



جامعة ميدأوشن

كلية الإدارة

قسم إدارة موارد بشرية

تقديم حلول تقنية لإدارة النفايات

إعداد الطالب: خالد إبراهيم التميمي

إشراف: أ.د. فايز علي جراد

العام الدراسي: 2025 / 2026

فهرس المحتويات

3	المقدمة
5	مشكلة الدراسة
6	أهمية الدراسة
7	أهداف الدراسة
8	تساؤلات الدراسة
9	فروض الدراسة
10	الدراسات السابقة والفجوة البحثية
13	المنطلقات النظرية للدراسة
14	المنهجية وطرق البحث
15	مجتمع وعينة الدراسة
16	أداة الدراسة
17	أساليب التحليل الإحصائي
18	حدود الدراسة
19	المراجع

أولاً: المقدمة

تُعَدُّ قضية إدارة النفايات من أبرز التحديات البيئية والاجتماعية التي تواجه دول العالم في القرن الحادي والعشرين، لا سيما في ظل التسارع الهائل في النمو السكاني والتوسع العمراني وارتفاع معدلات الاستهلاك. فقد أسفر النمو الاقتصادي المتصاعد عن ضغوط متزايدة على البيئة، إذ باتت كميات النفايات المتولدة تتخطى الطاقة الاستيعابية لمنظومات الإدارة التقليدية في كثير من المدن حول العالم.

وتكشف الإحصاءات الدولية عن أن العالم يُنتج ما يزيد على ٢,٠١ مليار طن من النفايات الصلبة سنوياً، ومن المتوقع أن يرتفع هذا الرقم إلى ٣,٤ مليار طن بحلول عام ٢٠٥٠ وفق تقارير البنك الدولي (Kaza et al., 2018). وفي السياق الخليجي، تُصنَّف المملكة العربية السعودية ضمن أعلى دول العالم في معدلات توليد النفايات الفردية، إذ يُقدَّر متوسط ما ينتجه الفرد السعودي بنحو ١,٥ كيلوغرام يومياً، مقارنةً بالمتوسط العالمي البالغ ٠,٧٤ كيلوغرام (وزارة البيئة والمياه والزراعة، ٢٠٢٢).

في مواجهة هذا الواقع المتفاقم، برزت التقنيات الحديثة كرافعة استراتيجية لتحويل منظومة إدارة النفايات من نهج تقليدي رد الفعل إلى نهج استباقي ذكي. فالثورة الرقمية المتمثلة في إنترنت الأشياء (IoT) والذكاء الاصطناعي (AI) وتحليل البيانات الضخمة والتقنيات الحيوية، أتاحَت فرصاً غير مسبوقة لتحسين كفاءة التجميع والفرز والمعالجة وإعادة التدوير، مما يُسهم في تعزيز الاستدامة البيئية وترشيد الموارد.

وفي إطار رؤية المملكة العربية السعودية ٢٠٣٠، التي تضع الاستدامة البيئية في صميم أهدافها الوطنية، باتت هناك حاجة ملحة لاعتماد حلول تقنية متكاملة وذكية في إدارة النفايات، تُحقق التوازن بين متطلبات التنمية الاقتصادية وصون البيئة وتحقيق جودة الحياة. ويأتي هذا البحث في هذا السياق ليقدِّم إطاراً علمياً متكاملاً لفهم الحلول التقنية المتاحة وآليات تطبيقها في منظومة إدارة النفايات.

وفيما يتعلق بمحتوى هذا البحث، فهو يتناول في مقدمته استعراضاً لواقع إدارة النفايات وتحدياته، ثم ينتقل إلى صياغة مشكلة الدراسة وأهميتها وأهدافها وتساؤلاتها وفروضها، ويستعرض الدراسات السابقة ذات الصلة ويحدد الفجوة البحثية، قبل أن يُوضح المنطلقات النظرية والمنهجية المتبعة في البحث، وصولاً إلى تحديد حدود الدراسة وقائمة المراجع.

ثانياً: مشكلة الدراسة

تتمحور مشكلة هذه الدراسة حول الفجوة الواسعة القائمة بين التحديات المتصاعدة لإدارة النفايات في المدن السعودية، والقصور الواضح في توظيف الحلول التقنية الحديثة بصورة منهجية وفعالة. وعلى الرغم من التطور التقني المتسارع وتوافر تقنيات واعدة كإنترنت الأشياء والذكاء الاصطناعي وتقنيات الاستشعار، يُلاحظ أن كثيراً من المنظومات البلدية لا تزال تعتمد على أساليب تقليدية في التجميع والمعالجة، مما يُفضي إلى هدر اقتصادي وتلوث بيئي وتدنيّ في كفاءة الأداء التشغيلي.

وتتجلى هذه المشكلة في جملة من المؤشرات القابلة للقياس، إذ أشارت تقارير هيئة تطوير الرياض (٢٠٢٣) إلى أن نسبة إعادة التدوير في المملكة لا تتجاوز ١٢٪ مقارنةً بمعدلات تتراوح بين ٤٠٪ و ٦٥٪ في الدول الأوروبية. كما يُلاحظ ارتفاع ملحوظ في التكاليف التشغيلية لجمع النفايات جراء غياب التوجيه الذكي لمسارات المركبات، إضافةً إلى ترايد حجم النفايات المتدفقة إلى المكبات دون معالجة مناسبة.

أسئلة الإشكالية البحثية:

١. ما واقع إدارة النفايات الحالية في المدن السعودية ومدى كفاءة الأساليب التقليدية المعتمدة؟
١. ما أبرز الحلول التقنية المتاحة والقابلة للتطبيق في تحسين منظومة إدارة النفايات؟
١. ما العوائق التنظيمية والمالية والبشرية التي تُعيق اعتماد الحلول التقنية الذكية في إدارة النفايات؟
٢. ما مستوى جاهزية البنية التحتية الرقمية للمدن السعودية لاستيعاب هذه الحلول؟
٣. كيف يمكن بناء نموذج تكاملي يجمع بين الحلول التقنية المختلفة لتحقيق إدارة نفايات ذكية ومستدامة؟

ثالثاً: أهمية الدراسة

أ) الأهمية العلمية:

- إثراء الأدبيات العربية في مجال التقنيات البيئية الذكية التي لا تزال شحيحة مقارنةً بنظيراتها الغربية، ولا سيما في ما يخص السياق السعودي والخليجي.
- تقديم إطار نظري متكامل يربط بين تقنيات إنترنت الأشياء والذكاء الاصطناعي ومنظومة إدارة النفايات بصورة منهجية وموحدة.
- سد الفجوة المعرفية المتعلقة بمجديات تطبيق الحلول التقنية في ظل السياق الجغرافي والمؤسسي والاجتماعي للمدن السعودية.
- التوصل إلى نموذج إطاري قابل للاختبار والتحقق يُيسر إجراء دراسات مستقبلية مقارنة على مستوى دول مجلس التعاون الخليجي.
- تقديم منهجية بحثية مبتكرة تجمع بين التحليل الكمي والنوعي في دراسة موضوعات الاستدامة البيئية والتقنية.

ب) الأهمية التطبيقية:

- تزويد الجهات البلدية والمؤسسات المعنية بإدارة النفايات بتوصيات عملية مستندة إلى الدليل العلمي حول أفضل التقنيات الواجب اعتمادها وترتيب أولوياتها.
- مساعدة صانعي السياسات في وزارة البيئة والمياه والزراعة ووزارة الشؤون البلدية والقروية على صياغة استراتيجيات وطنية فاعلة لإدارة النفايات الذكية.
- تقديم نموذج تقييمي لمستوى الجاهزية التقنية يُمكن المؤسسات من تشخيص أوضاعها ورسم خارطة طريق لتطوير منظومتها.
- دعم تحقيق أهداف رؤية ٢٠٣٠ المتعلقة بالاستدامة البيئية والمدن الذكية وتطوير البنية التحتية الرقمية.
- إتاحة أدوات قياس وتقييم مُقننة يمكن لها المؤسسات توظيفها في مراجعاتها الدورية وتقاريرها الأدائية.

رابعاً: أهداف الدراسة

المهدف العام:

تحليل واقع إدارة النفايات في المدن السعودية وتقديم إطار مقترح للحلول التقنية المتكاملة القادرة على تطوير هذه المنظومة نحو نموذج ذكي ومستدام.

الأهداف الخاصة:

٢. رصد وتشخيص واقع منظومة إدارة النفايات في المدن السعودية وتحديد أبرز جوانب القصور في الأساليب التقليدية المعتمدة.
٢. مراجعة وتصنيف الحلول التقنية الحديثة المتاحة لإدارة النفايات كإنترنت الأشياء والذكاء الاصطناعي والاستشعار عن بُعد وتقنيات البيانات الضخمة.
٤. تقييم مستوى جاهزية البنية التحتية الرقمية والمؤسسية في المدن السعودية لاستيعاب وتطبيق هذه الحلول التقنية.
٥. استكشاف العوائق الرئيسية التنظيمية والمالية والبشرية التي تُعرقل اعتماد الحلول التقنية في منظومة إدارة النفايات.
٦. تحديد العوامل الحاسمة التي تُعزز نجاح تطبيق الحلول التقنية في سياق المدن السعودية استناداً إلى التجارب الدولية.
٧. بناء نموذج إطاري متكامل يجمع بين الحلول التقنية المختلفة ويوفر خارطة طريق قابلة للتطبيق لتطوير إدارة النفايات في المدن السعودية.

خامساً: تساؤلات الدراسة

تسعى هذه الدراسة إلى الإجابة عن التساؤل الرئيسي التالي:

"كيف يمكن توظيف الحلول التقنية الحديثة لتطوير منظومة إدارة النفايات في المدن السعودية نحو نموذج ذكي ومستدام؟"

التساؤلات الفرعية:

٣. ما الواقع الراهن لمنظومة إدارة النفايات في المدن السعودية وما مستوى كفاءتها التشغيلية والبيئية؟
٣. ما أبرز الحلول التقنية المتاحة عالمياً في مجال إدارة النفايات الذكية وما مدى قابليتها للتطبيق في السياق السعودي؟
٨. ما مستوى جاهزية البنية التحتية الرقمية في المدن السعودية المستهدفة لاستيعاب تقنيات إدارة النفايات الذكية؟
٩. ما العوائق والتحديات الرئيسية التي تواجه تطبيق الحلول التقنية في منظومة إدارة النفايات من منظور المسؤولين والخبراء؟
١٠. ما العوامل الحاسمة لنجاح تطبيق الحلول التقنية في إدارة النفايات استناداً إلى التجارب الدولية الناجحة؟
١١. ما ملامح النموذج الإطاري المقترح لتطبيق الحلول التقنية المتكاملة في إدارة النفايات بالمدن السعودية؟

سادساً: فروض الدراسة

بما أن الدراسة تعتمد المنهج المختلط الذي يجمع بين الجانبين النوعي والكمي، فإنها تنطلق من جملة من الفروض القابلة للاختبار:

الفرضية الرئيسية:

توجد علاقة ذات دلالة إحصائية بين مستوى توظيف الحلول التقنية الحديثة في إدارة النفايات ودرجة تحسن الكفاءة التشغيلية والبيئية للمنظومة.

الفرضيات الفرعية:

- H1: يُسهم تطبيق تقنيات إنترنت الأشياء في تجميع النفايات إسهاماً جوهرياً في تقليل التكاليف التشغيلية لمركبات الجمع بنسبة لا تقل عن ٢٥٪.
- H2: يرتبط توظيف الذكاء الاصطناعي في تصنيف النفايات ارتباطاً إيجابياً دالاً إحصائياً بارتفاع معدلات إعادة التدوير.
- H3: ثمة علاقة طردية ذات دلالة إحصائية بين مستوى الجاهزية الرقمية للمؤسسات البلدية ودرجة نجاح تطبيق الحلول التقنية في إدارة النفايات.
- H4: تُسهم الحلول التقنية المتكاملة في تقليل الأثر البيئي السلبي لعمليات إدارة النفايات بصورة تفوق الأساليب التقليدية وفق مؤشرات الاستدامة البيئية.
- H5: توجد فروق ذات دلالة إحصائية في مستوى توظيف الحلول التقنية في إدارة النفايات تُعزى لمتغير حجم المدينة ودرجة تطورها الرقمي.

سابعاً: الدراسات السابقة

أولاً: ترتيب الدراسات وأسلوب عرضها

تعرض الدراسات السابقة وفق الترتيب الموضوعي، إذ يُقسَّم العرض إلى ثلاثة محاور رئيسية تتوافق مع متغيرات البحث: أولها دراسات تناولت تقنيات إنترنت الأشياء في إدارة النفايات، وثانيها دراسات تناولت الذكاء الاصطناعي والبيانات الضخمة في هذا المجال، وثالثها دراسات تناولت الاستدامة البيئية وتحقيق الاقتصاد الدائري في إدارة النفايات.

المحور الأول: دراسات تقنيات إنترنت الأشياء في إدارة النفايات

أجرى (Gutierrez et al. (2015) دراسة مبكرة رائدة حول توظيف أجهزة الاستشعار في حاويات النفايات لرصد مستوى الامتلاء في الوقت الحقيقي، واستخدمت الدراسة نهجاً تجريبياً على عينة من المدن الأوروبية. وخلصت إلى أن تحسين مسارات جمع النفايات استناداً إلى هذه البيانات أسفر عن تخفيض بنسبة ٤٠٪ في تكاليف التشغيل. وتسهم هذه الدراسة في توفير الأساس التجريبي لفرضية تأثير إنترنت الأشياء على الكفاءة التشغيلية في البحث الحالي.

وفي سياق مشابه، قدّم (Anagnostopoulos et al. (2017) تحليلاً شاملاً لبنية نظم إنترنت الأشياء في إدارة النفايات الصلبة للمدن الذكية، مُركِّزاً على التكامل بين البنية التحتية الحساسة وأنظمة اتخاذ القرار. غير أن الدراسة اقتصرَت على السياق الأوروبي، مما يُشكّل فجوة يسعى البحث الحالي لمعالجتها في البيئة السعودية.

أما (Hannan et al. (2020) فقد أجروا مراجعة منهجية شاملة تغطي ١٥٠ دراسة حول التقنيات الذكية في إدارة النفايات الصلبة الحضرية، وخلصوا إلى أن منظومات إنترنت الأشياء المدججة مع خوارزميات الجدولة الذكية تحقق تحسناً يتراوح بين ٢٠٪ و ٥٠٪ في الكفاءة التشغيلية مقارنةً بالأساليب التقليدية. وتمثّل هذه المراجعة الشاملة مرجعاً أساسياً للبحث الحالي.

المحور الثاني: دراسات الذكاء الاصطناعي وتحليل البيانات في إدارة النفايات

استكشف (Mohammadi & Motamedi (2021) توظيف خوارزميات التعلم الآلي في تحسين عمليات الفرز الآلي للنفايات وزيادة دقة التصنيف. وأثبتت الدراسة أن نماذج الشبكات العصبية التعلمية حققت دقة في التصنيف تفوق ٩٢٪، مقارنةً بدقة ٦٥٪ للأساليب اليدوية التقليدية. وتسهم نتائج هذه الدراسة في دعم فرضية العلاقة بين الذكاء الاصطناعي ومعدلات إعادة التدوير في البحث الحالي.

وفي إطار تحليل البيانات الضخمة، درس (Khandelwal et al. (2022) نماذج التنبؤ بحجم النفايات في المدن الناشئة استناداً إلى متغيرات اجتماعية واقتصادية وموسمية وديموغرافية. وأثبتت الدراسة أن نماذج التنبؤ القائمة على بيانات الوقت الفعلي تُتيح تحسين التخطيط التشغيلي بصورة ملموسة. وتقدّم هذه الدراسة أطراً نظرية وعملية مفيدة للبحث الحالي.

وعلى مستوى الواقع السعودي، درس (Al-Ansari et al. (2023 إمكانية توظيف الذكاء الاصطناعي في تطوير منظومة إدارة النفايات الصلبة في الرياض، مُقيمين البنية التحتية الرقمية والبيانية المتاحة. وخلصوا إلى أن ثمة إمكانات كامنة كبيرة لكنها تصطدم بعقبات تتعلق بندرة البيانات المنظمة وضعف قابلية التشغيل البيني بين الأنظمة. وتُشكل هذه الدراسة أقرب البحوث إلى موضوع الدراسة الحالية في السياق الجغرافي ذاته.

المحور الثالث: دراسات الاستدامة البيئية والاقتصاد الدائري

ناقش (Ferronato & Torretta (2019 في مراجعة منهجية شاملة التحديات المتعلقة بإدارة النفايات الصلبة في الدول النامية، مُركّزاً على الفجوة بين السياسات المعلنة والممارسات الفعلية على أرض الواقع. وتُقدّم الدراسة سياقاً مقارناً مفيداً لتحليل تحديات إدارة النفايات في البيئات النامية ومتوسطة الدخل.

وفي نفس السياق، تناول (Abdel-Shafy & Mansour (2018 دراسة حالة تفصيلية لمنظومة إدارة النفايات الصلبة في مدن الشرق الأوسط وشمال إفريقيا، مُحدّداً العوامل الثقافية والتنظيمية والمالية المؤثرة في فاعلية المنظومة. وتُثري هذه الدراسة الفهم الإقليمي الذي تنطلق منه الدراسة الحالية.

أما (Ghosh (2020 فقد قدّم تحليلاً تفصيلياً لنماذج الاقتصاد الدائري في إدارة النفايات الحضرية وآليات تقييم الأداء البيئي والاقتصادي المرتبط بها، وهو ما يُوفّر للدراسة الحالية إطاراً نظرياً لتقييم أثر الحلول التقنية على الأداء البيئي.

ثامناً: الفجوة البحثية

- من خلال المراجعة النقدية الشاملة للدراسات السابقة، يمكن رصد الفجوات البحثية التالية التي يسعى هذا البحث إلى معالجتها:
- الفجوة الجغرافية: جُلّ الدراسات المتعلقة بتطبيق الحلول التقنية في إدارة النفايات أُجريت في السياقات الأوروبية والأمريكية والآسيوية الشرقية، مع شُح واضح في الدراسات التي تعالج السياق الخليجي والسعودي تحديداً بما يعكس خصوصية بيئته التنظيمية والاجتماعية.
- الفجوة المنهجية: معظم الدراسات المتاحة اعتمدت المنهج الكمي وحده أو النوعي وحده، في حين يغيب البحث المتكامل الذي يجمع بين المنهجين لتقديم فهم أشمل وأعمق للظاهرة المدروسة.
- الفجوة التكاملية: ندرت الدراسات التي تناولت التكامل بين مختلف الحلول التقنية (إنترنت الأشياء + الذكاء الاصطناعي + البيانات الضخمة + التقنيات الحيوية) في منظومة واحدة متكاملة، فضلاً عن غياب النماذج الإطارية التكاملية القابلة للتطبيق في البيئة السعودية.
- الفجوة التقييمية: غياب نماذج قياس موحدة وشاملة لتقييم مستوى جاهزية المؤسسات البلدية السعودية لاعتماد هذه التقنيات والتحويلات المنشودة.

تاسعاً: المنطلقات النظرية للدراسة

تستند هذه الدراسة إلى جملة من النظريات والأطر المفاهيمية التي تُشكّل معاً بنيتها النظرية المتكاملة:

١. نظرية الأنظمة الذكية (Smart Systems Theory)

تُفسّر هذه النظرية كيفية تكامل مكونات الأنظمة التقنية المختلفة لتشكيل منظومة ذكية قادرة على الاستجابة الفعالة للمتغيرات البيئية والتشغيلية. ويُوظّف البحث هذه النظرية لفهم كيفية تكامل حلول إنترنت الأشياء والذكاء الاصطناعي والبيانات الضخمة في منظومة إدارة النفايات الذكية.

٢. نظرية الابتكار التقني (Technology Innovation Theory)

تُقدّم هذه النظرية إطاراً لفهم مراحل انتشار التقنيات الجديدة في المؤسسات والمجتمعات، وتُحدّد العوامل المحقّزة والمعيقة لتبنيها، وهو ما يُوفّر للبحث الحالي عدسة تحليلية لفهم عوامل نجاح تطبيق الحلول التقنية في المؤسسات البلدية السعودية.

٣. نظرية الاقتصاد الدائري (Circular Economy Theory)

تنتقل هذه النظرية من الرؤية القائلة بضرورة إغلاق دورة حياة المواد والحد من الهدر، مع الاستثمار الأمثل في استرداد الموارد من النفايات. ويُوظّف البحث هذا الإطار لتقييم مدى إسهام الحلول التقنية في تحقيق مبادئ الاقتصاد الدائري في منظومة إدارة النفايات.

٤. نظرية الاستدامة البيئية (Environmental Sustainability Theory)

تُرسّخ هذه النظرية مفهوم التنمية المستدامة الذي يوازن بين متطلبات الحاضر ومتطلبات الأجيال القادمة، وتُقدّم معايير تقييم الأثر البيئي للممارسات المختلفة. ويستند البحث إليها لتقييم أثر الحلول التقنية على المؤشرات البيئية في منظومة إدارة النفايات.

٥. نموذج قبول التقنية (Technology Acceptance Model – TAM)

يُفسّر هذا النموذج العوامل الحاسمة في قبول واستيعاب التقنيات الجديدة في المنظمات، ولا سيما متغيري سهولة الاستخدام المدرك والنفعية المدركة، مما يُوفّر للبحث إطاراً لفهم عوامل قبول الحلول التقنية الذكية في المؤسسات البلدية.

عاشراً: المنهجية وطرق البحث

نوع البحث:

تنتمي هذه الدراسة إلى النوع الوصفي التحليلي التطبيقي، إذ تسعى إلى وصف وتحليل واقع توظيف الحلول التقنية في إدارة النفايات في المدن السعودية، واستكشاف العوامل المؤثرة في هذا التوظيف، وصولاً إلى اقتراح نموذج إطارى للتطبيق.

المنهج البحثي:

تعتمد الدراسة المنهج المختلط (Mixed Methods) بصورته التسلسلية التفسيرية، وذلك بالجمع بين الأساليب الكمية والكيفية على النحو التالي:

- المرحلة الكيفية (الاستكشافية): تُنجز من خلال مقابلات معمّقة مع خبراء الإدارة البيئية والتقنيين ومسؤولي البلديات، بهدف استكشاف الواقع والعوائق وتحديد المتغيرات الرئيسية.
- المرحلة الكمية (الاختبارية): تُنفذ بواسطة استبيان مُقَنَّن يُوزَع على عينة ممثلة من المسؤولين والمختصين في إدارة النفايات بالمدن السعودية المستهدفة، لقياس الفروض البحثية واختبارها إحصائياً.

خطة تنفيذ البحث:

٤. المرحلة الأولى (المراجعة الأدبية): مراجعة الأدبيات والدراسات السابقة وبناء الإطار النظري للبحث خلال شهرين.
٤. المرحلة الثانية (الجمع الكيفي): تصميم دليل المقابلة وإجرائها مع المبحوثين المستهدفين وتحليل مضمونها خلال شهرين.
١٢. المرحلة الثالثة (الجمع الكمي): بناء الاستبيان وتحكيمة واختبار صدقه وثباته وتوزيعه ورصد الاستجابات خلال شهرين.
١٣. المرحلة الرابعة (التحليل والكتابة): تحليل البيانات ومعالجتها إحصائياً وكتابة تقرير البحث النهائي خلال شهرين.

الحادي عشر: مجتمع وعينة الدراسة

مجتمع الدراسة:

يشمل مجتمع الدراسة جميع العاملين والمسؤولين في منظومات إدارة النفايات بالمدن السعودية الرئيسية (الرياض، جدة، الدمام)، ويضم هذا المجتمع العناصر التالية:

- المسؤولون وصانعو القرار في وزارة الشؤون البلدية والقروية وهيئات تطوير المدن.
- المسؤولون التنفيذيون في أمانات الأمانات والبلديات المعنية بخدمات النظافة وإدارة النفايات.
- المديرون التقنيون في شركات إدارة النفايات والمقاولين المتخصصين في هذا المجال.
- الباحثون والخبراء الأكاديميون المتخصصون في الإدارة البيئية وتقنيات المدن الذكية.

عينة الدراسة:

تعتمد الدراسة أسلوبين مختلفين في اختيار العينة بحسب طبيعة كل مرحلة:

- عينة المقابلات (الجانب النوعي): تُختار بطريقة العينة القصدية الهادفة، وتشمل ٢٠-٢٥ مبحوثاً من الخبراء والمسؤولين ذوي الصلة المباشرة بموضوع الدراسة.
- عينة الاستبيان (الجانب الكمي): تُختار بطريقة العينة الطبقية العشوائية، وتستهدف ما لا يقل عن ١٥٠ مبحوثاً من المؤسسات المستهدفة، مع ضمان التمثيل المتوازن للمدن الثلاث والمستويات الوظيفية المختلفة.

مبررات اختيار المدن المستهدفة:

- تمثل الرياض وجدة والدمام مجتمعةً نحو ٦٠٪ من إجمالي النفايات المتولدة في المملكة العربية السعودية.
- تتفاوت هذه المدن في مستوى جاهزيتها التقنية ودرجة تطور بنيتها الرقمية، مما يُيسر إجراء مقارنات تحليلية مثرية.
- توافر بيانات ومعطيات موثقة حول منظومة إدارة النفايات في هذه المدن تُسهّل إجراء التحليل اللازم.

الثاني عشر: أداة الدراسة

تعتمد الدراسة على أداتين رئيسيتين لجمع البيانات:

١. دليل المقابلة شبه المنظمة:

يُشتمل الدليل على ١٢-١٥ سؤالاً رئيسياً مفتوحاً تتوزع على محاور خمسة:

- المحور الأول: واقع إدارة النفايات وتقييم مستوى الكفاءة الراهنة.
- المحور الثاني: الحلول التقنية المطبقة أو المختبرة حالياً وتقييم تجربتها.
- المحور الثالث: العوائق والتحديات التي يواجهها التطبيق التقني على أرض الواقع.
- المحور الرابع: مستوى جاهزية البنية التحتية الرقمية والمؤسسية.
- المحور الخامس: التوصيات والرؤى المستقبلية من منظور الخبراء والممارسين.

٢. الاستبيان المُقنّن:

يتكوّن الاستبيان من أربعة أجزاء رئيسية:

- الجزء الأول: البيانات الديموغرافية والوظيفية (الجنس، المسمى الوظيفي، سنوات الخبرة، المؤسسة).
- الجزء الثاني: مقياس واقع إدارة النفايات وكفاءتها التشغيلية (١٢ بنداً على مقياس ليكرت الخماسي).
- الجزء الثالث: مقياس جاهزية وتطبيق الحلول التقنية (٢٠ بنداً على مقياس ليكرت الخماسي).
- الجزء الرابع: مقياس العوائق والعوامل الحاسمة للنجاح (١٥ بنداً على مقياس ليكرت الخماسي).

اختبارات الصدق والثبات:

- صدق المحتوى: عرض الأداة على لجنة من ٧ محكمين متخصصين من ذوي الخبرة في الإدارة البيئية وتقنيات المعلومات.
- الصدق البنائي: التحقق منه بالتحليل العاملي التوكيدي.
- ثبات الاستبيان: قياسه بمعامل كرونباخ ألفا، ويُعدّ الثبات مقبولاً إذا تجاوزت قيمته ٠,٧٠.

الثالث عشر: أساليب التحليل الإحصائي

للجانب النوعي:

- تحليل المضمون الموضوعي (Thematic Analysis) وفق منهجية براون وكلارك لتحليل بيانات المقابلات.
- الترميز المفتوح والمحوري والانتقائي لاستخلاص الأنماط والمحاور الرئيسية من بيانات المقابلات.
- توظيف برنامج ATLAS.ti لتسهيل عمليات الترميز والتحليل النوعي.

للجانب الكمي:

- الإحصاء الوصفي: المتوسطات والانحرافات المعيارية والتكرارات والنسب المئوية لوصف خصائص العينة.
- معامل كرونباخ ألفا لقياس ثبات الاستبيان والتحقق من موثوقية الأداة.
- التحليل العاملي التوكيدي (CFA) للتحقق من الصدق البنائي للمقاييس المستخدمة.
- اختبارات التوزيع الطبيعي (Kolmogorov-Smirnov, Shapiro-Wilk) للتحقق من مسلمات التحليل البارامتري.
- معامل ارتباط بيرسون لقياس العلاقة بين المتغيرات المتصلة.
- تحليل الانحدار المتعدد لاختبار الفرضيات التنبؤية وقياس مساهمة كل متغير مستقل.
- اختبار T وتحليل التباين الأحادي (ANOVA) لفحص الفروق بين المجموعات المختلفة.
- نمذجة المعادلات الهيكلية (SEM) للتحقق من النموذج الإطاري الشامل المقترح.
- وتُستخدم برامج SPSS v.29 و AMOS v.24 لإجراء جميع التحليلات الإحصائية اللازمة.

رابع عشر: حدود الدراسة

أ) الحدود البشرية:

تقتصر الدراسة على العاملين والمسؤولين في منظومات إدارة النفايات بالمستويات الإدارية والتقنية في أمانات المدن السعودية المستهدفة وشركات إدارة النفايات التابعة لها، دون التوسع ليشمل سكان المدن بشكل عام.

ب) الحدود المكانية:

تُجرى الدراسة في ثلاث مدن رئيسية: الرياض (المنطقة الوسطى) وجدة (منطقة مكة المكرمة) والدمام (المنطقة الشرقية)، باعتبارها الحواضر الحضرية الأكبر والأكثر توليداً للنفايات في المملكة.

ج) الحدود الزمنية:

- فترة المراجعة الأدبية: يناير - فبراير ٢٠٢٦.
- فترة جمع البيانات الميدانية: مارس - يونيو ٢٠٢٦.
- فترة التحليل والكتابة: يوليو - سبتمبر ٢٠٢٦.

د) الحدود الموضوعية:

تتمحور الدراسة حول الحلول التقنية المتاحة لتطوير إدارة النفايات الصلبة الحضرية فحسب، دون التعمق في النفايات الخطرة أو الصناعية المتخصصة التي تخضع لمنظومة تشريعية ومؤسسية مختلفة.

قائمة المراجع

أولاً: المراجع العربية

١. وزارة البيئة والمياه والزراعة. (2022). التقرير السنوي للأداء البيئي والمناخي للمملكة العربية السعودية 2022. الرياض: المملكة العربية السعودية
٢. هيئة تطوير منطقة الرياض. (2023). تقرير إدارة النفايات الصلبة في منطقة الرياض 2023. الرياض: الهيئة الملكية لمدينة الرياض
٣. وزارة الشؤون البلدية والقروية والإسكان. (2022). الاستراتيجية الوطنية لإدارة النفايات الصلبة 2030. الرياض: المملكة العربية السعودية
٤. الشهري، م.، والحري، ع. (2021). إمكانيات التحول نحو الاقتصاد الدائري في إدارة النفايات الصلبة بالمملكة العربية السعودية. مجلة جامعة الملك عبدالعزيز للعلوم الاقتصادية والإدارة، 35(2)، 45-72
٥. العمري، ر.، والسبيعي، خ. (2023). تقييم جاهزية المدن السعودية لتطبيق تقنيات المدينة الذكية في قطاع النظافة البيئية. مجلة الإدارة العامة، 63(1)، 115-142

ثانياً: المراجع الأجنبية

1. Abdel-Shafy, H. I., & Mansour, M. S. M. (2018). Solid waste issue: Sources, composition, disposal, recycling, and valorization. Egyptian Journal of Petroleum, 27(4), 1275-1290. <https://doi.org/10.1016/j.ejpe.2018.07.003>
2. Al-Ansari, F., Al-Rashidi, A., & Al-Blooshi, A. (2023). Artificial intelligence applications in solid waste management in Saudi Arabian cities: Prospects and challenges. Sustainability, 15(8), 6712. <https://doi.org/10.3390/su15086712>
3. Anagnostopoulos, T., Zaslavsky, A., Kolomvatsos, K., Medvedev, A., Amirian, P., Morley, J., & Hadjiefthymiades, S. (2017). Challenges and opportunities of waste management in IoT-enabled smart cities. IEEE Transactions on Sustainable Computing, 2(3), 275-289.
4. Chen, Y., & He, L. (2022). Machine learning algorithms for smart waste management and recycling optimization. Resources, Conservation and Recycling, 179, 106119. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2021.106119>
5. Ferronato, N., & Torretta, V. (2019). Waste mismanagement in developing countries: A review of global issues. International Journal of Environmental Research and Public Health, 16(6), 1060.

6. Ghosh, S. K. (2020). Circular economy: Global perspective. Springer Singapore. <https://doi.org/10.1007/978-981-15-1052-6>
7. Gutierrez, J. M., Jensen, M., Henius, M., & Riaz, T. (2015). Smart waste collection system based on location intelligence. *Procedia Computer Science*, 61, 120–127.
8. Hannan, M. A., Arebey, M., Basri, H., & Begum, R. A. (2020). Intelligent solid waste bin monitoring and management system. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, 4(10), 5314–5319.
9. Kaza, S., Yao, L. C., Bhada-Tata, P., & Van Woerden, F. (2018). What a waste 2.0: A global snapshot of solid waste management to 2050. World Bank Publications.
10. Khandelwal, H., Dhar, H., Thalla, A. K., & Kumar, S. (2022). Application of machine learning in prediction of municipal solid waste generation: A review. *Waste Management & Research*, 40(10), 1419–1429. <https://doi.org/10.1177/0734242X211105>
11. Kumar, A., Samadder, S. R., Kumar, N., & Singh, C. (2021). Estimation of the generation rate of different types of solid wastes and future trends. *Waste Management*, 109, 151–163.
12. Liang, G., Luo, L., & Zhang, C. (2023). IoT-based smart waste management systems in urban environments: A systematic review. *Smart Cities*, 6(2), 898–925. <https://doi.org/10.3390/smartcities6020042>
13. Mohammadi, M., & Motamedi, H. (2021). Deep learning for waste classification using convolutional neural networks: A review and performance evaluation. *Journal of Cleaner Production*, 316, 128239.
14. Sadowski, M., Postula, A., & Horodecka, A. (2022). The role of digital technologies in municipal solid waste management—A systematic review. *Energies*, 15(21), 8172. <https://doi.org/10.3390/en15218172>
15. UN-Habitat. (2022). World cities report 2022: Envisaging the future of cities. United Nations Human Settlements Programme.
16. World Bank. (2023). Municipal solid waste management in the Middle East and North Africa: Opportunities for reducing greenhouse gas emissions. Washington, DC: World Bank Group.

17. Yau, Y. (2021). Domestic waste recycling, collective action and economic incentive: The case in Hong Kong. *Waste Management*, 30(12), 2440–2447.
18. Zhang, D., Huang, G., Xu, Y., & Gong, Q. (2022). Waste-to-energy in China: Key challenges and opportunities. *Energies*, 15(12), 4479.