة استخدام الموارد والحد من التلوث. كما تسهم في تحليل التحديات القائمة وتقديم مقترحات عملية، إلى جانب إثراء الأدبيات العلمية المتعلقة بالمؤشرات البيئية مثل كفاءة الطاقة والمياه وإدارة النفايات.

وقد اشتمل البحث على أربعة أقسام؛ تناول الأول الإطار العام للبحث، بينما عرض الثاني الإطار المفاهيمي والنظري للمدن الذكية والاستدامة البيئية، موضحًا نشأة المفهوم وخصائصه ودوافعه ونماذجه التطبيقية، إلى جانب مفهوم الاستدامة البيئية وأبعادها وتحدياتها. وركز الثالث على تقنيات المدن الذكية ودورها في دعم الاستدامة البيئية مثل تقنيات الطاقة والمياه والنقل والنفايات والمراقبة البيئية، وأثرها في تحسين جودة البيئة، مع الإشارة إلى أبرز التحديات التي تواجهها. أما القسم الرابع فقدم إطارًا عمليًا لمتابعة وتقييم الأداء البيئي عبر تحديد مؤشرات قياس واضحة، وبناء قاعدة بيانات رقمية، وتحليل البيانات باستخدام الذكاء الاصطناعي، مع التأكيد على أهمية التحديث المستمر.

واختتمت الدراسة بتوصيات تؤكد ضرورة توحيد أطر القياس، وتطوير المؤشرات البيئية، وتعزيز البنية التحتية الرقمية، وتوظيف الذكاء الاصطناعي، وتدريب الكوادر البشرية، مع ضمان الشفافية والتكامل المؤسسي لتحقيق استدامة بيئية فعالة داخل المدن الذكية.

الكلمات المفتاحية: المدن الذكية، الاستدامة البيئية، تقنيات

Abstract

The research problem lies in the absence of an integrated methodological framework for monitoring and evaluating the environmental impact of smart city applications, despite their increasing adoption in modern urban development projects. Although smart technologies are widely used in managing energy, water, waste, and infrastructure, there remains a clear gap between the theoretical objectives of these technologies and their measurable environmental outcomes. In addition, it is difficult to isolate their impact from institutional, planning, and behavioral factors, alongside weak measurement indicators and limited transparency**.**

In this context, the study aims to analyze and evaluate the effectiveness of smart city applications in achieving environmental sustainability by examining the conceptual framework, identifying key technologies and applications, determining the challenges and constraints that limit their effectiveness, and proposing a practical framework for monitoring and evaluating environmental performance within smart cities.

The significance of the study lies in addressing a central issue—environmental sustainability—as one of the most important tools for confronting climate change. It also highlights the role of smart cities as a modern solution for improving resource efficiency and reducing pollution. Furthermore, it contributes to analyzing existing challenges and providing practical recommendations, as well as enriching the scientific literature on environmental indicators such as energy efficiency, water management, and waste management.

The research consists of four sections: the first presents the general framework of the study; the second discusses the conceptual and theoretical framework of smart cities and environmental sustainability, including the emergence of the concept, its characteristics, drivers, and applied models, as well as the concept of environmental sustainability, its dimensions, and challenges. The third focuses on smart city technologies and their role in supporting environmental sustainability, such as energy, water, transport, waste, and environmental monitoring technologies, along with their impact on improving environmental quality and the challenges they face. The fourth section presents a practical framework for monitoring and evaluating environmental performance through defining clear indicators, building a digital database, and analyzing data using artificial intelligence, while emphasizing the importance of continuous updating.

The study concludes with recommendations emphasizing the need to standardize measurement frameworks, develop environmental indicators, strengthen digital infrastructure, employ artificial intelligence, train human resources, and ensure transparency and institutional integration to achieve effective environmental sustainability within smart cities.

Keywords: Smart cities, environmental sustainability, technologies

قائمة المحتويات

الموضوع	الصفحة
القسم الأول: الإطار العام للبحث	
تمهيد	٥
١.١ المُشكلة البحثية	٦
٢.١ الأهداف البحثية	٦
٣.١ الأهمية البحثية	٦
٤.١ التساؤلات البحثية	٧
٥.١ المنهج البحثي	٧
٦.١ الحدود البحثية	٨
٧.١ مصادر البيانات	٨
٨.١ المفاهيم البحثية	٨
٩.١ الدراسات السابقة	١٠
القسم الثاني: الإطار المفاهيمي والنظري للمدن الذكية والاستدامة البيئية	
تمهيد	١٦
١.٢ المدن الذكية: المفهوم والخصائص والأهداف	١٦
١.١.٢ مفهوم المدن الذكية ونشأتها	١٧
٢.١.٢ تقنيات المدن الذكية	١٨
٣.١.٢ خصائص المدن الذكية	١٩
٤.١.٢ دوافع وأهداف إنشاء المدن الذكية	٢٠
٥.١.٢ نماذج للمدن الذكية	٢٢
٢.٢ الاستدامة البيئية	٢٥
١.٢.٢ مفهوم الاستدامة البيئية ونشأتها	٢٦
٢.٢.٢ الركائز الأساسية للاستدامة البيئية	٢٧
٣.٢.٢ أهداف الاستدامة البيئية	٢٨
٤.٢.٢ التحديات التي تواجه تحقيق الاستدامة البيئية	٢٩

الموضوع	الصفحة
القسم الثالث: تقنيات المدن الذكية المستخدمة في تحقيق الاستدامة البيئية	
تمهيد	٣١
١.٣ دور المدن الذكية في تحقيق أهداف التنمية المستدامة	٣١
٢.٣ تقنيات المدن الذكية	٣٣
٣.٣ دور تقنيات المدن الذكية في دعم الاستدامة البيئية	٣٥
٤.٣ تقييم أثر التقنيات الذكية على الاستدامة البيئية	٣٦
١.٤.٣ مؤشرات قياس الكفاءة البيئية في المدن الذكية	٣٧
٢.٤.٣ مدى التحسن في الأداء البيئي	٣٧
٥.٣ تحديات تطبيقات تقنيات المدن الذكية	٣٧
القسم الرابع: إجراءات متابعة تطبيقات تقنيات المدن الذكية لتعزيز الاستدامة البيئية	
تمهيد	٤٠
١.٤ تحديد الرؤية والأهداف الاستراتيجية للإطار المقترح	٤٠
٢.٤ تحديد مؤشرات الأداء البيئي في المدن الذكية	٤١
٣.٤ بناء قاعدة بيانات رقمية متكاملة للرصد البيئي	٤٢
٤.٤ تحديد الجهات المعنية لتحديد المهام	٤٢
٥.٤ تحليل البيانات البيئية وتقييم الأداء البيئي	٤٢
النتائج والتوصيات	٤٤
الملاحق	٤٩
المراجع	٥٢

فهرس الجداول

عنوان الجدول	الصفحة
جدول رقم(١): مؤشرات الأداء البيئي في المدن الذكية	٤١

القسم الأول: الإطار العام للبحث

تمهيد

يشهد العالم خلال العقود الأخيرة تحوّلًا جذريًا في أنماط التخطيط العمراني وإدارة المدن، مدفوعًا بتسارع التحديات البيئية والمناخية، وتزايد الضغوط على الموارد الطبيعية، وارتفاع معدلات التحضر والنمو السكاني، لاسيما في الدول النامية. وقد أسفر هذا الواقع عن بروز مفهوم المدن الذكية باعتباره أحد أحدث النماذج الحضرية، حيث يجمع بين توظيف تقنيات المعلومات والاتصالات، والابتكار الرقمي، والنظم الذكية، بهدف تحسين كفاءة إدارة الموارد، ورفع جودة الحياة، وتعزيز مسارات التنمية المستدامة.

وتحتل الاستدامة البيئية موقعًا محوريًا ضمن فلسفة المدن الذكية، إذ يُفترض أن تسهم هذه المدن في الحد من الانبعاثات الكربونية، وتحسين كفاءة استهلاك الطاقة والمياه، وتعزيز الإدارة المستدامة للنفايات، وحماية النظم البيئية الحضرية. ويتحقق ذلك من خلال الاعتماد على شبكات الطاقة الذكية، وأنظمة النقل منخفضة الانبعاثات، وحلول المباني الخضراء، وتقنيات الرصد البيئي اللحظي.

وقد ظهرت المدن الذكية كاستجابة للتحديات التي تعاني منها المدن التقليدية، من خلال سعيها إلى تحسين البيئة الحضرية، وحماية التنوع البيولوجي، والحد من تلوث الهواء، وتعزيز إدارة الموارد المائية، وتقليل الضوضاء، والمساهمة في تلطيف المناخ المحلي. ومن هذا المنطلق، تُعد المدن الذكية ضرورة لتحقيق بيئة حضرية مستدامة وقادرة على التكيف مع التغيرات المناخية، كما تمتد آثارها الإيجابية لتشمل تحسين الصحة العامة، وتعزيز جودة العلاقات الاجتماعية للأفراد في بيئات حضرية أكثر خضرة واستدامة. وتسهم البنية التحتية الخضراء في إدارة مياه الأمطار من مصدرها، إلى جانب تحقيق فوائد بيئية واجتماعية واقتصادية متعددة، في حين أن دمج البنية التحتية الذكية مع البنية التقليدية (الرمادية) يعزز من قابلية العيش في المدن ويرفع من كفاءة أدائها العام.

كما تهدف الاستدامة البيئية إلى تحقيق نوعية حياة أفضل، وتعزيز وعي الأفراد بالقضايا البيئية، وترشيد استخدام الموارد، ودعم النمو الاقتصادي القائم على التكنولوجيا، بما يواكب احتياجات المجتمع المتجددة. ومن ثم، أصبحت الاستدامة البيئية هدفًا استراتيجيًا تسعى إليه الحكومات والمنظمات الدولية لتحقيق التوازن بين النمو الاقتصادي، والرفاه الاجتماعي، وحماية البيئة. وفي ضوء ذلك، يطرح هذا التوجه تساؤلات

جوهرية حول مدى قدرة تطبيقات المدن الذكية على تحقيق نتائج بيئية ملموسة وقابلة للقياس، خاصة في المشروعات الحضرية الكبرى التي تتطلب استثمارات ضخمة وتنسيقًا مؤسسيًا معقدًا.

١.١المشكلة البحثية

تتمثل مشكلة البحث في غياب إطار منهجي متكامل لمتابعة وتقييم الأثر البيئي الفعلي لتطبيقات المدن الذكية، وذلك على الرغم من التوسع المتزايد في تبني هذا النموذج ضمن مشروعات التنمية الحضرية الحديثة. فعلى الرغم من الاعتماد المكثف على التقنيات الذكية في مجالات إدارة الطاقة والمياه والنفايات والبنية التحتية، لا تزال هناك فجوة واضحة بين الأهداف النظرية المعلنة لهذه التقنيات وبين نتائجها البيئية الفعلية القابلة للقياس والتحقق.

وتتفاقم هذه الإشكالية نتيجة صعوبة عزل أثر التقنيات الذكية عن تأثير العوامل المؤسسية والتخطيطية والسلوكية الأخرى التي تسهم في تشكيل الأداء البيئي العام، فضلًا عن محدودية المؤشرات البيئية المعلنة، وضعف مستوى الشفافية في قياس الكفاءة البيئية ومقارنتها بالمدن التقليدية.

وفي ضوء ذلك، تبرز الحاجة إلى إجراء دراسة تحليلية وتقييمية تستهدف قياس مدى فاعلية تطبيقات المدن الذكية في تحقيق الاستدامة البيئية، والكشف عن أوجه القصور والتحديات التي تعوق تحقيق النتائج المرجوة، بما يسهم في تطوير آليات أكثر دقة وموضوعية لقياس الأداء البيئي في هذا المجال.

٢.١ الأهداف البحثية

يهدف البحث بصفة رئيسية إلى متابعة وتقييم أثر تطبيقات المدن الذكية في تحقيق الاستدامة البيئية.

ولتحقيق هذا الهدف، يتطلب الأمر تحقيق الأهداف الفرعية التالية:

(١) تحليل الإطار المفاهيمي للمدن الذكية والاستدامة البيئية.

(٢) تحديد أبرز تطبيقات وتقنيات المدن الذكية في تحقيق الاستدامة البيئية.

(٣) رصد التحديات التي تحد من فاعلية تطبيقات المدن الذكية في تحقيق الاستدامة البيئية.

(٤) اقتراح إجراءات لمتابعة تطبيقات تقنيات المدن الذكية لتعزيز الاستدامة البيئية.

٣.١ الأهمية البحثية

تظهر أهمية البحث في تناوله لإحدى القضايا الحيوية المطروحة على المستويين المحلي والعالمي، وهي قضية الاستدامة البيئية، التي أصبحت آلية أساسية لمواجهة التغيرات المناخية المتسارعة.

تبرز أهمية البحث في تناوله لأحد أبرز الحلول المعاصرة لتعزيز الاستدامة البيئية والحد من معدلات التلوث، والمتمثل في المدن الذكية بما تتضمنه من تطبيقات وتقنيات متقدمة.

يسهم البحث في تحليل التحديات والمعوقات التي تحد من فاعلية تطبيقات المدن الذكية في تحقيق الاستدامة البيئية، مع طرح مقترحات وحلول عملية لمعالجتها.

يسهم البحث في إثراء الأدبيات العلمية المرتبطة بالمدن الذكية والاستدامة البيئية، حيث يُعد مرجعًا علميًا يمكن الاستفادة منه في الدراسات والأبحاث ذات الصلة.

يسهم البحث في تحديد وتقييم المؤشرات البيئية الذكية الأكثر فاعلية، مثل كفاءة الطاقة، وإدارة النفايات، وإدارة المياه، ضمن إطار نموذج المدينة الذكية.

٤.١ التساؤلات البحثية

(١) ما الإطار المفاهيمي للمدن الذكية والاستدامة البيئية؟

(٢) ما أبرز تطبيقات وتقنيات المدن الذكية المستخدمة في تحقيق الاستدامة البيئية؟

(٣) ما التحديات والمعوقات التي تحد من فاعلية تطبيقات المدن الذكية في تحقيق الاستدامة البيئية؟

(٤) ما الإجراءات المقترحة لمتابعة تطبيقات تقنيات المدن الذكية لتعزيز الاستدامة البيئية؟

٥.١ المنهج البحثي:

يعتمد البحث على المنهج الوصفي التحليلي بشقيه؛ حيث يتم استخدام الجانب الوصفي لوصف الظاهرة محل الدراسة من خلال عرض الإطار المفاهيمي للمدن الذكية، ومقومات الاستدامة البيئية، والأهداف البيئية للمدن الذكية. في حين يُستخدم الجانب التحليلي في تحليل البيانات والمؤشرات المتعلقة بأداء الأنظمة الذكية في المدن الذكية، مثل بيانات استهلاك الطاقة وكفاءة معالجة المياه، ومقارنتها بالمعايير الدولية والمستهدفات المخططة، بهدف تحديد مستوى الإنجاز وتقييم الأثر البيئي الفعلي.

٦.١ الحدود البحثية:

الحدود الموضوعية: تقييم دور المدن الذكية في تعزيز الاستدامة البيئية

الحدود المكانية: جمهورية مصر العربية

الحدود الزمنية: الفترة من ٢٠٢٠ إلى ٢٠٢٦.

٧.١ مصادر البيانات:

يستخدم البحث أداة المقابلات المتعمقة مع خبراء ومسؤولين عن تشغيل بعض الأنظمة الذكية. واداة استبيان لرصد اثر تشغيل بعض الأنظمة الذكية وتطبيقات المدن الذكية .

٨.١ المفاهيم البحثية

المدن الذكية:

يوجد عدة تعريفات للمدن الذكية والتي ترتكز بشكل أساسي على استخدام تكنولوجيا المعلومات والاتصالات وتحسين جودة الحياه، كما أن المدينة الذكية هي المدينة القادرة على تحديد مشاكلها والتخفيف من أسبابها الجذرية من خلال توليد ومعالجة البيانات الهندسية عالية الجودة بشكل مستمر وشامل (INCOSE, 2025)

عرفها Saborido,& Alba, (2020) بأنها منطقة جغرافية تتكامل فيها التقنيات العالية مثل تقنيات المعلومات والاتصالات وللوجستية، وإنتاج الطاقة وغيرها، لتحقيق منافع للمواطنين من حيث الرفاهية والاندماج والمشاركة والجودة البيئية والتنمية الذكية.

في حين عرفتها **نزالي (٢٠١٩)** بأنها تلك المدينة المبتكرة التي تقوم علي استعمال تكنولوجيات المعلومات والاتصالات، وغيرها من الوسائل لتحسين نوعية الحياة وكفاءة العمليات والخدمات الحضرية والقدرة علي المنافسة، مع ضمان تلبية احتياجات الأجيال الحاضرة والمقبلة فيما يتعلق بالجوانب الاقتصادية والاجتماعية والبيئية، وهذ ما يجعل المدن الذكية ترتبط ارتباطاً وثيقًا بالتنمية المستدامة.

كما عرف **الاتحاد الدولي للاتصالات (ITU)** المدينة الذكية المستدامة بأنها مدينة مبتكرة تستخدم تكنولوجيا المعلومات والاتصالات ووسائل أخرى لتحسين جودة الحياة، وكفاءة العمليات والخدمات الحضرية، والقدرة

التنافسية، مع ضمان تلبية احتياجات الأجيال الحالية والمستقبلية فيما يتعلق بالجوانب الاقتصادية والاجتماعية والبيئية. (Simon Elias Bibri et al., 2023)

وعُرفت ايضًا بأنها مدن تستخدم الحلول التكنولوجية لتحسين إدارة وكفاءة البيئة الحضرية، فالمدينة الذكية هي مكان تعزّز فيه كفاءة الشبكات والخدمات التقليدية باستخدام الحلول الرقمية بما يعود بالنفع على سكانها وأعمالها، فهي منطقة حضرية حديثة للغاية تلبي احتياجات الشركات والمؤسسات، وخاصة المواطنين. (Shahram Tahmasseby, 2022)

وأشار إليها **(Singh et al., 2022)** هي مدينة مبتكرة تستخدم تكنولوجيا المعلومات والاتصالات وغيرها من الوسائل لتحسين نوعية الحياة وكفاءة العمليات والخدمات الحضرية والقدرة التنافسية، مع ضمان تلبية احتياجات الأجيال الحالية والمستقبلية فيما يتعلق بالجوانب الاقتصادية والاجتماعية والبيئية.

عرفها **(Albino et al., 2015)** هي مكان يتم فيه زيادة كفاءة الشبكات والخدمات التقليدية باستخدام الحلول الرقمية لصالح سكانها وأعمالها، وتتجاوز المدينة الذكية استخدام التقنيات الرقمية من أجل استخدام أفضل للموارد وتقليل الانبعاثات الغازية، وهذا يعني شبكات نقل حضي أكثر ذكاء، وتحسين إمدادات المياه ومرافق التخلص من النفايات وطرق أكثر كفاءة لإضاءة المباني وتدفئتها، وهذا يعني أيضًا إدارة مدينة تفاعلية واستجابة أكثر، وأماكن عامة أكثر اماناً وتلبية احتياجات كبار السن من السكات والاجيال القادمة.

كما يقصد بها المدن التي تعتمد على طرق إبداعية وحديثة لعلاج المشكلات اليومية التي تواجه الأشخاص مع إشباع متطلبات من يعيش بداخلها بما يساهم في تطوير جودة المعيشة لكل من يعيش بداخلها. (دنية ثابت، ٢٠٢٠)

الاستدامة البيئية:

عرفها **عادل أحمد (٢٠٢٣)** هي حماية الموارد البيئية والمحافظة عليها للأجيال المستقبلية وأيضًا هي دراسة الطرق التي تعمل بها النظم الطبيعية، وكيفية تنوعها، وإنتاجها لجعل البيئة متوازنة ومحمية بهدف القضاء علي الجوع والفقر، وتحسين معايير التعليم والصحة وتحقيق المساواة بين الجنسين وأيضًا معالجة آثار وتغير المناخ والتلوث وعوامل بيئية أخري.

كما تعرف الاستدامة البيئية (Skripnuk et al., 2019: 4) بأنها تعزيز قدرة النظام البيئي علي الحفاظ علي هيكله وميزاته الوظيفية عند تعرضه لعوامل خارجية وداخلية.

وأشار (عادل أحمد، ٢٠٢٣) إلى أنها تتمثل في حماية الموارد البيئية والمحافظة عليها للأجيال المستقبلية، وايضًا هي دراسة الطرق التي تعمل بها النظم الطبيعية، وكيفية تنوعها، وإنتاجها لجعل البيئة متوازنة ومحمية بهدف القضاء علي الجوع والفقر، وتحسين معايير التعليم والصحة وتحقيق المساواة بين الجنسين وايضًا معالجة آثار تغير المناخ والتلوث وعوامل بيئية أخري.

وعرفها (أحمد، ٢٠٢٢) بأنها الطرق التي تعمل بها النظم الطبيعية وكيفية تنوعها وإنتاجها لجعل البيئة متوازنة ومحمية بهدف القضاء علي الجوع والفقر وتحسين معايير التعليم والصحة وتحقيق المساواة بين الجنسين ومعالجة آثار تغير المناخ والتلوث والعوامل البيئية الأخرى.

٩.١ الدراسات السابقة:

المحور الأول: الدراسات التي تناولت المدن الذكية وتعزيز الاستدامة البيئية

دراسة (جمال وأخرون، ٢٠٢٥) هدفت هذه الدراسة إلى البحث في موضوع المدن الذكية التي أصبحت التوجه الجديد لكل دول العالم من أجل تحسين جودة حياة الأفراد وتحقيق التنمية المستدامة، حيث تم اعتماد المنهج الوصفي بوصف متغيرات الدراسة في قالبهما النظري، مع الأخذ بعين الاعتبار التجربة الرائدة التي قامت بها دبي في إقامة المدينة الذكية كنموذج يحتذى به في هذا المجال. توصلت الدراسة إلى أن دبي قطعت شوطا رهيبا في مجال التحول إلى المدن الذكية والتي ساهمت بشكل كبير في تحقيق التنمية المستدامة، فرغم كل التحديات والمعوقات التي واجهتها، إلا أنها تبقى متيقنة بتحقيق تنميتها المستدامة وضمان رفاهية الأفراد والأجيال المستقبلية، حيث نجحت في بناء عدة مدن مستدامة أهمها مدينة دبي المستدامة، مدينة دبي الجنوب، مدينة دبي للسيليكون، بالاعتماد على مجموعة من الآليات والتطبيقات والأنظمة التي ساهمت في نجاحها، كما أصدرت مجموعة من القوانين والمشروعات التي تعزز حفظ السلامة والاستدامة البيئية مع تخفيض الطلب على الطاقة.

دراسة (مهاوي وأخرون، ٢٠٢٥) هدفت هذه الدراسة في خصائص المدن الذكية وأثرها على تحقيق التنمية المستدامة، مُسلّطةً الضوء على أبعادها البيئية والاقتصادية والاجتماعية، اعتمد البحث على منهجية وصفية

قائمة على المصادر المتاحة. وتشير النتائج إلى أن المدن الذكية تستخدم تقنيات متقدمة، مثل إنترنت الأشياء (IoT)، والذكاء الاصطناعي (AI)، وتحليلات البيانات الضخمة، لتطوير أنظمة إدارة ذكية للبنية التحتية والخدمات الحضرية، تُسهم هذه التقنيات في خفض استهلاك الطاقة، وخفض انبعاثات الكربون، وتحسين إدارة الموارد الطبيعية، مما يُعزز الاستدامة البيئية اقتصاديًا، تُسهم المدن الذكية في تعزيز النمو الاقتصادي من خلال تحسين كفاءة استخدام رأس المال والموارد البشرية، وتقديم حلول مبتكرة للتجارة الإلكترونية، وزيادة الإنتاجية، والمساهمة في تنمية الاقتصادات المحلية والعالمية.

دراسة (علي، ٢٠٢٥) هدفت الدراسة إلى التعرف على تأثير سياسات التحول الرقمي على تحقيق التنمية المستدامة بالتطبيق على بالتطبيق على العاملين بوزارة السياحة (بالعاصمة الإدارية الجديدة) "، تم اختيار عينة عشوائية طبقية مكونة من (٣٨٠) من العاملين بوزارة السياحة (بالعاصمة الإدارية الجديدة)، وتم استخدام مجموعة من الأساليب الإحصائية كمعامل الارتباط ومعامل الانحدار لتحليل بيانات الدراسة، وقد توصلت الدراسة إلى عدة نتائج: وجود علاقة ارتباط معنوي إيجابي بين أبعاد كل من التحول الرقمي للموارد البشرية وتحقيق التنمية المستدامة ، ووجود تأثير معنوي لجميع أبعاد التحول الرقمي على أبعاد التنمية المستدامة وذلك عند مستوي معنوي (٠.٠٥).

دراسة (Zakka et al., 2025) هدفت الدراسة إلى تحديد وتقييم العوامل المؤثرة في تطوير مبادرات المدن الذكية ومدى إسهامها في تحقيق الاستدامة البيئية، باستخدام منهجية كمية تعتمد على استبيانات وُزعت على ٣٠٠ مشارك من الخبراء وأصحاب المصلحة، وتم استرجاع ٢٨٦ استبيانًا وتحليلها باستخدام برنامج SPSS بأسلوب الانحدار. وأظهرت النتائج أن العوامل الاقتصادية الذكية مثل ريادة الأعمال والابتكار والإنتاجية والترابط المحلي والعالمي لها تأثير معنوي في دعم الاستدامة، إلى جانب عوامل التنقل الذكي مثل تحسين الوصول، وتشجيع النقل النظيف، وتكامل تقنيات المعلومات والاتصالات. كما توصلت الدراسة إلى أن الاقتصاد الذكي والتنقل الذكي والبيئة الذكية تعد من أكثر العوامل تأثيرًا في تعزيز الاستدامة البيئية، مما يؤكد أهمية المدن الذكية في تحقيق الاستدامة.

تهدف دراسة (Nikolov, 2024) إلى تحليل تأثير تقنيات المدن الذكية على تحقيق الاستدامة البيئية من خلال مراجعة وتحليل الدراسات السابقة. وتبين أن تقنيات المعلومات والاتصالات تسهم في تحسين

أنظمة النقل وتقليل الازدحام المروري وتطوير إدارة الطاقة عبر الشبكات الذكية وأجهزة الاستشعار التي تتيح المراقبة والتحكم الفوري في الاستهلاك. كما تساعد هذه التقنيات على رفع كفاءة استخدام الموارد، وتعزيز الاعتماد على مصادر الطاقة المتجددة، وتحسين كفاءة وموثوقية خدمات المرافق. وأظهرت الدراسة أن تطبيقات المدن الذكية يمكن أن تؤدي إلى خفض انبعاثات الكربون وتحسين جودة الهواء وتقليل استهلاك المياه والنفايات، حيث قد تصل نسبة خفض انبعاثات الغازات الدفيئة إلى نحو ٢٠٪، وتقليل استهلاك المياه إلى ٣٠٪، والنفايات غير القابلة للتدوير بنسبة تتراوح بين ١٥٪ و٢٠٪ تقريبًا، مما يعزز تحقيق الاستدامة البيئية في المدن.

دراسة (عبد العزيز، ٢٠٢٤) هدفت إلى تحديد مدى مساهمة المدن الذكية في تحقيق التنمية المستدامة، وذلك من خلال التعرف على دور المدن الذكية في تحقيق البعد الاجتماعي والاقتصادي والبيئي والتكنولوجي للتنمية المستدامة من وجهة نظر المتخصصين. كما سعى البحث إلى تحديد مدى توافر ابعاد التنمية المستدامة والمدن الذكية في العاصمة الإدارية الجديدة محل الدراسة، بالإضافة إلى تقديم تصور مقترح لمواجهة المشكلات التي تواجه التوسع في إقامة المدن الذكية، وقد اعتمدت الدراسة على المنهج الوصفي التحليلي، وذلك سعيا الى وصف وتحليل الواقع الفعلي للمدن الذكية في المجتمع المصري، حيث أجرى البحث على عينة من المتخصصين في مجالات الطاقة والبيئة والنقل والتكنولوجيا والاجتماع، والتي تم اختيارها عمديا، حيث بلغ عددهم ١٥٠ مبحوث، وذلك بهدف رصد واقع المدن الذكية ومدى تحقيقها لأبعاد التنمية المستدامة، وذلك بالتطبيق على العاصمة الإدارية الجديدة، باعتبارها نموذجا للمدن الذكية. وتم جمع البيانات باستخدام استمارة استبيان تم اعدادها لهذا الغرض، وقد توصلت الدراسة إلى أن درجة تحقيق المدن الذكية لأبعاد التنمية المستدامة من وجهة نظر المتخصصين كانت بدرجة كبيرة، حيث كانت الأعلى تكرارا، كما بلغت قيمة المتوسط الحسابي (٣.٨٥٠). وأن العاصمة الإدارية الجديدة تعد نموذجا للمدن الذكية وتعمل على تحقيق ابعاد التنمية المستدامة.

هدفت دراسة سمير (٢٠٢٣) هدفت الدراسة إلى التعرف على دور المدن الذكية في تحقيق أهداف التنمية المستدامة، مع تقديم رؤية مستقبلية لتطوير البلديات في الأردن. وتناولت مفهوم المدن الذكية التي تعتمد على تكنولوجيا المعلومات والاتصالات في تحسين جودة الحياة ورفع كفاءة الخدمات والعمليات الحضرية، بما يحقق احتياجات الأجيال الحالية والمستقبلية على المستويات الاقتصادية والاجتماعية والبيئية والثقافية.

وأكدت الدراسة أن المدينة تصبح أكثر استدامة عندما تتحقق فيها العدالة الاجتماعية، وحماية البيئة ومواردها الطبيعية، وتعزيز الحيوية الاقتصادية، وتحسين جودة الحياة بشكل شامل. وقد اعتمدت الدراسة على المنهج الوصفي التحليلي لتحليل مدى إسهام المدن الذكية في تحقيق التنمية المستدامة. وتوصلت النتائج إلى أن تحقيق المدن الذكية يتطلب توفير بنية تحتية متكاملة، إلى جانب إحداث تحولات تكنولوجية تسهم في تحسين كفاءة استهلاك الطاقة، وتطوير إدارة المخلفات، وتحديث خدمات الإسكان والرعاية الصحية، وتحسين حركة المرور والسلامة العامة، ومراقبة جودة الهواء، وتعزيز الأمن من خلال أنظمة الإنذار المبكر، فضلًا عن تحسين شبكات المياه والصرف الصحي بما يدعم الاستدامة الحضرية الشاملة.

دراسة (Aboalsamh et al., 2023) هدفت الدراسة إلي تحليل تصورات المستهلكين في الشرق الأوسط بشأن تأثير التكنولوجيا المالية الخضراء على الاستدامة وفحص سياسات ومبادرات التكنولوجيا المالية الخضراء لتحديد كيفية تشكيلها لسلوك المستهلك. استخدمت الدراسة الحالية أساليب نوعية، حيث تم اختيار ثمانية مشاركين وإجراء مقابلات معهم بشأن الموضوع وتم اختيار ست مقالات رئيسية وتحليلها. أجريت المقابلات عبر الإنترنت وسجلت ثم نُسخت لاحقًا للتحليل. تُظهر النتائج أن التكنولوجيا المالية الخضراء تعزز الاستدامة من خلال تشجيع الشركات على الاستثمار في الطاقة المتجددة كاستراتيجية للحصول على المزيد من الأموال بأسعار فائدة أقل. علاوة على ذلك، وُجدت التكنولوجيا المالية الخضراء لتعزيز الشمول المالي، إذ تُمكّن الشركات الصغيرة والناشئة من الحصول بسهولة على التمويل اللازم لابتكار تقنيات تُعزز الاستدامة. ومع ذلك، برز تحدٍّ رئيسي يُعيق التبني الواسع للتكنولوجيا المالية الخضراء، وهو القيود التي يفرضها الإطار التنظيمي الحالي. وخلصت هذه الدراسة إلى أن زيادة وعي المستهلكين بمنتجات التكنولوجيا المالية الخضراء وفوائدها يُمكن أن يُساعد في زيادة وتيرة تطبيق الممارسات المستدامة في المؤسسات.

دراسة (Paes et al., 2023) تستكشف هذه الدراسة الوضع الحالي والسيناريوهات المستقبلية للمدن الذكية والتحديات البيئية والاقتصادية والاجتماعية التي يجب التغلب عليها، استخدمنا أسلوب المراجعة السريعة لفهم تحديات تنفيذ المدن الذكية في سياقات حضرية مختلفة والتأثير المحتمل للبحث على تخطيط المدن الذكية في المدن الذكية المستقبلية. تقدم الدراسة رؤى حول إمكانات نمو المدن الذكية مع تحديد

العقبات التي يجب معالجتها لضمان الاستدامة. تعمل النتائج كأساس للتخطيط وصنع القرار، وتسلط الضوء على جوانب مثل اعتماد الطاقات البديلة، وتقليل استخدام السيارات، والحفاظ على النظم البيئية، وتقليل النفايات، ومشاركة المواطنين، والبنية التحتية، وخصوصية بيانات المواطنين، من بين أمور أخرى. هذه الجوانب ضرورية للتغلب على العقبات وتعزيز تطوير المدن الذكية.

دراسة (هيثم المحمدي وآخرون، ٢٠٢٢) هدفت الدراسة إلى بحث المدن الذكية المستدامة من خلال ربط مفاهيم وتطبيقات النظم الذكية بالاستدامة في المدن الحديثة، بهدف استخلاص مؤشرات تدعم متخذي القرار في تطوير التنمية العمرانية في مصر، وبناء بيئة عمرانية ذكية تحقق الكفاءة في استخدام الموارد وتوفر بيئة صحية للمستخدمين. وقد تناولت الدراسة تحليل بعض الأحياء السكنية في العاصمة الإدارية الجديدة كمجال تطبيقي، مع مقارنتها بالتجارب العالمية في المدن الذكية المستدامة، والاستعانة بالدراسات السابقة لتوضيح المفاهيم الأساسية وتطبيقاتها. كما تم تحليل مشروعات العاصمة الإدارية الجديدة في ضوء مفاهيم الذكاء والاستدامة، وصولًا إلى نتائج وتوصيات تؤكد قدرة الدولة المصرية على تنفيذ هذا النوع من المدن، مع اقتراح تحسينات لتعزيز مستويات الذكاء والاستدامة فيها.

دراسة (Wahba, 2021) هدفت الدراسة إلي معرفة أثر المدن الذكية المستدامة على تعزيز تنافسية السياحة في مصر، مع التركيز على العاصمة الإدارية الجديدة كمثال على المدن الذكية المستدامة. يهدف هذا البحث إلى دراسة أهمية العاصمة الإدارية الجديدة في تنشيط السياحة في مصر، شملت العينة ٥٠ مرشدًا سياحيًا مصريًا، و٣٠ عاملًا في قطاع السياحة، و٢٠ سائحًا زاروا العاصمة الإدارية الجديدة. استُخدم استبيان لجمع المعلومات، وتم نشره عبر مجتمعات فيسبوك. بشكل عام، يُعتبر المرشدون السياحيون أكثر القطاعات موافقة على أهمية العاصمة الإدارية الجديدة في تعزيز السياحة، يليهم مديرو الفنادق والمطاعم، بينما يُعدّ مديرو القرى السياحية الأقل قبولًا لأفكار تعزيز السياحة من خلال العاصمة الإدارية الجديدة، وفقًا للنتائج. مع ذلك، كان التفاوت ضئيلًا.

دراسة (سولاف سليم، ٢٠١٩) هدفت هذه الدراسة إلى تسليط الضوء على العلاقة الموجودة بين المدن الذكية والتنمية المستدامة، على اعتبار أن هذه المدن تشكل نموذجاً لتطور المجتمعات البشرية في جميع مجالات الحياة الاجتماعية والاقتصادية والبيئية والتقنية، فأمام النمو المستمر لعدد السكان وفي المقابل نمو

احتياجاتهم كان لابد من إيجاد حلول لمختلف المشاكل التي تواجههم، لاسيما ما تعلق منها بالمشاكل الاقتصادية والاجتماعية والبيئية والتقنية، ومن هنا ظهر هذا النوع من المدن الذي يسعى إلى تلبية كل هذه الاحتياجات ومنه إلى تحقيق التنمية المستدامة فيها. وتوصلنا من خلال هذه الدراسة إلى تحديد مدى مساهمة المدن الذكية في تحقيق التنمية المستدامة، عن طريق اعتماد ضوابط ومعايير وشروط تؤخذ بعين الاعتبار عند وضع مخططات هذه المدن مع العمل على تطبيقها فعلياً عليها.

تعقيب علي الدراسات السابقة:

مما سبق يتضح من خلال عرض الدراسات السابقة أن اغلبها تناولت المدن الذكية ومدي مساهمتها في تحقيق التنمية المستدامة، وهو ما يؤكد علي الدور الرئيسي للمدن الذكية ومدي تعزيزها للاستدامة البيئية. وتعتبر الدراسة الحالية ستتناول الاستدامة البيئية التي يمكن ان تساهم بها المدن الذكية بشكل واضح ومفصل في تعزيزها. تعد هذه الدراسة محاولة للخروج بعلاقات واضحة ذات طبع علمي بين تطبيق المدن الذكية، وتحقيق تعزيز الاستدامة البيئية.

القسم الثاني

الإطار المفاهيمي والنظري للمدن الذكية والاستدامة البيئية

تمهيد

في ظل التحولات المتسارعة التي يشهدها العالم في مجالات التكنولوجيا والتحول الرقمي، أصبحت المدن الحديثة تواجه تحديات متزايدة تتعلق بارتفاع معدلات التلوث البيئي، وتزايد الكثافة السكانية، وضغط الطلب على الموارد الطبيعية والطاقة، إلى جانب الحاجة المستمرة لتحسين جودة الحياة الحضرية. وقد أدت هذه التحديات إلى ظهور مفهوم المدن الذكية باعتباره أحد أهم الاتجاهات الحديثة في التخطيط الحضري وإدارة المدن، حيث يعتمد هذا المفهوم على توظيف تقنيات المعلومات والاتصالات، والبيانات الضخمة، والذكاء الاصطناعي، وإنترنت الأشياء في تطوير البنية التحتية والخدمات الحضرية.

وتسعى المدن الذكية إلى تحقيق كفاءة أعلى في إدارة الموارد والخدمات من خلال أنظمة رقمية متكاملة تتيح المراقبة والتحكم والتحليل الفوري للبيانات، بما يسهم في تحسين أداء قطاعات متعددة مثل النقل، والطاقة، والمياه، وإدارة النفايات، والخدمات العامة. كما تعمل هذه التقنيات على دعم اتخاذ القرار القائم على البيانات، وتقليل الهدر، وتعزيز الاستجابة السريعة للمشكلات الحضرية، الأمر الذي ينعكس بشكل مباشر على جودة الحياة داخل المدن.

وفي المقابل، برز مفهوم الاستدامة البيئية كأحد أهم الأبعاد الأساسية للتنمية المستدامة، والذي يركز على الحفاظ على الموارد الطبيعية، وتقليل الآثار السلبية للأنشطة البشرية على البيئة، والحد من التلوث والانبعاثات الكربونية، وضمان توازن العلاقة بين التنمية الاقتصادية وحماية البيئة. ومع تفاقم التحديات البيئية العالمية مثل التغير المناخي وارتفاع درجات الحرارة، أصبح من الضروري البحث عن حلول مبتكرة تساهم في تحقيق هذا التوازن.

ومن هنا، تتضح العلاقة الوثيقة بين المدن الذكية والاستدامة البيئية، حيث تمثل التقنيات الذكية أداة فعالة يمكن من خلالها تحسين كفاءة استخدام الموارد وتقليل الانبعاثات الضارة وتعزيز الاعتماد على مصادر الطاقة المتجددة. كما تسهم أنظمة النقل الذكية في تقليل الازدحام المروري وخفض استهلاك الوقود، بينما تعمل الشبكات الذكية للطاقة على تحسين إنتاج وتوزيع واستهلاك الطاقة بشكل أكثر كفاءة، بالإضافة إلى دور أنظمة المراقبة البيئية في تحسين جودة الهواء والمياه وإدارة النفايات بشكل مستدام.

وبناءً على ذلك، يهدف هذا القسم إلى تقديم إطار نظري ومفاهيمي شامل لمفهوم المدن الذكية، واستعراض أهم خصائصها ومجالات تطبيقها، بالإضافة إلى توضيح الأسس النظرية التي تستند إليها، وتحليل مفهوم الاستدامة البيئية وأبعاده المختلفة، مع التركيز على إبراز طبيعة العلاقة التكاملية بين المدن الذكية والاستدامة البيئية.

١.٢ المدن الذكية: المفهوم والخصائص والأهداف

١.١.٢ مفهوم المدن الذكية ونشأتها

يُعد مفهوم المدن الذكية (Smart Cities) من المفاهيم الحديثة نسبيًا في مجال التخطيط الحضري وإدارة المدن، وقد ظهر نتيجة للتطور السريع في تقنيات المعلومات والاتصالات والتحول الرقمي الذي شهده العالم خلال العقود الأخيرة، حيث أصبح التركيز على توظيف التكنولوجيا لتحسين كفاءة المدن ورفع جودة الحياة الحضرية (Neirotti et al., 2014).

ويشير مفهوم المدن الذكية إلى المدن التي تعتمد على توظيف التكنولوجيا الرقمية والبيانات الضخمة والأنظمة الذكية في إدارة الموارد والخدمات الحضرية، بهدف تحسين كفاءة الأداء، ورفع جودة الحياة، وتحقيق الاستدامة في مختلف المجالات. وتقوم هذه المدن على استخدام تقنيات مثل إنترنت الأشياء والذكاء الاصطناعي وأجهزة الاستشعار لتحليل البيانات واتخاذ قرارات أكثر كفاءة (Nam & Pardo, 2011).

وقد تعددت تعريفات المدن الذكية في الأدبيات العلمية، إلا أنها تتفق في جوهرها على أنها مدينة تعتمد على التكنولوجيا الحديثة لتحسين الخدمات العامة وتقليل الهدر في الموارد وتعزيز التفاعل بين الحكومة والمواطنين من خلال الأنظمة الرقمية (Caragliu et al., 2011).

أما من حيث النشأة، فقد بدأ الاهتمام بمفهوم المدن الذكية في أواخر التسعينيات وبداية الألفية الجديدة، مع ظهور مفهوم المدينة الرقمية الذي ركز على رقمنه الخدمات الحكومية، ثم تطور لاحقًا إلى مفهوم أشمل هو المدن الذكية مع تطور الحوسبة السحابية وإنترنت الأشياء (Hollands, 2008).

وقد ساهمت العديد من المؤسسات البحثية والشركات التكنولوجية في تطوير هذا المفهوم، حيث ظهرت حلول ذكية لإدارة النقل والطاقة والمباني، مما ساعد على انتشار الفكرة عالميًا، خاصة مع تزايد التحديات الحضرية مثل الازدحام والتلوث والنمو السكاني (Batty, 2013).

ومع بداية العقد الثاني من القرن الحادي والعشرين، أصبح مفهوم المدن الذكية أكثر انتشارًا واعتمادًا كإطار شامل للتنمية الحضرية المستدامة، يهدف إلى تحسين القدرة على التكيف مع التغيرات البيئية والاقتصادية والاجتماعية من خلال الاعتماد على البيانات والتحليل الذكي (Giffinger et al., 2007).

وبذلك، فإن نشأة المدن الذكية جاءت نتيجة طبيعية لتطور التكنولوجيا من جهة، وتزايد التحديات الحضرية والبيئية من جهة أخرى، مما جعلها نموذجًا حديثًا يجمع بين الابتكار التكنولوجي ومبادئ التنمية المستدامة لتحقيق مدن أكثر كفاءة واستدامة (Batty, 2013).

٢.١.٢ تقنيات المدن الذكية

تعتمد المدن الذكية على مزيج متكامل من تقنيات الثورة الصناعية الرابعة، والتي تسهم في تعزيز كفاءة إدارة الموارد وتحسين جودة الخدمات الحضرية، ومن أبرز هذه التقنيات ما يلي:

الحوسبة السحابية:

تُعد الحوسبة السحابية نموذجًا لتقديم خدمات الحوسبة مثل الخوادم والتخزين والشبكات وقواعد البيانات والبرامج والتحليلات عبر الإنترنت، دون الحاجة إلى امتلاك بنية تحتية مادية خاصة. وقد أصبحت هذه التقنية شائعة بشكل متزايد لدى الأفراد والمؤسسات والحكومات، نظرًا لما توفره من انخفاض في التكاليف وسهولة في الوصول والمرونة العالية في الاستخدام (Chai et al., 2023, p. 4115).

الذكاء الاصطناعي:

يشير الذكاء الاصطناعي إلى قدرة أنظمة الحاسوب على محاكاة الوظائف الإدراكية البشرية مثل التعلم من البيانات، وتحليل المعلومات، وحل المشكلات، واتخاذ القرارات بناءً على أنماط البيانات. كما تتميز هذه الأنظمة بقدرتها على التنبؤ والتعلم من الأخطاء لتحسين دقة الأداء المستقبلي (Luckey et al., 2020).

إنترنت الأشياء (IoT):

يُعرف إنترنت الأشياء بأنه شبكة من الأجهزة والمعدات المتصلة بالإنترنت والمصممة لجمع البيانات وتبادلها بشكل آمن وفوري. وتتيح هذه التقنية للمدن والمؤسسات جمع البيانات وتحليلها في الوقت شبه الحقيقي، مما يساعد متخذي القرار على فهم أعمق للبيئة الحضرية واتخاذ قرارات أكثر دقة وسرعة (Kim, 2017).

تقنية البلوك تشين:

تُعد البلوك تشين قاعدة بيانات رقمية لا مركزية تسمح بتخزين المعلومات ومشاركتها بشكل آمن وشفاف داخل شبكة واسعة يمكن لجميع الأطراف الوصول إليها. وتُستخدم هذه التقنية في تحسين كفاءة سلاسل الإمداد، وتبسيط العمليات المعقدة، وتقليل مخاطر الاحتيال، والتحقق السريع من المعاملات دون الحاجة إلى جهة مركزية (Singh et al., 2020).

حوسبة الحافة:

تقوم حوسبة الحافة على تقريب قدرات المعالجة من مصدر البيانات نفسه، مما يقلل من زمن الاستجابة (Latency) ويحد من الضغط على الشبكات. كما تضمن استمرارية تقديم الخدمات حتى في حالة ضعف الاتصال السحابي، وهو ما يجعلها عنصرًا مهمًا في دعم البنية التحتية للمدن الذكية (Khan et al., 2020).

الواقع المعزز:

الواقع المعزز هو تقنية تقوم بإضافة طبقات رقمية أو صور مُولدة بالحاسوب فوق البيئة الواقعية، مما يوفر تجربة تفاعلية للمستخدم. وتُستخدم هذه التقنية في التدريب، والصيانة، ودعم اتخاذ القرار، حيث تساعد في إتاحة رؤية معلومات يصعب الوصول إليها في الواقع، كما تتيح تنفيذ مهام معقدة أو خطيرة بشكل أكثر أمانًا وفعالية (Ansell, 2021).

٣.١.٢ خصائص المدن الذكية

تتعدد خصائص المدن الذكية من خلال مكوناتها الأساسية التي تشمل البيئة، والاقتصاد، والتنقل، والمعيشة، والحوكمة، والمجتمع، حيث تتكامل هذه المكونات لتحقيق نموذج حضري متطور قائم على الكفاءة والاستدامة (غادة محمود، ٢٠٢٥، ص ٢٦١). ويمكن توضيح أبرز هذه الخصائص فيما يلي:

- تتميز المدن الذكية بارتباطها الوثيق بالتطور التكنولوجي، حيث تعتمد على دمج التقنيات الحديثة مثل الذكاء الاصطناعي، وإنترنت الأشياء، والتعلم الآلي في إدارة مختلف الخدمات الحضرية، بما يتيح تحليل البيانات واتخاذ قرارات أكثر دقة وفاعلية.
- تسهم في رفع كفاءة تقديم الخدمات العامة، من خلال تلبية احتياجات المواطنين بشكل أسرع وأكثر دقة، بما يعزز جودة الحياة ويرفع مستوى رضا السكان.

- توفر منظومة متقدمة من الخدمات الحكومية الإلكترونية، مثل أنظمة الدفع الرقمي، وخدمات التوجيه الذكي، وتطبيقات إدارة النقل التي تساعد المستخدمين في الوصول إلى وجهاتهم بأقل جهد ووقت ممكن.
- •تعمل على تحسين كفاءة استهلاك الطاقة وإدارتها بشكل فعال، من خلال استخدام الشبكات الذكية وأنظمة المراقبة التي تضمن ترشيد الاستهلاك وتقليل الهدر، إلى جانب تطوير البنية التحتية الحضرية بشكل أكثر استدامة.
- تسهم في تعزيز الأمن الذكي عبر استخدام أجهزة الاستشعار وأنظمة المراقبة الذكية لحماية المباني والمنازل، بالإضافة إلى القدرة على التنبؤ بالكوارث الطبيعية وتنبيه السكان في الوقت المناسب للحد من آثارها.
- تدعم تحسين كفاءة أنظمة النقل والتنقل داخل المدن، من خلال إدارة الحركة المرورية بشكل ذكي، وتقليل الازدحام، مما يؤدي إلى خفض أوقات الانتظار وتقليل زمن الرحلات اليومية.
- تساعد في تطوير التخطيط الحضري المستدام، بما ينعكس إيجابًا على البيئة من خلال زيادة المساحات الخضراء، وتوفير مناطق ترفيهية وخدمية أكثر جودة وتوازنًا مع الاحتياجات السكانية.
- تساهم في ترشيد استهلاك الموارد الطبيعية مثل المياه والطاقة، من خلال أنظمة المراقبة الذكية التي تحد من الهدر وتُحسن من كفاءة الاستخدام، إلى جانب تقليل الوقت والجهد المستهلك في الحصول على الخدمات.
- توفر خدمات ذكية للبنية التحتية، مثل أنظمة الإنذار المبكر للأعطال في شبكات المياه والصرف الصحي، مما يتيح التدخل السريع قبل تفاقم المشكلات وتقليل الأضرار المحتملة.

٤.١.٢ دوافع وأهداف إنشاء المدن الذكية

تختلف الدوافع والأسباب التي تقف وراء إنشاء المدن الذكية من دولة إلى أخرى، وفقًا للظروف الاقتصادية والاجتماعية والعمرانية لكل دولة. فيسعى في بعض الحالات إلى مواجهة الزيادة السكانية المتسارعة وما يترتب عليها من ضغط على الخدمات والبنية التحتية، بينما يرتبط في حالات أخرى ظهور هذا النوع من المدن بمشكلة الازدحام المروري وتراجع كفاءة البنية التحتية التقليدية. كما تتجه بعض الدول إلى تبني نموذج المدن الذكية بهدف تحقيق الاستدامة البيئية والاقتصادية والاجتماعية، من خلال تحسين كفاءة

استخدام الموارد، وتقليل الآثار البيئية السلبية، ورفع جودة الحياة داخل المدن. يمكن الإشارة إلى أبرز الدوافع والأهداف التي تدفع الدول إلى إنشاء المدن الذكية على النحو الآتي:

أولاً: الدوافع السياسية

تتعلق هذه الدوافع بالاعتبارات الاستراتيجية للدولة من الجوانب السياسية والعسكرية، حيث تسعى بعض الدول إلى إنشاء مدن جديدة نتيجة الدمار الناجم عن الحروب أو النزاعات المسلحة، أو بسبب تركز المؤسسات الحكومية والوزارات في العاصمة، مما يؤدي إلى ارتفاع معدلات الهجرة الداخلية نحوها وتزايد الضغط على خدماتها وبنيتها التحتية. ونتيجة لذلك، تتجه بعض الحكومات إلى إنشاء عواصم أو مدن إدارية جديدة، مع نقل الوزارات والهيئات الحكومية إليها بهدف إعادة توزيع الكثافة السكانية وتقليل العبء الواقع على العاصمة التقليدية (مجد عطية، ٢٠٢١).

ثانياً: الدوافع الاجتماعية

ترتبط هذه الدوافع بالمشكلات الناتجة عن الزيادة السكانية غير المتوازنة وسوء توزيع الكثافة السكانية، إلى جانب الحاجة إلى تحسين مستوى المعيشة وتوفير بيئة حضرية أفضل للمواطنين. فقد أدى التوسع العمراني العشوائي إلى ارتفاع معدلات التعمير بشكل ملحوظ، مما انعكس سلبًا على جودة الحياة وظهر في صورة مشكلات سكنية ومعيشية متعددة. كما ساهمت هذه الأوضاع في زيادة الهجرة من المناطق الريفية إلى المدن، الأمر الذي ترتب عليه ارتفاع أسعار الأراضي وانتشار المناطق العشوائية وتفاقم العديد من المشكلات الاجتماعية (العتلة، ٢٠٢١، ص. ١٨٤).

ثالثاً: الدوافع الاقتصادية

تتمثل هذه الدوافع في الاستفادة من الموارد والإمكانات المتاحة في بعض المناطق لإنشاء مدن جديدة ذات طابع اقتصادي متطور، بما يسهم في تحقيق التنمية الحضرية والصناعية. وقد ارتبط إنشاء العديد من المدن الجديدة بتخطيط مناطق صناعية يتبعها تطوير مناطق سكنية وخدمية، كما هو الحال في بعض التجارب العالمية مثل المدن الصناعية المتكاملة. كما أن الضغوط الاقتصادية وتزايد الاحتياجات الحضرية يدفعان الدول إلى البحث عن حلول أكثر كفاءة من حيث التكلفة، مما يعزز التوجه نحو استخدام التقنيات الذكية في التخطيط العمراني لتقليل النفقات والحد من الهدر في الموارد، وتحقيق التوازن بين العرض والطلب على الخدمات الأساسية مثل المياه والطاقة (مجد عطية، ٢٠٢١).

رابعاً: الدوافع الطبيعية:

تتمثل هذه الدوافع في التحديات البيئية التي تواجه المناطق الحضرية، مثل نقص الموارد المائية، وتراكم النفايات، وتدهور البيئة نتيجة التوسع العمراني غير المنظم، مما يؤدي إلى تراجع جودة البيئة الحضرية. وتدفع هذه المشكلات الدول إلى تبني نماذج المدن الذكية كحلول مستدامة تهدف إلى تحسين إدارة الموارد الطبيعية والحد من الأثر البيئي السلبي (مجد عطية، ٢٠٢١).

٥.١.٢ نماذج للمدن الذكية

أولاً: العاصمة الإدارية الجديدة

تُعد العاصمة الإدارية الجديدة واحدة من أبرز وأهم مشروعات المدن الذكية في مصر، حيث تمثل خطوة استراتيجية ضمن جهود الدولة لتحقيق أهداف رؤية مصر ٢٠٣٠، بما يضمن تحقيق التنمية المستدامة وتعزيز كفاءة استخدام الموارد الطبيعية. ويهدف هذا المشروع إلى الخروج من نطاق الوادي الضيق، وتوسيع الرقعة العمرانية لتشمل المناطق الصحراوية غير المستغلة، بما يسهم في تقليل الكثافة السكانية في المدن التقليدية، وتخفيف الضغط على الخدمات والبنية التحتية، إلى جانب رفع نصيب الفرد من الأراضي والخدمات في الحاضر والمستقبل.

تقع العاصمة الإدارية الجديدة على بُعد حوالي ٤٥ كيلومترًا شرق القاهرة، وتمتد على مساحة تُقدر بنحو ٧٠٠ كيلومتر مربع، لتصبح مركزًا إداريًا وتجاريًا وثقافيًا حديثًا للدولة المصرية. وقد تم اختيار موقعها بعناية ليكون قريبًا من مناطق التنمية الجديدة الواعدة، مما يعزز فرص الربط بين المدن الجديدة والمشروعات التنموية المستقبلية. كما يتميز تصميم المدينة بتبني أحدث المعايير العالمية في التخطيط الحضري، مع الاعتماد على التقنيات الحديثة لتأسيس مدينة ذكية متكاملة.

وتقوم العاصمة الإدارية الجديدة على مجموعة من الأهداف المحورية التي تعكس رؤيتها التنموية الشاملة، والتي يمكن تلخيصها فيما يلي:

مدينة خضراء: تسعى المدينة إلى تعزيز البعد البيئي من خلال تخصيص مساحات خضراء واسعة تصل إلى نحو ٤٠٪ من إجمالي المساحة، بهدف تحسين جودة الهواء وتوفير بيئة حضرية صحية ومستدامة (المنتدى الاستراتيجي للسياسات العامة ودراسات التنمية، ٢٠٢٤).

مدينة مستدامة: تعتمد على تطبيق مبادئ الاستدامة البيئية من خلال استخدام مصادر الطاقة المتجددة، وتبني تقنيات حديثة لترشيد استهلاك الطاقة والمياه، بما يحقق الاستخدام الأمثل للموارد الطبيعية.

مدينة صديقة للمشاة: تم تصميم البنية الحضرية للمدينة بحيث تكون ملائمة لحركة المشاة، مع تطوير شبكات نقل عام ذكية تساهم في تقليل الاعتماد على المركبات الخاصة وتعزيز سهولة التنقل.

مدينة للسكن والحياة: توفر العاصمة الإدارية مجتمعات سكنية متكاملة تضم مختلف الخدمات الأساسية والترفيهية، بما يلبي احتياجات شرائح المجتمع المختلفة ويعزز جودة الحياة.

مدينة متصلة: تعتمد على بنية تحتية رقمية متقدمة تتيح توفير خدمات الإنترنت عالي السرعة، وتدعم تطبيقات المدن الذكية في مختلف القطاعات الخدمية والإدارية.

مدينة ذكية: توظف المدينة تقنيات الذكاء الاصطناعي وإنترنت الأشياء في إدارة الخدمات الحضرية، بما يسهم في رفع كفاءة التشغيل وتحسين جودة الخدمات المقدمة للسكان (غادة محمود، ٢٠٢٥).

مدينة أعمال: تسعى العاصمة إلى أن تكون مركزًا اقتصاديًا وإقليميًا جاذبًا للاستثمارات، من خلال توفير بيئة أعمال متطورة تدعم ريادة الأعمال وتعزز النمو الاقتصادي.

ثانياً: مدينة لوسيل

تُعد مدينة لوسيل واحدة من أهم وأكبر مشروعات شركة الديار القطرية، حيث لا يقتصر دورها على كونها مشروعًا عقاريًا تقليديًا، بل تمثل نموذجًا متكاملًا لمدينة ذكية مستدامة تسعى إلى تحقيق الاكتفاء الذاتي والاعتماد على أحدث التقنيات في مختلف مجالات التخطيط الحضري. وقد تم تصميم المدينة بصورة شاملة تعكس مستوى التقدم الذي وصلت إليه دولة قطر في مختلف القطاعات، كما تجسد أهداف رؤية قطر الوطنية ٢٠٣٠، التي تسعى إلى تحقيق التنمية المستدامة وتعزيز مكانة الدولة على المستويين الإقليمي والعالمي.

وقد جاء تطوير مدينة لوسيل من خلال شركة لوسيل للتطوير العقاري التابعة لشركة الديار القطرية، باعتبارها أحد أضخم المشروعات العمرانية الذكية في دولة قطر، حيث تعكس توجه الدولة نحو تبني مفهوم التطوير العقاري المستدام القائم على الدمج بين التكنولوجيا الحديثة والتخطيط الحضري المتقدم.

استطاعت مدينة لوسيل أن تحجز لنفسها مكانة متقدمة ضمن قائمة المدن المستدامة عالميًا، حيث تعتمد على أحدث التقنيات التكنولوجية في إدارة البنية التحتية والخدمات الحضرية، بما يسهم في تقليل الانبعاثات

الكربونية والحد من التلوث البيئي. كما تتميز المدينة بوجود بنية تحتية رقمية متطورة تعتمد على شبكات الألياف البصرية وأنظمة الحوسبة الحديثة، مما يتيح إدارة ذكية وفعالة لمختلف الخدمات داخل المدينة (محمد صباح، ٢٠٢١).

وتُقام مدينة لوسيل على مساحة تُقدر بنحو ٣٨ كيلومترًا مربعًا، وتضم مجموعة واسعة من المنشآت السكنية والتجارية والفندقية، إلى جانب مرافق خدمية وترفيهية متكاملة. كما تم تصميم المدينة وفق بنية تحتية شاملة تعتمد على معايير عالمية متقدمة، تتيح تكامل الخدمات وتقديمها بكفاءة عالية عبر أنظمة رقمية ذكية تضمن سرعة الاستجابة وجودة الأداء.

خدمات النقل المتكاملة في مدينة لوسيل

تتميز مدينة لوسيل بوجود منظومة نقل متكاملة تُعد أحد أبرز عناصر المدينة الذكية، وتشمل عدة أنماط حديثة للنقل، من أهمها:

شبكة السكك الحديدية الخفيفة: تم إنشاء شبكة نقل حديثة تهدف إلى تقليل الاعتماد على المركبات الخاصة والحد من الانبعاثات الضارة، حيث تضم الشبكة ٣٨ محطة تغطي مختلف أنحاء المدينة، وتتيح الوصول إلى جميع أحيائها البالغ عددها ١٩ حيًا، كما ترتبط بشبكات النقل الإقليمية والدولية، مما يعزز سهولة الحركة والتنقل .

استراتيجية مواقف السيارات والحد من الازدحام: تم تصميم مواقف سيارات تحت الأرض بالقرب من محطات السكك الحديدية بهدف تشجيع السكان على استخدام وسائل النقل العام بدلًا من السيارات الخاصة، مما يسهم في تقليل الازدحام المروري وتحسين كفاءة التنقل داخل المدينة .

نظام النقل المائي: توفر المدينة وسيلة نقل مائية متطورة عبر المارينا والقناة الكبرى، مما يتيح للسكان التنقل بين مختلف المناطق والأحياء بطريقة مبتكرة وصديقة للبيئة .

شبكة المشاة والدراجات: تم إنشاء شبكة متكاملة مخصصة للمشاة وراكبي الدراجات بطول يصل إلى نحو ٦٧ كيلومترًا، بهدف تعزيز أنماط التنقل المستدام وتشجيع الحياة الصحية داخل المدينة .

نظام إدارة المخلفات

تتبنى مدينة لوسيل نظامًا متقدمًا لجمع وإدارة المخلفات يعتمد على تقنيات حديثة مثل النقل عبر التيارات الهوائية باستخدام مواسير مخصصة، مما يتيح فصل المخلفات الرطبة عن الجافة بشكل آلي وفعال.
ويسهم هذا النظام في تحسين كفاءة إدارة النفايات، حيث يساعد على توفير أكثر من ٤٢٠ طن من المخلفات العضوية القابلة للاحتراق، بالإضافة إلى نحو ٣١٠ طن من المخلفات القابلة لإعادة التدوير، بما يعزز مبادئ الاستدامة البيئية داخل المدينة (موقع مدينة لوسيل).

ثالثاً: مدينة زيورخ السويسرية: (أونيس، ٢٠٢٦)

تقع مدينة زيورخ في قلب سويسرا، وتحديدًا في المنطقة الشمالية الوسطى منها، وتتميز بموقع استراتيجي مهم نظرًا لقربها من جبال الألب بمسافة تقارب ٣٠ كيلومترًا، مما يعزز من أهميتها الجغرافية والاقتصادية والسياحية.

وتُعد الاستدامة أحد أبرز الأهداف التي تسعى مدينة زيورخ إلى تحقيقها، حيث تستند في مفهومها للتنمية المستدامة إلى التعريف الصادر عن اللجنة العالمية المعنية بالبيئة والتنمية في تقرير عام ١٩٨٧، والذي ينص على أن التنمية المستدامة هي التنمية التي تلبي احتياجات الحاضر دون الإخلال بقدرة الأجيال القادمة على تلبية احتياجاتها.

وقد استطاعت زيورخ أن تحتل المرتبة الأولى عالميًا في مؤشر المدن الذكية لست سنوات متتالية، كان آخرها عام ٢٠٢٥، وهو ما يعكس مكانتها كنموذج عالمي رائد للمدن الذكية التي تعتمد على التكنولوجيا الحديثة في إدارة مختلف القطاعات الحضرية وتحقيق الاستدامة. وتتميز المدينة بعدة صور وممارسات واضحة للاستدامة الحضرية، من أبرزها ما يلي:

منصة التنقل: وهي تطبيق إلكتروني متكامل تم تطويره لتوفير جميع البيانات والمعلومات المتعلقة بخدمات النقل داخل المدينة. يتيح التطبيق للمستخدمين معرفة أفضل خيارات التنقل بين أي نقطتين داخل المدينة، مع عرض بدائل متعددة لوسائل المواصلات، دون الحاجة إلى رسوم أو عمولات على مزودي الخدمة، مما يعزز كفاءة نظام النقل الذكي .

منصة "حسابي:" تمثل بوابة إلكترونية موحدة تقدم جميع الخدمات الرقمية للمدينة في منصة واحدة، حيث يمكن للمستخدم الدخول إليها عبر اسم مستخدم واحد فقط، والحصول على مختلف الخدمات الحكومية والخدمية بسهولة، مما يقلل الحاجة إلى التنقل بين الجهات المختلفة ويوفر الوقت والجهد .

الميزانية التشاركية: تعتمد المدينة على منصة رقمية تتيح للمواطنين طرح الأفكار والمقترحات ومناقشتها، ثم تحديد أولوياتها وميزانيتها بشكل تشاركي، ليتم بعد ذلك العمل على جمع التمويل اللازم وتنفيذ المشروعات المقترحة، مما يعزز المشاركة المجتمعية في صنع القرار .

الابتكار في إدارة المدينة: تتميز إدارة مدينة زيورخ بتبني نهج مبتكر يعتمد على دعم الأفكار الجديدة والمشروعات التجريبية، حيث يتم تشجيع ريادة الأعمال الداخلية داخل المؤسسات الحكومية، مع توفير التمويل الأولي للمشروعات المبتكرة، بما يسهم في تطوير حلول ذكية ومستدامة لإدارة المدينة.

٢.٢ الاستدامة البيئية

١.٢.٢ مفهوم الاستدامة البيئية ونشأتها

يُعد مفهوم الاستدامة (Sustainability) من المفاهيم الحديثة نسبيًا في الفكر التنموي، وقد برز بشكل واضح خلال العقود الأخيرة نتيجة تزايد التحديات البيئية والاقتصادية والاجتماعية التي تواجه العالم، مثل التغير المناخي، واستنزاف الموارد الطبيعية، وتفاقم التلوث.

ويُشير مفهوم الاستدامة إلى القدرة على تلبية احتياجات الحاضر دون الإضرار بقدرة الأجيال القادمة على تلبية احتياجاتها، وهو التعريف الذي تم ترسيخه في تقرير اللجنة العالمية للبيئة والتنمية عام ١٩٨٧، المعروف بتقرير برونتلاند، والذي شكّل نقطة تحول رئيسية في مسار التفكير التنموي العالمي، حيث ربط بين النمو الاقتصادي وحماية البيئة والعدالة الاجتماعية ضمن إطار واحد متكامل.

وقد تطور مفهوم الاستدامة عبر الزمن ليشمل ثلاثة أبعاد رئيسية مترابطة هي البعد البيئي، والبعد الاقتصادي، والبعد الاجتماعي، بحيث لا يقتصر على حماية البيئة فقط، بل يمتد ليشمل تحقيق التوازن بين التنمية الاقتصادية وتحسين جودة الحياة وضمان العدالة الاجتماعية. كما ارتبط المفهوم بعدة توجهات عالمية مثل أجندة التنمية المستدامة ٢٠٣٠ التي اعتمدتها الأمم المتحدة، والتي وضعت أهدافًا واضحة تهدف إلى القضاء على الفقر، وحماية الكوكب، وضمان حياة كريمة لجميع البشر.

أما من حيث النشأة، فقد بدأت جذور مفهوم الاستدامة في الظهور خلال سبعينيات القرن العشرين مع تزايد الوعي العالمي بالمشكلات البيئية الناتجة عن الثورة الصناعية والتوسع الحضري والاستهلاك المفرط للموارد، إلا أن المصطلح اكتسب زخمه الحقيقي في الثمانينيات، خاصة بعد صدور تقرير برونتلاند عام ١٩٨٧ الذي رسّخ المفهوم بشكل رسمي على المستوى الدولي. ومنذ ذلك الوقت، أصبح مفهوم الاستدامة إطارًا أساسيًا في السياسات التنموية للدول والمنظمات الدولية، كما تم توظيفه في مجالات متعددة مثل التخطيط الحضري، والطاقة، وإدارة الموارد، والتعليم، والتكنولوجيا، ليصبح اليوم أحد أهم المبادئ التي تقوم عليها خطط التنمية الحديثة.

تؤدي الاستدامة إلى تعزيز خدمات النظم الإيكولوجية مثل توفير الغذاء والمياه والوقود، إلى جانب تنظيم المناخ، بما يساهم في إنتاج منافع اقتصادية واجتماعية مستدامة. وتُعد هذه المنافع ضرورية لتحقيق حقوق الإنسان ودعم أولويات التنمية الوطنية، بما في ذلك الأهداف الإنمائية للتنمية المستدامة. كما أن إدماج القضايا البيئية ضمن الاتفاقيات البيئية متعددة الأطراف والأطر القانونية الوطنية يسهم في تبني نهج قائم على حقوق الإنسان، ويعزز من التزام الحكومات بحماية البيئة، إضافة إلى توضيح العلاقة التبادلية بين البيئة وحقوق الإنسان. كما يساعد هذا الدمج في تمكين أصحاب الحقوق من مطالبة الجهات المسؤولة بوضع وتنفيذ سياسات وإجراءات بيئية أكثر فاعلية وحزمًا، وهو أمر يكتسب أهمية خاصة في الدول النامية، حيث تعتمد الفئات الفقيرة بشكل أكبر على الموارد الطبيعية في تأمين سبل عيشها، وتكون في الوقت ذاته أكثر عرضة للكوارث الطبيعية. ونظرًا لأن الموارد الطبيعية تمثل جزءًا مهمًا من الثروة الوطنية في هذه الدول، فإن الاستخدام غير المستدام لها قد يؤدي إلى آثار بيئية واقتصادية سلبية خطيرة، مثل تزايد مخاطر الانهيارات الأرضية والفيضانات، مما يضعف القدرة على حماية البيئة واستدامتها.

وعلى الرغم من اهتمام العديد من مناهج التنمية بالقضايا البيئية، إلا أن مفهوم الاستدامة البيئية لا يزال يواجه قدرًا من الغموض، خاصة في الدول النامية، في حين أصبح تحقيق الاستدامة البيئية اليوم أحد المتطلبات الأساسية لتحقيق التنمية المستدامة (وردة علي وآخرون، ٢٠٢٥).

٢.٢.٢ الركائز الأساسية للاستدامة البيئية

تقوم الاستدامة البيئية على مجموعة من ركائز تُعد إطارًا توجيهيًا لضمان تحقيق التوازن بين تلبية احتياجات الحاضر وحماية حقوق الأجيال القادمة في الموارد الطبيعية، وتشمل: (شيماء ربيع، ٢٠١٧)

الاستدامة أو الاستمرارية: تعني تلبية احتياجات الجيل الحالي دون الإضرار بقدرة الأجيال القادمة على تلبية احتياجاتها، بحيث يتم الحفاظ على الموارد الطبيعية في حالة تضمن استمرار عطائها، من خلال صون التربة الخصبة، والحفاظ على نقاء المياه، وضمان جودة الهواء.

الديمقراطية: تشير إلى ضرورة تبني نظام ديمقراطي حقيقي يراعي مصلحة الأغلبية ومصلحة المجتمع الإنساني ككل، دون تغليب مصالح فئة معينة أو قوى تكنولوجية أو اقتصادية على حساب الآخرين، بما يحقق العدالة في اتخاذ القرارات المتعلقة بالبيئة والتنمية.

المشاركة الشعبية: تؤكد هذه الركيزة على أهمية تمكين الأفراد والمجتمعات المحلية من المشاركة الفعالة في إدارة شؤونهم، ليس فقط في تنفيذ مشروعات التنمية، بل أيضًا في التخطيط واتخاذ القرار وتحديد الأولويات، بما يعزز الإحساس بالمسؤولية المشتركة.

القيم: تتمثل في ترسيخ مجموعة من القيم الأخلاقية والإنسانية مثل العدالة بين الأجيال والدول والأفراد، وعدم استغلال الموارد أو الآخرين، وتعزيز القيم الجمالية والإنسانية، إلى جانب ترشيد الاستهلاك بما يتناسب مع قدرة النظم البيئية، ونشر قيم التعاون والمشاركة، ودعم القيم الدينية والأخلاقية التي تعزز حماية البيئة واستدامتها.

٣.٢.٢ أهداف الاستدامة البيئية

تسعى الاستدامة البيئية إلى الحفاظ على التوازن الطبيعي للنظم البيئية على كوكب الأرض، والحد من الآثار السلبية الناتجة عن الأنشطة البشرية المختلفة، بما يضمن استمرارية الموارد الطبيعية للأجيال الحالية والمستقبلية. وفي هذا الإطار، تتعدد أهداف الاستدامة البيئية لتشمل ما يلي:

- القضاء على الجوع وتحقيق الأمن الغذائي، إلى جانب تحسين جودة التغذية وتطوير نظم الزراعة المستدامة.
- تعزيز الصحة العامة وضمان حياة كريمة ومستوى عالٍ من الرفاه لجميع الأفراد.
- توفير تعليم جيد شامل وعادل، مع دعم فرص التعلم مدى الحياة للجميع.
- تحقيق المساواة بين الجنسين وتمكين النساء والفتيات في مختلف المجالات.

- ضمان توفير المياه وخدمات الصرف الصحي للجميع، مع إدارتها بشكل مستدام يحافظ على الموارد المائية.
- اتخاذ إجراءات عاجلة وفعّالة لمواجهة التغير المناخي والحد من آثاره السلبية.
- حماية النظم البيئية البحرية والمحيطات والموارد البحرية، والعمل على استخدامها بشكل مستدام يدعم التنمية المستدامة.

٤.٢.٢ التحديات التي تواجه تحقيق الاستدامة البيئية

تواجه عملية تحقيق الاستدامة البيئية العديد من التحديات والمعوقات التي تختلف في طبيعتها بين ما هو مؤسسي واقتصادي واجتماعي وثقافي وبيئي، وهو ما يحد من قدرة الدول على تطبيق سياسات استدامة فعّالة وشاملة (أسامة أحمد، ٢٠٢٢). ومن أبرز هذه التحديات **ضعف الإمكانات المتاحة لدى بعض المؤسسات التعليمية والبحثية**، مما يؤدي إلى تأخرها في مواكبة متطلبات الاستدامة وتطبيقها بشكل عملي. كما يُعد محدودية الموارد الطبيعية وسوء إدارتها واستغلالها من أهم العوائق التي تعرقل تحقيق التوازن البيئي، إلى جانب استنزاف هذه الموارد لصالح مناطق دون أخرى داخل المدن، مما يفاقم من عدم العدالة في توزيع الموارد. كما تسهم الحروب والنزاعات المسلحة في تدمير البنية البيئية وإعاقة جهود التنمية، بالإضافة إلى تأثير الظروف المناخية القاسية والمتغيرة التي تزيد من صعوبة التخطيط البيئي المستدام. كذلك فإن تراكم الديون، وارتفاع معدلات الأمية، وانتشار التلوث البيئي، جميعها عوامل تُضعف من فاعلية خطط الاستدامة وتحد من نجاحها.

ومن جهة أخرى، تُشير بعض الدراسات إلى وجود **معوقات أخرى ذات أبعاد اقتصادية وسياسية ونفسية واجتماعية** (حنان عمر ووائل الجارحي، ٢٠٢٠). فعلى الصعيد الاقتصادي، تمثل التكلفة المرتفعة لحماية البيئة عائقًا كبيرًا أمام تنفيذ المشروعات، حيث قد ترتفع تكاليف تطبيق التقنيات البيئية الحديثة بنسبة كبيرة، مما يؤدي إلى زيادة الأعباء المالية على الدول والشركات، وقد يترتب على ذلك إغلاق بعض المصانع وتقليل فرص العمل، وهو ما يثير جدلًا حول تأثير السياسات البيئية على النمو الاقتصادي. كما أن إعادة تأهيل البنية التحتية أو تطويرها وفق معايير الاستدامة يتطلب استثمارات ضخمة لا تتوفر لدى العديد من الدول، فضلًا عن محدودية قدرة الدول النامية على تنفيذ مشاريع كبرى في هذا المجال.

أما على **الصعيد السياسي**، فتبرز مشكلة تضارب المصالح بين الدول الغنية والفقيرة، إضافة إلى أن التعاون الدولي في مجال التنمية المستدامة غالبًا ما يكون مشروطًا باعتبارات سياسية، مما يحد من فاعلية الدعم المقدم للدول النامية. وعلى المستوى النفسي والاجتماعي، يتمثل التحدي في اختلاف التصورات المجتمعية حول مفهوم التنمية، حيث ارتبط لدى كثير من الأفراد مفهوم التنمية سابقًا بالنمو الاقتصادي والتقدم الصناعي، في حين تسعى الاستدامة إلى إعادة تشكيل هذا المفهوم بما يتضمن تقليل الاستهلاك والحفاظ على البيئة، وهو ما قد يواجه مقاومة فكرية في بعض المجتمعات.

كما تظهر مجموعة أخرى من **التحديات الاجتماعية**، حيث يعتمد نجاح المدن المستدامة على ارتفاع مستوى الوعي البيئي لدى السكان، وهو ما لا يتوافر بالقدر الكافي في العديد من المجتمعات. كما أن طبيعة الحياة في هذه المدن تختلف عن المدن التقليدية، من حيث أنماط المعيشة والأنشطة اليومية، مما قد يتطلب فترة طويلة من التكيف. بالإضافة إلى ذلك، قد يقتصر العيش في هذه المدن على فئات معينة من ذوي الدخل المرتفع، مما قد يؤدي إلى تعزيز الفوارق الطبقية وخلق فجوات اجتماعية بين السكان داخل وخارج هذه المدن، فضلاً عن ضعف الدعم المجتمعي في بعض الحالات نتيجة عدم إدراك أهمية هذه المشروعات.وعلى **المستوى الاقتصادي** أيضًا، تتطلب هذه المدن استثمارات مالية ضخمة سواء في مرحلة الإنشاء أو إعادة تأهيل البنية التحتية، مما يجعلها حكرًا على الدول ذات الاقتصادات القوية، بينما تواجه الدول النامية صعوبات كبيرة في تبني هذا النموذج. كما أن بعض الشركات تتردد في الدخول في مشروعات المدن المستدامة بسبب ارتفاع المخاطر المالية وعدم وضوح العوائد، بالإضافة إلى تفضيل العديد من الدول توجيه مواردها نحو القطاعات الأساسية مثل الصحة والتعليم على حساب مشروعات المدن الذكية. كما تتطلب هذه المشروعات خبرات تقنية وإدارية طويلة الأمد، وهو ما لا يتوفر في العديد من البيئات النامية (مجموعة البنك الدولي، ٢٠١٣؛ مرصد المستقبل، ٢٠٢٠).أما من **الناحية الثقافية**، فإن القيم والعادات السائدة في بعض المجتمعات قد لا تكون مهيأة بعد لتقبل نمط الحياة في المدن المستدامة، حيث يحتاج ترسيخ هذا المفهوم إلى وقت طويل لتغيير السلوكيات والاتجاهات المجتمعية. كما أن بعض الأفراد قد ينظرون إلى سياسات الحد من التلوث وترشيد الاستهلاك على أنها تقييد للحريات الشخصية، في حين أن ثقافة الاستهلاك والرفاهية في بعض المجتمعات تجعل التكيف مع أنماط الحياة المستدامة أكثر صعوبة، مما يحد من سرعة انتشار هذه النماذج الحضرية.

القسم الثالث

تقنيات المدن الذكية المستخدمة في تحقيق الاستدامة البيئية

تمهيد

تُعد تطبيقات وتقنيات المدن الذكية من المحاور الرئيسة في الدراسات الحديثة المتعلقة بالتنمية الحضرية المستدامة، حيث أصبح الاعتماد على التكنولوجيا المتقدمة ضرورة ملحّة لمواجهة التحديات البيئية المتزايدة في المدن المعاصرة. وتبرز أهمية هذا القسم في كونه يسلط الضوء أولًا على دور المدن الذكية في تحقيق أهداف التنمية المستدامة بوجه عام، ثم ينتقل إلى توضيح الدور الوظيفي للتقنيات الذكية في دعم الاستدامة البيئية، من خلال رفع كفاءة استخدام الموارد، والحد من معدلات التلوث، وتحسين جودة الحياة داخل المدن. كما يستعرض هذا القسم أبرز المجالات التي تُوظَّف فيها هذه التقنيات، مثل إدارة الطاقة، وإدارة المياه، والنقل الذكي، وإدارة النفايات، وأنظمة المراقبة البيئية. كما يوضح كيفية إسهام هذه التطبيقات في تعزيز الكفاءة البيئية، وتقليل الهدر، والحد من الاعتماد على الموارد غير المتجددة.

وسيتناول هذا القسم كذلك شرح كل تقنية على حدة، مع بيان دورها في دعم الاستدامة البيئية، وربطها بأهداف التنمية المستدامة، إضافة إلى تحليل مدى تكامل هذه التقنيات داخل منظومة المدن الذكية، بما يسهم في تحقيق بيئة حضرية أكثر كفاءة واستدامة.

١.٣ دور المدن الذكية في تحقيق أهداف التنمية المستدامة

تشير أدبيات الموضوع إلى أن نجاح المدن الذكية في تحقيق أهداف التنمية المستدامة يعتمد على مجموعة من المكونات والعوامل الأساسية المتكاملة التي تشكل البنية الشاملة للمدينة الذكية، والتي تسهم في تعزيز كفاءتها وفاعليتها (لطرش وآخرون، ٢٠٢١؛ دياب، ٢٠٢٣). ويمكن توضيح أبرز هذه المكونات والعوامل فيما يلي:

الاقتصاد الذكي: يشير إلى نمط اقتصادي يعتمد على توظيف التكنولوجيا الرقمية في مختلف الأنشطة مثل التجارة الإلكترونية، والسياحة الإلكترونية، والخدمات الرقمية. ويتميز هذا الاقتصاد بكونه قائمًا على المعرفة والتكنولوجيا، حيث تلعب تقنيات المعلومات والاتصالات دورًا محوريًا في إنتاج السلع والخدمات، مما يسهم في خلق فرص عمل جديدة وتعزيز النمو الاقتصادي، بالاعتماد على بنية تحتية معلوماتية متطورة ودقيقة.

المجتمع الذكي: يعبر عن مدى قدرة أفراد المجتمع على التفاعل مع تقنيات المعلومات والاتصالات واستيعابها، بما يسمح بتحول المجتمع من نمط تقليدي إلى مجتمع مبتكر قادر على إيجاد حلول إبداعية للتحديات المختلفة. كما يتيح هذا التحول للأفراد التكيف مع بيئة المدن الذكية والاستفادة من الخدمات الرقمية بكفاءة عالية.

الحكومة الذكية: تتمثل في تطوير العمل الحكومي من خلال استخدام التقنيات الرقمية والوسائط الإلكترونية في تقديم الخدمات العامة، بما يسهم في تحسين كفاءة الأداء الحكومي، وتسهيل التواصل بين المواطنين والإدارات الحكومية، وتعزيز سرعة ودقة تقديم الخدمات بشكل إلكتروني متكامل.

البيئة الذكية: تشير إلى إدارة البيئة الطبيعية والعمرانية داخل المدينة بطريقة تعتمد على التكنولوجيا الحديثة، بما يضمن تنظيم الأنشطة الحضرية بشكل مستدام، ويسهم في حماية الموارد الطبيعية وتقليل الأثر البيئي للأنشطة المختلفة.

الحياة الذكية: تشمل مجموعة من الأنشطة والخدمات التي تهدف إلى تحسين جودة الحياة داخل المدينة، مثل الخدمات التعليمية والثقافية والاجتماعية والسياحية، إلى جانب تطوير الخدمات الصحية وتوفير بيئة عمرانية متكاملة تتميز بجودة البنية التحتية والمرافق العامة.

أنظمة التنقل الذكي: تعمل المدن الذكية على تطوير أنظمة النقل من خلال استخدام المركبات الكهربائية، وتطبيقات النقل العام الذكي، وتحليل البيانات الضخمة لتحسين حركة المرور وتقليل الازدحام، مما يؤدي إلى خفض مستويات التلوث وتحسين جودة الحياة داخل المدن.

توظيف تقنيات الذكاء الاصطناعي وتحليل البيانات: تسهم المدن الذكية في تحسين كفاءة استخدام الموارد مثل الطاقة والمياه، من خلال توظيف تقنيات الذكاء الاصطناعي وتحليل البيانات لرصد أنماط الاستهلاك وتحديد أوجه الهدر، مما يساعد على ترشيد الاستخدام وتقليل الفاقد، وهو ما يرتبط مباشرة بتحقيق الهدفين السادس والسابع من أهداف التنمية المستدامة.

الطاقة الذكية: تعتمد على أنظمة إدارة متطورة تشمل العدادات الذكية، وأجهزة الاستشعار، ومصادر الطاقة المتجددة، وأدوات التحليل الرقمي، بما يتيح مراقبة إنتاج الطاقة وتوزيعها واستهلاكها بكفاءة أعلى، ويسهم في دعم استدامة قطاع الطاقة.

إدارة النفايات الذكية: تتم عبر استخدام تقنيات إعادة التدوير الذكي وأنظمة إدارة المخلفات الرقمية، مما يسهم في رفع كفاءة جمع النفايات ومعالجتها بشكل أكثر استدامة.

الرعاية الصحية الذكية: تقوم على تطبيقات الصحة الرقمية والتشخيص عن بُعد، بما يتيح وصول المواطنين إلى الخدمات الصحية بشكل أسرع وأكثر كفاءة وبتكلفة أقل، وهو ما ينسجم مع الهدف الثالث من أهداف التنمية المستدامة.

تحسين المناخ الحضري: يتحقق ذلك من خلال التوسع في المساحات الخضراء، حيث تشير الدراسات إلى قدرة الغطاء النباتي على خفض درجات الحرارة بعدة درجات مئوية عبر الظل والتبخر، مما يسهم في الحد من ظاهرة الجزر الحرارية الحضرية وتحسين جودة البيئة داخل المدن.

تقليل الضغوط السكانية وتحسين جودة الحياة: يتم من خلال الحد من مشكلات الازدحام والضوضاء والتكدس المروري، وتوفير بيئة حضرية أكثر تنظيمًا وراحة، مما ينعكس إيجابًا على الصحة النفسية والجسدية للسكان ويعزز مستويات الرفاه الاجتماعي.

وفي ضوء ما سبق، يتضح أن المدن الذكية تمثل أداة فاعلة لتحقيق أهداف التنمية المستدامة، نظرًا لتكامل أهدافها مع مبادئ الاستدامة، مما يجعلها نموذجًا تطبيقيًا مهمًا لدعم التنمية المستدامة على المستويات البيئية والاقتصادية والاجتماعية.

٢.٣ تقنيات المدن الذكية

تشمل هذه التقنيات، تقنيات إدارة الطاقة، وإدارة المياه، وتقنيات النقل الذكي، وتقنيات إدارة النفايات، وتقنيات المراقبة البيئية، وسوف يستعرض هذا الجزء هذه التقنيات على النحو التالي:

تقنيات إدارة الطاقة: تُعد تقنيات إدارة الطاقة الذكية من أبرز الركائز التي تعتمد عليها المدن الذكية لتحقيق الاستدامة البيئية، حيث تقوم هذه التقنيات على استخدام الشبكات الكهربائية الذكية (Smart Grid) التي تتيح مراقبة تدفق الطاقة وإدارته بشكل لحظي، بما يسهم في تحقيق التوازن بين العرض والطلب وتقليل الفاقد. كما تعتمد على العدادات الذكية التي تمكن من تتبع استهلاك الطاقة بدقة، مما يساعد الأفراد والمؤسسات على ترشيد الاستهلاك. إلى جانب ذلك، يتم التوسع في استخدام مصادر الطاقة المتجددة مثل الطاقة الشمسية وطاقة الرياح، وهو ما يحد من الاعتماد على الوقود الأحفوري ويقلل من انبعاثات الكربون،

الأمر الذي يدعم تحقيق الاستدامة البيئية ويعزز كفاءة استخدام الموارد(Chai et al., 2023) ،. Khan (et al., 2020)

تقنيات إدارة المياه: تمثل تقنيات إدارة المياه الذكية أحد الجوانب الحيوية في المدن الذكية، حيث يتم توظيف أجهزة الاستشعار الذكية للكشف المبكر عن تسربات المياه داخل شبكات التوزيع، مما يقلل من الفاقد المائي. وتعتمد هذه الأنظمة كذلك على تحليل البيانات الضخمة لمراقبة أنماط الاستهلاك والتنبؤ بالطلب المستقبلي، بما يساعد على تحسين كفاءة توزيع المياه وضمان استدامتها. بالإضافة إلى ذلك، تُستخدم أنظمة الري الذكي التي تعتمد على بيانات الطقس ورطوبة التربة لتقليل استهلاك المياه في المساحات الخضراء، وهو ما يعزز من كفاءة إدارة الموارد المائية ويقلل من الهدر(Kim, 2017) .

تقنيات النقل الذ كي: تُسهم تقنيات النقل الذكي في تحقيق الاستدامة البيئية من خلال تطوير أنظمة المرور الذكية التي تعتمد على تحليل البيانات في الوقت الفعلي لتنظيم حركة السير وتقليل الازدحام المروري. كما يتم الاعتماد على المركبات الكهربائية ووسائل النقل العام الذكية التي تستخدم تطبيقات رقمية لتخطيط الرحلات بكفاءة، مما يقلل من استهلاك الوقود الأحفوري والانبعاثات الضارة. وتسهم هذه التقنيات أيضًا في تحسين زمن الرحلات وتقليل الضوضاء، بما ينعكس إيجابًا على جودة الحياة داخل المدن (Luckey et al., 2020)

تقنيات إدارة النفايات: تُعد من الأدوات الفعالة في تحقيق الاستدامة البيئية، حيث تعتمد على استخدام حاويات ذكية مزودة بأجهزة استشعار ترسل إشعارات عند امتلائها، مما يساعد على تحسين كفاءة جمع النفايات وتقليل التكاليف التشغيلية. كما يتم استخدام أنظمة الفرز الذكي وإعادة التدوير التي تعتمد على التكنولوجيا لفصل المواد القابلة لإعادة الاستخدام، بالإضافة إلى منصات رقمية تشجع على إعادة استخدام الموارد. وتُسهم هذه الأنظمة في تقليل حجم النفايات المرسلة إلى المدافن، والحد من التلوث البيئي . (Singh et al., 2020)

تقنيات المراقبة البيئية: تستخدم المدن الذكية مجموعة من التقنيات المتقدمة مثل أجهزة استشعار جودة الهواء، وأنظمة مراقبة التلوث، وتحليل البيانات البيئية بشكل لحظي، مما يساعد في رصد التغيرات البيئية واتخاذ قرارات سريعة للحد من التلوث. كما تُستخدم هذه التقنيات في التنبؤ بالكوارث البيئية مثل الفيضانات

أو موجات الحر، مما يعزز من قدرة المدن على التكيف مع التغيرات المناخية. وتُسهم هذه التطبيقات في تحسين جودة البيئة الحضرية، وحماية صحة السكان، ودعم تحقيق الاستدامة البيئية على المدى الطويل . (Ansell, 2021)

٣.٣ دور تقنيات المدن الذكية في دعم الاستدامة البيئية

تُعد التقنيات الرقمية المتقدمة أحد أهم الأدوات التي تعتمد عليها المدن الذكية في تحسين مؤشرات الاستدامة البيئية، حيث يتم توظيف تقنيات الذكاء الاصطناعي وإنترنت الأشياء لتحويل البيانات الفورية إلى قرارات وسياسات بيئية فعّالة. وتُسهم هذه التقنيات في تعزيز كفاءة إدارة الموارد الطبيعية وتقليل الآثار البيئية السلبية من خلال مجموعة من التطبيقات المتطورة.

ففي مجال **رصد جودة الهواء**، تعتمد المدن الذكية على تقنيات الاستشعار عن بعد وأنظمة الذكاء الاصطناعي لتحليل كميات ضخمة من البيانات البيئية، مما يتيح التنبؤ بمستويات التلوث بدقة عالية، وتحديد مناطق الضغط البيئي، وبالتالي توجيه التدخلات بشكل أكثر كفاءة (أحمد المنشاوي، ٢٠٢٥). كما تُستخدم **التحليلات التنبؤية** القائمة على خوارزميات الذكاء الاصطناعي في توقع مستويات التلوث أو احتمالات حدوث أعطال في شبكات المياه قبل وقوعها، وهو ما يسهم في تقليل الفاقد والحد من التأثيرات البيئية السلبية.(Mark Hwang & Gustav Verhulsdonck, 2026)

كما تعتمد المدن الذكية على **المراقبة عبر الأقمار الصناعية** من خلال دمج البيانات الفضائية مع البيانات الميدانية، مما يوفر رؤية شاملة لأنماط الحرارة الحضرية وجودة المياه والتغيرات البيئية المختلفة، وهو ما يدعم اتخاذ قرارات تخطيطية أكثر دقة. كما تمثل **التوائم الرقمية** أحد الابتكارات الحديثة، حيث تتيح إنشاء نماذج افتراضية للمدن يمكن من خلالها محاكاة السيناريوهات البيئية المختلفة وتحليل مستويات الاستدامة بشكل لحظي، بما يعزز كفاءة التخطيط واتخاذ القرار.

كما يُعد **إنترنت الأشياء** من الركائز الأساسية في المدن الذكية، حيث يعتمد على شبكات واسعة من أجهزة الاستشعار التي تقوم بقياس جودة الهواء واستهلاك الموارد مثل المياه والطاقة بشكل مستمر، ومع تطور تقنيات الذكاء الاصطناعي أصبح بالإمكان تحليل هذه البيانات بشكل فوري واتخاذ قرارات ذاتية تسهم في تحسين كفاءة استخدام الموارد وتقليل الهدر.(Simon Elias & John Krogstie, 2020)

وبذلك، يتضح أن هذه التقنيات تمثل أدوات استراتيجية لدعم الاستدامة البيئية من خلال الاعتماد على البيانات الدقيقة، والتنبؤ بالمشكلات قبل حدوثها، وتعزيز القدرة على التكيف مع التحديات البيئية.

كما تلعب تقنيات المدن الذكية دورًا محوريًا في تحسين مؤشرات الاستدامة البيئية داخل المدن الحديثة، حيث يسهم **النقل الذكي** في تقليل الازدحام المروري وخفض الانبعاثات الناتجة عن وسائل النقل التقليدية، من خلال أنظمة إدارة المرور الذكية والمركبات الكهربائية. كما تسهم **تقنيات الطاقة الذكية** مثل الشبكات الكهربائية الذكية والعدادات الرقمية في تحسين كفاءة استهلاك الطاقة وتقليل الفاقد، بالإضافة إلى دعم الاعتماد على مصادر الطاقة المتجددة مما ينعكس إيجابًا على خفض الانبعاثات الكربونية. وفيما يتعلق بالمياه، تساعد **تقنيات الاستشعار والتحليل الذكي** في الكشف المبكر عن التسربات وترشيد الاستهلاك. أما في مجال إدارة النفايات، فتعمل **الحاويات الذكية وأنظمة الفرز الآلي** على تحسين عمليات الجمع وإعادة التدوير وتقليل حجم المخلفات. كما تسهم **تقنيات المراقبة البيئية** في متابعة جودة الهواء والمياه بشكل لحظي، مما يدعم اتخاذ قرارات سريعة وفعالة.

٤.٣ تقييم أثر التقنيات الذكية على الاستدامة البيئية

يمثل تقييم أثر التقنيات الذكية على الكفاءة البيئية خطوة أساسية لفهم مدى فعالية تطبيقات المدن الذكية في تحقيق الاستدامة البيئية، حيث لا يقتصر دور هذه التقنيات على مجرد تحسين الخدمات داخل المدن، بل يمتد ليشمل إحداث تأثيرات ملموسة على مؤشرات البيئة مثل جودة الهواء، وكفاءة استهلاك الطاقة والمياه، والحد من الانبعاثات والتلوث. وتعتمد عملية التقييم على تحليل العلاقة بين استخدام التقنيات الذكية—مثل الذكاء الاصطناعي، وإنترنت الأشياء، وأنظمة المراقبة البيئية—وبين التحسن الفعلي في الأداء البيئي داخل المدن.

كما يُسهم هذا التقييم في قياس كفاءة السياسات والتطبيقات المتبعة، والكشف عن نقاط القوة والقصور، بما يدعم تطوير استراتيجيات أكثر فاعلية لتحقيق الاستدامة. ومن ثم، فإن قياس الأثر البيئي للتقنيات الذكية يُعد أداة مهمة لصناع القرار لتحقيق التوازن بين متطلبات التنمية وحماية البيئة. وفيما يلي يتم عرض أبرز مؤشرات قياس الكفاءة البيئية في المدن الذكية، وذلك على النحو الآتي:

١.٤.٣ مؤشرات قياس الكفاءة البيئية في المدن الذكية

تُعد مؤشرات الكفاءة البيئية من الأدوات الأساسية التي يتم من خلالها تقييم مدى نجاح المدن الذكية في تحقيق الاستدامة البيئية، حيث تعكس هذه المؤشرات مستوى الأداء البيئي داخل المدن.

وتشمل هذه المؤشرات **جودة الهواء** التي يتم قياسها من خلال نسب الملوثات في الغلاف الجوي مثل ثاني أكسيد الكربون والجسيمات الدقيقة، إضافة إلى **استهلاك الطاقة** الذي يعكس كفاءة استخدام الكهرباء ومصادر الطاقة المختلفة داخل المباني والمنشآت. كما يُعد **استهلاك المياه** مؤشرًا مهمًا لقياس مدى ترشيد استخدام الموارد المائية وتقليل الهدر، إلى جانب **إدارة النفايات** التي تعكس كفاءة جمع المخلفات **وإعادة تدويرها** والتخلص منها بطرق مستدامة. كذلك يُعتبر **مؤشر الانبعاثات الكربونية** من أهم المؤشرات البيئية، حيث يعكس مدى تأثير الأنشطة الحضرية على تغير المناخ، ومدى نجاح المدن في تقليل بصمتها الكربونية.

٢.٤.٣ مدى التحسن في الأداء البيئي

يتم قياس مدى التحسن في الأداء البيئي داخل المدن الذكية من خلال مقارنة الوضع البيئي قبل وبعد تطبيق التقنيات الذكية. فعلى سبيل المثال، يمكن ملاحظة انخفاض **مستويات التلوث الهوائي** نتيجة تطبيق أنظمة النقل الذكي وتقليل الاعتماد على المركبات التقليدية، بالإضافة إلى **تحسن كفاءة استهلاك الطاقة** نتيجة استخدام العدادات الذكية وأنظمة إدارة الطاقة. كما يظهر **التحسن في انخفاض نسبة الفاقد المائي** بعد تطبيق أنظمة الكشف عن التسربات، إلى جانب **زيادة معدلات إعادة التدوير وتقليل حجم النفايات** المرسلة إلى المدافن. وبذلك تعكس هذه المقارنات مدى فعالية التقنيات الذكية في تحسين الأداء البيئي بشكل ملموس.

٥.٣ تحديات تطبيقات تقنيات المدن الذكية

تشير الأدبيات الحديثة إلى أن تطبيق تقنيات المدن الذكية، رغم ما تحققه من فوائد كبيرة في مجال الاستدامة البيئية، إلا أنها تواجه مجموعة من التحديات التي قد تحد من فاعليتها وكفاءتها في تحقيق الأهداف المرجوة (بسنت أسامة وآخرون، ٢٠٢٥)، ويمكن توضيح أبرز هذه التحديات فيما يلي:

أولًا: تحديات الخصوصية والأمن السيبراني

تعتمد المدن الذكية بشكل أساسي على تقنيات متقدمة مثل إنترنت الأشياء والذكاء الاصطناعي في جمع البيانات وتحليلها بشكل مستمر بهدف تحسين جودة الخدمات الحضرية ورفع كفاءتها. إلا أن هذا الاعتماد المكثف على البيانات الضخمة يثير العديد من المخاوف المتعلقة بخصوصية الأفراد وحماية معلوماتهم الشخصية. كما أن ترابط الأنظمة الرقمية داخل المدينة يجعلها أكثر عرضة للهجمات الإلكترونية والاختراقات السيبرانية، مما قد يؤدي إلى تهديد أمن البيانات وتعطيل الخدمات الحيوية داخل المدن.

ثانيًا: التفاوت الاجتماعي والاقتصادي

قد تؤدي عملية التحول نحو المدن الذكية إلى زيادة الفجوة بين الفئات الاجتماعية المختلفة، حيث تستفيد الفئات ذات الدخل المرتفع بشكل أكبر من الخدمات والتقنيات الذكية، نظرًا لقدرتها على تحمل التكاليف المرتبطة بها. في المقابل، قد تواجه الفئات منخفضة الدخل صعوبات في الوصول إلى هذه الخدمات أو الاستفادة منها بشكل كامل، مما يخلق نوعًا من عدم العدالة في توزيع المنافع الرقمية ويؤثر على مبدأ الشمول الاجتماعي داخل المدن.

ثالثًا: التحديات التقنية والرقمية

تتطلب المدن الذكية وجود بنية تحتية رقمية متكاملة وفعالة، إلا أن عملية التطبيق تواجه العديد من العقبات التقنية، مثل ضعف كفاءة الشبكات في بعض المناطق، أو عدم جاهزية بعض المدن من الناحية التكنولوجية. كما أن ارتفاع استهلاك الطاقة الناتج عن تشغيل الأنظمة الرقمية يشكل تحديًا إضافيًا. إلى جانب ذلك، يُعد نقص الكفاءات البشرية المتخصصة في تشغيل وإدارة هذه الأنظمة الذكية من أبرز التحديات التي تؤثر على كفاءة الأداء العام للمدن الذكية.

رابعًا: ارتفاع تكاليف التنفيذ والتمويل

تتطلب مشروعات المدن الذكية استثمارات مالية ضخمة لتطوير البنية التحتية الرقمية، بما يشمل شبكات الإنترنت عالية السرعة، وأجهزة الاستشعار، والمنصات الذكية لإدارة الخدمات والموارد. ويُعد هذا العبء المالي كبيرًا بشكل خاص على الدول النامية، حيث قد تعجز العديد من المدن عن توفير التمويل اللازم لتنفيذ هذه المشروعات بالشكل الكامل، مما يؤدي إلى تباطؤ عملية التحول نحو المدن الذكية أو تنفيذها بشكل جزئي فقط.

خامسًا: نقص المهنيين والخبرات المتخصصة

يُعد نقص الكفاءات البشرية المتخصصة في مجالات التكنولوجيا الحديثة وإدارة النظم الذكية من أهم التحديات التي تواجه تنفيذ المدن الذكية. إذ يحتاج هذا النوع من المدن إلى خبراء قادرين على تصميم الاستراتيجيات المناسبة، وتحديد مجالات تطبيق التقنيات، وتشغيل الأنظمة الذكية بكفاءة عالية. كما يتطلب الأمر من الحكومات وأصحاب القرار تقدير الاحتياجات الفعلية من الكوادر البشرية وتوفيرها قبل البدء في تنفيذ المشروعات الذكية، لضمان نجاحها واستدامتها (محمد عزيز، ٢٠٢٣)

القسم الرابع

إجراءات متابعة تطبيقات تقنيات المدن الذكية لتعزيز الاستدامة البيئية

تمهيد

في ضوء ما تم عرضه من تحليل لتقنيات المدن الذكية ودورها في تحقيق الاستدامة البيئية، وكذلك التحديات التي قد تحد من فاعلية تطبيقها، تبرز الحاجة إلى **وضع إطار متكامل** يهدف إلى تحويل هذه التقنيات من مجرد تطبيقات رقمية إلى أدوات فاعلة ومستدامة في إدارة المدن.

ويُعد هذا الإطار خطوة تطبيقية مهمة تسهم في دعم صناع القرار من خلال تقديم آليات واضحة لمتابعة الأداء البيئي وتقييمه بصورة مستمرة، بما يضمن تحسين كفاءة استخدام الموارد وتقليل الآثار البيئية السلبية.

ويستند هذا القسم إلى تقديم خارطة طريق تنفيذية تُوضح الخطوات والإجراءات المقترحة لتطبيق نظام متابعة متكامل لتقنيات المدن الذكية، بما يشمل تحديد الأهداف، وآليات التنفيذ، وأدوات القياس، والجهات المسؤولة، وأسلوب المتابعة والتقييم. كما يهدف هذا الإطار إلى ضمان التكامل بين الجوانب التكنولوجية والبيئية، بما يدعم تحقيق الاستدامة البيئية داخل المدن الذكية بشكل عملي وقابل للتطبيق.

١.٤ تحديد الرؤية والأهداف الاستراتيجية للإطار المقترح

يستند هذا الإطار المقترح إلى **رؤية** أساسية تتمثل في "**دعم التحول نحو مدن ذكية مستدامة قادرة على تحقيق التوازن بين التطور التكنولوجي وحماية البيئة**"، وذلك من خلال توظيف التقنيات الذكية في تحسين كفاءة إدارة الموارد، والحد من الآثار البيئية السلبية، ورفع جودة الحياة داخل المدن.

كما يهدف الإطار إلى تحويل تطبيقات المدن الذكية من حلول تقنية منفصلة إلى منظومة متكاملة لمتابعة الاستدامة البيئية بشكل مستمر وقابل للقياس.

وفي ضوء هذه الرؤية، يسعى الإطار إلى تحقيق مجموعة من **الأهداف الاستراتيجية**، من أبرزها:

- تعزيز كفاءة استخدام الموارد الطبيعية مثل الطاقة والمياه من خلال الاعتماد على التقنيات الذكية.
- تقليل معدلات التلوث والانبعاثات الكربونية عبر تطوير أنظمة النقل والمراقبة البيئية.
- تحسين إدارة المخلفات بما يدعم مبادئ الاقتصاد الدائري وإعادة التدوير.

- تطوير آليات فعالة لمتابعة وتقييم الأداء البيئي داخل المدن، بما يضمن اتخاذ قرارات مبنية على بيانات دقيقة ومحدثة.
- تعزيز التكامل بين الجهات المعنية المختلفة لضمان نجاح تطبيقات المدن الذكية واستدامتها على المدى الطويل.

في ضوء تحديد الرؤية والأهداف الاستراتيجية، سوف يتم الانتقال إلى تحديد مؤشرات الأداء البيئي التي تمثل أداة القياس الأساسية لمدى تحقيق هذه الأهداف داخل المدن الذكية.

٢.٤ تحديد مؤشرات الأداء البيئي في المدن الذكية

يتم تحديد مجموعة من مؤشرات الأداء البيئي القابلة للقياس، وتحديدا لتوافر البيانات والتي تُستخدم كأداة أساسية لمتابعة الأداء البيئي داخل المدن الذكية، وقياس مدى التقدم في تحقيق الأهداف الاستراتيجية للإطار المقترح. وتعتمد هذه المؤشرات على مجموعة من المعايير التي تعكس الوضع البيئي بشكل دقيق، بما يتيح إمكانية التقييم المستمر واتخاذ القرارات المناسبة لتحسين الأداء.

وتشمل هذه المؤشرات جودة الهواء باعتبارها أحد أهم المؤشرات البيئية التي تعكس مستوى التلوث داخل المدن، إلى جانب استهلاك الطاقة الذي يوضح مدى كفاءة استخدام الموارد وتقليل الهدر. كما يتم الاعتماد على مؤشر استهلاك المياه لقياس مدى ترشيد استخدام الموارد المائية والحد من الفاقد، بالإضافة إلى مؤشر إدارة النفايات الذي يعكس كفاءة عمليات الجمع وإعادة التدوير والتخلص الآمن من المخلفات. كذلك يُعد مؤشر الانبعاثات الكربونية من المؤشرات الأساسية التي توضح مدى تأثير الأنشطة الحضرية على البيئة ومساهمتها في تغير المناخ. ويوضح الجدول التالي مؤشرات الأداء البيئي في المدن الذكية

جدول رقم(١): مؤشرات الأداء البيئي في المدن الذكية

المؤشر	التعريف	طريقة القياس
جودة الهواء	يعبر عن مستوى نقاء الهواء داخل المدينة ودرجة تلوثه بالغازات والجسيمات الضارة مثل ثاني أكسيد الكربون وأكاسيد النيتروجين والجسيمات الدقيقة.	يتم القياس عبر محطات الرصد البيئي وأجهزة الاستشعار الذكية، ويُحول إلى مؤشر موحد مثل مؤشر جودة الهواء (AQI) لقياس درجة التلوث بشكل رقمي.
استهلاك الطاقة	يشير إلى كمية الطاقة المستخدمة داخل المدينة في القطاعات المختلفة مثل المباني والنقل والصناعة، ويعكس كفاءة استخدام الموارد الطاقية.	يتم القياس باستخدام العدادات الذكية وأنظمة إدارة الطاقة، ويُحسب بوحدة الكيلو وات/ساعة (kWh) مع تحليل الاستهلاك حسب القطاعات.

المؤشر	التعريف	طريقة القياس
استهلاك المياه	يعبر عن حجم المياه المستخدمة في الاستخدامات المنزلية والصناعية والزراعية داخل المدينة، ويُستخدم لقياس كفاءة إدارة الموارد المائية.	يتم القياس عبر العدادات الذكية وأجهزة الاستشعار، ويُحسب بالمتر المكعب (m^3) مع مقارنة الاستهلاك الفعلي بالمستهدف لتحديد نسب الهدر
إدارة النفايات	يقيس كفاءة جمع ومعالجة وإعادة تدوير المخلفات داخل المدينة بما يقلل من النفايات المتجهة إلى المدافن	يتم القياس من خلال نسبة النفايات المعاد تدويرها إلى إجمالي النفايات المنتجة، إضافة إلى كميات الجمع والمعالجة باستخدام أنظمة النفايات الذكية.
الانبعاثات الكربونية	يقيس كمية الغازات الدفيئة الناتجة عن الأنشطة الحضرية مثل النقل واستهلاك الطاقة والتي تؤثر على تغير المناخ.	يتم القياس باستخدام نماذج البصمة الكربونية اعتمادًا على بيانات الطاقة والوقود والنقل، ويُقاس بوحدة طن (CO_2e)ثاني أكسيد الكربون المكافئ

٣.٤ بناء قاعدة بيانات رقمية متكاملة للرصد البيئي

في ضوء تحديد مؤشرات الأداء البيئي، تأتي مرحلة بناء قاعدة بيانات رقمية متكاملة تمثل الأساس التقني لعملية الرصد والتحليل المستمر داخل المدن الذكية. ثم يتم جمع البيانات البيئية الخاصة بالمؤشرات المحددة (مثل جودة الهواء، استهلاك الطاقة والمياه، النفايات، والانبعاثات الكربونية) بشكل لحظي أو دوري، من خلال الاعتماد على تقنيات إنترنت الأشياء، وأجهزة الاستشعار، والمنصات الرقمية، ثم تخزينها وتنظيمها داخل قاعدة بيانات مركزية تتيح تحليلها ومتابعتها بصورة مستمرة.

٤.٤ تحديد الجهات المعنية لتحديد المهام

في هذه المرحلة يتم تحديد الجهات والمؤسسات المسؤولة عن تشغيل منظومة المتابعة البيئية داخل المدن الذكية، سواء كانت جهات حكومية أو هيئات بيئية أو شركات تكنولوجية أو جهات بحثية. كما يتم توزيع الأدوار بشكل واضح بين هذه الجهات بما يضمن التكامل في العمل، حيث تتولى بعض الجهات مسؤولية جمع البيانات، بينما تتولى جهات أخرى تحليلها، وتتولى جهات إضافية مهمة اتخاذ القرار أو تنفيذ السياسات البيئية. ويسهم هذا التحديد في منع تداخل الاختصاصات وضمان كفاءة تشغيل النظام وتحقيق أهدافه بشكل منظم ومستدام.

٥.٤ تحليل البيانات البيئية وتقييم الأداء البيئي

بعد الانتهاء من مرحلة جمع البيانات الخاصة بمؤشرات الأداء البيئي، يتم الانتقال إلى مرحلة تحليل هذه البيانات باستخدام مجموعة من الأدوات والتقنيات الحديثة، وفي مقدمتها تقنيات الذكاء الاصطناعي وتحليل

البيانات الضخمة والنماذج الإحصائية المتقدمة. وتهدف هذه المرحلة إلى معالجة البيانات الخام وتحويلها إلى معلومات ذات دلالة يمكن الاعتماد عليها في فهم الوضع البيئي داخل المدن الذكية.

ومن خلال هذا التحليل يتم استخراج الأنماط والاتجاهات البيئية المختلفة، سواء المتعلقة بتغير مستويات جودة الهواء، أو معدلات استهلاك الطاقة والمياه، أو حجم النفايات والانبعاثات الكربونية، بما يتيح تكوين صورة شاملة ودقيقة عن الأداء البيئي داخل المدينة. كما تساعد هذه الأدوات التحليلية في الكشف عن العلاقات بين المتغيرات البيئية المختلفة، وتحديد نقاط القوة والقصور في منظومة الاستدامة.

وبناءً على ذلك، يتم الوصول إلى نتائج تحليلية تعكس الاتجاهات البيئية السائدة داخل المدن الذكية، وتوفر أساسًا علميًا يمكن الاعتماد عليه في دعم عمليات التقييم واتخاذ القرار، بما يسهم في تحسين كفاءة الأداء البيئي وتعزيز مسارات الاستدامة بشكل مستمر.

وتفسر نتائج تحليل البيانات التغيرات التي تطرأ على المؤشرات البيئية، بما يتيح فهمًا أعمق لطبيعة الأداء البيئي داخل المدن الذكية، ومن ثم، يعزز القدرة على اتخاذ قرارات أكثر فاعلية تدعم تحقيق الاستدامة البيئية.

كما يتم في ضوء ذلك إجراء مراجعة وتحديث دوري للنظام القائم على جمع وتحليل البيانات والمؤشرات، بما يضمن تحسين الأداء البيئي بشكل مستمر، ورفع كفاءة تطبيقات وتقنيات المدن الذكية، وتطوير آليات المتابعة والتقييم بما يتماشى مع المتغيرات البيئية والتكنولوجية المستجدة.

النتائج والتوصيات

تتمثل مشكلة البحث في غياب إطار منهجي متكامل لمتابعة وتقييم الأثر البيئي الفعلي لتطبيقات المدن الذكية، رغم التوسع المتزايد في تبني هذا النموذج ضمن مشروعات التنمية الحضرية الحديثة. فعلى الرغم من الاعتماد الواسع على التقنيات الذكية في مجالات إدارة الطاقة والمياه والنفايات والبنية التحتية، لا تزال هناك فجوة بين الأهداف النظرية لهذه التقنيات وبين نتائجها البيئية الفعلية القابلة للقياس، بالإضافة إلى صعوبة عزل أثر التقنيات الذكية عن العوامل المؤسسية والتخطيطية والسلوكية، وضعف مؤشرات القياس والشفافية.

وفي ضوء ذلك، تهدف الدراسة إلى تحليل وتقييم مدى فاعلية تطبيقات المدن الذكية في تحقيق الاستدامة البيئية، من خلال تحليل الإطار المفاهيمي، ورصد أهم التطبيقات والتقنيات المستخدمة، وتحديد التحديات والمعوقات التي تحد من فعاليتها، ثم اقتراح إجراءات عملية لمتابعة وتقييم الأداء البيئي داخل المدن الذكية. وتبرز أهمية الدراسة في كونها تتناول قضية محورية وهي الاستدامة البيئية باعتبارها أحد أهم أدوات مواجهة التغيرات المناخية، إضافة إلى دور المدن الذكية كحل حديث للحد من التلوث وتحسين كفاءة استخدام الموارد. كما تسهم الدراسة في تحليل التحديات القائمة وتقديم مقترحات عملية، إلى جانب إثراء الأدبيات العلمية وتحديد أبرز المؤشرات البيئية الفعالة مثل كفاءة الطاقة والمياه وإدارة النفايات.

وبذلك تسعى الدراسة إلى بناء رؤية علمية واضحة تربط بين تطبيقات المدن الذكية وتعزيز الاستدامة البيئية بشكل منهجي قابل للقياس والتطبيق.

اشتمل البحث على اربعة أقسام، اختص **القسم الأول** بالإطار العام للبحث والذي تناول المشكلة البحثية، والأهداف والتساؤلات البحثية، وأهمية البحث، كما استعرض أهم المفاهيم البحثية الواردة في البحث، والدراسات السابقة التي تناولت موضوع البحث موضحًا الإضافة المعرفية لهذا البحث.

وتناول **القسم الثاني** الإطار المفاهيمي والنظري للمدن الذكية والاستدامة البيئية، في ضوء التحولات الرقمية المتسارعة وما صاحبها من تحديات حضرية متزايدة مثل التلوث، والازدحام السكاني، وضغط الموارد الطبيعية، الأمر الذي أدى إلى بروز مفهوم المدن الذكية كأحد أهم الاتجاهات الحديثة في التخطيط الحضري. وتعتمد المدن الذكية على توظيف تقنيات متقدمة مثل الذكاء الاصطناعي، وإنترنت الأشياء،

والبيانات الضخمة، والحوسبة السحابية، بهدف تحسين كفاءة إدارة الخدمات الحضرية، ودعم اتخاذ القرار، وتقليل الهدر في الموارد، بما ينعكس على رفع جودة الحياة داخل المدن.

كما يوضح القسم أن مفهوم المدن الذكية تطور تدريجيًا من فكرة المدينة الرقمية إلى نموذج أكثر شمولًا يدمج التكنولوجيا مع التنمية المستدامة، حيث أصبحت هذه المدن تعتمد على أنظمة رقمية متكاملة لإدارة قطاعات النقل والطاقة والمياه والنفايات والخدمات العامة. وتتميز المدن الذكية بعدة خصائص أهمها: تحسين كفاءة الخدمات، ترشيد استهلاك الموارد، تطوير أنظمة النقل، تعزيز الأمن الذكي، ودعم التخطيط الحضري المستدام.

ويتناول القسم كذلك دوافع إنشاء المدن الذكية والتي تتنوع بين دوافع سياسية (مثل إعادة توزيع الكثافة السكانية)، واجتماعية (تحسين جودة الحياة)، واقتصادية (تعظيم الاستفادة من الموارد وتقليل التكلفة)، وبيئية (مواجهة التدهور البيئي ونقص الموارد).

وفيما يتعلق بالنماذج التطبيقية، تم استعراض عدة تجارب دولية ومحلية مثل العاصمة الإدارية الجديدة، ومدينة لوسيل، ومدينة زيورخ، والتي توضح كيفية توظيف التقنيات الذكية في إدارة النقل والطاقة والمياه والنفايات، وتحقيق مستويات متقدمة من الاستدامة البيئية.

كما يوضح القسم مفهوم الاستدامة البيئية باعتبارها القدرة على تلبية احتياجات الحاضر دون الإضرار بقدرة الأجيال القادمة، مع التركيز على أبعادها الثلاثة: البيئي والاقتصادي والاجتماعي، وارتباطها الوثيق بأهداف التنمية المستدامة. وقد تم استعراض ركائزها الأساسية وأهدافها، مثل حماية الموارد الطبيعية، وتحسين جودة الحياة، ومكافحة التغير المناخي، إلى جانب التحديات التي تواجه تحقيقها، والتي تشمل تحديات اقتصادية وبيئية واجتماعية وثقافية ومؤسسية.

وفي ضوء ما سبق، يؤكد القسم وجود علاقة تكاملية بين المدن الذكية والاستدامة البيئية، حيث تمثل التقنيات الذكية أداة فعالة لتحسين كفاءة استخدام الموارد، وتقليل الانبعاثات، ودعم الإدارة البيئية المستدامة داخل المدن، رغم ما يواجهها من تحديات تتعلق بالتكلفة، والبنية التحتية، والوعي المجتمعي، والاعتبارات المؤسسية.

وركز **القسم الثالث** على دور تقنيات المدن الذكية في دعم وتحقيق الاستدامة البيئية، موضحًا كيف أصبحت هذه التقنيات عنصرًا أساسيًا في إدارة المدن الحديثة ومواجهة التحديات البيئية المتزايدة. ويبدأ

القسم بتوضيح أن نجاح المدن الذكية في تحقيق أهداف التنمية المستدامة يعتمد على مجموعة من المكونات المتكاملة مثل الاقتصاد الذكي، والمجتمع الذكي، والحكومة الذكية، والبيئة الذكية، والحياة الذكية، إلى جانب أنظمة النقل الذكي، وتقنيات الذكاء الاصطناعي وتحليل البيانات، والطاقة الذكية، وإدارة النفايات، والرعاية الصحية الذكية، وتحسين المناخ الحضري، والتي جميعها تسهم في رفع كفاءة استخدام الموارد وتحسين جودة الحياة وتقليل الأثر البيئي.

كما يستعرض القسم أهم تقنيات المدن الذكية، ومنها تقنيات إدارة الطاقة التي تعتمد على الشبكات والعدادات الذكية والطاقة المتجددة، وتقنيات إدارة المياه التي تستخدم الاستشعار والتحليل الذكي لترشيد الاستهلاك والكشف عن التسربات، وتقنيات النقل الذكي التي تسهم في تقليل الازدحام والانبعاثات، وتقنيات إدارة النفايات التي تعتمد على الحاويات الذكية وإعادة التدوير، إضافة إلى تقنيات المراقبة البيئية التي تتابع جودة الهواء والمياه وتدعم الاستجابة السريعة للمشكلات البيئية.

ويبين القسم أن هذه التقنيات تسهم بشكل مباشر في تحسين مؤشرات الاستدامة البيئية، مثل جودة الهواء، وكفاءة استهلاك الطاقة والمياه، وتقليل الانبعاثات الكربونية، وزيادة كفاءة إدارة النفايات، من خلال الاعتماد على البيانات اللحظية والذكاء الاصطناعي وإنترنت الأشياء والتوائم الرقمية. كما تم التأكيد على أن المدن الذكية قادرة على تحويل البيانات إلى قرارات بيئية فعّالة ترفع كفاءة الأداء البيئي وتدعم اتخاذ القرار. كما تم عرض آلية تقييم أثر هذه التقنيات على الاستدامة البيئية من خلال مقارنة الوضع قبل وبعد تطبيقها، بما يوضح التحسن في الأداء البيئي على مستوى الانبعاثات، واستهلاك الموارد، وإدارة النفايات، وجودة الهواء. ومع ذلك، أشار القسم إلى وجود مجموعة من التحديات التي تحد من فاعلية هذه التقنيات، مثل تحديات الخصوصية والأمن السيبراني، والتفاوت الاجتماعي والاقتصادي، وضعف البنية التحتية الرقمية، وارتفاع التكاليف، ونقص الكفاءات البشرية المتخصصة.

وفي ضوء ذلك، خلص القسم إلى أن تقنيات المدن الذكية تمثل أداة محورية لتحقيق الاستدامة البيئية، إلا أن فاعليتها ترتبط بمدى القدرة على تجاوز التحديات التقنية والاقتصادية والاجتماعية، بما يضمن تحقيق مدن أكثر كفاءة واستدامة في المستقبل.

واستهدف القسم الرابع تقديم إطار عملي متكامل لمتابعة وتقييم تطبيقات تقنيات المدن الذكية، بما يضمن تحويلها من مجرد أدوات رقمية إلى منظومة فعالة تدعم الاستدامة البيئية داخل المدن. وينطلق هذا الإطار

من رؤية أساسية تقوم على دعم التحول نحو مدن ذكية مستدامة تحقق التوازن بين التطور التكنولوجي وحماية البيئة، من خلال تحسين إدارة الموارد، وتقليل التلوث والانبعاثات، ورفع جودة الحياة.

ولتحقيق هذه الرؤية، تم تحديد مجموعة من الأهداف الاستراتيجية التي تركز على رفع كفاءة استخدام الطاقة والمياه، وخفض الانبعاثات الكربونية، وتحسين إدارة النفايات، وتطوير نظم متابعة وتقييم الأداء البيئي، إلى جانب تعزيز التكامل بين الجهات المعنية.

كما اعتمد الإطار على تحديد مجموعة من مؤشرات الأداء البيئي القابلة للقياس، وتشمل: جودة الهواء، استهلاك الطاقة، استهلاك المياه، إدارة النفايات، والانبعاثات الكربونية، باعتبارها أدوات رئيسية لقياس مدى التقدم في تحقيق الاستدامة داخل المدن الذكية.

وفي مرحلة التنفيذ، يتم إنشاء قاعدة بيانات رقمية متكاملة تعتمد على تقنيات إنترنت الأشياء وأجهزة الاستشعار لجمع البيانات البيئية بشكل مستمر، ثم تحديد الجهات المسؤولة عن جمع البيانات وتحليلها واتخاذ القرار لضمان التكامل المؤسسي وفعالية التطبيق. ويتم بعد ذلك تحليل البيانات باستخدام تقنيات الذكاء الاصطناعي وتحليل البيانات الضخمة لاستخراج الاتجاهات البيئية وتقييم الأداء البيئي بدقة، بما يساعد على فهم التغيرات في المؤشرات المختلفة ودعم عملية اتخاذ القرار.

وأخيرًا، يؤكد الإطار على أهمية المراجعة والتحديث الدوري للنظام لضمان تحسين الأداء البيئي بشكل مستمر، ورفع كفاءة تطبيقات المدن الذكية بما يتوافق مع التطورات البيئية والتكنولوجية المتسارعة، وتحقيق استدامة حقيقية قابلة للقياس والتطبيق.

التوصيات

- وضع إطار موحد لمتابعة وتقييم الأثر البيئي للمدن الذكية قائم على مؤشرات دقيقة وقابلة للقياس.
- تطوير مؤشرات الأداء البيئي لتكون أكثر شمولًا وارتباطًا بأهداف الاستدامة.
- تعزيز البنية التحتية الرقمية وإنشاء قواعد بيانات متكاملة للرصد البيئي.
- توظيف تقنيات الذكاء الاصطناعي في تحليل البيانات ودعم اتخاذ القرار البيئي.
- تعزيز التكامل والتنسيق بين الجهات الحكومية والخاصة والبحثية.
- تقليل الفجوة الرقمية والاجتماعية لضمان عدالة الاستفادة من تقنيات المدن الذكية.
- الاستثمار في تأهيل وتدريب الكوادر البشرية المتخصصة.

- تطبيق المراجعة والتحديث الدوري لأنظمة المتابعة لضمان التحسين المستمر.
- تعزيز الشفافية في قياس وتقييم الأداء البيئي داخل المدن الذكية.

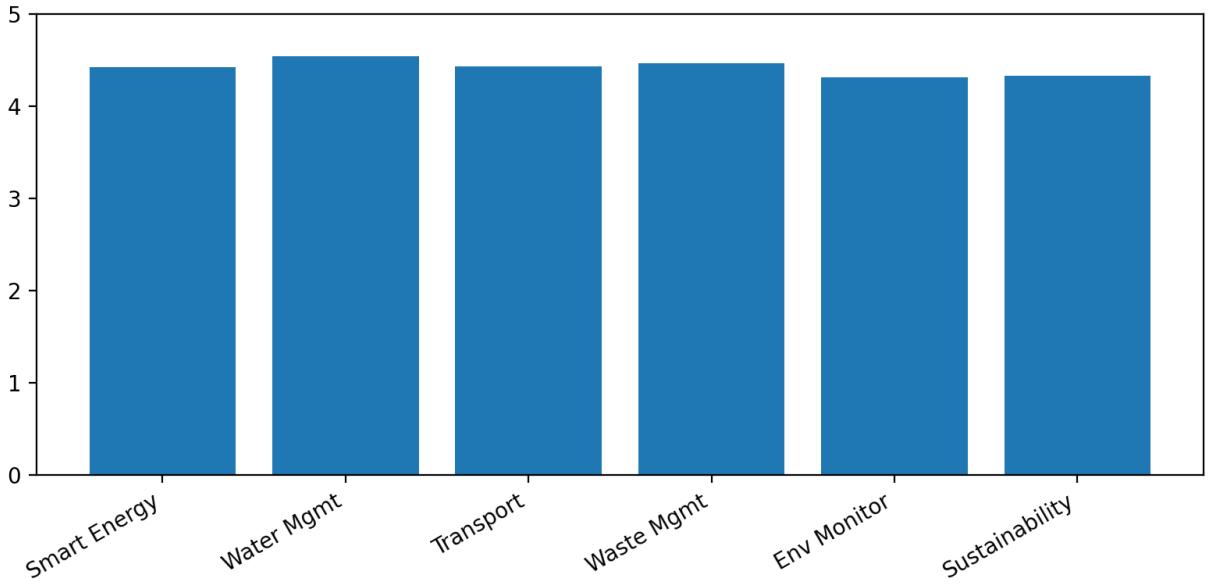
الملاحق

مقدمة :

تحليل بيانات الاستبيان والنتائج باستخدام برامج الذكاء الاصطناعي.

يتناول عرض نتائج التحليل الإحصائي لبيانات الدراسة باستخدام أساليب مماثلة لبرنامج SPSS.

1. Descriptive Statistics



شكل)1 :(المتوسطات الحسابية لمحاور الدراسة

Table (1): Descriptive Statistics

Variable	N	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation
Smart Energy	38	2	5	4.42	0.61
Smart Water Management	38	3	5	4.54	0.49
Smart Transportation	38	2	5	4.43	0.57
Smart Waste Management	38	3	5	4.47	0.52
Smart Environmental Monitoring	38	2	5	4.31	0.63
Environmental Sustainability	38	2	5	4.33	0.58

2. Reliability Test

Table (2): Reliability Statistics

Cronbach's Alpha	N of Items
0.956	28

تشير القيمة المرتفعة لمعامل ألفا إلى تمتع أداة الدراسة بدرجة ثبات ممتازة

3. Hypothesis Testing

Table (3): One Sample T-Test

Variable	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference
Environmental Sustainability	14.287	37	.000	1.33

توجد دلالة إحصائية تؤكد ارتفاع تقييم أثر تطبيقات المدن الذكية

Table (4): ANOVA

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	4.821	2	2.411	5.734	.007
Within Groups	14.706	35	0.42		
Total	19.527	37			

توجد فروق ذات دلالة إحصائية بين متوسطات الفئات المختلفة

4. Regression Analysis

Table (5): Model Summary

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error
1	0.81	0.656	0.641	0.348

Table (6): ANOVA (Regression)

Model	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Regression	8.921	1	8.921	36.842	.000
Residual	4.606	36	0.128		
Total	13.527	37			

Table (7): Coefficients

Model	Unstandardized B	Std. Error	Beta	t	Sig.
Constant	1.214	0.381		3.186	.003
Smart City Applications	0.742	0.122	0.81	6.07	.000

توضح النتائج وجود تأثير موجب ودال إحصائياً لتطبيقات المدن الذكية على الاستدامة البيئية

5. Discussion of Results

أظهرت النتائج أن إدارة المياه الذكية والنفايات الذكية من أكثر المحاور تأثيراً، كما يفسر نموذج الانحدار 65.6 %من التغير في الاستدامة البيئية.

6. Conclusion

بناءً على النتائج، تُعد تطبيقات المدن الذكية أداة فعالة لتعزيز الاستدامة البيئية، ويوصى بالتوسع في الاستثمار بالبنية التحتية الرقمية.

المراجع

أولاً: المراجع العربية

- أسامة احمد حسن (٢٠٢٢). رؤية مستقبلية لتعزيز ثقافة الاستدامة البيئية لدي الشباب الجامعي في ضوء التغيرات المناخية، مجلة مستقبل العلوم الاجتماعية، ١٠(٣).
- أحمد المنشاوي (٢٠٢٥). استخدام تقنيات الذكاء الاصطناعي كأداة رصد بيئي لتحسين جودة الهواء في المناطق الحضرية. مجلة العمارة والفنون والعلوم الإسلامية. https://journals.ekb.eg/article_468830.html
- أمير علي (٢٠٢٥). سياسات التحول الرقمي للموارد البشرية ودورها في تحقيق التنمية المستدامة دراسة تطبيقية على القطاع السياحي بالعاصمة الادارية الجديدة، مجلة حورس الدولية للبحوث التجارية، مجلد(١)١، العدد الثالث..
- مجد عطية العتلة (٢٠٢١). المدن الذكية وإمكانيات تطبيقها على مدينة عمان، الأردن: دراسة استطلاعية، مجلة الجامعة الإسلامية للدراسات الإنسانية، (٢).
- دنية ثابت (٢٠٢٠). تجربة المدن الذكية المستدامة في دولة الامارات العربية المتحدة، مجلة التعمير والبناء، ٤(١).
- راضية أونيس (٢٠٢٥). توظيف التخطيط في المدن الذكية لتحقيق التنمية الحضرية: حالة مدينة زيورخ السويسرية. مجلة الباحث للدراسات الأكاديمية، ١٣ (١).
- إدارة مدينة لوسيل، موقع مدينة لوسيل https://2u.pw/f1H7c9
- محمد صباح حسن (٢٠٢١). الاستثمار بالمدن الذكية في قطر وإمكانية استفادة العراق منها، مجلة كلية الإدارة والاقتصاد للدراسات الاقتصادية والإدارية والمالية، ١٣ (١).
- مشاريع المدن الذكية في العالم العربي ما النجاحات وما التحديات؟ (٢٠٢٠). مرصد المستقبل. /https://mostaqbal.ae/smart-cities-in-the-arab-world
- تخطيط وتمويل مدن منخفضة الكربون وصالحة للعيش. (٢٠١٣). مجموعة البنك الدولي. https://www.albankaldawli.org/ar/news/feature/2013/09/25/planning-financing-low-carbon-cities
- بسنت أسامة شنودة وآخرون (٢٠٢٥). المدن الذكية ودورها في تحقيق التنمية المستدامة، جامعة عين شمس.
- بلعربي علي (د.ت). المؤتمر الدولي المغاربي الأول لمستجدات التنمية المستدامة، جامعة عبدالحميد ابن باديس، الجزائر.
- حنان عمر محمد ووائل الجارحي (٢٠٢٠). متطلبات تطبيق الإدارة البيئية ومعوقاتها وعلاقتها بالتنمية المستدامة، مجلة الدراسات والبحوث البيئية، ١٠(١).
- رفاء مهاوي وسجي سعد (٢٠٢٥). خصائص المدن الذكية وأثرها في تحقيق التنمية المستدامة، مجلة المستنصرية للعلوم الإنسانية، مج٣، ع٢.
- سامية نزالي (٢٠١٩). دور المدن الذكية بيئيًا في تحقيق التنمية لمستدامة، مجلة الإدارة والتنمية للبحوث والدراسات، مج٨، ع١.
- سميرة لطرش وآمنة لحماري (٢٠٢١). المدن الذكية بين الواقع والتحديات: إمارة دبي الذكية نموذجًا، مجلة دراسات اقتصادية، ٨(١).
- سولاف سليم (٢٠١٩). المدن الذكية وعلاقتها بالتنمية المستدامة، مجلة الاستراتيجية والتنمية، جامعة عبد الحميد بن باديس مستغانم، مج٩، عدد خاص.
- شنوف جمال ومراحي مختار (٢٠٢٥). التوجه إلي بناء المدن الذكية كإستراتيجية لتحقيق التنمية المستدامة: دبي نموذجًا، مجلة البحوث الاقتصادية المتقدمة، مج١٠، ع١.

- شيماء حسن ربيع (٢٠١٧). دور المنظمات غير الحكومية في تحقيق الاستدامة البيئية دراسة مطبقة علي جمعيات تنمية المجتمع، مجلة الخدمة الاجتماعية، (٥٧).
- شيماء عبد العزيز الدالي (٢٠٢٤). دور المدن الذكية في تحقيق أبعاد التنمية المستدامة: العاصمة الإدارية الجديدة نموذجًا، مجلة كلية الآداب، جامعة الفيوم، مج١٦، ع١.
- عادل خلف احمد (٢٠٢٣). استخدام تكنيك المشروع الجمعي في خدمة الجماعة وتنمية المسئولية الاجتماعية نحو الاستدامة البيئية لدي أعضاء جماعات الاسر الطلابية، مجلة دراسات في الخدمة الاجتماعية، ع٦٢.
- عائشة بن النوي (٢٠٢١). المدن الذكية إنجازات وتجارب عالمية وعربية، مجلة التمكين الاجتماعي، ٣(٤).
- غادة محمد عامر (٢٠٢٣). التأثيرات الإيجابية للمدن الذكية علي مجالات الامن القومي، مجلة أكاديمية ناصر العسكرية للدراسات العليا، (٢).
- غادة محمود احمد (٢٠٢٥). المدن الذكية في مصر: دراسة حالة مدينة بدر دراسة جغرافية، مجلة المجتمع العلمي المصري، ١٠٠(١٠٠).
- فاطمة زعيتر وسالم بن لباد (٢٠١٩). المدن الذكية وجه جديد للتنمية المستدامة، وقائع المؤتمر الدولي لمدن الذكية في ظل التغيرات الراهنة (الواقع والآفاق)، ٢٩ – ٣٠ مارس، برلين، المانيا.
- محمد سمير خلف (٢٠٢٣). مساهمة المدن الذكية وتحقيق أهداف التنمية المستدامة: رؤية مستقبلية للبلديات في الأردن ٢٠٢٣، مجلة العلوم الإنسانية والطبيعية، مج٤، ع٢.
- محمد عزيز (٢٠٢٣). دور المدن الذكية في تحقيق التنمية المستدامة، مجلة المعرفة، (٩).
- محمد محمود خضر (٢٠٢٣). الهوية المكانية للدولة المصرية بين العاصمة الإدارية الجديدة والقديمة: دراسة سوسيولوجية ميدانية، المجلة العربية لعلم الاجتماع، ع٣٢.
- مفتاح محمد دياب (٢٠٢٣). المدينة الذكية والمكتبة الذكية المفاهيم والشراكة في الإدارة والخدمات، المجلة العربية الدولية لتكنولوجيا المعلومات والبيانات، ٣(١).
- هيثم المحمدي عاشور وآخرون (٢٠٢٢). تقييم العاصمة الإدارية الجديدة كمدينة ذكية مستدامة، مجلة العلوم البيئية، جامعة عين شمس، مج٥١، ع١١.
- الهيئة العامة للاستعلامات (٢٠٢٠). مصر تدخل عصر المدن الذكية، متاح علي: https://sis.gov.eg/Story/169475?lang=ar
- وردة علي سنوسي وآخرون (٢٠٢٥). الاستدامة البيئية والتنمية المستدامة، المجلة العلمية للخدمة الاجتماعية، جامعة أسوان، ٦(٢).

ثانيًا: المراجع باللغة الإنجليزية

- Aboalsamh, H. M., Khrais, L. T., & Albahussain, S. A. (2023). Pioneering perception of green fintech in promoting sustainable digital services application within smart cities. Sustainability, 15(14), 11440.
- Albino, V., Berardi, U., and Dangelico, R. M. (2015). Smart cities: definitions, dimensions, performance, and initiatives. J. Urban Technol. 22, 3–21.
- Ansell, A. (2021). Virtual and Augmented Reality: Four Case Studies.

- Ansell, T. (2021). Augmented reality in smart cities: Applications and future trends. Journal of Urban Technology, 28(3), 45–60.
- Bibri, S., and Krogstie, J. Environmentally data-driven smart sustainable cities: applied innovative solutions for energy efficiency, pollution reduction, and urban metabolism. Energy Informatics, 3 (29), 1–59.
- Caragliu, A., Del Bo, C., & Nijkamp, P. (2011). Smart cities in Europe. Journal of Urban Technology, 18(2), 65–82.
- Chai, J., Lu, Q., Wang, S., & Lai, K. H. (2023). Green smart cities and energy efficiency: The role of cloud computing and digital technologies. Sustainable Cities and Society, 89, 104115.
- Chai, N., Mao, C., Ren, M., Zhang, W., Poovendran, P., & Balamurugan, P. (2023). RETRACTED ARTICLE: Role of BIC (Big Data, IoT, and Cloud) for Smart Cities. Arabian Journal for Science and Engineering, 48(3), 4115–4115.
- Giffinger, R., Fertner, C., Kramar, H., Kalasek, R., Pichler-Milanović, N., & Meijers, E. (2007). Smart cities: Ranking of European medium-sized cities, Vienna University of Technology.
- Hollands, R. G. (2008). Will the real smart city please stand up? City, 12(3), 303–320.
- Hwang ,M., and Verhulsdonck, G. (2026). Quantifying the sustainability impacts of smart cities and AI: A meta-analysis. Sustainable Cities and Society: Advances, 1–13.
- IMD Smart CityIndex . (2026). The quest for trust and transparency World Competitiveness Center.
- INCOSE. (2025, March 7). Smart Cities. Retrieved from International Council on Systems Engineering: https://www.incose.org/communities/working-groups-initiatives/smart-cities-workinggroup
- Khan, L. U., Yaqoob, I., Tran, N. H., Kazmi, S. A., Dang, T. N., & Hong, C. S. (2020). Edge-computing-enabled smart cities: A comprehensive survey. IEEE Internet of Things journal, 7(10), 10200-10232.
- Khan, W. Z., Rehman, M. H., Zangoti, H. M., Afzal, M. K., Armi, N., & Salah, K. (2020). Industrial internet of things: Recent advances, enabling technologies and open challenges. Computers & Electrical Engineering, 81, 106522.

- Kim, T. (2017). Smart city applications based on IoT technologies. Future Generation Computer Systems, 76, 159–168.
- Kim, T. H., Ramos, C., & Mohammed, S. (2017). Smart city and IoT. Future Generation Computer Systems, 76, 159–162.
- Luckey, D., Fritz, H., Legatiuk, D., Dragos, K., & Smarsly, K. (2020, July). Artificial intelligence techniques for smart city applications. In International Conference on Computing in Civil and Building Engineering (pp. 3–15). Cham: Springer International Publishing.
- Luckey, D., Fritzsche, A., & Roth, A. (2020). Artificial intelligence in smart cities: Concepts, applications, and challenges. Procedia Computer Science, 180, 783–790.
- Nam, T., & Pardo, T. A. (2011). Conceptualizing smart city with dimensions of technology, people, and institutions. In Proceedings of the 12th Annual International Conference on Digital Government Research (pp. 282–291).
- Neirotti, P., De Marco, A., Cagliano, A. C., Mangano, G., & Scorrano, F. (2014). Current trends in smart city initiatives. Cities, 38, 25–36.
- Nikolov, N. (2024, June). Smart cities as a tool for environmental sustainability: Opportunities and challenges. In ENVIRONMENT. TECHNOLOGIES. RESOURCES. Proceedings of the International Scientific and Practical Conference (Vol. 1, pp. 261–266).
- Paes, V. D. C., Pessoa, C. H. M., Pagliusi, R. P., Barbosa, C. E., Argôlo, M., de Lima, Y. O., ... & de Souza, J. M. (2023). Analyzing the challenges for future smart and sustainable cities. Sustainability, 15(10), 7996 - .Saborido, R., & Alba, E. (2020), Software systems from smart city vendors. Cities, 101,- Vandercruysse, - L., Buts, C., & Dooms, M. (2020), A typology of Smart City services: The case of Data Protection Impact Assessment. Cities, 104.
- Shahram Tahmasseby. (2022). The Implementation of Smart Mobility for Smart Cities A Case Study in Qatar. Civil Engineering Journal, 2154-2171.
- Simon Elias Bibri, Alahi Alexandre, Ayyoob Sharifi , & John Krogstie . (2023). Environmentally sustainable smart cities and their converging AI, IoT, and big data technologies and solutions: an integrated approach to an extensive literature review. springer Energy Informatics.

- Singh, D., Sobti, R., Jain, A., Malik, P., & Le, D.-N. (2022). LoRa based intelligent soil and weather condition monitoring with internet of things for precision agriculture in smart cities. IET Communications, 604 - 618.
- Singh, S., Hosen, A. S. M. S., & Yoon, B. (2020). Blockchain security attacks, challenges, and solutions for the future distributed IoT network. IEEE Access, 8, 13938-13959.
- Singh, S., Sharma, P. K., Yoon, B., Shojafar, M., Cho, G. H., & Ra, I. H. (2020). Convergence of blockchain and artificial intelligence in IoT network for the sustainable smart city. Sustainable cities and society, 63, 102364.
- Skripnuk, D. & Kikkas, K. & Romashkina, E. (2019), Sustainable development and environmental security in the countries of the circumpolar north, In E3S Web of Conferences , 110(02037), EDP Sciences.
- Wahba, S. (2021). The impact of Smart sustainable Cities on Enhancing Tourism Competitiveness: A Case Study of the New Administrative Capital. Journal of Association of Arab Universities for Tourism and Hospitality, 21(2), 162-186.
- Zakka, S. D., AGBOOLA, O. P., Olatunji, S. A., & YAKUBU, S. U. N. (2025). Smart Cities and Environmental Sustainability: Evaluating the Nexus in South-West Nigeria. Indonesian Journal of Geography, in press.