مجلد 11 (عدد 2)/2026، ص 80–99 مجلة العمارة وبيئة الطفل ISSN 2478-0014 EISSN: 2710-8252

التحول نحو المدن الذكية المستدامة باستخدام الذكاء الاصطناعي والطاقة المتجددة: مشروع نيوم السعودي أنموذجا

The Transition Toward Sustainable Smart Cities Using Artificial Intelligence and Renewable Energy: The Saudi NEOM Project as a Model

زايد أحلام*[1]، زايد إيمان[2]

[1] جامعة عبد الحفيظ بوالصوف ميلة (الجزائر)، plusdreams144@gmail.com

[2] المدرسة العليا للتجارة (الجزائر)، i_zaid@esc-alger.dz

تاريخ الاستلام : 2026/05/25 تاريخ القبول : 2026/07/23

ملخص: يعد مشروع نيوم أحد المشروعات التنموية الكبرى في المملكة العربية السعودية ويهدف إلى بناء منطقة مستقبلية متكاملة تعتمد على الابتكار والتقنيات المتقدمة والطاقة المتجددة بما ينسجم مع أهداف رؤية المملكة 2030 في تنويع الاقتصاد وتعزيز الاستدامة. كما يسعى المشروع إلى تطوير نموذج عالمي للمدن الذكية المستدامة من خلال الاعتماد على الذكاء الاصطناعي والطاقة المتجددة والهيدروجين الأخضر، في حين يتكون مشروع نيوم من عدة مشاريع رئيسية، أبرزها: ذا لاين، أوكساغون، تروجينا، وسندالة، وتسعى هذه الدراسة إلى تحليل مدى قدرة مشروع نيوم على تجسيد نموذج مستدام لمدينة مستقبلية تعتمد على الذكاء الاصطناعي والطاقة المتجددة، وذلك في إطار الإشكالية التي تتمثل في: إلى أي مدى يمكن لمشروع نيوم أن يجسّد نموذجا مستداما لمدينة مستقبلية قائمة على الذكاء الاصطناعي والطاقة المتجددة؟ ولتحقيق هذا الهدف اعتمدت الدراسة على المنهج الوصفي التحليلي من خلال أسلوب دراسة الحالة، حيث تم تحليل المعطيات المتعلقة بالمشروع بالاعتماد على البيانات والمعلومات المستمدة من المصادر الرسمية والتقارير والدراسات ذات الصلة، مع التركيز على دور كل من الذكاء الاصطناعي والطاقة المتجددة في دعم التحول نحو المدن الذكية المستدامة. وقد خلصت الدراسة إلى أن مشروع نيوم يمثل نموذجا طموحا للمدن المستقبلية التي تسعى إلى دمج التقنيات الذكية مع مصادر الطاقة النظيفة بما يعزز من فرص تحقيق الاستدامة الحضرية، غير أن تجسيد هذا النموذج بشكل كامل يظل مرتبطا بمدى نجاحه في تحقيق التكامل بين البعد التكنولوجي والاقتصادي والبيئي على أرض الواقع.

الكلمات المفتاحية: مدن ذكية؛ ذكاء اصطناعي؛ طاقة متجددة؛ مشروع نيوم؛ استدامة بيئية.

Abstract : Neom is considered one of the major developmental projects in the Kingdom of Saudi Arabia. It aims to build an integrated futuristic region based on innovation, advanced technologies, and renewable energy, in line with the objectives of Saudi Vision 2030 to diversify the economy and enhance sustainability. The project also seeks to develop a global model of sustainable smart cities through reliance on artificial intelligence, renewable energy, and green hydrogen. Neom consists of several main projects, most notably: The Line, Oxagon, Trojena, and Sindalah.

This study aims to analyze the extent to which the Neom project can embody a sustainable model for a future city based on artificial intelligence and renewable energy, within the framework of the research problem: to what extent can Neom represent a sustainable model for a future city based on artificial intelligence and renewable energy? To achieve this objective, the study adopts a descriptive-analytical approach through a case study method, where data related to the project were analyzed based on information obtained from official sources, reports, and relevant academic studies, with a focus on the role of both artificial intelligence and renewable energy in supporting the transition toward sustainable smart cities. The study concludes that Neom represents an ambitious model for future cities that seeks to integrate smart technologies with clean energy sources, thereby enhancing the prospects of achieving urban sustainability. However, the full realization of this model remains dependent on the success of achieving integration between the technological, economic, and environmental dimensions on the ground.

Keywords : Smart cities; artificial intelligence; renewable energy; NEOM project; environmental sustainability.

* المؤلف المرسل

This article is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0), https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/

مقدمة :

تشهد المدن المعاصرة تحولات عميقة في أنماط التخطيط والتسيير الحضري نتيجة تزايد التحديات المرتبطة بالنمو السكاني السريع وتفاقم المشكلات البيئية مثل التلوث ونقص الموارد وارتفاع الطلب على الطاقة، وقد أدى ذلك إلى بروز مفهوم المدن الذكية المستدامة باعتباره نموذجا حضريا جديدا يقوم على توظيف التكنولوجيا الحديثة وخاصة الذكاء الاصطناعي بهدف تحسين جودة الحياة ورفع كفاءة الخدمات وتحقيق الاستدامة بأبعادها الاقتصادية والاجتماعية والبيئية.

بناء على ذلك أصبحت الطاقة المتجددة عنصرا أساسيا في دعم هذا التحول لما توفره من حلول نظيفة وفعالة تساهم في تقليل الانبعاثات الكربونية وتعزيز أمن الطاقة داخل المدن المستقبلية، كما يعد الذكاء الاصطناعي أداة محورية في إدارة البنية التحتية الذكية وتحسين النقل الذكي وتوزيع الموارد من طاقة ومياه، واتخاذ القرار بشكل أكثر دقة وفعالية.

ومن بين أبرز المشاريع التي تجسد هذا التوجه المستقبلي الطموح يبرز مشروع نيوم كنموذج عالمي للمدن الذكية المستقبلية، حيث يسعى إلى بناء مدينة متكاملة تعتمد على التقنيات المتقدمة والطاقة المتجددة النظيفة بما يعكس رؤية جديدة للتحول الحضري المستدام بالمملكة العربية السعودية، ومن هنا تأتي هذه الدراسة لتحليل هذا المشروع باعتباره نموذجا تطبيقيا لفهم العلاقة بين الذكاء الاصطناعي والطاقة المتجددة في بناء المدن الذكية المستدامة.

إشكالية الدراسة:

في ظل التحولات العالمية المتسارعة نحو الرقمنة وتبني تقنيات الذكاء الاصطناعي أصبحت المدن الذكية تسعى إلى إعادة تعريف مفهوم التنمية الحضرية المستدامة من خلال الاعتماد على الذكاء الاصطناعي والطاقة المتجددة. ويعد مشروع نيوم في المملكة العربية السعودية أحد أبرز النماذج الطموحة التي تهدف إلى بناء مدينة ذكية تعتمد على الابتكار التكنولوجي والاستدامة البيئية. وفي هذا السياق نقوم بطرح الإشكالية التالية:

إلى أي مدى يمكن لمشروع نيوم أن يجسّد نموذجا مستداما لمدينة مستقبلية قائمة على الذكاء الاصطناعي والطاقة المتجددة؟

فرضيات الدراسة:

للإجابة عن إشكالية الدراسة لا بد من صياغة فرضيات تعد إجابات محتملة عنها وتتمثل فيما يلي:

الفرضية الأولى: يرتبط نجاح المدن الذكية المستدامة بمدى جاهزية البنية التحتية الرقمية.

الفرضية الثانية: يساهم الذكاء الاصطناعي في ترشيد استهلاك الطاقة داخل المدن الذكية.

الفرضية الثالثة: يساهم تنويع مصادر الطاقة المتجددة في ضمان أمن الطاقة داخل المدن الذكية المستدامة.

الفرضية الرابعة: يسهم مشروع نيوم في إعادة تعريف مفهوم المدن الذكية المستدامة عالميا المعتمدة على الذكاء الاصطناعي والطاقة المتجددة.

الدراسات السابقة:

1. دراسة بعنوان "**مدن الذكاء الاصطناعي الجديدة: القوة، والمدن الجديدة، والذكاء الاصطناعي الحضري في نيوم وذا لاين**"

" New AI cities: power, new cities and urban artificial intelligence in Neom and The Line", Urban Geography, 2026.

مقالة علمية من إعداد الباحث Federico Cugurullo، حيث تهدف إلى توضيح العلاقة بين تطوير المدن الجديدة وتطوير أنظمة الذكاء الاصطناعي، مع التركيز على القواسم المشتركة بينهما. وتسعى المقالة إلى تسليط الضوء على: كيفية تحول المناطق الحضرية إلى فضاءات للتجارب في مجال الذكاء الاصطناعي من خلال إنشاء المدن الجديدة، الديناميكيات التي تجرى من خلالها هذه التجارب داخل المدن الجديدة، مدى سعي مطوري المدن الجديدة وأنظمة الذكاء الاصطناعي إلى تحقيق الاستدامة، وتركز الدراسة على مشروع نيوم بمنطقة تبوك بالمملكة العربية السعودية كدراسة حالة كونه يرتبط ارتباطا وثيقا بتطوير الذكاء الاصطناعي، اعتمدت الدراسة على مراجعة متعددة التخصصات للأدبيات المتعلقة بالدراسات الحضرية والذكاء الاصطناعي، مع تبني منظور جغرافي وسياسي لفهم سياق المشروع وتطوره داخل المملكة العربية السعودية.

إن مشروع نيوم رغم كونه مشروعا مستقبليا إلا أنه متجذر بعمق في الاقتصاد السياسي المعاصر للمملكة العربية السعودية وفي طموحات ولي عهدها الأمير محمد بن سلمان،كما توصل الباحث إلى أن كبرى شركات الذكاء الاصطناعي ترى مدينة نيوم فرصة مثالية ومكانا مناسبا لاختبار تقنياتها التجريبية في مجال الذكاء الاصطناعي

2. دراسة بعنوان "**مشروع نيوم في المملكة العربية السعودية كحقل تجارب للمدن المخططة ذات الجدوى الاقتصادية: دراسة حالة" " Saudi Arabia's NEOM Project as a Testing Ground for Economically Feasible Planned Cities: Case Study"**, Sustainability, Volume 15, Issue 608, 2023.

مقالة علمية من إعداد الباحثين Nadia Yusuf وDareen Abdulmohsen هدفت الدراسة إلى تحليل مشروع نيوم بوصفه نموذجا للمدن الذكية المستدامة المخططة وذلك من خلال إبراز مدى مساهمته في تحقيق التنمية الاقتصادية والاستدامة داخل المملكة العربية السعودية مع تقييم الفرص والتحديات المرتبطة بالمشروعات الحضرية الضخمة المعتمدة على التكنولوجيا الحديثة والطاقة المتجددة. واعتمدت الدراسة على منهج دراسة الحالة حيث اتخذت من مشروع نيوم مجالا للدراسة، كما استخدمت أسلوبي تحليل المحتوى والتحليل الموضوعي للبيانات التي جمعت من الموقع الرسمي للمشروع ومن مجموعة من الدراسات والمنشورات ذات الصلة بالمدن الذكية والتوسع الحضري المستدام. وقد تمثلت متغيرات الدراسة في مشروع نيوم باعتباره متغيرا مستقلا، في حين شملت المتغيرات التابعة كلا من الاستدامة الاقتصادية والاعتماد على الطاقة المتجددة وتقليل الانبعاثات الكربونية وجذب الاستثمارات الدولية، إضافة إلى جدوى المدن المخططة اقتصاديا مع اعتبار التكنولوجيا والبنية التحتية الذكية من المتغيرات الوسيطة المؤثرة في نجاح المشروع.

وتوصلت الدراسة إلى أن نيوم يمثل نموذجا طموحا للمدن المستقبلية القائمة على الابتكار والتقنيات الذكية إذ يسعى إلى بناء مدينة مستدامة منخفضة الانبعاثات الكربونية وتعزيز الاقتصاد الأخضر، كما يسهم في جذب الاستثمارات وإبراز المملكة العربية السعودية كمركز عالمي للابتكار والاستدامة، غير أن نجاح المشروع يبقى مرتبطا بقدرته على تحقيق التوازن بين العوائد الاقتصادية والتحديات المرتبطة بالمشروعات الحضرية الكبرى.

3. دراسة بعنوان "**الحاجة إلى المدن الذكية لتحقيق التنمية المستدامة: الفرص والتحديات**"، مقالة علمية من إعداد الباحث عمر مخلوف، مجلة التعمير والبناء، المجلد 04، العدد 01، جامعة ابن خلدون تيارت ـ الجزائر، 2020، هدفت الدراسة إلى إبراز أهمية التحول نحو نموذج المدن الذكية باعتباره خيارا حضريا حديثا قادرا على مواجهة الأزمات التي تعاني منها المدن التقليدية والمتمثلة في الازدحام والتلوث والبطالة وضعف الموارد، إضافة إلى دوره في تحقيق التنمية المستدامة بأبعادها الاقتصادية والاجتماعية والبيئية. وقد اعتمدت الدراسة على المجال الحضري العام كإطار للتحليل دون التركيز على عينة ميدانية محددة، حيث تناولت المدن التقليدية كواقع قائم والمدن الذكية كنموذج بديل. كما تمثلت متغيرات الدراسة في التحول نحو المدن الذكية كمتغير مستقل، والتنمية المستدامة وتحسين جودة الحياة كمتغيرات تابعة، في حين ساهمت تكنولوجيا المعلومات والاتصال والظروف الحضرية القائمة كعوامل مؤثرة في هذا التحول. واعتمدت الدراسة على المنهج الوصفي التحليلي من خلال مراجعة الأدبيات وتحليل الواقع الحضري دون استخدام أدوات ميدانية مباشرة.

توصلت الدرسة إلى أن المدن الذكية تمثل حلا استراتيجيا لمشكلات المدن التقليدية من خلال توظيف التكنولوجيا لتحسين الخدمات وتقليل التلوث وتعزيز الكفاءة الاقتصادية والاجتماعية، مع التأكيد على أن نجاح هذا النموذج يرتبط بمدى تكامل التكنولوجيا مع السياسات الحضرية المستدامة.

من خلال استعراضنا للدراسات السابقة تبين أن مواضيع المدن الذكية حظيت باهتمام العديد من الباحثين محليا ودوليا، إذ تم الاستفادة من الدراسات السابقة بشكل كبير سواء على المستوى النظري أو التطبيقي، حيث ساعدت في بناء الإطار النظري للدراسة وتدعيمه بالمفاهيم والمصطلحات الأساسية ذات الصلة كما أسهمت في صياغة الإشكالية البحثية بدقة وتحديد التعريفات الإجرائية لمتغيرات الدراسة وصياغة الفرضيات بشكل منهجي سليم، وعليه تتحدد النقاط التي تتميز بها الدراسة الحالية عن الدراسات السابقة فيما يلي:

- **من حيث هدف الدراسة:** قامت الدراسات السابقة على دراسة المدن الذكية فقط او ربطها بالذكاء الاصطناعي في بعض الأحيان، أي عدم وجود دمج منهجي واضح بين الذكاء الاصطناعي والطاقة المتجددة بوصفهما عنصرين متكاملين في نموذج استدامة واحد. في حين هدفت الدراسة الحالية إلى دمج العنصرين في إطار تحليلي واحد لقياس الاستدامة في المدن الذكية وأخذ مشروع نيوم كنموذج تطبيقي.

- **من حيث المتغيرات المستخدمة:** تناولت الدراسة الحالية كل من المدن الذكية المستدامة ودور الذكاء الاصطناعي في إدارة المدن الذكية بالإضافة إلى الطاقة المتجددة كدعامة أساسية في المدن الذكية المستدامة، وهذا ما لم تتناوله الدراسات السابقة مما يزيد من تميز هذه الدراسة، كما واشتملت هذه الدراسة على دراسة البنية التحية للطاقة المتجددة في مشروع نيوم وآفاق الاستدامة **وهذا لم تقم به أي دراسة من قبل -حسب علم الباحثتين-.**
- **من حيث الأدوات المستخدمة:** توظيف مؤشرات كمية وجداول تحليلية ونموذج تقييم خماسي، بما يتيح انتقال الدراسة من الطابع الوصفي إلى الطابع التحليلي التقييمي.

أما فيما يتعلق بالإضافة العلمية فإن الدراسة تتميز عن الدراسات السابقة في كونها لا تكتفي بالوصف العام لمشروع نيوم أو تناول مفهوم المدن الذكية بشكل نظري بل تقدم إطارا تحليليا وتقييميا متكاملا يعتمد على مؤشرات كمية ونوعية لقياس مساهمة الذكاء الاصطناعي والطاقة المتجددة في تحقيق الاستدامة، وتم دعم ذلك باستخدام جداول تحليلية تفصيلية ومقياس تقييم خماسي يسمح بتحويل المعطيات الوصفية إلى نتائج قابلة للقياس والمقارنة.

حدود الدراسة

تتمثل حدود الدراسة في أنها تركز على تحليل مشروع نيوم بوصفه دراسة حالة من خلال الاعتماد على البيانات الثانوية المستمدة من التقارير الرسمية والدراسات العلمية ذات الصلة، وذلك نظرا لكون المشروع لا يزال في مرحلة التطوير والتنفيذ كما تقتصر الدراسة على تحليل دور كل من الذكاء الاصطناعي والطاقة المتجددة في تحقيق الاستدامة ضمن ستة أبعاد رئيسية هي: الاقتصاد الذكي، المواطن الذكي، الحوكمة الذكية، التنقل الذكي، البيئة الذكية، الحياة الذكية دون التوسع في مقارنة تفصيلية مع جميع المشاريع العالمية المشابهة.

1. الطريقة والأدوات:

من أجل الإجابة على الإشكالية المطروحة في هذا البحث وكذا اختبار صحة الفرضيات المطروحة تم الاعتماد على المنهج **الوصفي التحليلي** في جمع البيانات والمعطيات المتعلقة بموضوع البحث، يعد المنهج الوصفي التحليلي من المناهج العلمية التي تهدف إلى وصف الظواهر كما هي على أرض الواقع ثم تحليلها لاستخلاص النتائج وتفسير العلاقات القائمة بينها، ويقوم هذا المنهج على جمع البيانات والمعلومات المرتبطة بموضوع الدراسة ومن ثم تحليلها بشكل منهجي وعلمي للوصول إلى استنتاجات دقيقة.

اعتمدت الدراسة على المنهج الوصفي التحليلي بهدف وصف وتحليل دور الذكاء الاصطناعي والطاقة المتجددة في دعم التحول نحو المدن الذكية المستدامة. وتم جمع البيانات من مصادر ثانوية متنوعة شملت التقارير الرسمية لمشروع نيوم، ووثائق رؤية المملكة العربية السعودية 2030، والدراسات العلمية المحكمة، والتقارير الدولية ذات الصلة بالمدن الذكية والاستدامة.

وفيما يتعلق بتحليل البيانات تم استخدام أسلوب تحليل المحتوى للوثائق والتقارير المتاحة وذلك من خلال تصنيف المعلومات وتحليلها وفق مجموعة من المؤشرات المرتبطة بالاستدامة الحضرية. وقد استندت عملية التقييم إلى ستة أبعاد رئيسية هي: الاقتصاد الذكي، المواطن الذكي، الحوكمة الذكية، التنقل الذكي، البيئة الذكية، الحياة الذكية. وتضمنت المؤشرات المستخدمة في التحليل مدى الاعتماد على الطاقة المتجددة والجهود المبذولة للحد من الانبعاثات الكربونية ومستوى توظيف تقنيات الذكاء الاصطناعي في إدارة المدينة، وكفاءة البنية التحتية الرقمية، إضافة إلى مساهمة مشروع نيوم تحسين جودة الحياة وتعزيز كفاءة الخدمات الحضرية، وقد تم اختيار هذه المؤشرات استنادا إلى الأدبيات العلمية والنماذج النظرية المعتمدة في تقييم المدن الذكية المستدامة.

أما اختيار مشروع نيوم كدراسة حالة فقد استند إلى اعتبارات علمية ومنهجية أهمها أن المشروع يمثل أحد أبرز النماذج العالمية الناشئة للمدن الذكية المستدامة ويعتمد بصورة جوهرية على تقنيات الذكاء الاصطناعي والطاقة المتجددة في تصميم وتشغيل بنيته الحضرية، كما يرتبط المشروع بشكل مباشر بمستهدفات رؤية المملكة العربية السعودية 2030 وأهداف التنمية المستدامة الأمر الذي يجعله نموذجا مناسبا لدراسة فرص وتحديات التحول نحو المدن الذكية المستدامة في البيئة العربية.

وبناء على ذلك تم تقييم مشروع نيوم من خلال تحليل مدى توافق خصائصه ومبادراته مع المؤشرات السابقة بما يسمح بتقدير مستوى إسهامه في تحقيق متطلبات المدينة الذكية المستدامة ودور الذكاء الاصطناعي والطاقة المتجددة في دعم هذا التحول.

2. مفهوم المدن الذكية المستدامة

أصبحت المدن موطنا لأكثر من نصف سكان العالم ومركزا رئيسيا للأنشطة الاقتصادية، حيث بلغت نسبة سكان المدن عالميا عام 2019 نحو 55.7%، ومن المتوقع أن ترتفع إلى 68% بحلول عام 2050. وفي المنطقة العربية وصلت نسبة التحضر إلى 59.2% وهي أعلى من المتوسط العالمي. وقد أدى هذا التوسع الحضري السريع إلى ظهور تحديات متعددة تتعلق بالنمو والقدرة التنافسية وجودة الحياة إضافة إلى الضغوط المتزايدة على البنية التحتية والخدمات الأساسية. كما أن التخطيط الحضري غير المنظم وسوء الإدارة قد يزيدان من حدة الأزمات والضغوط طويلة الأمد على الأنظمة الحضرية. ((ابراهيم، 2020)

وفي مواجهة هذه التحديات برز مف&هوم المرونة الحضرية كنموذج حديث للتعامل مع الصدمات والضغوط الناتجة عن التغيرات الاجتماعية والاقتصادية والبيئية والتكنولوجية والديمغرافية المتسارعة والتي تؤثر في أنظمة النقل والطاقة والغذاء والرعاية الصحية والخدمات الحكومية لذلك أصبحت المدن بحاجة إلى نماذج تنموية مرنة ومستدامة قادرة على توفير حلول اقتصادية واجتماعية وبيئية متكاملة، تضمن استدامة الموارد، والعدالة في توزيع الخدمات، وتحقيق رفاهية جميع فئات المجتمع دون تمييز.

1.2.تعريف المدن الذكية المستدامة:

هناك عدد كبير من التعريفات للمدينة الذكية المستدامة، حيث قامت بتعريفها منظمة الأمم المتحدة على أنها "مدينة مبتكرة توظف تكنولوجيا المعلومات والاتصالات وغيرها من التقنيات الحديثة بهدف تحسين جودة الحياة وتعزيز كفاءة الخدمات والعمليات الحضرية وزيادة القدرة التنافسية مع الحرص في الوقت نفسه على تلبية احتياجات الأجيال الحالية والمستقبلية في الجوانب الاقتصادية والاجتماعية والبيئية والثقافية" (ابراهيم، 2020)

في حين عرفها الاتحاد الدولي للاتصالات على أنها "المدينة الذكية هي مدينة تستخدم تكنولوجيا المعلومات والاتصالات لتحسين جودة الحياة ورفع كفاءة الخدمات والعمليات الحضرية وتعزيز قدرتها التنافسية مع ضمان تلبية احتياجات السكان الحالية والمستقبلية في الجوانب الاقتصادية والاجتماعية والبيئية" (ملاوي و ثابتي، 2024)

كما تعرف أيضا بأنها "نظام حضري معقد وديناميكي يتسم بالاستجابة للتغيرات الفيزيائية والاقتصادية والاجتماعية ويهدف إلى تنظيم أنماط العيش والتنقل والعمل بشكل يراعي البعد البيئي، وتسعى إلى تسهيل أساليب الحياة الحضرية وتحقيق تنمية مستدامة تقوم على استخدام الطاقات المتجددة وترشيد استهلاك الموارد المختلفة وغالبا ما تتكون المدينة من أحياء حضرية مترابطة تعتمد على مبادئ المشاركة المجتمعية والديمقراطية في اتخاذ القرار بما يضمن تحسين جودة الحياة وتحقيق توازن بين التنمية وحماية البيئة" (سعدي و ساسي، 2023)

وعليه يمكن القول أن أن المدينة الذكية ليست مجرد مدينة متطورة تقنيا بل هي نموذج حضري متكامل يعتمد على التكنولوجيا لتحسين حياة السكان وتسيير الخدمات بكفاءة أكبر كما أنها تهدف إلى تحقيق توازن بين التنمية الاقتصادية والاجتماعية وحماية البيئة، مع التركيز على الاستدامة وضمان حقوق واحتياجات الأجيال الحالية والمستقبلية.

2.2. أبعاد المدن الذكية المستدامة:

يستخدم مصطلح "المدينة الذكية" لوصف مدينة تتميز بوجود قطاع صناعي ذكي يرتبط بشكل أساسي بالاقتصاد وسوق العمل ويشمل ذلك الصناعات المرتبطة بتكنولوجيا المعلومات والاتصالات إضافة إلى مختلف الصناعات التي تعتمد على هذه التقنيات في عمليات الإنتاج.

كما يستخدم المصطلح أيضا للإشارة إلى المجمعات التجارية أو الأحياء التي تضم شركات تعمل في هذا المجال التكنولوجي المتقدم. وفي سياق آخر يرتبط مفهوم المدينة الذكية بمستوى التعليم لدى السكان حيث تتميز هذه المدن بارتفاع المستوى التعليمي لسكانها.

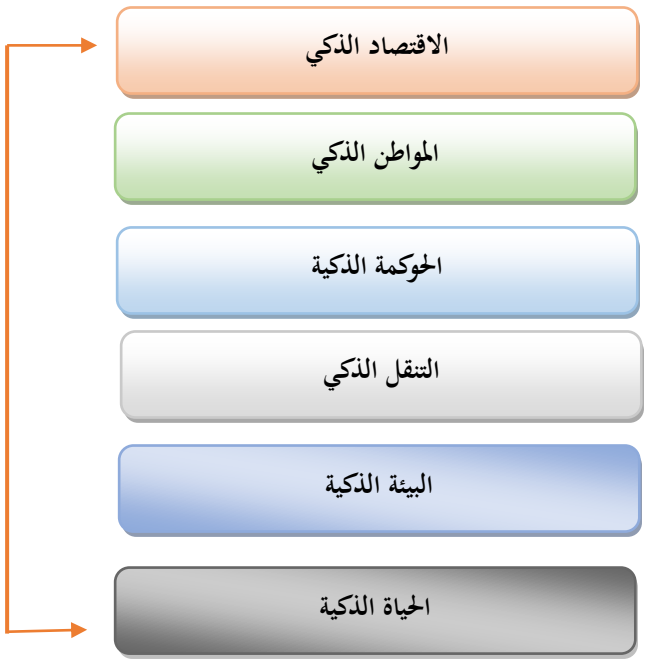
ومن جهة أخرى يستعمل المصطلح للدلالة على طبيعة العلاقة بين إدارة المدينة أو حكومتها والمواطنين، حيث تبرز الحوكمة الرشيدة كأحد مكونات الإدارة الذكية من خلال اعتماد قنوات اتصال حديثة مثل الحوكمة الإلكترونية والديمقراطية الإلكترونية.

كما يشير مفهوم المدينة الذكية إلى توظيف التكنولوجيا الحديثة في الحياة الحضرية اليومية بما في ذلك تقنيات المعلومات والاتصالات، وأنظمة النقل المتطورة والخدمات اللوجستية بهدف تحسين حركة المرور وتسهيل تنقل السكان داخل المدينة.

إضافة إلى ذلك يرتبط هذا المفهوم بجوانب متعددة من الحياة الحضرية مثل الأمن والسلامة، والمساحات الخضراء، وكفاءة استخدام الموارد، والاستدامة، والطاقة، وغيرها من العناصر التي تسهم في تحسين جودة الحياة داخل المدينة. (Centre of Regional Science, 2007) .

وعليه يمثل الشكل الموالي الأبعاد الستة المكونة للمدينة الذكية المستدامة وهي كما يلي:

الشكل (01): أبعاد المدينة الذكية المستدامة



Source: (Centre of Regional Science, 2007)

3.2. التوجه نحو المدن الذكية المستدامة في الدول العربية

تشهد العديد من المدن حول العالم تحولا متزايدا نحو نماذج المدن الذكية والمستدامة ويعتمد هذا التحول غالبا على نموذجين رئيسيين للتطوير: الأول هو نموذج الحقل البني(Brownfield) والذي يتمثل في تطوير وتحويل مدن قائمة بالفعل إلى مدن ذكية، أما الثاني فهو نموذج الحقل الأخضر(Greenfield) حيث يتم إنشاء مدن جديدة بالكامل من الصفر وفق معايير حديثة.

وقد تبنت عدة دول عربية كلا النموذجين في مسارات التحول الحضري. فعلى سبيل المثال اتجهت دول مثل الإمارات العربية المتحدة، تونس، الجزائر، جيبوتي، فلسطين، قطر، الكويت، لبنان، مصر، المغرب، والمملكة العربية السعودية إلى إنشاء مدن جديدة وفق نموذج الحقل الأخضر، ومن أبرز هذه المشاريع: مدينة مصدر وواحة دبي للسيليكون في الإمارات، ومدينة طنجة للتكنولوجيا ومدينة ابن جرير في المغرب، ومدينة الملك عبد الله الاقتصادية ومدينة نيوم في السعودية، ومدينة روابي في فلسطين، ومدينة لوسيل في قطر. وتمتاز هذه المدن بخصوصياتها التنموية التي تراعي الاحتياجات الاقتصادية والاجتماعية والبيئية لكل دولة.

في المقابل اعتمدت بعض الدول العربية نموذج الحقل البني من خلال تنفيذ مشاريع متوسطة وكبيرة تهدف إلى تحويل المدن القائمة إلى مدن ذكية ومستدامة وذلك لمعالجة مشكلات التوسع الحضري وتحسين الاستدامة وتطوير الخدمات الذكية. ومن أمثلة ذلك مدن مثل جدة والجزائر ودبي والرباط وعمّان ومسقط، حيث تسعى هذه المشاريع إلى تحسين جودة الحياة داخل المدن القائمة وتحديث بنيتها التحتية (ابراهيم، 2020). ويلخص الجدول التالي وضع مبادرات التحول إلى المدن الذكية المستدامة في البلدان العربية:

الجدول (01): مبادرات المدن الذكية المستدامة في البلدان العربية

البلد	المدينة/المشروع	النهج المتبعة
الجزائر	مدينة الجزائر الذكية / مدينة سيدي عبد الله الذكية	تحويل مدينة قائمة / بناء مدينة جديدة
جزر القمر	لا توجد بيانات رسمية منشورة	لا توجد بيانات رسمية منشورة
البحرين	مدينة المنامة	تحويل مدينة قائمة
جيبوتي	مدينة إبرولي الذكية (في مرحلة التخطيط)	بناء مدينة جديدة
مصر	العاصمة الجديدة / القرية الذكية	بناء مدينة جديدة / بناء قرية جديدة
الأردن	مدينة عمّان الذكية	تحويل مدينة قائمة
الكويت	مدينة الكويت / مدينة جنوب سعد العبد الله	تحويل مدينة قائمة / بناء مدينة جديدة

لبنان	قرية بيت مسك الذكية	بناء قرية جديدة
المغرب	الرباط / الدار البيضاء / طنجة للتكنولوجيا / ابن جرير	تحويل مدينة قائمة / تحويل مدينة قائمة / بناء مدينة جديدة / بناء مدينة جديدة
عمان	مدينة مسقط	تحويل مدينة قائمة
دولة فلسطين	رام الله / روابي	تحويل مدينة قائمة / بناء مدينة جديدة
قطر	مدينة الدوحة / مدينة لوسيل	تحويل مدينة قائمة / بناء مدينة جديدة
المملكة العربية السعودية	الرياض / جدة / الإحساء / مدينة الملك عبد الله الاقتصادية / مدينة المعرفة الاقتصادية / مدينة الأمير عبد العزيز بن مساعد الاقتصادية / مدينة جازان الاقتصادية / نيوم	تحويل مدن قائمة / بناء مدن جديدة
سوريا	مدينة ماروتا (قرب دمشق)	بناء مدينة جديدة
تونس	مدينة تونس الاقتصادية (في مرحلة التخطيط)	بناء مدينة جديدة

المصدر: (ابراهيم، 2020)

يتضح من الجدول أعلاه ان التحول نحو المدن الذكية في العالم العربي غير متوازن، فهناك دول تقود الاستثمار في هذا المجال بشكل استراتيجي وكبير، وأخرى ما تزال في بدايات التخطيط أو لم تدخل هذا المسار بعد.

3. مفهوم الذكاء الاصطناعي ودوره في إدارة المدن الذكية

يشكل الذكاء الاصطناعي أحد أهم المحركات الأساسية لتطور المدن الذكية حيث يساهم في تحويل المدن التقليدية إلى بيئات أكثر كفاءة واستدامة. من خلال تحليل البيانات الضخمة القادمة من أجهزة الاستشعار والكاميرات وأنظمة النقل والطاقة، ويستطيع الذكاء الاصطناعي تحسين إدارة المرور وتطوير خدمات الأمن والصحة بشكل أسرع وأكثر دقة، كما يساعد في التنبؤ بالمشكلات قبل حدوثها مثل الازدحام أو الأعطال في البنية التحتية مما يسمح باتخاذ قرارات استباقية ورفع جودة الحياة، لذلك أصبح الذكاء الاصطناعي عنصرا أساسيا في بناء مدن مستقبلية أكثر ذكاء وراحة للسكان.

1.3. تعريف الذكاء الاصطناعي

جاء مصطلح الذكاء الاصطناعي لأول مرة عام 1956 خلال ورشة عمل قام بها "جون مكارثي" استمرت شهرين في كلية دارتموث بالولايات المتحدة الأمريكية، كما وتشير الأدلة إلى أن الذكاء الاصطناعي كان موضوع نقاش قبل ذلك، فقط كتب مارك تورينج كتاب بعنوان "آلات الحوسبة والذكاء" سنة 1950 حيث قال "قد نأمل أن تنافس الآلات البشر في نهاية المطاف في جميع المجالات الفكرية البحتة" ويبدو أن توقعاته كانت صحيحة، (Jamal , 2023) فالذكاء الاصطناعي مصطلح يجمع بين مفهومين الذكاء والاصطناعي، "فالذكاء" هو القدرة على التفكير وتوليد أفكار جديدة، والإدراك، واكتساب المعرفة، في حين أن "الاصطناعي" هو كل ما ينتجه البشر من آلات (Neamah & and others, 2024) وعليه يمكن القول أن الذكاء الاصطناعي هو "آلات قادرة على أداء المهام التي يؤديها البشر من خلال تفكيرهم".

ويعرف الذكاء الاصطناعي أيضا "بذكاء الآلة، حيث تحاكي الآلة (نظام الحاسوب) الذكاء البشري" إذ أصبح الذكاء الاصطناعي سواء أدركنا ذلك أم لا جزءا لا يتجزأ من حياتنا اليومية، إذ يستخدم على نطاق واسع مثل التسوق عبر الانترنت، التنقل باستخدام نظام تحديد المواقع العالمي (GPS)، (Jamal , 2023)

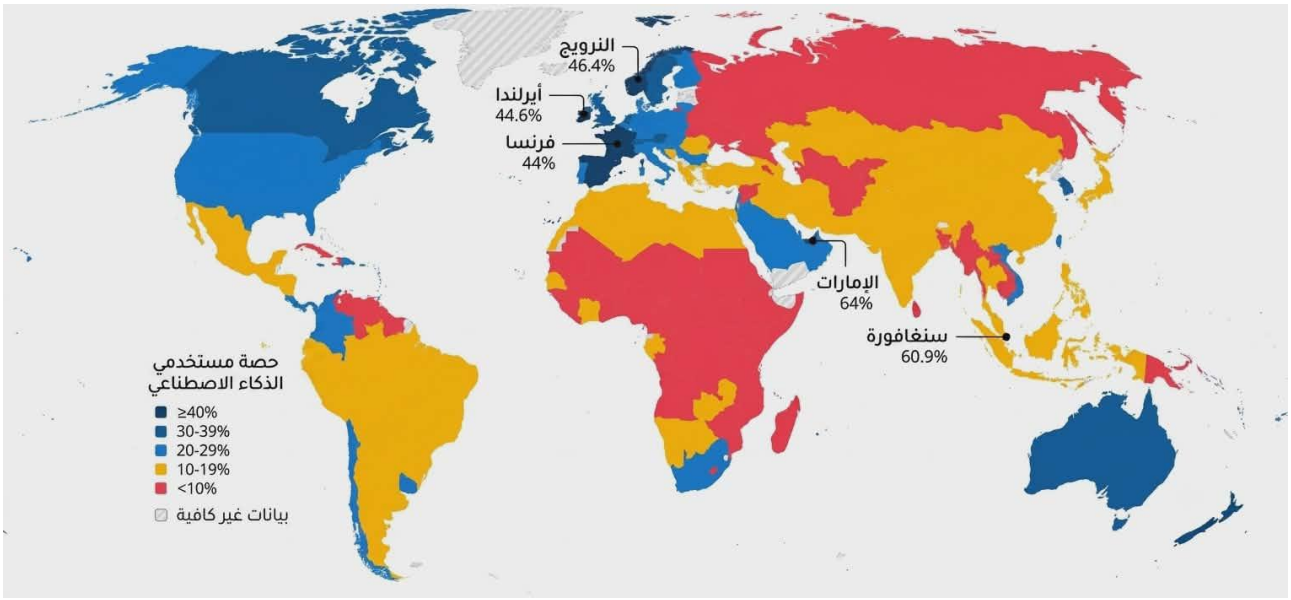
يقصد بالذكاء الاصطناعي أيضا "محاكاة وتجاوز العقل البشري من خلال قدرات تجميع البيانات وتحليلها، واتخاذ قرارات تتسم بالذكاء والدقة ودرجة عالية من الصحة". (الحسيني، 2019) ويستخدم في مجالات متعددة كالصحة، الصناعة، التعليم، والسياحة لتحسين الكفاءة والدقة. ويعد من أهم التقنيات الحديثة التي تسهم في تسريع الابتكار وتغيير طريقة تفاعل الإنسان مع التكنولوجيا.

2.3. انتشار استخدام الذكاء الاصطناعي (AI)

تشير آخر الاحصائيات الواردة عن شركة مايكروسوفت إلى تصاعد وتيرة الاعتماد العالمي على أدوات الذكاء الاصطناعي خلال النصف الثاني من عام 2025، حيث بلغت نسبة المستخدمين نحو سدس سكان العالم، بزيادة قدرها 1.2 نقطة مئوية مقارنة بالنصف الأول من العام، حيث يستخدم الآن ما يقرب من واحد من كل ستة أشخاص في جميع أنحاء العالم أدوات الذكاء الاصطناعي، وهو تقدم ملحوظ لتكنولوجيا دخلت الاستخدام

السائد مؤخرا فقط (Microsoft, January 2026) . ويوضح الشكل الموالي مدى انتشار الذكاء الاصطناعي في العالم خلال النصف الثاني من عام 2025:

الشكل (02): انتشار الذكاء الاصطناعي في النصف الثاني من عام 2025



Sourec: (Microsoft, January 2026)

تظهر الخريطة في الشكل أعلاه تفوق دول مثل الإمارات العربية المتحدة (64%) وسنغافورة (60.9%) يعزى هذا التفوق إلى أن الدول ذات المساحة الأصغر والأنظمة الحكومية المركزية استطاعت دمج الذكاء الاصطناعي في الخدمات العامة والتعليم بسرعة أكبر، في حين تشير الألوان في الخريطة إلى تدرج واضح حيث:

- **المناطق المظلمة (أزرق داكن)**: تمثل "مراكز الثقل الرقمي" حيث تزيد النسبة عن 40% (مثل النرويج وفرنسا وأيرلندا)، وهي دول تمتلك بنية تحتية تعليمية قوية.
- **المناطق الفاتحة أو الدافئة (الأصفر والأحمر)**: والتي تتركز في الجنوب العالمي مما يعكس "الفجوة الرقمية" والتحدي هنا ليس في توفر التكنولوجيا، بل في توفر "الكهرباء، والإنترنت السريع، والمهارات اللغوية" اللازمة للتعامل مع النماذج الحالية.

وخلاصة القول أن الذكاء الاصطناعي اليوم يشبه "الكهرباء" في بداياتها؛ لا يكفي أن تملك محطة توليد قوية (مثل أمريكا)، بل يجب أن تمتلك شبكة توصيل وأجهزة في كل بيت (مثل الإمارات وسنغافورة). الخريطة تؤكد أن "الثقافة الرقمية "والتعليم المستمر هما المحركان الحقيقيان للمستقبل، وليس فقط امتلاك براءات الاختراع.

3.3. تطبيقات الذكاء الاصطناعي في إدارة المدن الذكية

يساهم الذكاء الاصطناعي بشكل كبير في تطوير المدن الذكية من خلال تقديم حلول حديثة وفعالة للعديد من المشكلات التي يصعب معالجتها بالأساليب التقليدية. ومع التطور السريع في التقنيات الرقمية أصبحت تطبيقات الذكاء الاصطناعي أداة أساسية لتحسين إدارة النقل والطاقة والأمن والخدمات العامة مما يساعد على رفع كفاءة المدن وتحسين جودة حياة السكان، وفيما يلي أهم تطبيقات الذكاء الاصطناعي في المدينة الذكية: (ملاوي و ثابتي، 2024)

أ. **أنظمة النقل الذكية**: ساهم الذكاء الاصطناعي في تطوير أنظمة النقل الذكي من خلال تقديم حلول فعّالة لمشكلة الاختناق المروري وازدحام الطرق، وذلك عبر إدارة حركة المرور والمواقف ووسائل النقل بالاعتماد على تقنيات المعلومات والاتصال. وتساعد هذه الأنظمة على تحسين انسيابية حركة السير، وتقليل هدر الوقت، وترشيد استهلاك الوقود، إضافة إلى تعزيز السلامة المرورية.

ورغم الفوائد التي توفرها أنظمة النقل الذكي، فإنها قد تثير بعض الإشكالات القانونية، خاصة فيما يتعلق بالمسؤولية عن الأضرار أو الحوادث التي قد تتسبب فيها المركبات ذاتية القيادة أو الأنظمة الذكية المستخدمة في إدارة المرور.

ب. **الأمن والمراقبة الذكية في المدينة:** تعتمد المدن الذكية على أنظمة المراقبة الذكية القائمة على التقنيات الحديثة مثل تقنيات التعرف على الوجوه وتحليل البيانات من أجل متابعة التحركات داخل المدينة ورصد السلوكيات المشبوهة أو المخالفة للقانون. وقد ساهمت هذه الأنظمة في رفع كفاءة الأجهزة الأمنية وتعزيز قدرتها على أداء مهامها بسرعة وفعالية، مما يساعد على تحسين مستوى الأمن والسلامة العامة.

ورغم هذه المزايا فإن أنظمة المراقبة الذكية تثير العديد من المخاوف المتعلقة بالخصوصية والحريات الفردية، إذ قد يؤدي الإفراط في استخدامها إلى انتهاك حقوق الأفراد وتحويل المدن إلى فضاءات للمراقبة المستمرة. وقد أشار عدد من النشطاء الحقوقيين إلى خطورة توظيف هذه التقنيات بشكل مفرط من قبل بعض الحكومات لمتابعة المواطنين والتضييق على حرياتهم.

ت. **الخدمات الحكومية الذكية:** تسهم تطبيقات الذكاء الاصطناعي في تطوير خدمات الحكومة الذكية من خلال اعتماد الهويات الرقمية للمواطنين وربطها بالخدمات الإلكترونية مما يسهل التفاعل بين المواطن والإدارة ويزيد من سرعة إنجاز المعاملات وشفافيتها. كما يساعد ذلك على تحسين جودة الخدمات العامة وتعزيز العلاقة بين المواطن والحكومة بما ينعكس إيجابا على ظروف الحياة داخل المدينة الذكية.

ومع ذلك فإن هذا التحول الرقمي قد يؤدي إلى تعميق الفجوة الرقمية واستبعاد الفئات الهشة أو المحرومة التي لا تملك القدرة على الوصول إلى التقنيات الحديثة أو استخدامها بفعالية، مما يحدّ من مشاركتها المجتمعية ويزيد من مظاهر عدم المساواة داخل المجتمع. إضافة إلى ذلك تبرز مخاطر التأثير في الرأي العام وتوجيهه عبر الوسائط الرقمية وهو ما قد يشكل تهديدا لمبادئ الديمقراطية وحرية التعبير.

ث. **شبكات الخدمة والبنية التحتية الذكية:** تستخدم تقنيات الذكاء الاصطناعي في إدارة شبكات الخدمات الأساسية مثل شبكات توزيع المياه والطاقة الكهربائية، حيث تتيح مراقبة مستوى الخزانات وكشف التسربات وتحسين كفاءة التوزيع والصيانة، كما تمتد هذه التقنيات إلى شبكات الخدمات الحكومية الأخرى مثل التعليم والصحة والمصارف مما يساهم في رفع جودة الخدمات وتحسين سرعة الاستجابة وفعالية الإدارة.

غير أن هذه الأنظمة لا تخلو من مخاطر إذ يمكن أن تتعرض للتلاعب بالبيانات أو للاختراق السيبراني مما قد يؤدي إلى تعطيل البنية التحتية الحيوية. وفي حالات متقدمة قد تصل هذه الهجمات إلى شلّ وظائف الدولة كما حدث في هجوم إلكتروني استهدف جمهورية إستونيا سنة 2007، حيث طالت الهجمات الجامعات والمصارف والمواقع الحكومية ما تسبب في اضطراب واسع وشلل جزئي في أداء الدولة.

ج. **البيئة الذكية والتنمية المستدامة:** يساهم الذكاء الاصطناعي في دعم التحول نحو الطاقة النظيفة من خلال تطوير مشاريع الطاقة المستدامة إضافة إلى تحسين إدارة الموارد المائية وترشيد استهلاكها والحفاظ على البيئة. كما يستخدم في التنبؤ بالمخاطر البيئية ومواجهة التحديات المرتبطة بالزراعة والتنوع البيولوجي وتغير المناخ مما يعزز قدرة المدن على تحقيق تنمية أكثر استدامة وكفاءة.

ومع ذلك فإن هذه التقنيات لا تخلو من تحديات بيئية إذ إن تكلفتها الطاقوية قد تكون مرتفعة خاصة مع الاعتماد المتزايد على تقنيات مثل الحوسبة السحابية وتقنية البلوك تشين. لذلك ما تزال الأبحاث مستمرة لتقليل الاستهلاك الكبير للطاقة المرتبط بهذه الأنظمة وتحسين كفاءتها البيئية.

ح. **التطبيقات الدكية في مجال الصحة والتعليم:** يساهم الذكاء الاصطناعي في تطوير خدمات الرعاية الصحية من خلال تحسين التشخيص الطبي وتطوير طرق العلاج والتدخل السريع مما ينعكس إيجابا على صحة ملايين الأفراد حول العالم وفق تقارير منظمة الصحة العالمية، كما يساعد في الكشف المبكر عن الأمراض وتحسين جودة الخدمات الطبية.

ومع ذلك تبرز مخاوف تتعلق بخصوصية البيانات الطبية مثل احتمال تسرب الملفات والمعلومات الشخصية للمرضى مما قد يؤثر على حياتهم الاجتماعية والمهنية.

وفي مجال التعليم يساهم الذكاء الاصطناعي في أتمتة المناهج وتسهيل الوصول إلى المعلومات مما يعزز التعلم الإلكتروني ويخلق بيئة تعليمية أكثر تفاعلية. لكن الاستخدام غير السليم لهذه التقنيات قد يؤدي إلى ضعف القدرات الذهنية والاعتماد المفرط على الآلة مما يستدعي الحفاظ على دور الإنسان كمحور أساسي في عملية التعلم وتطوير التفكير.

خ. **الاقتصاد الذكي:** يساهم الذكاء الاصطناعي بشكل كبير في دعم النشاط الاقتصادي داخل المدن الذكية من خلال تحسين عمليات التخطيط وصنع القرار عبر رفع دقة التحليل والتنبؤ بالمخاطر والفرص مما يعزز كفاءة استغلال الوقت ويرفع مستوى الأرباح. كما يساهم في زيادة إنتاجية اليد العاملة وخفض التكاليف عبر أتمتة العديد من الوظائف، إضافة إلى تطوير التسويق الذكي والتجارة الإلكترونية وتعزيز القدرة التنافسية للمؤسسات.

ومع ذلك فإن هذا التطور قد يؤدي إلى تقليص فرص العمل البشرية نتيجة الاستغناء عن بعض الوظائف واستبدالها بالآلات والأنظمة الذكية خاصة مع انتشار الذكاء الاصطناعي التوليدي. وتشير بعض التقديرات إلى احتمال استبدال مئات الملايين من الوظائف عالميا مما يشكل تحديا حقيقيا لحق الأفراد في العمل والعيش الكريم، مما يستدعي إيجاد توازن بين التطور التكنولوجي وحماية العمالة البشرية.

4. الطاقة المتجددة كدعامة أساسية للمدن الذكية المستدامة

يعد التكامل بين الذكاء الاصطناعي والطاقة المتجددة أحد الركائز الأساسية للتحول نحو المدن الذكية المستدامة حيث تمثل الطاقة المتجددة مثل الطاقة الشمسية وطاقة الرياح بديلا نظيفا للطاقة التقليدية، يهدف إلى تقليل الانبعاثات الكربونية والحد من التغير المناخي. وعليه يساهم الذكاء الاصطناعي في تعزيز كفاءة استخدام هذه الطاقات من خلال التنبؤ بالإنتاج الطاقوي اعتمادا على الظروف المناخية وتحسين إدارة الشبكات الكهربائية الذكية، وتوزيع الطاقة بشكل أكثر دقة حسب الطلب مما يقلل من الهدر ويرفع من كفاءة الاستهلاك. كما يدعم هذا التكامل إدارة الموارد الحضرية بشكل مستدام بما في ذلك المياه والبنية التحتية بما يضمن تحسين جودة الحياة داخل المدن.

1.4. مفهوم الطاقة المتجددة ومصادرها

الطاقة المتجددة هي الطاقة التي تتميز بأن مصادرها تتجدد بشكل مستمر أو لا تنضب مع مرور الوقت إذ تعتمد على موارد طبيعية تتكرر بشكل دوري في البيئة وتختلف هذه الطاقة عن الطاقة الأحفورية التي تتناقص مع الاستهلاك المستمر وقد تنفد مع الزمن.

ويقصد بالطاقة المتجددة أيضا الكهرباء أو الطاقة الناتجة عن مصادر طبيعية مثل الشمس والرياح والمياه والكتلة الحيوية وحرارة باطن الأرض، إضافة إلى بعض المصادر الأخرى مثل الوقود الحيوي والهيدروجين. ويعد الإشعاع الشمسي المصدر الأساسي لمعظم هذه الطاقات إلى جانب تأثيرات طبيعية أخرى مثل حركة المد والجزر الناتجة عن جاذبية القمر.

وتشمل أهم مصادر الطاقة المتجددة: الطاقة الشمسية، طاقة الرياح، الطاقة المائية، طاقة الكتلة الحيوية، الطاقة الجوفية (الحرارية الأرضية)، والوقود الحيوي. وتعتبر هذه الطاقات صديقة للبيئة لذلك تعرف أيضا باسم "الطاقة الخضراء" نظرا لدورها في تقليل التلوث وحماية المناخ. (طالم و كافي، 2019)

أ. **الطاقة الشمسية:** تسمى الطاقة المستمدة من الشمس بالطاقة الشمسية وهي أحد أهم مصادر الطاقة المتجددة. تعتمد هذه الطاقة على الخلايا الشمسية التي تقوم بتحويل ضوء الشمس مباشرة إلى كهرباء مما يوفر الطاقة لمختلف الاستخدامات بدءا من تزويد المنازل بالكهرباء وصولا إلى تشغيل الإنارة في الحدائق.

كما تستخدم محطات الطاقة الشمسية الكبيرة أو ما يعرف بمزارع الطاقة الشمسية حيث يتم تركيز أشعة الشمس لإنتاج كميات كبيرة من الطاقة بينما تركب الألواح الشمسية أيضا على أسطح المنازل لتوفير الطاقة بشكل مباشر. ويمكن استغلال الطاقة الشمسية بطريقتين: إما بشكل سلبي مثل تدفئة الهواء وتجفيف الملابس، أو بشكل نشط عبر استخدام التقنيات الحديثة لتحويلها إلى كهرباء أو حرارة.

وتعد الطاقة الشمسية مصدرا نظيفا للطاقة لأنها لا تنتج غازات دفيئة أو ملوثات للهواء لذلك تصنف ضمن "الطاقة الخضراء" خاصة إذا تم تصنيع وتركيب الألواح بطريقة مسؤولة بيئيا. كما يمكن إنشاء مزارع الطاقة الشمسية فوق المسطحات المائية وتعرف حينها بالخلايا الشمسية العائمة مما يزيد من كفاءة استخدام المساحات المتاحة.

ب. **الطاقة الحرارية الأرضية:** تخزن الطاقة الحرارية الأرضية في باطن الأرض وتنتج عن التحلل البطيء للعناصر المشعة الموجودة في نواة الكوكب داخل الصخور، وتختلف وفرة هذه الطاقة من منطقة إلى أخرى إذ تتركز غالبا في المناطق الجيولوجية النشطة مثل أيسلندا.

يمكن استغلال الطاقة الحرارية الأرضية في توليد الكهرباء أو في تدفئة المنازل بشكل مباشر حيث يتم حفر آبار لاستخراج المياه الساخنة جدا من باطن الأرض ونقلها إلى السطح لاستخدامها كمصدر للطاقة الحرارية. وتعد هذه الطاقة من المصادر المهمة للطاقة النظيفة نظرا لاعتمادها على حرارة الأرض الطبيعية واستمراريتها.

ت. **الطاقة الكهرومائية:** يعد هذا المصدر من أهم مصادر الطاقة المتجددة المستخدمة عالميا لإنتاج الكهرباء وغالبا ما يتميز بموثوقية أعلى مقارنة بالطاقة الشمسية وطاقة الرياح، كما يمكن من خلاله تخزين الطاقة واستخدامها لاحقا في فترات ذروة الطلب وتعتمد الطاقة الكهرومائية وطاقة الرياح على مبدأ مشابه حيث يتم استغلال حركة المياه أو الهواء لتدوير شفرات التوربينات وتشغيل المولدات الكهربائية.

وتعد الطاقة الكهرومائية حاليا من أكبر مصادر الطاقة المتجددة في بعض الدول مثل الولايات المتحدة إلا أن السدود الكبيرة قد تؤثر سلبا على البيئة والسكان، لأنها تغير مجرى المياه الطبيعي وتحد من وصول الكائنات الحية إلى الموارد المائية. في المقابل فإن محطات الطاقة الكهرومائية الصغيرة إذا أديرت بشكل جيد يمكن أن تقلل من هذه الآثار البيئية وتكون أقل ضررا على النظام البيئي المحلي.

ث. **طاقة الرياح:** تعد طاقة الرياح مصدرا من مصادر الطاقة النظيفة والمتجددة وتعتمد في عملها على استغلال قوة الرياح لتدوير شفرات التوربينات بطريقة مشابهة لطواحين الهواء القديمة. وقد أصبحت مزارع الرياح مشهدا شائعا في العديد من الدول مثل المملكة المتحدة نظرا لاعتمادها المتزايد على هذا النوع من الطاقة.

تاريخيا استخدمت طاقة الرياح في دفع السفن عبر الأشرعة أما اليوم فتستخدم لتوليد الكهرباء من خلال التوربينات التي تقوم بتشغيل المولدات، وتقام هذه التوربينات عادة في مناطق تتميز برياح قوية ومستمرة مثل السهول المفتوحة وقمم التلال لضمان أعلى كفاءة في إنتاج الطاقة.

ج. **طاقة الكتلة الحيوية:** تستخدم طاقة الكتلة الحيوية مواد عضوية مصدرها النباتات والحيوانات مثل المحاصيل والأشجار ومخلفات الأخشاب وبقايا النباتات. وتعتمد هذه الطاقة على تحويل المواد العضوية إلى وقود صلب أو سائل أو غازي مما يسمح بالاستفادة من النفايات الزراعية والصناعية والمنزلية في إنتاج الطاقة.

ويعد تحويل الكتلة الحيوية إلى كهرباء عملية أكثر كفاءة وأقل تكلفة من الناحية الاقتصادية والبيئية حيث يتم حرق هذه المواد لإنتاج حرارة تستخدم في تشغيل التوربينات البخارية وتوليد الكهرباء. ورغم أن بعض عمليات إنتاج الكتلة الحيوية قد تؤثر سلبا على التنوع البيولوجي أو تسبب انبعاثات كربونية في بعض الحالات إلا أن بعض أنواعها تعتبر منخفضة الكربون مقارنة بالوقود الأحفوري.

ح. **طاقة المد والجزر:** يعد هذا الشكل من الطاقة أحد أنواع الطاقة الكهرومائية حيث يتم استغلال حركة المدّ والجزر مرتين يوميا لتشغيل توربينات توليد الكهرباء، وتعتبر طاقة المدّ والجزر مصدرا متجددا للطاقة لأن هذه الظاهرة الطبيعية تنتج عن جاذبية القمر المستمرة للأرض.

ورغم أن إنتاج الطاقة من المدّ والجزر قد لا يكون ثابتا على مدار الوقت إلا أنه يعد موثوقا إلى حد كبير. ومع ذلك فإن استخدام هذه الطاقة يتطلب الحذر إذ قد تؤثر المنشآت مثل الحواجز والسدود المائية سلبا على البيئة البحرية والحياة البرية مما يستوجب دراسة الأثر البيئي قبل تنفيذ هذه المشاريع(Aynur , 2021) .

2.4. دور الذكاء الاصطناعي في إدارة الطاقة المتجددة

يعد الذكاء الاصطناعي من أبرز التقنيات الحديثة تأثيرا في العصر الراهن حيث شهدت قدراته تطورا متسارعا خلال السنوات الأخيرة، نتيجة التحسن الكبير في القدرة الحاسوبية والارتفاع الهائل في حجم البيانات المتاحة إضافة إلى التطورات المتقدمة في تصميم نماذج الذكاء الاصطناعي. وقد أسهمت هذه العوامل مجتمعة في توسيع نطاق استخدام هذه التقنية من قبل المؤسسات والشركات والأفراد على حد سواء.

وعلى الرغم من استمرار بعض التحفظات حوله فإن الذكاء الاصطناعي يمتلك إمكانات كبيرة لإحداث تحول جذري في قطاع الطاقة خلال العقد المقبل، إذ يتوقع أن يؤدي إلى زيادة الطلب على الكهرباء خاصة من مراكز البيانات العالمية، وفي المقابل يتيح فرصا مهمة لخفض التكاليف وتعزيز الكفاءة وتحسين القدرة التنافسية إضافة إلى تقليل الانبعاثات الكربونية.

وبناء على ذلك أطلقت وكالة الطاقة الدولية (IEA) في عام 2024 مبادرة بعنوان "**الطاقة من أجل الذكاء الاصطناعي، والذكاء الاصطناعي من أجل الطاقة**" بهدف دراسة وتعزيز الروابط المتبادلة بين القطاعين. كما نظمت الوكالة المؤتمر العالمي للطاقة والذكاء الاصطناعي، الذي شكل منصة دولية للحوار بين الحكومات وقطاعات الطاقة والتكنولوجيا والبحث العلمي والمجتمع المدني، من أجل دعم استراتيجيات التحول الطاقوي في ظل التطور الرقمي المتسارع(iea, 2026) .

يتوافق هذا المسار مع سيناريو تحقيق صافي انبعاثات صفرية بحلول عام 2050 والذي يركز على تقنيات رئيسية تشمل الطاقة الشمسية الكهروضوئية، والمركبات الكهربائية، وأنظمة الإضاءة الموفرة للطاقة. وقد شهدت الطاقة الشمسية الكهروضوئية في هذا السياق تطورا ملحوظا حيث بلغ معدل نموها السنوي في عام 2022 نحو 26%، وهو ما يتماشى مع متوسط معدل النمو السنوي المطلوب لتحقيق أهداف عام 2030 ضمن سيناريو الحياد الكربوني.

شهد عام 2022 تسارعا كبيرا في نشر تقنيات الطاقة النظيفة رغم أن العديد من مكوناتها لا تزال دون المستوى المطلوب عالميا ويعكس ذلك تسارع التحول نحو اقتصاد الطاقة النظيفة، حيث سجلت عدة مؤشرات تقدما مهما فقد ارتفعت مبيعات السيارات الكهربائية بنسبة 55% لتتجاوز

10 ملايين سيارة كما أصبحت القدرة الإنتاجية لبطاريات السيارات الكهربائية كافية لتلبية الطلب المتوقع بحلول عام 2030 ضمن سيناريو الانبعاثات الصفرية.

وفي السياق نفسه ارتفعت القدرة المضافة للطاقة النووية بنسبة 40% مع إضافة 8 جيجاواط وهو ما يمثل تحسنا بعد فترة من الاستقرار بين عامي 2019 و2021. كما سجلت مضخات الحرارة نموا بنسبة 11% مقتربة من المعدل السنوي المطلوب لتحقيق أهداف خفض الانبعاثات. كذلك ارتفعت قدرة أجهزة التحليل الكهربائي بأكثر من 20% مع زيادة في القدرة الإنتاجية التي تجاوزت 25% ما يشير إلى تسارع التطور في هذا المجال.

كما تحسنت كفاءة الطاقة في الاقتصاد العالمي بشكل ملحوظ حيث تضاعف معدل التحسن مقارنة بالعام السابق وهو ما يعكس تعافيا بعد سنوات من الأداء الضعيف نسبيا. ويلاحظ أن التقدم في التحول الطاقوي يتركز في القطاعات التي تمتلك تقنيات ناضجة وتكاليف أقل مثل توليد الكهرباء والنقل الخاص، بينما لا يزال تحقيق الحياد الكربوني الكامل يتطلب إزالة الكربون من مختلف قطاعات إنتاج واستهلاك الطاقة خاصة الصناعات الثقيلة والنقل طويل المدى التي تحتاج إلى مزيد من الابتكار والتطوير التقني.

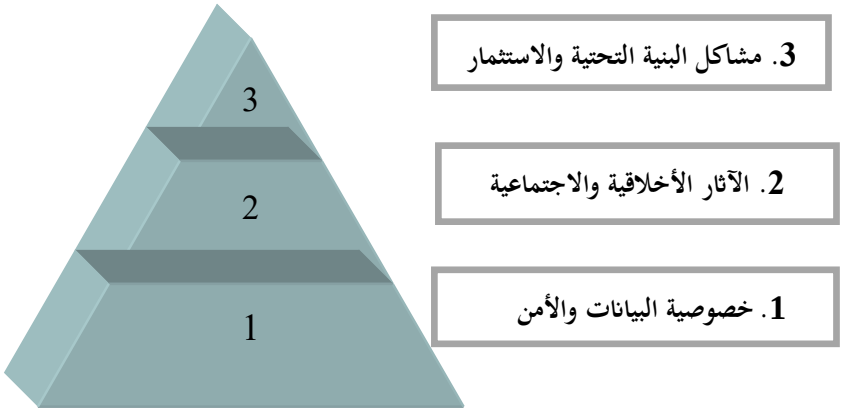
كما يتفاوت هذا التقدم بشكل واضح بين المناطق الجغرافية والقطاعات المختلفة فعلى سبيل المثال تتركز نسبة كبيرة من مبيعات السيارات الكهربائية في الصين والولايات المتحدة وأوروبا، في حين تتركز غالبية مشاريع احتجاز الكربون في أمريكا الشمالية وأوروبا. ويؤكد ذلك أن التقدم العالمي في تقنيات الطاقة والتحول الرقمي لا يتحقق بنفس الوتيرة في جميع الدول وهو ما ينعكس أيضا على مسار تطوير المدن الذكية، حيث تختلف قدرة الدول على بناء مدن ذكية مستدامة تبعا لمستوى البنية التحتية والتكنولوجيا والتمويل المتاح.

وفي هذا السياق فإن نجاح المدن الذكية لا يعتمد فقط على توفر التقنيات الحديثة بل يتطلب أيضا تحقيق عدالة في توزيع الابتكار وتعميمه بما يسمح بتقليص الفجوة الرقمية والطاقوية بين الدول لذلك يصبح تعزيز التعاون الدولي وتطوير سياسات فعالة أمرا ضروريا لضمان استفادة جميع المدن، خصوصا في الأسواق الناشئة والاقتصادات النامية من مزايا التحول نحو المدن الذكية المستدامة (iea, Tracking Clean Energy Progress 2023, 2023) .

3.4. التحديات التي تواجه المدن الذكية المستدامة

تواجه تطبيقات الذكاء الاصطناعي في المدن الذكية ثلاثة تحديات رئيسية تتمثل في: حماية خصوصية البيانات، وضمان الحوكمة الأخلاقية، ومعالجة التفاوت في البنية التحتية، ويعرض الشكل الموالي تصورا مرئيا يبين مدى الترابط والتداخل بين هذه التحديات.

الشكل (03): هرم تحديات المدن الذكية



Source: (Joel & and others, 2025)

أ. **خصوصية البيانات والأمن:** مع التوسع المتزايد في توظيف تقنيات الذكاء الاصطناعي وإنترنت الأشياء والبيانات الضخمة داخل المدن الذكية برزت قضايا خصوصية البيانات وأمنها باعتبارها من أبرز التحديات المعاصرة، إذ تؤدي الكميات الهائلة من البيانات الناتجة عن أجهزة الاستشعار والأجهزة الذكية وتفاعلات المستخدمين إلى إثارة إشكاليات تتعلق بالمراقبة وآليات الموافقة وإمكانية إساءة استخدام البيانات. ويعد استخدام تقنيات التعرف على الوجوه في الأماكن العامة في الصين مثالا واضحا على نماذج المراقبة المكثفة وهو ما يتعارض

بصورة ملحوظة مع نهج اللائحة العامة لحماية البيانات في الاتحاد الأوروبي(GDPR) التي تركز على حماية حقوق الأفراد الرقمية وضرورة الحصول على موافقة صريحة لمعالجة البيانات.

لذلك تزداد المخاوف المرتبطة بالبنى المركزية لتخزين البيانات بسبب قابليتها للتعرض للاختراقات الأمنية الأمر الذي دفع إلى البحث عن بدائل أكثر أمانا مثل الحلول اللامركزية القائمة على تقنية البلوك تشين. كما برزت تقنيات التعلم الموحد (Federated Learning) ونماذج أخرى حديثة بوصفها وسائل فعالة لتحقيق التوازن بين وظائف المدن الذكية ومتطلبات حماية الخصوصية من خلال معالجة البيانات محليا بدلا من تجميعها في قواعد بيانات مركزية.

وعلى الرغم من هذه التطورات لا يزال تحقيق التوازن بين الابتكار القائم على البيانات وضمان الحق في الخصوصية يمثل تحديا جوهريا أمام الحكومات وصناع القرار ويتضح ذلك من خلال مشروع "سايدووك لابز" في مدينة تورنتو الذي واجه انتقادات واسعة واحتمال الإلغاء نتيجة مخاوف الجمهور المتعلقة بغموض سياسات إدارة البيانات وإشكاليات المراقبة، كذلك تعرضت عدة مشاريع للمدن الذكية في الهند لانتقادات بسبب اعتمادها على جمع بيانات الوجه والبيانات البيومترية دون وجود أطر قانونية واضحة للموافقة، مما أثار تساؤلات متزايدة حول حماية الحقوق الرقمية للمواطنين لا سيما في الاقتصادات الناشئة.

ب. **الآثار الأخلاقية والاجتماعية:** أثار استخدام أنظمة الذكاء الاصطناعي في إدارة المدن الذكية العديد من القضايا الأخلاقية المعقدة نظرا لما قد تتضمنه الخوارزميات من تحيزات تؤدي إلى قرارات غير عادلة في مجالات حيوية، مثل الأمن، والرعاية الصحية، وتوزيع الخدمات الاجتماعية، كما أسهم التطور التكنولوجي المرتبط بالذكاء الاصطناعي في تقليص بعض الوظائف التقليدية خاصة في قطاعات النقل والخدمات اللوجستية والإدارة، الأمر الذي قد يزيد من حدة التفاوتات الاجتماعية في حال غياب برامج فعالة لتطوير المهارات وإعادة التأهيل المهني.

وقد أظهرت بعض التجارب العملية هذه التحديات بوضوح، ففي الولايات المتحدة تعرضت أدوات الشرطة المعتمدة على الخوارزميات لانتقادات بسبب استهدافها غير المتناسب للأقليات مما أدى إلى تعزيز أنماط التحيز التاريخية. وفي لندن أثيرت مخاوف بشأن أنظمة تقييم الرعاية الاجتماعية المدعومة بالذكاء الاصطناعي بعد تصنيفها للأسر الضعيفة دون وجود إشراف بشري كاف الأمر الذي دفع إلى المطالبة بمزيد من الشفافية في القرارات الآلية.

إضافة إلى ذلك تمثل الفجوة الرقمية تحديا رئيسيا أمام تحقيق الشمولية في المدن الذكية إذ قد يحرم الأفراد الذين يفتقرون إلى خدمات الإنترنت عالي السرعة أو التقنيات الرقمية من الاستفادة الكاملة من مزايا هذه المدن. ومن ثم فإن معالجة هذه الإشكاليات لا تقتصر على تطوير حلول تقنية مثل تقليل التحيز وتعزيز قابلية تفسير أنظمة الذكاء الاصطناعي بل تتطلب أيضا تبني نماذج حوكمة تشاركية تركز على العدالة والشفافية وتمكين المواطنين. وفي هذا الإطار اتجهت بعض المدن مثل أمستردام إلى إنشاء مجالس متخصصة لأخلاقيات الذكاء الاصطناعي تضم ممثلين عن المجتمع المدني للمشاركة في مراجعة الخوارزميات وتعزيز الحوكمة الشاملة.

ت. **مشاكل البنية التحتية والاستثمار:** يعتمد نجاح المدن الذكية القائمة على الذكاء الاصطناعي على توافر بنية تحتية رقمية متطورة تشمل شبكات النطاق العريض عالية السرعة وأنظمة الاستشعار الموزعة وتقنيات الحوسبة السحابية والحافة، إضافة إلى مرافق آمنة لتخزين البيانات. ومع ذلك لا تزال الفجوة الرقمية واضحة بين المدن المتقدمة مثل سنغافورة ولندن وبين العديد من المدن النامية التي تعاني من ضعف الاستثمار في البنية التحتية الرقمية. ففي مدن مثل نيروبي أدى ضعف تغطية الإنترنت وتقادم شبكات الكهرباء إلى إبطاء تنفيذ المرافق الذكية وأنظمة النقل الحديثة مما يبرز أهمية جاهزية البنية التحتية كأساس لأي تحول ذكي قائم على الذكاء الاصطناعي.

كما تسهم القيود المالية ومحدودية ميزانيات القطاع العام في تعميق هذه الفجوة الأمر الذي دفع إلى الاعتماد على الشراكات بين القطاعين العام والخاص بوصفها آلية رئيسية لتمويل مشاريع البنية التحتية. ورغم دور هذه الشراكات في دعم التطوير التقني فإنها تثير تحديات تتعلق بالحوكمة والشفافية وضمان التوزيع العادل للخدمات. إضافة إلى ذلك تواجه العديد من المدن صعوبات كبيرة في تحديث الأنظمة القديمة مما يحد من قدرتها على تبني تطبيقات الذكاء الاصطناعي والتحليلات الفورية. ويتضح ذلك في تجربة برشلونة حيث أعاقت البنية التحتية التقليدية لوسائل النقل جهود توسيع أنظمة النقل الذكية لتشمل الأحياء الخارجية إضافى أن غياب التخطيط الاستراتيجي وآليات التمويل الشاملة قد يؤدي إلى تحول المدن الذكية إلى مشاريع محدودة الفائدة لا يستفيد منها سوى جزء من سكان المدينة.

5. مشروع نيوم كنموذج للمدينة الذكية وتكامل الذكاء الاصطناعي

في القرن الحادي والعشرين أصبح التوسع الحضري السريع اتجاها عالميا متزايدا حيث تشهد المدن نموا سكانيا وكثافة عمرانية متزايدة، مما أسهم في بروز مفهوم "المدن الذكية" بوصفه استجابة للتحديات والفرص الناتجة عن هذا التوسع. ويعتمد هذا المفهوم على توظيف البيانات والتقنيات الحديثة لتحسين جودة الحياة الحضرية، حيث يلعب الذكاء الاصطناعي دورا محوريا في دعم هذا التحول من خلال دمج التقنيات المتقدمة والحلول القائمة على البيانات في مختلف القطاعات مثل النقل، والرعاية الصحية، وإدارة الطاقة، والخدمات العامة، بما يتيح إحداث تحول جذري في أساليب إدارة المدن وتعزيز كفاءتها واستدامتها.

وفي هذا السياق تعد مدينة نيوم مثالا بارزا على مشاريع المدن الذكية الطموحة إذ تجسد رؤية مستقبلية تعتمد على الابتكار والتقنيات المتقدمة لإعادة تشكيل أنماط الحياة الحضرية. وتهدف هذه المشاريع إلى دمج الذكاء الاصطناعي ضمن البنية التحتية والخدمات الأساسية بما يسهم في بناء نموذج حضري متكامل يقوم على الاستدامة والرقمنة وتحسين جودة الحياة.

1.5. نبذة عن مشروع نيوم بالمملكة العربية السعودية

تم الإعلان عن مشروع نيوم في أكتوبر 2017 من قبل ولي العهد الأمير محمد بن سلمان وذلك في إطار رؤية المملكة العربية السعودية 2030 بوصفه أحد المشاريع التنموية والاستثمارية الكبرى ذات البعد الإقليمي والعالمي. ويعد المشروع عنصرا أساسيا في تحقيق مستهدفات الرؤية من خلال التركيز على الابتكار والتقنيات الحديثة والتنمية المستدامة بهدف إعادة تشكيل مستقبل القطاعات الاقتصادية والحضرية.

انطلقت عملية اختيار اسم المشروع ضمن اجتماعات المجلس التأسيسي بقيادة سمو ولي العهد وبمشاركة نخبة من الخبراء والمختصين حيث جرت مناقشات موسعة لاختيار اسم يعكس الهوية العالمية والطموح الحضاري للمشروع، وقد خضعت التسمية لمراحل دقيقة من الفرز إذ تم اقتراح نحو 2000 اسم ثم تقليصها إلى 150 اسما وصولا إلى خمسة أسماء دون التوصل إلى اختيار نهائي، كما طرحت مقترحات بتسمية المشروع باسم سمو ولي العهد أو دمج اسمه مع اسم المشروع مثل (NEOVIA MBS) و(NMBS)، إلا أن هذا الخيار رفض بهدف الحفاظ على الطابع العالمي والمحايد للاسم.

وبعد جلسات عصف ذهني موسعة تم اعتماد مزيج رمزي من الكلمات والأحرف التي تمثل قطاعات المشروع المختلفة مثل الإعلام والرياضة والتكنولوجيا والطاقة، لينتج عنها اسم(NEO MSTACBEL) الذي تم اختصاره لاحقا بالاعتماد على حرف "M" الذي يرمز إلى "مستقبل" وإلى اسم محمد بن سلمان مع كلمة "NEO" التي تعني "الجديد" لينتهي المشروع إلى الاسم النهائي"NEOM" والذي يجسد رؤية مستقبلية طموحة لبناء مدينة عالمية مبتكرة تخدم الإنسانية وتدعم التنمية المستدامة. (نيوم، 2023)

يمثل مشروع نيوم أحد أبرز المشاريع التنموية الطموحة ضمن إطار رؤية المملكة العربية السعودية 2030، إذا يمثل نيوم المشروع التنموي الشامل الذي يضم عددا من المشاريع الفرعية المتكاملة، من بينها مشروع "ذا لاين" الذي يعد المدينة الذكية الرئيسة داخل نيو، باعتباره مشروعا استراتيجيا يهدف إلى إحداث تحول اقتصادي وتنموي شامل وتعزيز دور المملكة في مجالات الابتكار والتقنيات المتقدمة والتنمية المستدامة، ويقوم المشروع على رؤية مستقبلية تهدف إلى تطوير قطاعات متعددة مثل السياحة، والتعليم، والتكنولوجيا، والرياضة، مع التركيز على بناء اقتصاد متنوع قائم على المعرفة والتقنيات الحديثة إضافة إلى استقطاب الشركات العالمية في مجال الذكاء الاصطناعي وتوطينها داخل المملكة بما يسهم في خلق فرص عمل جديدة وتعزيز الاقتصاد الوطني.

ويعد الذكاء الاصطناعي أحد الركائز الأساسية في مشروع نيوم حيث يتوقع أن يسهم في تطوير بيئة حضرية ذكية تعتمد على الأتمتة والتقنيات الرقمية المتقدمة بما يشمل البنية التحتية والخدمات العامة. كما يتضمن المشروع تصورات لمدن مستقبلية متقدمة تعتمد على أنماط معيشية مبتكرة مثل المدن الخطية والأنظمة الذكية لإدارة الموارد، والروبوتات، والواقع الافتراضي والمعزز، إلى جانب تطوير مرافق متقدمة مثل المنتجعات السياحية الذكية التي تدمج بين الإنسان والتكنولوجيا.

ويرتبط مشروع نيوم بشكل مباشر بأهداف رؤية 2030 لا سيما في ما يتعلق بتنويع مصادر الدخل الوطني وتقليل الاعتماد على النفط إضافة إلى تعزيز مكانة المملكة على الصعيد الدولي. كما يسعى المشروع إلى بناء مجتمع حضري متقدم يوفر جودة حياة عالية ويستقطب الكفاءات والاستثمارات العالمية مع التركيز على تمكين الشباب وتوفير فرص العمل وتطوير حلول مبتكرة للتحديات الحضرية والاقتصادية (Cugurullo, 2026) . وقد تمثلت أهداف نيوم الرئيسية فيما يلي:(Algumzi, 2022)

- تعتمد مدينة نيوم على تخطيط حضري يهدف إلى تلبية الاحتياجات اليومية للسكان خلال خمس دقائق سيرا على الأقدام، مما يقلل الاعتماد على وسائل النقل التقليدية ويحد من استخدام السيارات داخل المدينة.
- تم تطوير نظام نقل متكامل يعتمد على تقنيات الذكاء الاصطناعي ويشمل شبكة نقل جماعي فائقة السرعة تمتد على طول المدينة بما يعزز كفاءة الحركة والتنقل.
- ترتكز نيوم على بنية رقمية متقدمة تربط بين الشركات والمجتمعات مع استخدام الذكاء الاصطناعي في تحليل أكثر من 90% من البيانات بشكل مستمر بهدف تقديم خدمات تنبؤية وتحسين جودة الخدمات.
- تسعى المدينة إلى أن تكون مركزا عالميا للابتكار من خلال استقطاب الشركات والمؤسسات البحثية الناشئة ودعم تطوير وتسويق التقنيات الحديثة بما يسرع التقدم البشري.
- تعمل نيوم على دمج الطبيعة داخل النسيج الحضري مع الحفاظ على المناظر الطبيعية بهدف تحقيق توازن بين الحياة العصرية والاستدامة البيئية وتوفير أسلوب حياة عالي الجودة.

2.5. البنية التحتية للطاقة المتجددة في نيوم وآفاق الاستدامة

في عام 2017 أطلق صاحب السمو الملكي الأمير محمد بن سلمان بن عبد العزيز ولي العهد رئيس مجلس الوزراء مشروع نيوم الجريء الذي يقوده صندوق الاستثمارات العامة ليحول الصحراء إلى مدينة مستقبلية مبتكرة في شمال غرب المملكة العربية السعودية، إذ يعمل المشروع بنسبة 100% بالطاقة المتجددة، لتكون نموذجا جديدا للحياة المستدامة والعمل والازدهار، حيث يمكن البشرية من التقدم دون المساس بصحة كوكب الأرض، ويشتمل نيوم على مشاريع عصرية تشكل جزءا أساسيا منها وهي: ذا لاين، أوكساجون، تروجينا، وسندالة. (رؤية السعودية 2030، 2025)

الجدول (02): مؤشرات مساهمات الطاقة المتجددة في تحقيق الاستدامة في مشروع نيوم

المؤشر	القيمة المستهدفة	البعد المستدام
الاعتماد على الطاقة المتجددة	100%	البيئة الذكية
الحياد الكربوني	مدينة صفرية الانبعاثات	البيئة الذكية
المحافظة على الطبيعة	95%من أراضي المشروع	البيئة الذكية
إنتاج الهيدروجين الأخضر	أكبر مصنع للهيدروجين الأخضر عالميا	البيئة الذكية/الاقتصاد الذكي
قيمة استثمار مشروع الهيدروجين	8.4مليار دولار	الاقتصاد الذكي

المصدر: من إعداد الباحثتين اعتمادا على (Neom, 2023)

يوضح الجدول مؤشرات مساهمات الطاقة المتجددة في تحقيق الاستدامة في مشروع نيوم، فقد تم تخصيص استثمارات تقدر بنحو 8.4 مليار دولار أمريكي لإنشاء أكبر منشأة عالمية لإنتاج الهيدروجين الأخضر تعتمد على دمج ما يصل إلى 4 جيجاواط من الطاقة الشمسية وطاقة الرياح ومن المتوقع أن تنتج المنشأة نحو 600 طن يوميا من الهيدروجين الخالي من الكربون بحلول عام 2026 بما يسهم في توفير بديل نظيف للوقود التقليدي في قطاعي النقل والصناعة، كما يتوقع أن يؤدي المشروع إلى خفض ما يقارب 5 ملايين طن من انبعاثات ثاني أكسيد الكربون سنويا الأمر الذي يعزز مساهمته في تحقيق أهداف الحياد الكربوني والتنمية المستدامة، وإلى جانب البعد البيئي يدعم المشروع الاستدامة الاقتصادية الذكية من خلال حصوله على تمويل أخضر متوافق مع مبادئ القروض الخضراء وبمشاركة 23 مؤسسة مالية محلية ودولية، فضلا عن إبرام اتفاقية شراء حصرية لمدة 30 عاما للأمونيا الخضراء المنتجة بما يضمن الجدوى الاقتصادية واستمرارية الاستثمار في قطاع الطاقة المتجددة على المدى الطويل. (Neom, 2023)

في إطار دعم رؤية السعودية 2030 من خلال تعزيز كفاءة الطاقة وحماية الموارد الطبيعية في المملكة العربية السعودية، تبنى مشروع نيوم المهام التالية: (نيوم، مستقبل واعد للأرض والانسان، 2026)

أ. **الإنتاج الواسع للطاقة المتجددة**: تبني نيوم من خلال شركاتها إينووا للطاقة والمياه أول نظام متكامل للطاقة المتجددة بنسبة 100% على نطاق واسع في العالم.

ب. الطاقة المتجددة نظيفة وآمنة وبتكلفة معقولة: بالاستفادة من موقعها الجغرافي الفريد، الذي يتيح الوصول إلى موارد وفيرة من طاقة الرياح والطاقة الشمسية، تعمل نيوم على إنشاء بنية تحتية متطورة لشبكة ذكية تنقل الطاقة الشمسية الكهروضوئية وطاقة الرياح النظيفة مباشرةً من مصدرها إلى أماكن الطلب.

ت. نظام ذكي مدعوم رقميا (بنية تحتية تتمحور حول العميل): سيتم دمج التقنيات الرقمية والذكاء الاصطناعي في منظومة الطاقة المتجددة في نيوم. حيث ستتيح الشبكات الذكية ومنصة الطاقة الرقمية توفير الطاقة على النحو الأمثل، مع التكيف التلقائي مع تغيرات العرض والطلب.

ث. الابتكار في الهيدروجين والوقود الأخضر: تعمل نيوم على تنمية اقتصاد الهيدروجين وتطوير منظومته من خلال الشركات والاستثمارات، بما في ذلك إطلاق أول مركز لابتكار الهيدروجين في المنطقة، بالإضافة إلى مركز لابتكار وتطوير الهيدروجين(HIDC) ، ومعهد البحوث التطبيقية .

من المتوقع أن يزداد الطلب العالمي على الطاقة بنسبة تروح بين 20 و50% بحلول عام 2050، ما يستدعي حلولا مستدامة وقابلة للتوسع في مجال الطاقة لتلبية الاحتياجات المتزايدة من دون أن تفاقم من أزمة تغير المناخ، إذ يهدد الارتفاع المتزايد في انبعاثات الكربون بتهجير 400 مليون شخص بحلول عام 2100 نتيجة ارتفاع مستوى سطح البحر. وللحد من الاحتباس الحراري إلى 1.5 درجة مئوية يجب خفض الانبعاثات الكربونية بنسبة 45% بحلول 2030، وتحقيق الحياد الصفري للكربون بحلول 2050. ومن أجل ذلك سيتم تنفيذ البنية التحتية للطاقة في نيوم على مراحل حتى عام 2045 بهدف ضمان الاعتماد بشكل كامل على مصادر الطاقة المتجددة مستفيدة من الموارد المثالية لطاقة الرياح والطاقة الشمسية في منطقة شمال غربي المملكة العربية السعودية، ولضمان تلبية الاحتياجات الحالية من الطاقة نجحت نيوم بربط عدة مناطق بشبكة الكهرباء بما في ذلك تشغيل نقطة التغذية الرئيسية الواقعة شمال أوكساجون، والتي تعد أول وجهة ذات طاقة عالية الجهد من شركة إينووا.

من بين أهم المشاريع التي اشتملها نيوم هو "أوكساجون" والتي تعد نموذجا متقدما للمدن الصناعية المستقبلية وتهدف إلى إعادة تصور حياتنا وعملنا بأساليب مبتكرة، أما بالنسبة للطاقة المتجددة ستعمل "أوكساجون" على دمج مفاهيم الثورة الصناعية الرابعة مع مبادئ الاقتصاد الدائري لتأسيس منظومة صناعية نظيفة، ستضم المدينة المخصصة لهذا الغرض الروبوتات والأتمتة والذكاء الاصطناعي وإنترنت الأشياء، على عكس المراكز التقليدية التي تركز على تجديد البنية التحتية القديمة. كما ستتبنى هذه المدينة الصناعية التي تهدف إلى الاعتماد على الطاقة المتجددة ممارسات نيوم لتمكين المُصنِعين من العمل بكفاءة واستدامة وربحية أكبر، كما وتتمتع أوكساجون بموقع استراتيجي على ساحل البحر الأحمر بالقرب من ممرات الشحن العالمية مما يجعلها القاعدة المثالية لمصانع المستقبل. (أوكسجون، 2026)

في حين يعد مشروع "ذا لاين" ثورة في الحياة الحضرية إذ يضع الإنسان على رأس أولوياته بمنحه تجربة معيشة حضرية غير مسبوقة مع الحفاظ على الطبيعة المحيطة به، وبالتالي سوف يعمل مشروع "ذا لاين" على تعريف مفهوم التنمية الحضرية وما يجب أن تكون عليه المدن في المستقبل، سيحتضن "ذا لاين" 9 ملايين نسمة داخل مدينة ستبنى على مساحة 34 كم^2 فقط وبالتالي ستصل آثار البنية التحتية إلى أدنى مستوياتها لتكون النتيجة مستويات فائقة من الكفاءة غير المسبوقة في توظيف موارد المدينة. كما سيضمن المناخ المثالي على مدار العام للسكان الاستمتاع بالطبيعة المحيطة والوصول إلى جميع المرافق في غضون 5 دقائق مشيا، بالإضافة إلى منظومة متكاملة للتنقل عبر قطار فائق السرعة يصل بين أقصى نقطتين داخل "ذا لاين" في مدة لا تتجاوز 20 دقيقة، وتتفرد المدينة بخلوها من الشوارع والسيارات وبالتالي فهي خالية من الانبعاثات الكربونية إذ ستمد المدينة بالكامل طاقة متجددة بنسبة 100% كما ستكون 95% من مساحة نيوم طبيعة محمية لن تمس، وستصمم وسائل التنقل والبنية التحتية لخدمة الإنسان وليس العكس كما يحدث في المدن التقليدية. وستبلغ مدينة "ذا لاين" 200م عرضا، و170 كم طولا، و500م ارتفاعا فوق سطح البحر. (لاين، 2026)

3.5. نيوم بين الذكاء الاصطناعي والاستدامة: رؤية مستقبلية وتحديات واقعية

تتيح الروبوت صوفيا ومنحها الجنسية السعودية عام 2017 مدخلا لمناقشة الأفكار الرئيسية التي تسعى نيوم إلى ترسيخها خاصة فيما يتعلق بالذكاء الاصطناعي والمدن المستقبلية. وتشير الدراسات النقدية الحديثة مثل أعمال Federico Cugurullo (هو أكاديمي وباحث متخصص في دراسات المدن الذكية، والاستدامة الحضرية وعلاقة الذكاء الاصطناعي بالتخطيط الحضري) إلى أن مشاريع المدن الذكية غالبا ما تصمم ضمن استراتيجيات سياسية واقتصادية أوسع تهدف إلى تشكيل أنماط جديدة من الوعي والتقدم التكنولوجي، وتقدم نيوم باعتبارها مساحة حضرية تجريبية توظف تقنيات الذكاء الاصطناعي والروبوتات لبناء نموذج عالمي جديد للحياة الحضرية المستدامة.

كما تتقاطع تصورات نيوم مع فكرة "المواطنة الآلية" حيث ينظر إلى الذكاء الاصطناعي بوصفه عنصرا أساسيا في إدارة المدينة وتنظيم الحياة اليومية فيها، ويظهر ذلك بوضوح في مشروع "ذا لاين" الذي يقدم كنموذج عالمي للتخطيط الحضري المستدام قائم على دمج التكنولوجيا المتقدمة مع مفاهيم الاستدامة البيئية، وترى بعض الدراسات أن نيوم تمثل امتدادا لتجارب المدن التجريبية المعاصرة التي تستخدم فيها المساحات الحضرية لاختبار التقنيات الجديدة وتطويرها قبل تعميمها عالميا.

الجدول (03): مؤشرات مساهمة الذكاء الاصطناعي في تحقيق الاستدامة

المؤشر	التطبيق في نيوم	أثره على الاستدامة
الشبكات الذكيةSmart Grids	إدارة الطلب والعرض للطاقة آليا	رفع كفاءة الطاقة
منصة الطاقة الرقمية	مراقبة الاستهلاك لحظياً	تقليل الهدر
أنظمة النقل الذكية	إدارة الحركة دون سيارات تقليدية	خفض الانبعاثات
الخدمات المؤتمتة	تشغيل الخدمات باستخدام الذكاء الاصطناعي	تحسين الكفاءة التشغيلية
إدارة البيانات الضخمة	التنبؤ بالاحتياجات المستقبلية	دعم اتخاذ القرار المستدام

المصدر: من اعداد الباحثتين اعتمادا على (Neom, energy, 2023)

يوضح جدول مؤشرات مساهمة الذكاء الاصطناعي في تحقيق الاستدامة والدور الذي تؤديه التقنيات الذكية في دعم أهداف الاستدامة داخل مشروع نيوم إذ يسهم الذكاء الاصطناعي في تحسين كفاءة استخدام الموارد من خلال إدارة الشبكات الذكية ومراقبة استهلاك الطاقة بصورة آنية مما يساعد على تقليل الهدر ورفع كفاءة التشغيل، كما تدعم أنظمة النقل الذكية والتنقل المستدام خفض الانبعاثات الكربونية وتحسين جودة الحياة الحضرية إضافة إلى ذلك تتيح تطبيقات البيانات الضخمة والتحليلات التنبؤية اتخاذ قرارات أكثر دقة فيما يتعلق بإدارة البنية التحتية والخدمات العامة الأمر الذي يعزز الاستدامة البيئية والاقتصادية والاجتماعية للمشروع، وتؤكد هذه المؤشرات أن الذكاء الاصطناعي لا يمثل مجرد أداة تقنية بل يشكل عنصرا أساسيا في بناء نموذج مدينة ذكية قادرة على تحقيق التنمية المستدامة بكفاءة عالية.

وفي هذا الإطار أصبحت نيوم بيئة مناسبة لتجربة تقنيات متقدمة مثل المركبات الطائرة، والأنظمة الذاتية، وتقنيات جمع البيانات الضخمة، وهو ما يثير نقاشات متزايدة حول الخصوصية، والرقابة، وحدود استخدام الذكاء الاصطناعي في الحياة اليومية. ويرى بعض الباحثين أن هذه المشروعات قد تسهم في تعزيز الابتكار والتطور الحضري، بينما يحذر آخرون من احتمالية تحولها إلى أدوات للهيمنة التقنية والسياسية.

ومن منظور الاستدامة تقدم نيوم بوصفها مشروعا يعتمد على الطاقة المتجددة والتخطيط البيئي الحديث إلا أن هناك انتقادات تشير إلى وجود تناقض بين الخطاب البيئي للمشروع والواقع الجغرافي والاجتماعي للمنطقة، فمشروع "ذا لاين" مثلا يشق منطقة صحراوية ذات نظم بيئية حساسة كما يتطلب بنية تحتية ضخمة قد تؤثر في الموارد الطبيعية والحياة البرية المحلية. إضافة إلى ذلك أثيرت قضايا اجتماعية تتعلق بتهجير بعض السكان المحليين من أجل تنفيذ المشروع.

لذلك يرى عدد من الباحثين أن نيوم تعكس التوتر القائم بين طموحات الاستدامة والتطور التكنولوجي من جهة، والتحديات الاجتماعية والبيئية والسياسية من جهة أخرى. وبالرغم من تقديم المشروع باعتباره نموذجا عالميا للمدن المستقبلية فإن نجاحه الحقيقي سيعتمد على قدرته على تحقيق توازن فعلي بين الابتكار التقني، وحماية البيئة، واحترام المجتمعات المحلية وحقوق الإنسان.

4.5. تقييم مؤشرات الاستدامة في مشروع نيوم

يعد مشروع نيوم من أبرز النماذج العالمية التي تسعى إلى توظيف تقنيات الذكاء الاصطناعي والطاقة المتجددة لتحقيق أهداف الاستدامة، فقد اعتمد المشروع على حلول ذكية لإدارة الطاقة والخدمات والبنية التحتية إلى جانب الاعتماد الواسع على مصادر الطاقة المتجددة بما يعزز الكفاءة التشغيلية ويحد من الآثار البيئية، وانطلاقا من ذلك يمكن تقييم مدى مساهمة هذه التقنيات في تحقيق الاستدامة من خلال مجموعة من المؤشرات الرئيسة، وذلك باستخدام مقياس خماسي للتقييم تتراوح درجاته من (1) إلى (5)، حيث تمثل الدرجة (5) أعلى مستوى من تحقيق المؤشر، ويمثل الجدول الموالي ذلك:

الجدول (05): تقييم بعض مؤشرات الاستدامة في مشروع نيوم

البعد	المؤشر	درجة التحقق
البيئة الذكية	100%طاقة متجددة	5/5
البيئة الذكية	حماية 95% من الطبيعة	5/4,5
التقنيات الذكية	دمج الذكاء الاصطناعي في إدارة الطاقة	5/5
الاقتصاد الذكي	الاستثمار في الهيدروجين الأخضر	5/5
المجتمع الذكي	تقليل زمن التنقل وتحسين جودة الحياة	4/5

المصدر: من اعداد الباحثتين.

يتضح من نتائج التقييم الموضحة في الجدول أعلاه أن مشروع نيوم حقق درجات مرتفعة في معظم مؤشرات الاستدامة ومدى اعتماده على الطاقة المتجددة والعمل على خفض الانبعاثات الكربونية وكذا توظيف تقنيات الذكاء الاصطناعي في إدارة البنية التحتية والخدمات الحضرية داخل المشروع، مما يعكس ذلك توجه المشروع نحو بناء نموذج متكامل للمدينة الذكية المستدامة يجمع بين الابتكار التقني والكفاءة البيئية والتنمية الاقتصادية الذكية، كما تشير النتائج إلى أن التكامل بين الذكاء الاصطناعي والطاقة المتجددة يمثل أحد أهم العوامل الداعمة لتحقيق أهداف الاستدامة طويلة المدى في مشروع نيوم.

الخلاصة

تناولت هذه الدراسة مشروع نيوم بوصفه نموذجا للمدن المستقبلية الذكية التي تقوم على توظيف الذكاء الاصطناعي والطاقة المتجددة، وقد تم في البداية التطرق إلى مفهوم المدن الذكية المستدامة وأبعادها مع الإشارة إلى توجه عدد من الدول العربية نحو تبني هذا النوع من المدن، ومن بينها الجزائر، والمملكة العربية السعودية، ومصر، والبحرين.

كما تناولت الدراسة مفهوم الذكاء الاصطناعي ودوره في إدارة المدن الذكية المستدامة من خلال تقديم حلول حديثة وفعالة لمجموعة من المشكلات التي يصعب معالجتها بالأساليب التقليدية، حيث يعد الذكاء الاصطناعي أداة أساسية لتحسين إدارة قطاعات النقل والطاقة والأمن والخدمات العامة مما يساهم في رفع كفاءة المدن وتحسين جودة حياة السكان.

إضافة إلى ذلك تم التطرق إلى الطاقة المتجددة باعتبارها دعامة أساسية للمدن الذكية المستدامة مع إبراز أهم التحديات التي تواجه هذا النوع من المدن، والتي تم تصنيفها إلى ثلاث تحديات رئيسية تم تمثيلها في شكل هرم تحليلي.

أما في الجانب التطبيقي فقد ركزت الدراسة على مشروع نيوم في المملكة العربية السعودية، الذي أطلق عام 2017م بمبادرة من صاحب السمو الملكي الأمير محمد بن سلمان بن عبد العزيز، تماشيا مع توجه المملكة نحو الذكاء الاصطناعي والطاقة المتجددة ضمن رؤية السعودية 2030، وهو ما يعكس الاهتمام بتطوير نموذج حضري مستقبلي قائم على الابتكار والاستدامة.

توصلت الدراسة لمجموعة من النتائج وهي كما يلي:

- تعتمد المدينة الذكية على التكنولوجيا لتحسين حياة السكان وتسيير الخدمات بكفاءة أكبر كما أنها تهدف إلى تحقيق توازن بين التنمية الاقتصادية والاجتماعية وحماية البيئة، مع التركيز على الاستدامة وضمان حقوق واحتياجات الأجيال الحالية والمستقبلية وهذا ما يثبت صحة الفرضية الأولى التي نص على أن **"يرتبط نجاح المدن الذكية المستدامة بمدى جاهزية البنية التحتية الرقمية"**؛
- تشمل أبعاد المدينة الذكية المستدامة ستة أبعاد رئيسية وهي: الاقتصاد الذكي، المواطن الذكي، الحوكمة الذكية، التنقل الذكي، البيئة الذكية، والحياة الذكية؛
- تشهد العديد من المدن في الدول العربية توجهًا متزايدًا نحو تبني نماذج المدن الذكية والمستدامة، ويعتمد هذا التحول على نموذجين رئيسيين: نموذج الحقل البني (Brownfield) الذي يركز على تطوير المدن القائمة وتحويلها إلى مدن ذكية، ونموذج الحقل الأخضر (Greenfield)الذي يقوم على إنشاء مدن جديدة بالكامل وفق معايير حديثة ومستدامة؛
- يظهر الذكاء الاصطناعي إمكانات كبيرة في إحداث تحول نوعي في قطاع الطاقة المتجددة وتعزيز استدامتها، وهو ما يدعم صحة الفرضية الثانية التي تفيد بأن**"يساهم الذكاء الاصطناعي في ترشيد استهلاك الطاقة داخل المدن الذكية"**؛

- يشير مصطلح الطاقة المتجددة إلى تلك الطاقة التي تتميز بأن مصادرها تتجدد بشكل مستمر ومن أهم مصادرها: الطاقة الشمسية، طاقة الرياح، الطاقة المائية، طاقة الكتلة الحيوية، الطاقة الجوفية (الحرارية الأرضية)، والوقود الحيوي. وتعتبر هذه الطاقات صديقة للبيئة لذلك تعرف أيضا باسم "الطاقة الخضراء" نظرا لدورها في تقليل التلوث وحماية المناخ؛
- يسهم تنويع مصادر الطاقة المتجددة في تعزيز أمن الطاقة داخل المدن الذكية المستدامة من خلال تقليل الاعتماد على مصدر واحد للطاقة والحد من مخاطر الانقطاع أو التقلب في الإمدادات، مما يدعم استمرارية واستقرار المنظومة الطاقوية داخل هذه المدن الذكية وهذا ما يسعى مشروع نيوم إلى تحقيقه من خلال اعتماده على مزيج متكامل من مصادر الطاقة المتجددة، وهو ما يثبت صحة الفرضية الثالثة "**يساهم تنويع مصادر الطاقة المتجددة في ضمان أمن الطاقة داخل المدن الذكية المستدامة**"؛
- تعد مدينة نيوم مثالا بارزا للمدن الذكية الطموحة إذ تعكس رؤية مستقبلية تقوم على الابتكار والتقنيات المتقدمة لإعادة صياغة الحياة الحضرية، وتهدف هذه المشاريع إلى دمج الذكاء الاصطناعي في البنية التحتية والخدمات الأساسية بما يعزز بناء نموذج حضري مستدام ورقمي يرفع من جودة الحياة، وهذا ما يثبت صحة الفرضية الرابعة التي تنص على "**يسهم مشروع نيوم في إعادة تعريف مفهوم المدن الذكية المستدامة عالميا المعتمدة على الذكاء الاصطناعي والطاقة المتجددة**"؛
- يعتمد نجاح مشروع نيوم على قدرته على تحقيق توازن فعلي بين الابتكار التقني، وحماية البيئة، واحترام المجتمعات المحلية وحقوق الإنسان.

توصي الدراسة ب:

- ضرورة تعزيز الاستثمار في تقنيات الذكاء الاصطناعي؛
- العمل على توسيع الاعتماد على مصادر الطاقة المتجددة في المشاريع الحضرية المستقبلية لما لها من دور في تحقيق الاستدامة وتقليل الانبعاثات الكربونية؛
- أهمية تطوير البنية التحتية الرقمية في الدول العربية بما يواكب متطلبات التحول نحو المدن الذكية المستدامة؛
- تشجيع الشراكات بين القطاعين العام والخاص في مجال الابتكار والتكنولوجيا لدعم مشاريع المدن الذكية؛
- ضرورة تعزيز البحث العلمي في مجال المدن الذكية والطاقة المتجددة والذكاء الاصطناعي لدعم اتخاذ القرار وتطوير المدن؛
- الاهتمام بتأهيل الكفاءات البشرية وتكوينها في مجالات التكنولوجيا الحديثة لضمان نجاح التحول الرقمي في المدن المستقبلية؛
- تعزيز الوعي بأهمية الاستدامة البيئية كعنصر أساسي في تخطيط المدن الذكية؛

الإحالات والمراجع

- Algumzi, A. (2022, 08 26). Risks and Challenges Associated with NEOM Project in Saudi Arabia: A Marketing Perspective. *Journal of Risk and Financial Management*, *15*, 2. Retrieved from https://doi.org/10.3390/jrfm15090381
- Aynur , H. (2021). Renewable energy and its sources. *African Journal of Environmental Economic and Management*, *9*(2), 001.
- Centre of Regional Science. (2007). *Smart cities – Ranking of European medium-sized cities.* Vienna: Vienna University of Technology. Retrieved from www.smart-cities.eu
- Chan, C. K. (2023). A comprehensive AI policy education framework for university teaching and learning. *International Journal of Educational Technology in Higher Education*, 24. Retrieved from https://doi.org/10.1186/s41239-023-00408-3
- Cugurullo, F. (2026). New AI cities: power, new cities and urban artificial intelligence in Neom and The Line. *Urban Geography*, 09. Retrieved from https://doi.org/10.1080/02723638.2025.2548134
- iea. (2023, 07 12). *Tracking Clean Energy Progress 2023*. Retrieved 05 23, 2026, from https://www.iea.org/reports/tracking-clean-energy-progress-2023?utm_source=chatgpt.com
- iea. (2026). *A transformative technology with important implications for energy*. Retrieved 05 23, 2026, from Artificial intelligence: https://www.iea.org/topics/artificial-intelligence

- Jamal , A. (2023). The Role Of Artificial Intelligence (AI) In Teacher Education: Opportunities & Challenges. *International Journal of Research and Analytical Reviews (IJRAR.ORG), 10*(01), 139-140. Retrieved from https://www.ijrar.org/
- Joel , J., & and others. (2025). Artificial Intelligence for Smart Cities: A Comprehensive Review Across Six Pillars and Global Case Studies. *urban science, 9*(7), 22. Retrieved from https://doi.org/10.3390/urbansci9070249
- Microsoft. (January 2026). *Global AI Adoption in 2025 A Widening Digital Divide January 2026*. USA: AI Economy Institut. Retrieved from https://www.microsoft.com/en-us/corporate-responsibility/topics/AI-Economy-Institute/reports/Global-AI-Adoption-2025/
- Neamah, D., & and others. (2024, 11 27). The impact of using artificial intelligence techniques in improving the quality of educational services/case study at the University of Baghdad. *9*, 02. Retrieved from https://doi.org/10.3389/feduc.2024.1474370
- الحسيني، ع. ب (2019, أفريل 3). الذكاء الاصطناعي أداة لصنع القرار. *جريدة العرب الاقتصادية الدولية*.
- أوكسجون. (2026). *أوكسجون مدينة صناعية برؤية جيدة*. تاريخ الاسترداد 24 05، 2026، من نيوم: https://www.neom.com/ar-sa/regions/oxagon
- ذا لاين. (2026). *ذا لاين مستقبل المعيشة الحضارية*. تاريخ الاسترداد 24 05، 2026، من نيوم: https://www.neom.com/ar-sa/regions/theline
- رؤية السعودية 2030. (26 03، 2025). *مشاريع نيوم*. تاريخ الاسترداد 24 05، 2026، من https://www.vision2030.gov.sa/ar/explore/projects/neom
- عبد الرحيم سعدي، و نجاة ساسي. (مارس، 2023). مسهمة تكنولوجيا الذكاء الاصطناعي في بناء نموذج المدن المستديمة. *مجلة التواصل، 29*(01)، 03.
- علي طالم، و طالم كافي. (2019). الطاقات المتجددة السبيل لتجسيد أبعاد الاستدامة وتحقيق مستقبل طاقوي مستدام. *مجلة البحوث العلمية في التشريعات البيئية، 6*(1)، 175.
- ميسون ابراهيم. (2020). *المدن الذكية المستدامة والحلول الرقمية الذكية لتعزيز المرونة الحضرية في المنطقة العربية: دروس من الجائحة*. بيروت، لبنان: اللجنة الاقتصادية والاجتماعية لغربي آسيا (الإسكوا). تم الاسترداد من www.unescwa.org.
- نيوم. (2023). *عن نيوم*. تاريخ الاسترداد 24 05، 2026، من تسمية نيوم: https://www.neom.com/ar-sa/about/about-us/journey
- نيوم .(2026). *مستقبل واعد للأرض والانسان*. Consulté le 05 24, 2026, sur https://www.neom.com/ar-sa/our-business/sectors/energy .
- وهيبة ملاوي، و وليد ثابتي. (2024). الذكاء الاصطناعي في المدينة الذكية: تحليل التفاعل بين الابتكار التكنولوجي والتأطير القانوني والأخلاقي. *مجلة الباحث للدراسات الأكاديمية، 11*(01)، 30.