



عنوان المقال : نحو إدارة ذكية للنفايات الحضرية.. لمستقبل حضري مستدام في البلدان النامية - تجربة إمارة دبي في تسيير النفايات باستخدام الذكاء الاصطناعي -
ص. ص 23-33

EISSN : 2661-7080 _ ISSN2773-2630

نحو إدارة ذكية للنفايات الحضرية.. لمستقبل حضري مستدام في البلدان النامية

- تجربة إمارة دبي في تسيير النفايات باستخدام الذكاء الاصطناعي -

Towards Smart Management of Urban Waste...for a Sustainable Urban Future in Developing Countries

- Dubai's Experience in Waste Management Using Artificial Intelligence -

د /حسبية ملاس^{*1} جامعة الشاذلي بن جديد – الطارف - (الجزائر)، ["mellas-hassiba@univ-](mailto:mellas-hassiba@univ-eltarf.dz)

eltarf.dz

تاريخ النشر: 03 / 02 / 2025

تاريخ الاستلام: 02 / 01 / 2025

ملخص:

غالبا ما يتبادر للذهن عند طرح مفهوم الذكاء الاصطناعي مفاهيم أخرى لطالما رافقته، إلا أن الكثير منا لا يدرك أن لهذه التقنية دور في إدارة قطاع النفايات، فمع ظهور هذا المفهوم كتقنية محدثة في الفكر التطويري التقني أثبتت نجاعتها في الكثير من المجالات؛ أصبح من البديهي على الحكومات أن تستفيد منها في تنفيذ مجموعة من التطلعات والطموحات التي تصب في تحسين جودة الحياة الحضرية في إطار الدمج بين توجهين أساسيين هما: المدن المستدامة والمدن الذكية، وهو ما سيتم تناوله في هذه الورقة البحثية من خلال تسليط الضوء على تجربة مدينة دبي في دولة الإمارات العربية المتحدة كنموذج للمدن الرائدة في تسيير النفايات الحضرية باستخدام الذكاء الاصطناعي.

الكلمات المفتاحية: إدارة النفايات؛ ذكاء اصطناعي؛ اقتصاد دائري؛ إمارة دبي

Abstract :

When the concept of artificial intelligence is introduced, other concepts that have always accompanied it often come to mind, but most of us do not realize that this technology has a role in managing the waste sector. With the emergence of this concept as an updated technology in technical development thought, it has proven its effectiveness in many fields. It has become self-evident for governments to benefit from it in implementing a set of aspirations and ambitions that aim to improve the quality of urban life within the framework of merging two basic trends: sustainable cities and smart cities, which will be addressed in this research paper by highlighting the experience of the city of Dubai. In the United Arab Emirates as a model for Leading cities in urban waste management using artificial intelligence .

Keywords : waste management; artificial intelligence; circular economy; Emirate of Dubai

مقدمة:

يزداد الاهتمام العالمي يوماً بعد يوم بمشكلات المدن والمراكز الحضرية الكبرى، والتي أصبحت تؤثر المخططين والمسيرين وحتى المقيمين بها، فالمدن اليوم تواجه الكثير من التحديات أبرزها تزايد خطر التدهور البيئي وانهيار البنية التحتية بسبب التفاوتات الخدمائية والاقتصادية التي تميز المراكز الحضرية، وهذا جراء التضخم الحضري والتمركز الصناعي والتجاري والخدمي، والذي ترتب عنه أطنان هائلة من النفايات الحضرية الصلبة، في ظل ضعف أو محدودية المنشآت المخصصة لفرزها ومعالجتها في معظم دول العالم، سيما النامية منها، ما أفقد المدن صورتها الجمالية والمعمارية، وأثر على هيكلتها وتنظيمها، ومن ثمة على ديناميكيته وحركيتها.

ولهذا فقد أصبحت قضية حماية البيئة الحضرية من الأولويات التي تدرج ضمن أجندات مختلف المؤتمرات والندوات العالمية منذ أكثر من أربع عقود، ولأجل ذلك اتجهت مختلف دول العالم سواء كانت متقدمة أو نامية - بما في ذلك الدول العربية - إلى تبني خيارات جديدة من أجل الحفاظ على البيئة، وتلبية المتطلبات والحاجات الأساسية المتزايدة لمجتمعاتها؛ سعياً إلى تحقيق تنمية مستدامة تضمن الاستمرارية والاستقرار الدائم.

وفي ظل التطور العلمي والتكنولوجي، والنقلة النوعية العالمية في تاريخ البشر، وظهور الذكاء الاصطناعي كمرحلة محدثة في الفكر التطويري التقني، أصبح من البديهي على الحكومات أن تستفيد من هذه التقنية في تنفيذ مجموعة من التطلعات والطموحات التي تصب في تحسين جودة الحياة الحضرية، وتلبية المتطلبات والحاجات الإنسانية والاجتماعية المعاصرة من خلال الدمج بين توجهين أساسيين هما: نموذج المدن المستدامة الذي يسعى إلى الحفاظ على الموارد والطاقات المتاحة وإعادة استغلالها للأجيال المستقبلية، ونموذج المدن الذكية الذي يسعى إلى استخدام تكنولوجيا المعلومات كوسيلة لتحسين المدينة وتعزيز جودة الحياة الحضرية.

فغالباً ما يتبادر للذهن عند طرح مفهوم الذكاء الاصطناعي مفاهيم أخرى لطالما رافقته كالسيارات ذاتية القيادة، وبرامج التعرف على الوجه، والطائرات دون طيار وغيرها...، وذلك لأن الكثير منا لا يدرك أن لهذه التقنية دور في إدارة قطاع النفايات، سيما مع تخطي كمية النفايات المنتجة حول العالم الـ 2 مليار طن سنوياً، وذلك مع تسجيل نمو مطرد لعدد السكان كل عام، ما يعني أن الكمية ستتضاعف بشكل أكبر في السنوات المقبلة بصفة إطرادية، هذا ما دفع بالكثير من البلدان إلى مواجهة هذا التنامي الهائل والخطير للنفايات الحضرية باستراتيجيات جديدة ومبتكرة من خلال الاستعانة بالأنظمة الذكية في عمليات الإدارة والمعالجة وإعادة التدوير، وهو ما سيتم تناوله في هذه الورقة البحثية مع تسليط الضوء على تجربة مدينة دبي في دولة الإمارات العربية المتحدة كنموذج للمدن الرائدة في تسيير النفايات الحضرية باستخدام الذكاء الاصطناعي.

1. النفايات الحضرية مفهومها وخصائصها:

يُعدّ مفهوم النفايات المنزلية جزءاً من النفايات الحضرية، وهو يشمل جميع المواد العضوية وغير العضوية التي يتم التخلص منها في المنازل. وتتضمن هذه النفايات الأتربة ومخلفات الحدائق، إضافة إلى

النفايات الناتجة عن المتاجر والمطاعم والمحلات المختلفة. كما تشمل أيضاً بقايا التنظيف وكنس الشوارع، مما يجعلها من المصادر الرئيسية للمخلفات في البيئات الحضرية. وبسبب تنوعها الكبير، تتطلب هذه النفايات استراتيجيات فعالة في الجمع والمعالجة لضمان الحد من تأثيرها البيئي وتحقيق الاستدامة في إدارة النفايات داخل المدن والمناطق السكنية.

لكن ومع تطور الحياة الحضرية وتعدد ضروراتها توسع هذا المفهوم وأضيفت إليه أنواع أخرى من النفايات غير المنزلية، ليعبر بذلك عن كل شكل من أشكال النفايات التي اشترك فيها جميع أفراد المجتمع الحضري أيا كان مستواهم الاجتماعي في إنتاجه يوميا، وبصورة متكررة، وبكميات متباعدة ومنتشرة على مختلف مناطق ومجالات المدينة، سكنية كانت، أو خدمية، أو ترفيهية، أو تجارية، أو تعليمية وغيرها...، وبهذا فهي تضم: (غضبان، 2020، صفحة 19-21)

● النفايات المختلفة الصادرة عن المنازل.

● نفايات الإدارات، والساحات العمومية والحدائق....

● نفايات الأسواق والمعارض

● نفايات المجمعات: كالمدارس والثكنات والملاجئ والسجون والمستشفيات

● كل ما يترك في الشوارع العمومية من مخلفات وحطام وأوراق أشجار وغيرها....

● ركام البناءات ومخلفات الأشغال العمومية

● نفايات المسالخ من مواد عضوية وأشلاء وأحشاء حيوانات...

● نفايات المناطق الصناعية والمحلات التجارية والحرفية

● النفايات التشريحية والمعدية للمستشفيات والمخابر، وبقايا المواد العلاجية كالكمامات والأدوية والحقن وغيرها....

2. حجم النفايات الحضرية في البلدان النامية والعوامل المؤثرة في تركيبها:

يتم عادة قياس كمية النفايات الحضرية المطروحة بالوزن أو بالحجم لكل ساكن في اليوم الواحد، ويختلف هذا المعدل باختلاف الدول، حيث يتراوح بين 0.35 إلى 1.2 كغ/ساكن/ اليوم في الدول النامية، بينما تزيد هذه الكمية في الدول المتقدمة وعالية التصنيع، ويوضح الجدول التالي كمية النفايات الحضرية الصلبة في الدول النامية حسب مصدرها: (غضبان، 2020، صفحة 28)

جدول رقم 01: كمية النفايات الصلبة في الدول النامية

أنواع النفايات	كمية النفايات(كغ/ساكن/يوم)
نفايات المساكن	0.3-0.6
نفايات المتاجر	0.1-0.2

0.05-0.2	نفايات الشوارع والطرق
0.05-0.2	نفايات المجمعات كالمدارس والثكنات والمستشفيات
0.1-1	النفايات الصناعية والحرفية في حالة جمعها مع النفايات المنزلية من طرف المصالح البلدية

المصدر: (غضبان، 2020، صفحة 28)

من خلال معطيات الجدول يتضح أن البلدان النامية تشهد معدلات متزايدة في إنتاج النفايات الحضرية، حيث يُقدَّر إنتاجها اليومي للفرد بين 0.3 إلى 1 كغ، ويختلف الحجم الإجمالي باختلاف الكثافة السكانية ومستوى التنمية الاقتصادية ومع تزايد التحضر والنمو السكاني، يُتوقع أن يستمر هذا الرقم في الارتفاع، مما يشكل تحديًا بيئيًا كبيرًا.

حيث يتأثر تركيب النفايات الحضرية في هذه البلدان بعدة عوامل، أبرزها المستوى الاقتصادي والاجتماعي، إذ تزداد نسبة المواد العضوية في المناطق منخفضة الدخل، بينما تحتوي المدن الأكثر تطورًا على كميات أكبر من البلاستيك والمعادن، كما تلعب العادات الاستهلاكية دورًا مهمًا، حيث يؤدي الاعتماد على المنتجات الجاهزة والتغليف إلى زيادة النفايات غير القابلة للتحلل. بالإضافة إلى ذلك، يؤثر نقص أنظمة إدارة النفايات في تراكم المخلفات العشوائية، مما يزيد من المشكلات البيئية والصحية. لذا، تعد السياسات البيئية والتنوعية المجتمعية ضرورية للحد من التأثير السلبي لهذه النفايات. (غضبان، 2015، ص ص 158-159)

فقد كشفت نتائج البحوث وكذا الإحصائيات الصادرة عن هيئات رسمية في البلدان النامية أن كمية النفايات المنتجة تزيد بكثير عن كمية النفايات المجمعة، ويرجع ذلك إلى نقص إمكانيات هذه البلدان في جمع ومعالجة النفايات، إضافة إلى انتشار الأحياء الفوضوية والقصديرية ومختلف أشكال الإقامات العشوائية على أطراف المدن وداخل جيوبها الحضرية، ما يخلق الكثير من المشكلات في الوصول إليها وجمعها. (بن غضبان، 2020، صفحة 27)

وتختلف كمية ونوعية النفايات المنتجة في الدول النامية من بلد لآخر بناء على اعتبارات كثيرة أهمها:

- خصائص المجتمع الحضري والمستوى المعيشي للسكان
- الظروف المناخية، والتغيرات الفصلية، واختلاف العادات والتقاليد وتمط الاستهلاك من بلد لآخر
- التحركات السكانية خلال العطل، والأعياد والمناسبات....
- مناطق التمرکز السكاني

3. التسيير المستدام للنفايات الحضرية باستخدام الذكاء الاصطناعي:

في إطار التنمية المستدامة وأبعادها الاجتماعية والاقتصادية والبيئية والمؤسسية بات لزاما على الحكومات إتباع أساليب ذكية في تسيير ومعالجة النفايات المنزلية، إذ يعرف المنتدى العربي للبيئة والتنمية الإدارة والتسيير المستدام المتكامل للنفايات المنزلية على أنه "التعامل مع المخلفات على أنها موارد تستوجب الاسترجاع من خلال سلسلة من الحلقات المترابطة المتكاملة، يتضمن مراحل متتالية (دورة الحياة كاملة) تبدأ هذه المراحل بالتولد من المصدر (حيث يمكن تخفيض المخلفات كما ونوعا، وخطورة)، يليه التخزين الداخلي ثم الجمع من المصادر المختلفة، والنقل إلى مواقع مناسبة للتخزين المرحلي أو المعالجة، ثم إمكانية

تدوير واسترجاع المواد القابلة للاسترجاع، ثم التخلّص النهائي بطرق آمنة بيئيًا" (بلعزوق وعمار، 2022، صفحة 189-190)

وتجدر الإشارة إلى أنه لا يمكن الحديث عن الفعالية السوسيو - اقتصادية والبيئية للنفايات الحضرية دون التحول من مفهوم النفايات إلى مفهوم المادة، فمع التطور التكنولوجي والنمو السكاني المتزايد، لم تعد النفايات مجرد عبء بيئي، بل أصبحت موردًا استراتيجيًا يمكن استغلاله لدعم الاقتصاد الوطني، خاصة في إطار الاقتصاد الدائري. (برغوث ومعوشي، 2023/12/01، صفحة 135)

إذ يركز الاقتصاد الدائري على رؤية متكاملة تهدف إلى تحقيق تنمية مستدامة عبر الحد من استنزاف الموارد الطبيعية وتعزيز إعادة التدوير. ويساعد هذا النموذج على تقليل التلوث البيئي، وخفض انبعاثات الكربون، وتحقيق كفاءة أكبر في استخدام المواد الخام. ويُسهم ذلك في خلق فرص عمل جديدة في مجالات إعادة التدوير، والابتكار الصناعي، والطاقة المتجددة، مما يعزز الاقتصاد الوطني. (بكدي، 2020، ص 123)

ومع تطور الذكاء الاصطناعي وتقنيات "البلوك تشين"، أصبح من الممكن تحسين إدارة النفايات من خلال تحليل البيانات الضخمة، وتتبع المواد عبر سلاسل التوريد، وضمان الشفافية والاستدامة في عمليات التدوير. كما تتيح هذه التقنيات تصميم منتجات قابلة لإعادة الاستخدام من البداية، مما يقلل من النفايات غير القابلة للتحلل. (برغوث ومعوشي، 2023/12/01، صفحة 135)

علاوة على ذلك، يسهم الاقتصاد الدائري في تحقيق الاكتفاء الذاتي الطاقوي، حيث تُستخدم النفايات العضوية والمخلفات الصناعية في إنتاج الوقود الحيوي والطاقة الحرارية، مما يقلل الاعتماد على الموارد الأحفورية. وبالتالي، فإن التحول إلى نموذج اقتصادي قائم على إعادة التدوير والاستغلال المستدام لا يعزز الاستدامة البيئية فحسب، بل يحقق كفاءة اقتصادية عالية عبر تقليل الهدر وتعظيم الاستفادة من المواد الخام.

إلا أن هذه الفعالية وجب أن تسبقها عمليات تساهم في تجسيد التسيير والإدارة المستدامة للنفايات والتي تضم الجمع والنقل والفرز الانتقائي، ما يساهم في تثمين النفايات من خلال إعادة تدويرها واستخراج مواد أولية أو مواد قابلة لإعادة الاستخدام. (بلعزوق وعمار، 2022، صفحة 190)

وهنا تجدر الإشارة إلى الدور المهم والرائد الذي تلعبه التكنولوجيات الحديثة في تحسين خدمة إدارة النفايات، على غرار الذكاء الاصطناعي الذي يعتبر من بين الوسائل الناجعة في هذا المجال بفضل قدرته على تحليل كميات هائلة من البيانات والمعطيات واقتراح حلول مناسبة في زمن قياسي لضمان تسيير أمثل للنفايات الحضرية(ومان، 2023/09/14، <https://www.dz.echaab.com>)

إذ تعد هذه التقنية أهم الآليات الحديثة المستخدمة لتجسيد إستراتيجية الاقتصاد الدائري والتسيير الذكي والمستدام للنفايات الحضرية، وذلك من خلال ما نتيجته من طرق وأساليب متطورة في تحليل وفرز وإعادة تدوير النفايات، وتوليد بيانات دقيقة لدعم قرارات إدارتها، اعتمادا على الحلول التكنولوجية المبتكرة، ومن هنا بات الدمج بين الذكاء الاصطناعي وفلسفة الاقتصاد الدائري خيارا استراتيجيا بالنسبة للدول والحكومات وفرصة هامة لتحقيق تحول مستدام وآمن. (برغوث ومعوشي، 2023/12/01، ص 128)

ومن هنا اتجهت الكثير من بلدان العالم – سيما المتقدمة منها – إلى استغلال الذكاء الاصطناعي في عملية جمع النفايات، كأولى المراحل في حلقة إدارة النفايات، مما يعزز الكفاءة ويقلل التكاليف البيئية والاقتصادية. حيث يعد جمع النفايات المرحلة الأولى والأكثر أهمية في دورة إدارتها، حيث يؤثر أسلوب الجمع وكفاءته بشكل مباشر على سير عمليات الفرز، وإعادة التدوير، والتخلّص النهائي. (ومان، 2023/09/14، <https://www.dz.echaab.com>)

ومن أبرز التقنيات الحديثة المستخدمة في هذا المجال حاويات النفايات الذكية، التي تعتمد على حساسات متطورة تقيس مستوى امتلاء الحاوية في الوقت الفعلي، إذ يتم إرسال هذه البيانات إلى أنظمة تحليل تعتمد على

الذكاء الاصطناعي، والتي بدورها **تحلل** الأنماط وتحدد أفضل المسارات وأوقات الجمع. و هذا التحليل الذكي يسمح بتقليل عدد دوريات الشاحنات، مما يقلل من استهلاك الوقود وتكاليف التشغيل، ويقلل كذلك من الازدحام المروري وانبعاثات الغازات الدفيئة، مما يعزز الاستدامة البيئية.

إضافة إلى ذلك، تساعد هذه التقنية في تفادي مشكلات امتلاء الحاويات الزائد، حيث يمكن إرسال إشعارات فورية إلى الجهات المسؤولة لاتخاذ التدابير المناسبة، مما يحدّ من تراكم النفايات في الشوارع وانتشار الروائح الكريهة والمخاطر الصحية. كما يمكن دمج هذه الأنظمة مع تطبيقات الهواتف الذكية، بحيث يتلقى المواطنون تحديثات عن مواقع الحاويات المتاحة، مما يعزز ثقافة الإدارة التشاركية للنفايات. (الجبالي، 2016، ص 122) إلى جانب تحسين عملية الجمع، يتيح الذكاء الاصطناعي تحليل أنواع النفايات المتجمعة، مما يساعد البلديات على وضع سياسات أكثر دقة لإعادة التدوير وتقليل المخلفات غير القابلة للتحلل. كما يمكن دمج تقنية "البلوك تشين" لضمان تتبع النفايات بكفاءة، مما يمنع الممارسات غير القانونية مثل الرمي العشوائي أو التخلص غير السليم من النفايات الصناعية. (محمد أحمد يوسف، 2022 ص 120)

ومن التطبيقات الأخرى التي تؤمنها الحلول الذكية والتي لا تقل أهمية عن سابقتها ما يسمى **بالتحليلات التنبؤية**، والتي يمكن أن تعتمد البلديات وشركات إدارة النفايات من أجل تحليل البيانات المتعلقة بالتواريخ الزمنية، وبيانات الأحوال الجوية، ومؤشرات أخرى ذات الصلة بكمية إنتاج النفايات كتواريخ العطل والأعياد والمناسبات وغيرها...، إذ تؤمن خوارزميات الذكاء الاصطناعي عملية رصد دقيقة للمعطيات الأولية التي تمكن من التنبؤ بكمية إنتاج النفايات لفترات زمنية محددة، وهذا ما سيساعد على وضع مخططات خاصة بتوزيع الموارد البشرية والمادية بشكل أفضل، وكذا ضمان تسيير أحسن لعملية جمع ومعالجة النفايات.

إضافة إلى ذلك تساعد الحلول الذكية على تحسين عمليات إعادة تدوير وفرز النفايات وجعلها أكثر كفاءة وفعالية، من خلال قدرة الذكاء الاصطناعي على تحليل صور النفايات وتصنيفها بحسب نوعها بما يسهل عملية الفرز من جهة، ويقلل من الضغط على اليد العاملة من جهة ثانية.

إضافة إلى ما تقدم يساهم الذكاء الاصطناعي في الحد من الأساليب غير القانونية وغير المستدامة في التخلص من النفايات، حيث يمكن لنظم المراقبة التي يعتمدها، والمجهزة بقدرات التعرف على الصور أن تكتشف وتسجل أي ممارسات للتخلص غير القانوني من النفايات في الوقت الفعلي، مما يتيح للجهات المختصة التحرك بشكل سريع وفعال. (ومان، 2023/09/14، <https://www.dz.echaab.com>)

ومن التجارب الرائدة في تبني الحلول الذكية لإدارة النفايات الحضرية ما وضعت شركة **Ecube Labs** بغية الوصول إلى بيئة أكثر اخضراراً ومدن نظيفة، وذلك من خلال: (محمد، يونيو 2019، صفحة 15)

- إنشاء صندوق ضغط نفايات مزود بالطاقة الشمسية.
- وضع أجهزة حساسة لمستوى التعبئة مزودة بالموجات فوق الصوتية.
- إنشاء منصة مراقبة وتحليل البيانات في الزمن الحقيقي
- تحويل صناديق القمامة في الشوارع إلى موزعات واي فاي مجانية

حيث تؤمن هذه الحلول طرق مثلى لجمع النفايات، والجدول الزمنية بالزمن الحقيقي، والبيانات التاريخية، كما تقدم تحليلات تنبؤية تمكن من اتخاذ القرارات قبل الموعد المحدد، وتقدم استشارات متعلقة بمخصصات صندوق النفايات. إضافة إلى ذلك يمكن أن تقلل من تكرار جمع النفايات إلى الحد الأدنى الممكن، ومن استهلاك الوقود، ومن اليد العاملة، وتكاليف الصيانة، إضافة إلى تحسين النظافة، وخفض الانبعاثات، والتواصل لا سلكيا مع منصة تحليل البيانات. (محمد، يونيو 2019، صفحة 16)

4. تجربة إمارة دبي في تسيير النفايات وتبني حلول ذكية ومستدامة لتسريع الاقتصاد الدائري 360°:

ساهم النمو الاقتصادي والسكاني في دولة الإمارات العربية المتحدة خلال العقد الماضي إلى ارتفاع كميات النفايات الحضرية بشكل متزايد ومستمر، وذلك في ضوء ما تولده هذه الأخيرة من غازات دفيئة خطيرة على صحة الإنسان ومختلف الكائنات الحية، حيث ينتهي المطاف بمعظم النفايات في مقالب قمامة البلدية أو المكبات، أين تولد كميات كبيرة من غاز الميثان، وهو أحد الغازات الدفيئة الفعالة حالياً، ما يوحى بمشكلات بيئية يمكن أن تتعرض لها الإمارة إذا لم يتم التدخل العاجل والسريع لإيجاد حلول موضوعية وناجعة لها، وفي هذا الإطار اتجهت الحكومة إلى تبني مشاريع ضخمة للتخلص من النفايات الحضرية، واستثمارها بشكل إيجابي، وذلك في إطار الاقتصاد الدائري، حيث يتم التعامل مع مشاكل النفايات من خلال إعادة تدويرها، وتحويلها إلى طاقة، باستخدام تقنيات ذكية حديثة، وأنظمة متطورة لفصل وجمع النفايات .

● وفي إطار المساعي الرامية إلى تبني الحلول الذكية في إدارة وتسيير النفايات الحضرية وتجسيد إستراتيجية الاقتصاد الدائري؛ أصدرت دولة الإمارات [قرار مجلس الوزراء رقم \(39\)](#) بشأن اللائحة التنفيذية [لقرار](#) الاتحاد رقم (12) لسنة 2018 في شأن الإدارة المتكاملة للنفايات، والذي يهدف إلى تنظيم عملية إدارة النفايات وتوحيد آليات وطرق التخلص السليم منها، بالاستناد إلى أفضل الممارسات والتقنيات المتاحة، بغرض حماية البيئة وتقليل الضرر على صحة الإنسان. (البوابة الرسمية لحكومة الإمارات العربية المتحدة، 2023/03/01) <https://u.ae/ar-AE/information-and-services/environment-and-energy/waste-management>

كما وقعت حكومة دولة الإمارات بالتعاون مع منتدى الاقتصاد للشرق الأوسط وشمال إفريقيا على مبادرة **تسريع الاقتصاد الدائري 360°**، لتكون من أول الدول الداعمة لهذه المبادرة على مستوى العالم، والتي تعتبر بمثابة ثورة في مجال استغلال الموارد الضخمة من النفايات، حيث تشير دراسات المنتدى الاقتصادي العالمي إلى أنها ستكون واحدة من أهم القطاعات ذات القيمة المضافة لاقتصاديات البلدان، وذلك من خلال توظيفها لتقنيات الثورة الصناعية الرابعة في تحقيق اقتصاد دائري بكفاءة وفعالية عالية، من خلال إرفاق جميع المواد المصنعة ببيانات رقمية تعد بمثابة بصمة رقمية تمكن من الحد من هدر المواد من خلال تتبع استخدامها وإعادة تدويرها. (بر غوث ومعوشي، 2023/12/01، صفحة 135)

حيث يبدأ دور الذكاء الاصطناعي في إطار هذه المبادرة من صناديق القمامة، إذ توفر الشركات العاملة في هذا المجال مجسات الاستشعار الخاصة بإنترنت الأشياء بغية مراقبة امتلاء أوعية القمامة، حيث يستطيع فريق عمل التنظيف إفراغها، وهذا ما يتيح من تحسين طرق جمع النفايات، ومعرفة التوقيت المناسب للتفريغ، كما أنه يساعد على توفير الوقت والجهد، وتقليل تكلفة العمالة، واستهلاك الوقود بالنسبة للآليات. وتسمح التعليقات التوضيحية للرؤية الحاسوبية، وخوارزميات التعلم الآلي لهذه المجسات بالتمييز بين أنواع مختلفة من النفايات أثناء ملء الصناديق، والكشف عن فئاتها. ومن الأمثلة على ذلك، نذكر الحاويات الذكية التي طورتها شركة "e-Bin" البولندية، و "Cube labs-E" الكورية، والمجهزة بماسحات ضوئية تعمل على تحديد النفايات، وتصنيفها مباشرة، من خلال الاستعانة بكاميرات داخلية ملحقة بوحدة المعالجة. وغالباً ما يتم ربط هذه الحاويات بتطبيق يسمح للمستخدمين بمعرفة موقع أقرب سلة مهملات متاحة، ما يمنع الصناديق من الامتلاء المفرط.

أما بالنسبة لدور الذكاء الاصطناعي في عملية الفرز الآلي، فيمكن تأكيده من خلال الأرقام والإحصائيات المتعلقة بعمليات الفرز الذكي، والتي أثبتت بأن ما يمكن أن تفرزه العمالة البشرية في الدقيقة الواحدة يتراوح ما بين 30 إلى 40 مادة قابلة لإعادة التدوير، في حين تستطيع الآلات الذكية التعامل مع ما يصل إلى 160 مادة، علاوة على ذلك فإن الآلات يمكن لها أن تعمل على مدار الساعة، إذ يقوم الذكاء الاصطناعي بفحص العناصر

الموجودة على حزام ناقل متحرك، وتتم عملية المسح من خلال كاميرات، وتحليلها بواسطة خوارزميات التعلم العميق، بعد ذلك تقوم أذرع آلية بسحب العناصر من الحزام الناقل لمعالجة وفرز الأصناف، وهنا تتضح كفاءة وفعالية الذكاء الاصطناعي في عملية الفرز مقارنة مع العمالة البشرية، وهذا بفضل المجسات الذكية التي تتفوق على المستشعرات البصرية التقليدية، والتي بإمكانها الكشف عن العناصر المصنوعة من مواد مختلفة، وكذلك تحديد الفروقات الدقيقة بين العناصر من نفس المادة، بما في ذلك تلك الملوثة كيميائياً، مما يضمن نقاءها من المواد الخطرة في حال إعادة التصنيع. (معاد، 2022/02/21، <https://arsco.org/articles/article-detail-16155>)

وفي هذا الإطار أعلنت بلدية دبي سنة 2018 عن إنشاء أكبر محطة في العالم لتحويل النفايات الصلبة إلى طاقة، وذلك في منطقة ورسان، حيث يتميز هذا المركز بتقنياته المتطورة وكفاءته العالية، أين يعتمد على أحدث نظم التكنولوجيا دون التسبب في أي تأثيرات بيئية سلبية. وقد بلغت تكلفة المشروع أربعة مليارات درهم، مما يعكس التزام الإمارة بتطوير حلول مستدامة تدعم التوازن بين البيئة والتنمية الاقتصادية. (البوابة الرسمية لحكومة الإمارات العربية المتحدة، 2023/03/01)

<https://u.ae/ar-AE/information-and-services/environment-and-energy/waste-management>

ويأتي هذا المشروع في إطار رؤية دبي الاستراتيجية لتبني حلول ذكية في إدارة النفايات، وتقليل الاعتماد على المصادر التقليدية للطاقة، وتعزيز استخدام الطاقات المتجددة والنظيفة. ويهدف إلى تحقيق تحول مستدام في قطاع الطاقة، مما يساهم في رفع مستوى الرفاه الإنساني وضمان مستقبل أكثر استدامة للأجيال القادمة. كما يعزز المشروع جهود الإمارة في تقليل البصمة الكربونية وتحقيق أمن طاقي مستدام، ما يجعل دبي نموذجاً عالمياً في الاستخدام الذكي للموارد وتحقيق مدن خضراء صديقة للبيئة. (منظمة اليونسكو، 2018/12/03، ص 225)

وقد تم تدشين المرحلة الأولى للمحطة في يوليو 2023، حيث تم تشغيل خطين من أصل خمسة خطوط تستقبل ما يقارب 2300 طن من النفايات الصلبة يوميا، إذ يتم استخدام ضغط البخار لإحداث طاقة دوران كفيلاً بتحريك المولدات الكهربائية لإنتاج قرابة 80 ميغاواط في الساعة من الطاقة المتجددة، والتي يرجح أن ترتفع إلى 220 ميغاواط/ الساعة عند افتتاح المرحلة الثانية من المشروع، بإجمالي 5280 ميغاواط في اليوم. حيث يعزز المشروع جهود إمارة دبي لترسيخ الاستدامة البيئية ومواجهة تحديات التغير المناخي، ويسهم في خفض 2400 طن من مواد الانبعاثات الكربونية، كما يعمل على رفع نسبة الاعتماد على الطاقات النظيفة، واستخدام المياه المعاد تدويرها لإنتاج البخار وتوليد الطاقة، بما يدعم تحقيق أهداف إستراتيجية دبي للطاقة النظيفة 2050، التي تتطلع إلى إنتاج 75 بالمئة من احتياجات الإمارة من الطاقة من مصادر نظيفة، وجعل دبي مركزاً عالمياً للاقتصاد الأخضر. (د. ن، 05 يوليو 2023، <https://www.emaratayoum.com>)

ومن أجل تجسيد هذه الإستراتيجية تم العمل على ثلاث محاور، وذلك من خلال التنسيق بين بلدية دبي، والمجلس الأعلى للطاقة، وهيئة كهرباء ومياه دبي، لعمل الدراسات واقتراح أربعة مشروعات لإنتاج الطاقة الخضراء، وهي : (البوابة الرسمية لحكومة الإمارات العربية المتحدة، 2023/03/01، مشروع حرق النفايات لإنتاج الكهرباء).

● معالجة المخلفات العضوية الناتجة عن سوق الخضار والفواكه والمطاعم والفنادق وشركات توريد الأغذية.

● توليد الكهرباء من مكب النفايات في منطقة القصيص وجبل علي.

● محطة تحويل غاز الميثان في محطة معالجة مياه الصرف الصحي إلى طاقة.

حيث تتطابق هذه المشاريع مع رؤية الحكومة لتطبيق ممارسات الاستدامة الرائدة، وتحقيق أهدافها الإستراتيجية لحماية البيئة، وتعزيز استدامة الموارد الطبيعية، وإدارة النفايات المتكاملة وتحويل 100 بالمئة من النفايات عن مسار الطمر بحلول 2030، ولذلك فقد حرصت الإمارة على جلب أحدث التقنيات وإعادة تأهيلها وتطويرها بما يتوافق مع الظروف التشغيلية والبيئية للمنطقة، بهدف تحويل دبي إلى مدينة آمنة، سعيدة ومستدامة، وخالية من مكبات النفايات. (هاني، 2018/01/30،)

خاتمة:

أصبح العالم اليوم مدركاً لأهمية التقنيات الذكية الحديثة في تحسين جودة الحياة الحضرية، وذلك في إطار ما يطلق عليه بنموذج المدن الذكية المستدامة، فهذه التقنيات تتيح العديد من الفرص في مجال الحفاظ على الموارد وتحقيق الاستدامة البيئية بطرق ذكية، والتي من بينها تجويد وترشيد إدارة النفايات الحضرية التي كانت تتم بطريقة يدوية وتقليدية إلى حد كبير، إلا أن تقنيات الذكاء الاصطناعي، والتعلم الآلي، والرؤية الحاسوبية، والروبوتات وغيرها... سمحت بتقليص الحاجة إلى العمل اليدوي، وخفض التكاليف، وتقليص الجهد والوقت، إلى جانب زيادة الكفاءة.

فمع الأعباء الناجمة عن تزايد عدد السكان، واستنفاد مواقع طمر النفايات، تصبح الإدارة الذكية للنفايات أمراً لا بد منه في معالجة مسائل التخلص من النفايات وإعادة تدويرها وتحقيق الاقتصاد الدائري 360°، وهذا من أجل خلق بيئة صحية ومستدامة للأجيال الحاضرة والمستقبلية، وكذلك العمل على تغيير الطريقة التي يتم التعامل بها في إدارة أنواع أخرى من النفايات، لذلك فمن الضروري على الحكومات أن تكون على دراية بالفوائد التقنية والتجارية لهذه الحلول، من أجل تعزيز اعتمادها وتنفيذها، وأن استغلال الذكاء الاصطناعي في إدارة النفايات سيوفر فوائد كبيرة في تحسين وتيسير إدارة المدن، لذا فمن الضروري تعزيز دمج الأنظمة الذكية مع أنظمة إدارة النفايات، إضافة إلى دعم المؤسسات الناشئة لاعتماد هذه الحلول المبتكرة، وتشجيع البحوث العلمية والأكاديمية التي تعنى بهذا الموضوع.

المراجع:

- أحمد، عبد الوهاب. (1997). أسس تدوير النفايات. القاهرة، دار العربية للنشر والتوزيع.
- برغوث، أسامة؛ ومعوشي، بوعلام. (2023/12/01). دور الذكاء الاصطناعي في تطوير الاقتصاد الدائري: دراسة حالة مؤسسة ZenRobotics الفنلندية. مجلة الإدارة والتنمية للبحوث والدراسات. المجلد 12 (العدد 02)، الصفحات: 125-139.
- بكدي، فاطمة. (2020). الاقتصاد الأخضر من النظري إلى التطبيق. الأردن: مركز الكتاب الأكاديمي.
- بلعزوق، بلال؛ وعمار، نعيمة. (2022). التلوث البيئي بالنفايات المنزلية وما شابهها في التشريع الجزائري وانعكاساته على تحقيق الأمن البيئي. مجلة الدراسات والبحوث القانونية. المجلد 07 (العدد 01)، الصفحات: 178-197.

- البوابة الرسمية لحكومة الإمارات العربية المتحدة. (2023/03/01). إدارة النفايات. تمت زيارة الموقع بتاريخ: 2024/02/16، على الرابط: <https://u.ae/ar-AE/information-and-services/environment-and-energy/waste-management>
- الجبالي، حمزة. (2016). الأمن البيئي وإدارة النفايات البيئية. الأردن: دار الأسرة لنشر والتوزيع
- د. ن. (05 يوليو 2023). حمدان بن محمد ي دشّن المرحلة الأولى لمركز تحويل النفايات إلى طاقة في ورسان. موقع الإمارات اليوم، تمت زيارة الموقع بتاريخ: 2024/02/16، على الرابط: <https://www.emaratalyoum.com>
- غضبان، فؤاد محمد الشريف. (2020). إدارة النفايات وطرق معالجتها. عمان/ الأردن: دار اليازوري العلمية.
- غضبان، فؤاد. (2015). التحضر والحضرية في ظل عالم متغير. عمان/ الأردن: دار اليازوري العلمية.
- محمد أحمد يوسف، طه. (2022). سلاسل الكتل (البلوكتشين)- المبادئ والتطبيقات. القاهرة: دار حميثرا للنشر والتوزيع
- محمد، ميس. (يونيو 2019). تسخير التكنولوجيا لإدارة النفايات في المدن الذكية. مجلة دراسات وأبحاث. العدد 147 الصفحات: 14-23
- معاذ، محمد. (2022/02/21). الذكاء الاصطناعي يقتحم مجال إدارة النفايات. موقع منظمة المجتمع العلمي العربي. تمت زيارة الموقع بتاريخ: 2024/02/16، على الرابط: <https://arsco.org/articles/article-detail-16155>
- منظمة اليونسكو. (2018/12/03). تقرير اليونسكو للعلوم نحو عام 2030. الولايات المتحدة الأمريكية: منشورات اليونسكو
- ومان، كريم. (2023/09/14). تفسير النفايات. رهان متزايد على الذكاء الاصطناعي. موقع الشعب أونلاين، تمت زيارة الموقع بتاريخ: 2024/02/16، على الرابط: <https://dz.echaab.ww>