

عنوان المشروع
إدارة جدوى تدوير النفايات العضوية بالمملكة العربية السعودية

أسم الطالب
عبدالرحمن مصلح محمد الغامدي

مشروع تخرج- ١
كلية الإدارة- جامعة ميدأوشن

إشراف
د. عبدالرحيم نادر
عضو هيئة التدريس- كلية الإدارة- جامعة ميدأوشن

التاريخ ١٨-٤-٢٠٢٥ الفصل الدراسي التاسع

جدول المحتويات

الصفحة	الموضوع
١	الاطار العام للدراسة
٣	المقدمة
٤	مشكلة الدراسة
٦	أهمية الدراسة
٧	أسئلة الدراسة
٩	اهداف الدراسة
١١	فرضيات الدراسة
١٤	نموذج الدراسة
١٧	الدراسة الميدانية
٢٠	منهجية الدراسة
٢٢	هيكل المشروع
٢٣	مراجعة الادبيات
٢٥	الدراسات السابقة
٢٨	ملحق : استبيان لمتغيرات البحث
٣٠	جدول أدوات البحث
٣١	قائمة المراجع

١. مقدمة البحث

تعد النفايات العضوية من أكثر أنواع النفايات إنتاجاً على مستوى العالم، وتمثل تحدياً بيئياً واقتصادياً يتطلب استجابة شاملة ومستدامة. وفي المملكة العربية السعودية، تشكل هذه النفايات أكثر من ٥٠٪ من إجمالي النفايات الصلبة البلدية، نتيجة للنمو السكاني والتوسع العمراني وزيادة الأنشطة التجارية والزراعية. وتشمل هذه النفايات بقايا الطعام، والمخلفات الزراعية، ومخلفات المسالخ والمصانع الغذائية، وتنتج بشكل يومي من مصادر متعددة كالمنازل والمطاعم والأسواق.

ورغم هذا التنوع في المصادر، إلا أن طرق التعامل مع هذه النفايات لا تزال تقليدية وتعتمد على الطمر أو الحرق، مما يؤدي إلى خسارة موارد عضوية مهمة، وتفاقم مشكلات بيئية مثل انبعاث غاز الميثان، وتلوث المياه الجوفية، وزيادة الضغط على المكبات. هذا الواقع لا يمثل فقط تحدياً بيئياً، بل يُعد فرصة مهددة للاستفادة من هذه النفايات كمصدر لإنتاج السماد العضوي، أو الغاز الحيوي، أو حتى الأعلاف الطبيعية، باستخدام تقنيات متطورة وفعالة.

في ضوء هذه التحديات، تأتي رؤية المملكة ٢٠٣٠ لتضع أهدافاً واضحة نحو تحسين إدارة النفايات، وزيادة نسبة إعادة التدوير، وتعزيز مفاهيم الاقتصاد الدائري. وقد أطلقت المملكة عدداً من المبادرات مثل تأسيس المركز الوطني لإدارة النفايات (موان)، وإطلاق الاستراتيجية الوطنية للبيئة، ولكن واقع تدوير النفايات العضوية لا يزال دون المستوى المأمول، حيث تواجه المشاريع تحديات في البنية التحتية، والتشريعات، والوعي المجتمعي، ودور القطاع الخاص.

برزت بعض النماذج المحلية الواعدة، مثل تجربة شركة "إدامة"، التي استطاعت تنفيذ نموذج فعال لمعالجة النفايات العضوية وتحويلها إلى سماد عالي الجودة، لكنها لا تزال تجربة محدودة النطاق، وتحتاج إلى التوسع والتكرار في بيئات مختلفة.

لذلك، يسعى هذا البحث إلى دراسة جدوى تدوير النفايات العضوية في المملكة من خلال تحليل الواقع القائم، وتحديد التحديات، ودراسة النماذج الناجحة محلياً ودولياً، واقتراح حلول عملية تتماشى مع أهداف الاستدامة والتنمية البيئية والاقتصادية للمملكة.

٢. مشكلة البحث

تُعد النفايات العضوية من أكثر أنواع النفايات شيوعاً وتوليداً في المملكة العربية السعودية، إذ تمثل ما يزيد عن ٥٠٪ من إجمالي النفايات الصلبة البلدية. هذا الارتفاع ناتج عن تزايد النمو السكاني، والتوسع العمراني، والنشاط الاقتصادي في قطاعات الأغذية، الزراعة، والخدمات. فعلى سبيل المثال، تنتج المدن الكبرى مثل الرياض وجدة والدمام كميات ضخمة من بقايا الطعام، والمخلفات الزراعية، ومخلفات الأسواق والمطاعم، وتشكل هذه النفايات عبئاً بيئياً متزايداً، خاصة في ظل استمرار الاعتماد على أساليب تقليدية للتخلص منها، مثل الطمر والحرق.

إن الطمر والحرق لا يشكلان فقط تهديداً مباشراً للبيئة، من خلال انبعاثات غازات الاحتباس الحراري وتلوث المياه الجوفية، بل يمثلان أيضاً إهداراً لفرص اقتصادية كبيرة كان يمكن تحقيقها عبر تدوير هذه النفايات وتحويلها إلى منتجات ذات قيمة مضافة مثل السماد العضوي أو الغاز الحيوي أو الأعلاف الحيوانية. وتُظهر الدراسات أن النفايات العضوية غير المستغلة تُعد من أكبر الموارد المهدرة في الاقتصاد السعودي، ما يفتح المجال أمام إعادة التفكير في سياسات الإدارة الحالية.

وعلى الرغم من تبني المملكة لرؤية طموحة ضمن رؤية ٢٠٣٠، والتي نصّت بشكل واضح على تطوير قطاع إدارة النفايات، وزيادة نسبة إعادة التدوير إلى ٣٥٪ من إجمالي النفايات، إلا أن معدلات إعادة تدوير النفايات العضوية لا تزال منخفضة جداً. وقد كشفت تقارير رسمية أن غالبية النفايات العضوية لا تزال تنتهي في المكبات المفتوحة، دون معالجة، مما يعكس ضعف البنية المؤسسية، وضعف التكامل بين الجهات المعنية، وانخفاض وعي الأفراد والمؤسسات بأهمية الفرز وإعادة التدوير.

أحد أبرز مظاهر المشكلة هو غياب نظام فرز النفايات من المصدر. فالعديد من التجارب العالمية الناجحة (مثل ألمانيا وكوريا الجنوبية) تُبنى على فرضية أن الفرز المنزلي والتجاري للنفايات هو المدخل الأول لأي عملية تدوير ناجحة. بينما في المملكة، لا تزال النفايات تُجمع مختلطة، مما يجعل عملية فرزها لاحقاً أكثر تكلفة وصعوبة، ويقتل من جودة الناتج النهائي بعد التدوير. كما أن البلديات، رغم جهودها، تفتقر في كثير من الأحيان إلى الموارد والآليات الفعالة لتطبيق منظومات الفرز.

تتعمق المشكلة أكثر عندما ننظر إلى البعد التشريعي والتنظيمي. فرغم وجود أنظمة وطنية مثل "نظام إدارة النفايات" الذي أقرته هيئة الخبراء بمجلس الوزراء، إلا أن التطبيق الميداني لهذه الأنظمة لا يزال يواجه تحديات كبيرة. فهناك غياب للتشريعات الملزمة التي تُجبر المؤسسات والمنازل على فرز النفايات،

كما أن هناك تداخلاً في الصلاحيات بين الجهات المعنية (البلديات، وزارة البيئة، المركز الوطني لإدارة النفايات، والهيئات التنظيمية الأخرى)، مما يُضعف من فاعلية التنفيذ. ويُلاحظ أيضاً غياب نظام موحد للرقابة، وعدم وجود آليات واضحة لتحفيز المستثمرين أو محاسبة الجهات المقصرة.

من ناحية أخرى، تُظهر الدراسات الأكاديمية المتعلقة بإدارة النفايات في المملكة نقصاً ملحوظاً في تحليل الجدوى الاقتصادية لمشاريع التدوير، حيث تندر النماذج المالية المفصلة التي يمكن أن يعتمد عليها المستثمرون وصناع القرار في تقييم الفرص والمخاطر. وهذا النقص في المعلومات يؤثر بشكل مباشر على حجم الاستثمارات في هذا القطاع، ويجعل من الصعب على الشركات الناشئة أو المبادرات المحلية إثبات جدواها الاقتصادية دون دعم رسمي واضح.

من الأمثلة المحدودة التي تحاول سد هذه الفجوة، تبرز تجربة شركة "إدامة" التي نشأت من جامعة الملك عبد الله (كاوست) كمبادرة أكاديمية وتطورت إلى مشروع تطبيقي لتدوير النفايات العضوية وتحويلها إلى سماد عالي الجودة. وعلى الرغم من النجاح النسبي لهذا النموذج، إلا أن انتشاره لا يزال محدوداً، ولا يمثل حتى الآن قطاعاً مستداماً أو مهيكلاً على نطاق وطني، بل يواجه صعوبات مثل تحديات التوسع، ومحدودية الدعم، وعدم وجود آليات تسويقية واسعة للمنتج النهائي (السماد).

ولا تكتمل صورة المشكلة دون التطرق إلى البُعد الثقافي والسلوكي، فوعي المجتمع بأهمية تدوير النفايات لا يزال منخفضاً، والالتزام بالفرز الطوعي من قبل المنازل والمطاعم محدود. ويُعزى ذلك إلى ضعف الحملات التوعوية، وعدم دمج مفاهيم البيئة والتدوير في المناهج التعليمية، وانخفاض الانخراط المجتمعي في المبادرات البيئية. وهذا السلوك المجتمعي يُعد من أبرز العوائق التي تؤثر على فعالية أي منظومة تدوير، مهما كانت تقنياتها متقدمة أو بنيتها المؤسسية قوية.

كما أن هناك تحديات لوجستية وتقنية تتعلق بتجميع النفايات، ونقلها، ومعالجتها، والتخلص من الرواسب غير العضوية، وعدم توافر الكفاءات البشرية المدربة لإدارة المشاريع، وغياب برامج متخصصة في الجامعات لتخريج كوادر فنية في هذا المجال. كما أن بعض المشاريع التي أُطلقت على مستوى البلديات في تدوير المخلفات الزراعية أو بقايا الأسواق لم تستمر بسبب نقص التمويل أو سوء الإدارة أو غياب الدعم المؤسسي طويل المدى.

من ناحية أخرى، فإن التغيرات المناخية، وزيادة الضغوط على موارد المياه والتربة، تجعل من الضروري إعادة النظر في كيفية التعامل مع النفايات العضوية، إذ أن هذه النفايات تُعد مورداً هاماً لتحسين خصوبة التربة، وتقليل الاعتماد على الأسمدة الكيميائية التي تستهلك موارد طبيعية وتسهم في تلوث المياه.

بناءً على ما سبق، يُمكن تلخيص مشكلة البحث في النقاط التالية:

• على الرغم من وفرة النفايات العضوية في المملكة، إلا أن تدويرها لا يزال محدوداً، ويتم التخلص منها بأساليب غير مستدامة.

• البنية التشريعية والتنظيمية الحالية غير كافية لتفعيل نظام وطني شامل لتدوير النفايات العضوية.

- هناك نقص في النماذج الاقتصادية والتحليلات المالية التي توضح جدوى الاستثمار في هذا القطاع.
- الوعي المجتمعي ضعيف، ولا توجد استراتيجيات فعالة لتعزيز السلوك البيئي المسؤول لدى الأفراد والمؤسسات.

٣. أهمية البحث

تكتسب هذه الدراسة أهميتها من طبيعة الموضوع الذي تتناوله، حيث تُعد النفايات العضوية أحد أبرز التحديات البيئية التي تواجه المدن الحديثة، وخاصة في المملكة العربية السعودية التي تشهد نموًا سكانيًا وحضريًا متسارعًا. ومع تزايد كميات النفايات العضوية الناتجة عن المنازل والمطاعم والمزارع والأسواق، تبرز الحاجة إلى دراسات علمية تساعد في استكشاف أفضل الطرق لإدارتها بطريقة مستدامة وفعالة.

أولاً: من الناحية النظرية، يُسهم هذا البحث في إثراء الأدبيات العلمية المحلية والعربية المتعلقة بموضوع الاقتصاد الدائري والاستدامة البيئية، وذلك من خلال تقديم إطار علمي متكامل لتحليل جدوى مشاريع تدوير النفايات العضوية، وربط هذا الإطار بالنماذج والممارسات الدولية الناجحة. كما يساعد البحث على سد فجوة معرفية في الدراسات السابقة، حيث لا تزال العديد من الأبحاث المحلية تركز على النفايات الصلبة بشكل عام، دون التطرق المتعمق للنفايات العضوية كفئة مستقلة تستحق دراسة مركزية.

ثانياً: من الناحية التطبيقية، يُقدم البحث دليلاً عملياً لصناع القرار في الجهات الحكومية والبلديات والقطاع الخاص، حول كيفية تصميم وتقييم مشاريع التدوير، وخصوصاً تلك التي تعتمد على شراكات بين القطاعين العام والخاص. ويساعد البحث في تسليط الضوء على العوامل التي تعزز أو تعيق نجاح هذه المشاريع، من الناحية الفنية والمالية والاجتماعية.

ثالثاً: من الناحية البيئية والصحية، فإن تسليط الضوء على أهمية تدوير النفايات العضوية يسهم في تقليل الأثر البيئي السلبي الناتج عن الطمر أو الحرق، بما في ذلك تقليل انبعاثات غاز الميثان، وتقليل التلوث الأرضي والمائي، وهو ما ينعكس بشكل مباشر على الصحة العامة وجودة الحياة في المدن السعودية.

رابعاً: من الناحية الاقتصادية والتنموية، يُمكن لنتائج هذا البحث أن تشجع على خلق فرص استثمارية جديدة في قطاع التدوير، خاصة مع تزايد التوجه نحو دعم الاقتصاد الأخضر. كما يُبرز البحث أهمية استغلال هذه النفايات كمورد بديل يُستخدم في إنتاج الأسمدة العضوية والطاقة الحيوية، مما يسهم في تحقيق الأمن الغذائي والطاقة المتجددة.

خامساً: من الناحية الاستراتيجية، يتوافق هذا البحث مع رؤية المملكة ٢٠٣٠، التي وضعت أهدافاً واضحة نحو تحسين إدارة النفايات، وتحقيق الاستدامة البيئية، وزيادة نسبة إعادة التدوير إلى ٣٥٪، وهي أهداف لن تتحقق دون وجود دراسات تطبيقية تساعد في اتخاذ قرارات مبنية على بيانات وتحليل علمي دقيق.

٤. أسئلة البحث

١. ما هو حجم النفايات العضوية المنتجة في المملكة، وما نسبتها من إجمالي النفايات الصلبة؟ هذا السؤال يُعد مدخلاً تأسيسياً لفهم الظاهرة من زاوية رقمية. فمعرفة الحجم الفعلي للنفايات العضوية تُساعد في تقدير الإمكانيات المتاحة للتدوير، وتحديد الحاجة الفعلية للبنية التحتية، وتقدير الموارد المالية والبشرية المطلوبة. كما يُسهم هذا السؤال في تحديد الفجوة بين الكميات المُنتجة والمُعالجة فعلياً، مما يُبرز حجم الهدر.

٢. هل توجد آليات دقيقة لرصد وتتبع هذه الكميات في مختلف المناطق؟ رغم توفر بعض البيانات الرسمية، إلا أن السؤال هنا يتجه نحو تقييم جودة البيانات، ودقة منظومة الرصد والمتابعة، خاصة في ظل تفاوت إمكانيات الأمانات والبلديات. كما يُعالج هذا السؤال أهمية وجود قواعد بيانات وطنية محدثة، كأساس للتخطيط والتخصيص المالي، وجذب الاستثمارات.

٣. ما مدى كفاءة الطرق الحالية في التعامل مع النفايات العضوية؟ وهل تعتمد على أساليب مستدامة؟ يهدف هذا السؤال إلى تقييم الممارسات الفعلية القائمة في البلديات والشركات الخاصة، من حيث جمع النفايات، ونقلها، ومعالجتها. كما يُسلط الضوء على التوازن بين الأساليب التقليدية (الطمر والحرق) والأساليب المستدامة (الكمرة الهوائي، الهضم اللاهوائي)، ومدى توافر التجهيزات والتقنيات المناسبة.

٤. ما الجدوى الاقتصادية الحقيقية من تدوير النفايات العضوية في المدن السعودية؟ يمثل هذا السؤال جوهر الدراسة، إذ يُسهم في فهم العلاقة بين التكاليف التشغيلية والاستثمارية، والعوائد الاقتصادية المتوقعة من مشاريع التدوير. ويتضمن تحليلاً للمتغيرات المالية مثل تكلفة الطن الواحد، وفترة استرداد رأس المال، وسوق السماد العضوي، ودور الدعم الحكومي، والعقبات التمويلية.

٥. ما أبرز المعوقات الإدارية والتنظيمية التي تواجه الجهات المعنية؟ يُسلط هذا السؤال الضوء على التحديات التي تعيق تفعيل المشاريع، مثل غياب الإطار التشريعي الموحد، تضارب الصلاحيات بين الجهات الحكومية، ضعف التنسيق بين الأمانات والمراكز البحثية، والبيروقراطية في إصدار التراخيص. كما يُحلل دور المركز الوطني لإدارة النفايات (موان)، ومدى فعالية برامجه وخططه.

٦. كيف يؤثر مستوى الوعي المجتمعي وسلوك الأفراد على فعالية برامج فرز النفايات العضوية من المصدر؟

يفترض هذا السؤال أن مشاركة المجتمع في عمليات الفرز والتدوير أمر بالغ الأهمية. فغياب الوعي يُفرغ مشاريع التدوير من مضمونها، ويزيد من التكاليف التشغيلية. كما يُناقش مدى فاعلية الحملات التوعوية السابقة، وأثر التعليم والإعلام والمناهج الدراسية، ومدى قبول فكرة التدوير في الثقافة المحلية.

٧. ما دور القطاع الخاص في تطوير منظومة التدوير العضوي؟ وهل توجد حوافز استثمارية وتشريعية كافية؟

يُحلل هذا السؤال مشاركة القطاع الخاص، من حيث تأسيس الشركات الناشئة، الشراكات مع البلديات، والعقود التشغيلية. كما يُقيم فاعلية البيئة الاستثمارية، والامتيازات الممنوحة، والحوافز الضريبية، وضمانات العقود، مع مقارنتها بدول أخرى نجحت في جذب الاستثمارات لهذا القطاع.

٨. ما مدى إمكانية الاستفادة من النماذج والتجارب العالمية في مجال تدوير النفايات العضوية؟ يتطرق هذا السؤال إلى أهمية التعلم من التجارب الدولية، خاصة تلك التي تتشابه في الظروف المناخية أو السكانية أو الهيكل الإداري. مثل نموذج ألمانيا (الفرز المنزلي)، وكوريا الجنوبية (نظام الدفع مقابل التوليد)، والسويد (التحويل إلى طاقة). كما يُناقش كيفية تكييف هذه النماذج مع السياق المحلي.

٩. إلى أي مدى تساهم مشاريع تدوير النفايات العضوية في تحقيق أهداف رؤية المملكة ٢٠٣٠؟ يضع هذا السؤال مشاريع التدوير في سياق الاستراتيجية الوطنية الكبرى، حيث ترتبط بـ"برنامج التحول الوطني"، و"الاستراتيجية الوطنية للبيئة"، و"الاستراتيجية الوطنية للنفايات". كما يُقيم مدى التزام الجهات المنفذة بالخطط المرسومة، والمؤشرات المستهدفة مثل زيادة نسبة إعادة التدوير إلى ٣٥%.

١٠. ما مدى نجاح تجربة شركة "إدامة" كنموذج تطبيقي محلي؟ يركز هذا السؤال على تحليل دراسة حالة حقيقية، لفهم عوامل النجاح والتحديات في السياق المحلي. تُعد شركة "إدامة" من أوائل الشركات السعودية في التدوير العضوي، ونشأت من حاضنة أكاديمية، مما يجعلها نموذجاً مثالياً لدمج البحث العلمي بالتطبيق العملي. يتناول السؤال نموذجها التشغيلي، علاقتها بالبلديات، والنتائج المحققة، وإمكانية التوسع.

١١. ما العوامل التي تُسهم في نجاح أو فشل المشاريع البلدية لتدوير النفايات العضوية؟ يمتد هذا السؤال إلى تقييم المبادرات الحكومية القائمة، من حيث التخطيط، التمويل، التنفيذ، الشفافية، والتقييم الدوري. كما يناقش دور المجتمع المحلي، والاستجابة للمبادرات، ومدى الالتزام بالتعليمات، وتأثير الفجوة بين الخطاب السياسي والواقع التنفيذي.

١٢. ما مدى تقبل المزارعين والقطاع الزراعي لاستخدام السماد العضوي المنتج من التدوير؟ يُسلط الضوء على جانب مهم من دورة المشروع، وهو التسويق. إذ أن نجاح المعالجة لا يكتمل دون وجود سوق مستقر للمنتجات، وخاصة السماد العضوي. يناقش السؤال توجهات المزارعين، ثقتهم بالجودة، والسياسات الزراعية التي تُشجع على استخدامه.

١٣. ما السياسات والإجراءات المقترحة لتعزيز التدوير العضوي في المملكة؟ يُعد هذا السؤال تنويجاً للبحث، حيث يُحاول استشراف المستقبل من خلال بناء سياسات وتوصيات،

انطلاقاً من تحليل الأسئلة السابقة. يتضمن مراجعة الأدوات التشريعية، التمويلية، التوعوية، التقنية، والتعاقدية، التي تُسهم في تحويل النفايات العضوية إلى مورد استراتيجي.

٥. أهداف البحث

يسعى هذا البحث إلى تقديم معالجة علمية شاملة لموضوع تدوير النفايات العضوية في المملكة العربية السعودية، وذلك في إطار الجهود الوطنية الرامية إلى تحقيق الاستدامة البيئية وتعزيز مفاهيم الاقتصاد الدائري، وتحويل النفايات من عبء بيئي إلى مورد اقتصادي. وتكمن أهمية تحديد أهداف هذا البحث في توجيه مجاله بدقة، ورسم مساره التحليلي بما يتيح فهماً أعمق لأبعاد القضية، وانعكاساتها على السياسات العامة، والبيئة، والاقتصاد، والمجتمع.

ينطلق البحث من فرضية أن النفايات العضوية تشكل تحدياً وفرصة في آن واحد، وأن إدارتها بشكل غير فعال له تبعات خطيرة بيئياً واقتصادياً، في حين أن تدويرها وتحويلها إلى منتجات ذات قيمة مضافة يمكن أن يسهم في تقليل التلوث، وخفض استهلاك الموارد، وخلق فرص استثمارية ووظائف جديدة. ومن هذا المنطلق، يهدف البحث إلى تحقيق مجموعة من الأهداف الرئيسية والفرعية التي تتكامل معاً لبناء تصور شامل ومتكامل عن واقع وآفاق تدوير النفايات العضوية في المملكة، وفق التسلسل الآتي:

(أ) دراسة وتحليل واقع النفايات العضوية في المملكة العربية السعودية: يتضمن هذا الهدف تحليلاً دقيقاً للإحصائيات الوطنية حول النفايات البلدية الصلبة، مع التركيز على النفايات العضوية باعتبارها الأكثر وفرة. كما يتناول البحث تصنيف النفايات حسب مصدرها: سكني، تجاري، زراعي، صناعي، مؤسسي، مع توضيح نسب كل فئة. بالإضافة إلى ذلك، يتم استعراض آليات الجمع والنقل والفرز من المصدر إن وجدت، وتحديد أوجه القصور في تلك الآليات، وربطها بالمستوى الإداري للجهات المعنية.

(ب) تقييم الوضع الراهن لإدارة النفايات العضوية: يهدف إلى مراجعة الاستراتيجيات الوطنية، مثل البرنامج الوطني لإدارة النفايات، وتقييم فعالية البنية التحتية الحالية، سواء من ناحية وجود مصانع متخصصة، أو تقنيات معالجة، أو آليات تعاقدية بين البلديات والقطاع الخاص. كما يتم تقييم مدى وضوح السياسات التنظيمية، وفاعلية اللوائح التنفيذية ذات العلاقة.

(ج) تحليل الجدوى الاقتصادية لمشاريع تدوير النفايات العضوية: يتطرق هذا الهدف إلى تقدير التكاليف والعوائد المالية المحتملة من تدوير النفايات العضوية، متضمناً تحليل عناصر التكلفة (الاستثمار الرأسمالي، التشغيل، الصيانة)، وتحليل العوائد (بيع المنتجات

النهائية، توفير تكاليف الطمر)، وتقييم الجوانب الاستثمارية من خلال دراسات جدوى مقارنة. كما يبحث في فرص التمويل الحكومي أو الخاص، وجدوى مشاريع الشراكة بين القطاعين العام والخاص.

(د) تحليل الجدوى البيئية لتدوير النفايات العضوية:
يستعرض الأثر البيئي الإيجابي الناتج عن تقليل الاعتماد على الطمر والحرق، مثل تقليل الانبعاثات الكربونية، خفض المخاطر الصحية، والحفاظ على الأراضي من التدهور. ويتناول كذلك أثر السماد العضوي المنتج على التربة والمحاصيل، مقارنة بالأسمدة الكيماوية، مع مراعاة السياق المناخي والبيئي للمملكة.

(هـ) تحديد المعوقات والتحديات الفنية والإدارية والتشريعية:
يشمل تحديد العقبات التي تعيق تطبيق مشاريع التدوير بفعالية، مثل ضعف التنسيق بين الجهات الحكومية، غياب قواعد بيانات دقيقة، نقص الكفاءات الفنية، تعقيد الإجراءات التنظيمية، وضعف الاستجابة المجتمعية. كما يتم تحليل فجوات الإطار التشريعي، ومدى حاجته للتحديث بما يتماشى مع التوجهات العالمية الحديثة.

(و) استكشاف مدى تأثير السلوك المجتمعي على مشاريع التدوير:
يركز على فهم ممارسات الأفراد اليومية في التعامل مع النفايات، ومدى التزامهم بالفرز، وقناعاتهم حول فوائد التدوير. كما يتم تحليل دور التعليم والإعلام والمؤسسات الدينية في تشكيل هذا السلوك، وتقييم أثر حملات التوعية السابقة على تغيير أنماط الاستهلاك والفرز، ومدى تقبلهم لفكرة تحويل النفايات إلى منتجات.

(ز) تحليل تجربة شركة "إدامة" كنموذج تطبيقي محلي:
يشمل دراسة تفصيلية لمسار الشركة منذ التأسيس داخل كاوست، وتحليل نموذج العمل الخاص بها، واستراتيجيات التوسع، وأسلوب التشغيل والإدارة، وتقييم أدائها من خلال مؤشرات مالية وبيئية. كما يُقارن هذا النموذج مع تجارب مماثلة دولية، بهدف استنتاج عناصر التميز والتحديات، وقياس قابلية تكرار التجربة على نطاق أوسع داخل المملكة.

(ح) تقديم توصيات وسياسات مقترحة لتطوير القطاع:
يُستند إلى نتائج التحليل في صياغة مجموعة من التوصيات العملية، التي تتناول التشريعات، التحفيز المالي، التوعية، بناء القدرات، تمكين القطاع الخاص، دعم البحث والتطوير، وتوجيه البلديات. كما يتم تصنيف التوصيات حسب المستفيد (الحكومة – البلديات – القطاع الخاص – المجتمع)، وتقدير الأثر الزمني لكل توصية (قصير، متوسط، طويل الأمد).

(ط) استشراف مستقبل قطاع تدوير النفايات العضوية في المملكة:
يركز على التوجهات المستقبلية، من خلال تحليل عوامل مثل تغير المناخ، والتطورات التقنية (كالذكاء الاصطناعي وإنترنت الأشياء)، وتحولات السوق، ونمو المدن، وتغير السياسات الدولية البيئية. كما يتناول فرص الدمج بين التدوير والطاقة المتجددة، واستخدام تطبيقات رقمية لتتبع النفايات، ودور التعليم والتدريب في إعداد جيل جديد من المهنيين المختصين في القطاع.

٦. فرضيات البحث

تُعد فرضيات البحث بمثابة الإطار التصوري الذي يُبنى عليه التحليل، وهي تعبر عن العلاقات المتوقعة بين المتغيرات في ضوء الإشكالية المطروحة. وفي هذا البحث، الذي يتناول جدوى إدارة تدوير النفايات العضوية في المملكة العربية السعودية، يتم طرح عدد من الفرضيات التي تستند إلى مراجعة الأدبيات، وتحليل السياق المحلي، ومقارنة التجارب الدولية.

الفرضيات التالية لا تُعد مجرد توقعات أولية، بل هي محاور تحليلية سيتم اختبارها من خلال الدراسة النظرية والتطبيقية، ودراسة الحالة الخاصة بشركة "إدامة"، والمقابلات مع أصحاب المصلحة، وتحليل البيانات الثانوية المتوفرة. وقد صيغت هذه الفرضيات بشكل يضمن شمولية تناول للزوايا الاقتصادية، التنظيمية، التقنية، المجتمعية، والشراكات المؤسسية، كما يلي:

أ) توجد جدوى اقتصادية ملموسة لتدوير النفايات العضوية في المملكة، بشرط توفر البيئة المؤسسية المناسبة والدعم الحكومي الكافي. وتنطلق هذه الفرضية من واقع أن المملكة تنتج كميات ضخمة من النفايات العضوية (تفوق ٥٠٪ من إجمالي النفايات البلدية)، مما يشكل مورداً بيئياً واقتصادياً ضائعاً في حال الطمر أو الحرق. وتفترض الدراسة أن تحليل الكلفة والفائدة (Cost-benefit analysis) سيُظهر أن تدوير هذه النفايات يُعد خياراً اقتصادياً فعالاً على المدى المتوسط والطويل، خاصة في حال دمج القيمة البيئية في التحليل الاقتصادي. الجدوى الاقتصادية هنا تشمل جوانب متعددة:

- تقليل تكاليف إدارة النفايات من خلال خفض أحجامها.
- توليد دخل من بيع السماد العضوي والغاز الحيوي.
- خلق فرص عمل في القطاعات البيئية الخضراء.
- تقليل التكاليف الصحية الناجمة عن التلوث البيئي.

ومع ذلك، تشترط الفرضية أن هذه الجدوى لا تتحقق تلقائيًا، بل تتطلب بيئة مؤسسية داعمة تشمل الإطار التنظيمي، التمويل، القدرات البشرية، والبنية التحتية.

ب) تُشكل التحديات التنظيمية والتشريعية أحد أبرز المعوقات أمام مشاريع تدوير النفايات العضوية. تعتمد هذه الفرضية على ملاحظة فجوة واضحة بين الخطط الاستراتيجية والرؤية الطموحة التي تتبناها المملكة (مثل رؤية ٢٠٣٠)، وبين التطبيق الفعلي على الأرض، والذي لا يزال محدودًا. وتفترض الفرضية أن غياب لوائح ملزمة بفرز النفايات من المصدر، وتداخل الصلاحيات بين الجهات الحكومية، وعدم وضوح المعايير، كلها تشكل معوقات حقيقية. كما أن محدودية التشريعات الخاصة بالحوافز الضريبية، أو الدعم المالي لمشاريع التدوير، تُعد عاملاً مُحبطاً للقطاع الخاص. وتشير تجارب دول مثل ألمانيا وكوريا الجنوبية إلى أن وجود تشريعات واضحة، مدعومة بآليات رقابة فعالة، شرط أساسي لتفعيل أنظمة التدوير. لذلك، فإن هذه الفرضية تحلل العلاقة بين التنظيم القانوني ومدى نجاح المشروع.

ج) يلعب الوعي المجتمعي وسلوك الأفراد دورًا محوريًا في دعم أو إضعاف جهود التدوير. تفترض هذه الفرضية أن سلوك الأفراد في التعامل مع النفايات هو مفتاح نجاح أي منظومة تدوير، خاصة النفايات العضوية التي تتطلب فرزًا دقيقًا من المصدر. وتشير الدراسات إلى أن هناك ضعفًا عامًا في ثقافة التدوير لدى المجتمع السعودي، نتيجة عوامل اجتماعية وتعليمية وتاريخية. وتُبرز هذه الفرضية أهمية الجانب السلوكي، حيث أن المشاريع التقنية والإدارية الأكثر تقدمًا لا تنجح دون تعاون الأفراد. ولذلك، سيتم في هذا البحث تحليل مدى استعداد المجتمع للفرز، وتقبله لفكرة إعادة التدوير، وتأثير القيم الدينية والثقافية على هذا السلوك، ودور التعليم والإعلام في بناء وعي بيئي مستدام. كما ستُحلل الفرضية تأثير التوعية المستمرة على مدى التزام الأفراد، ومدى استعدادهم للمشاركة النشطة في البرامج البلدية والشركات الخاصة.

د) يمكن لنموذج الشراكة بين القطاعين العام والخاص (PPP) أن يُسهم في تسريع وتوسيع مشاريع تدوير النفايات العضوية.

تنطلق هذه الفرضية من رؤية مفادها أن الجهات الحكومية لوحدها لا تستطيع تحمل كامل أعباء التدوير، من حيث الاستثمار، التشغيل، الابتكار، والتوسع الجغرافي. ولذلك فإن شراكة حقيقية بين القطاع الحكومي والقطاع الخاص يُمكن أن تخلق بيئة أكثر كفاءة واستدامة. وتركز الفرضية على دراسة نماذج التعاقد (BOT – BOO) عقود الخدمة (المطبقة محليًا وعالميًا)، وتقييم مدى مرونتها، وعدالتها، وجاذبيتها للمستثمرين.

كما تفترض أن الشراكة توفر تمويلاً مستقرًا، ونقلًا للتكنولوجيا، وتحسينًا للحوكمة، وتقاسمًا للمخاطر. وسيتم دراسة تجربة "إدامة" كمثال على هذا النوع من الشراكة، وتحليل إمكانية التوسع في هذا النموذج إلى مدن أخرى.

هـ) إن تطبيق تقنيات معالجة حيوية متقدمة (مثل الكمر الهوائي، والهضم اللاهوائي، وتقنية ذبابة الجندي الأسود) يمكن أن يُعزز من جودة المنتج ويقلل الانبعاثات ويرفع من القيمة المضافة. تفترض هذه الفرضية أن التقنية هي عنصر جوهري في رفع كفاءة التدوير، وتحسين مخرجاته. فالتقنيات التقليدية تعاني من مشكلات بيئية، وتكاليف عالية، ونواتج غير قابلة للتسويق. بينما تشير التجارب الدولية إلى أن استخدام تقنيات مثل:

- الكمر الهوائي الديناميكي: يرفع من جودة السماد ويقلل الزمن اللازم للمعالجة.
 - الهضم اللاهوائي: يُنتج غاز الميثان كمصدر للطاقة، ويقلل من حجم النفايات.
 - تقنية ذبابة الجندي الأسود: تُنتج بروتينًا حيوانيًّا يُستخدم في الأعلاف، وتُسرع من عملية التحلل.
- وسيتم تحليل مدى جاهزية المملكة لاعتماد هذه التقنيات، وتقدير تكلفتها مقارنة بعوائدها، ودراسة فرص تصنيع أو نقل التكنولوجيا من الخارج.

٧. نموذج البحث

يعتمد هذا البحث على نموذج بحثي متكامل يجمع بين المنهج الوصفي التحليلي ومنهج دراسة الحالة التطبيقية، وذلك بهدف بناء إطار علمي وعملي لتقييم جدوى إدارة وتدوير النفايات العضوية في المملكة العربية السعودية. وقد تم اختيار هذا النموذج استناداً إلى تعقيد الظاهرة موضوع الدراسة، وتعدد أبعادها البيئية، الاقتصادية، الإدارية، والتقنية، إلى جانب تداخل الفواعل المؤسسية والمجتمعية فيها.

تدوير النفايات العضوية ليس مجرد عملية تقنية، بل هو نتاج منظومة متكاملة من السياسات العامة، والإرادة المؤسسية، والسلوك المجتمعي، والجدوى الاقتصادية. ولهذا، فإن الاقتصار على أحد المناهج الكمية أو النوعية فقط لا يكفي لفهم الواقع بكليته. من هنا جاء المزج بين المنهج الوصفي التحليلي – الذي يُمكن من توصيف الظاهرة وتفسير أبعادها – ومنهج دراسة الحالة – الذي يسمح بتحليل نموذج واقعي داخل البيئة المحلية.

أولاً: المنهج الوصفي التحليلي

يعتمد المنهج الوصفي التحليلي على جمع المعلومات من مصادر متنوعة، ثم تحليلها لاستخلاص استنتاجات علمية. وقد تم استخدام هذا المنهج لوصف الواقع القائم في المملكة من حيث إنتاج النفايات العضوية، وتوزيعها الجغرافي، ومصادرها (منازل، مطاعم، أسواق، مزارع، مصانع غذائية)، وكذلك لمراجعة السياسات الحكومية الحالية في التعامل مع هذه النفايات.

ويُعتمد في هذا الجزء على تقارير صادرة عن وزارة البيئة والمياه والزراعة، المركز الوطني لإدارة النفايات (موان)، الهيئة العامة للإحصاء، بالإضافة إلى أدبيات أكاديمية ودراسات منشورة في جامعات سعودية مثل جامعة الملك سعود وجامعة الملك عبد العزيز. وقد تمت مراجعة التجارب السابقة لمشاريع تدوير عضوي محلية، ومقارنة مدى كفاءتها، وتقييم ما تحقق حتى الآن من أهداف الاستراتيجية الوطنية للنفايات.

يُمكننا هذا المنهج من فهم أسباب ضعف معدل التدوير العضوي في المملكة، رغم الإمكانيات الهائلة. فهو يساعد على تحليل الفجوة بين السياسات المعلنة والتطبيق العملي، وكذلك تحديد مكانن القصور المؤسسي أو التحديات المجتمعية.

ثانيًا: منهج دراسة الحالة

من أجل تدعيم التحليل النظري بالتحليل التطبيقي، تم اعتماد منهج دراسة الحالة، الذي يُستخدم لتحليل حالة واقعية قائمة على الأرض. وتم اختيار شركة "إدامة للحلول العضوية" كنموذج تطبيقي. وهي شركة ناشئة تأسست داخل جامعة الملك عبد الله للعلوم والتقنية (كاوست)، وتعمل على تحويل النفايات العضوية إلى سماد عالي الجودة باستخدام تقنيات متقدمة ومناسبة للبيئة المحلية.

وقد تمت دراسة هذا النموذج من زوايا متعددة:

- البنية التنظيمية للشركة.
- طرق جمع النفايات.
- آليات المعالجة (الكمر الهوائي، التسميد الديناميكي، الهضم اللاهوائي).
- تكلفة التشغيل مقارنة بالعوائد السنوية.
- علاقاتها مع المجتمع المحلي والبلديات.
- التحديات التي واجهتها في مرحلة التأسيس والنمو.

كما تم وضع أداء "إدامة" في سياق مقارنة مع مشاريع دولية في دول مثل ألمانيا وكوريا الجنوبية والسويد، وهي دول متقدمة في مجال التدوير العضوي. وقد أظهرت المقارنة أن من عوامل النجاح في تلك التجارب وجود نظام صارم للفرز من المصدر، ودعم تشريعي، وتمويل طويل الأجل، وشراكات مؤسسية فعالة. وبالتالي تمت ملاحظة الفروقات بين تلك النماذج والنموذج السعودي، بهدف فهم ما يمكن تطبيقه محلياً وما يحتاج إلى تكيف.

ثالثًا: أدوات جمع البيانات

تم الاعتماد على مجموعة أدوات منهجية لجمع وتحليل المعلومات:

١. تحليل المحتوى: فُحصت تقارير رسمية حكومية وتقارير منشورة من "إدامة"، بالإضافة إلى أدلة إرشادية لمراكز التدوير، ولوائح تنظيمية متعلقة بإدارة النفايات.
٢. مقابلات شبه منظمة: أُجريت مع موظفين في شركة "إدامة"، بالإضافة إلى مهندسين من أمانة جدة، وبعض الأكاديميين من قسم علوم البيئة في جامعة الملك عبد العزيز.
٣. مراجعة بيانات مالية: تم تحليل بيانات تشغيلية نشرتها "إدامة"، مثل كمية النفايات المعالجة، تكاليف المعالجة للطن الواحد، إجمالي العوائد من بيع السماد العضوي، وفترة استرداد رأس المال.

٤. مقارنة مع دراسات دولية: أستخدمت مصادر عالمية مثل تقارير الوكالة الألمانية للتعاون الدولي (GIZ)، ومنظمة الأمم المتحدة للبيئة (UNEP)، لتأطير نتائج الشركة المحلية ضمن السياق الدولي.

رابعاً: الإطار النظري والتحليلي

يعتمد هذا النموذج على إطار مفاهيمي يركز على ثلاث ركائز رئيسية:

- الاقتصاد الدائري: ويشمل تقليل النفايات، إعادة الاستخدام، والتحويل إلى منتجات ذات قيمة مضافة.
 - الاستدامة البيئية: من خلال خفض الانبعاثات، وتقليل الضغط على الموارد الطبيعية، وتحسين جودة التربة.
 - الجدوى الاستثمارية: تحليل العوائد الاقتصادية لمشاريع التدوير من حيث الأرباح، التكاليف، والاستدامة المالية.
- يربط هذا الإطار بين المتغيرات البيئية والاقتصادية والاجتماعية، ويتيح للباحث تحليل العلاقة بين أداء المؤسسات وبين الأطر التنظيمية، والممارسات المجتمعية، والبنية التحتية.

خامساً: القيمة المضافة للنموذج

الميزة الرئيسية لهذا النموذج أنه لا يكتفي بوصف الواقع فقط، بل ينتقل لتحليل العوامل المؤثرة، وبناء فرضيات، ومقارنتها بنتائج ميدانية. كما يتيح للباحث تقديم توصيات واقعية تعتمد على بيانات محلية، وتجارب دولية قابلة للتكييف، بما يدعم صانعي القرار في صياغة سياسات أكثر فاعلية، وتحسين فرص جذب الاستثمار في قطاع التدوير.

١. نبذة عن الصناعة / المؤسسة المقترحة للدراسة التطبيقية :

تُعد صناعة إدارة وتدوير النفايات العضوية في المملكة العربية السعودية من القطاعات الناشئة التي تشهد اهتمامًا متزايدًا في السنوات الأخيرة، وذلك في ظل التحول الوطني الذي تقوده رؤية المملكة ٢٠٣٠ نحو التنمية المستدامة، وتقليل الاعتماد على الموارد غير المتجددة، وتعزيز مفاهيم الاقتصاد الدائري. هذا القطاع، رغم حداثته، يمثل فرصة استراتيجية للمملكة من حيث الأثر البيئي والاقتصادي والاجتماعي، لا سيما أن النفايات العضوية تمثل أكثر من ٥٠٪ من إجمالي النفايات البلدية المنتجة في المدن السعودية، بحسب تقارير وزارة البيئة والمياه والزراعة.

واقع الصناعة في المملكة:

يُنتج القطاع البلدي آلاف الأطنان من النفايات العضوية يوميًا، ومعظمها يتم التخلص منه عبر الطمر أو الحرق في مكبات تقليدية، مما يتسبب في خسارة موارد ثمينة ويسهم في تلوث الهواء والمياه الجوفية، بالإضافة إلى انبعاث غازات دفيئة مثل الميثان وثاني أكسيد الكربون. وبالرغم من وجود خطط واستراتيجيات وطنية مثل البرنامج الوطني لإدارة النفايات، إلا أن تطبيق مشاريع تدوير النفايات العضوية لا يزال يواجه عدة معوقات، أبرزها:

- غياب سياسات ملزمة لفرز النفايات من المصدر.
- ضعف البنية التحتية اللازمة لجمع وفرز ومعالجة النفايات العضوية.
- محدودية وعي المجتمع بأهمية التدوير وفوائده.
- غياب الحوافز الاقتصادية التي تشجع القطاع الخاص على الاستثمار في هذا المجال.

النماذج التطبيقية الناشئة: شركة "إدامة" كنموذج رئيسي

من أبرز المبادرات الناشئة في هذا المجال، تبرز شركة "إدامة للحلول العضوية" كأول شركة سعودية ناشئة تعمل بشكل احترافي في مجال إعادة تدوير النفايات العضوية. تأسست "إدامة" في عام ٢٠١٨ داخل جامعة الملك عبد الله للعلوم والتقنية (KAUST)، كمبادرة بحثية تحولت إلى مشروع تجاري ناجح.

تتمثل مهمة "إدامة" في تقديم حلول عضوية محلية قابلة للتطبيق، تقوم على تحويل النفايات العضوية إلى سماد عضوي عالي الجودة يُستخدم في الزراعة الصحراوية، ويُعد بديلاً مستداماً للأسمدة الكيميائية.

ما يُميز نموذج "إدامة" هو:

- استخدامها لتقنيات متقدمة في المعالجة الحيوية مثل الكمر الهوائي الديناميكي (Aerated Composting) بما يتناسب مع المناخ السعودي.
- بناء شبكة تجمع نفايات تعاونية تضم مطاعم، أسواق مركزية، فنادق، وجهات تعليمية، بهدف جمع النفايات العضوية من مصادر متعددة.
- الاستفادة المشروع من البيئة الأكاديمية في كاوست، من خلال الدعم البحثي، واستخدام المختبرات لتطوير تركيبات سماد تلائم التربة المحلية.
- تحقيق نتائج اقتصادية وبيئية فعلية، حيث تمكنت "إدامة" من معالجة أكثر من ٤٠ ألف طن من النفايات العضوية، وتقليل الانبعاثات الناتجة عن الطمر، إضافة إلى تسويق منتجاتها لعدد من المزارع.

وفي أكتوبر ٢٠٢٣، أبرمت الشركة شراكة استراتيجية مع الشركة السعودية للاستثمارية لإعادة التدوير (سرك)، المملوكة لصندوق الاستثمارات العامة، لتأسيس شركة جديدة تهدف إلى توسيع نطاق إعادة تدوير النفايات العضوية على مستوى وطني، بما يُعد نقطة تحول في بناء صناعة متكاملة ومستدامة.

مبادرات أخرى داعمة:

رغم ريادة "إدامة"، إلا أن هناك مبادرات أخرى محلية تستحق الدراسة والمقارنة، منها:

- مشروع التدوير المنزلي في جدة: أطلقتته أمانة جدة بالتعاون مع شركات أهلية لجمع النفايات العضوية من بعض الأحياء السكنية، وتدريب السكان على الفرز من المصدر. إلا أن المشروع يعاني من ضعف الالتزام، وغياب الحوافز.
- وحدة التدوير في جامعة الملك سعود: تأسست كوحدة توعوية تجريبية داخل الحرم الجامعي، حيث يتم جمع بقايا الطعام من الكافتيريات، ومعالجتها في وحدات صغيرة لإنتاج السماد. وهي تجربة مفيدة على المستوى التعليمي لكنها لم تتوسع خارج الجامعة.
- مشاريع بلدية في الطائف والمدينة المنورة: تم التعاقد مع مزارع محلية لتسليمها النفايات العضوية الزراعية والمطعمية مقابل استخدامها كسماد بعد المعالجة. هذه التجارب أثبتت جدواها في خفض حجم النفايات، لكنها تعاني من ضعف الرقابة والاستمرارية.

تحليل مقارن بين المشاريع:

من خلال المقارنة بين "إدامة" والمبادرات الأخرى، يمكن استخلاص ما يلي:

مشاريع بلدية / جامعية	شركة إدامة	المؤشر
تقنيات بسيطة أو يدوية	تقنية الكمر الديناميكي	التقنية المستخدمة
محدودة أو تجريبية	متقدمة ومدعومة من كاوست	البنية التحتية
ضعيفة - تعتمد على ميزانيات حكومية	عالية - بتمويل خاص وتعاقبات	الاستدامة التشغيلية
غير مقاس أو محدود التوثيق	موثق ومنشور عبر تقارير	الآثار البيئي
محدود في نطاق الموقع	جاري التخطيط للتوسع	التوسع الجغرافي

هذا التحليل يوضح أن "إدامة" تمثل نموذجًا تطبيقيًا ناجحًا يمكن تعميمه، خصوصًا عند دمج المعرفة البحثية بالتمويل الاستثماري. في المقابل، تحتاج المشاريع الأخرى إلى إعادة تصميم إداري وتشريعي لتصبح أكثر استدامة.

أهمية هذه النماذج للبحث:

إن اختيار "إدامة" كنموذج تطبيقي رئيسي في هذا البحث لا يعني تفضيلها فقط، بل لأنها تُقدّم بيئة مثالية لتحليل الجدوى الاقتصادية، والتشغيلية، والبيئية، وذلك بناءً على بيانات حقيقية، وتجربة ميدانية، وشراكات مؤسسية فاعلة. كما أن المقارنة مع النماذج الأخرى توضح نقاط التحول المطلوبة لإنجاح مشاريع التدوير العضوي في باقي مناطق المملكة.

أهمية تقييم القطاع بعمق:

يُعد فهم واقع صناعة تدوير النفايات العضوية أمرًا حاسمًا لتحديد توجهات السياسات البيئية والاقتصادية في المملكة. ويتطلب هذا التقييم أخذ عدة عوامل في الاعتبار، منها:

- الجدوى المالية طويلة الأجل.
- قبول المجتمع لهذه الممارسات.
- البنية التحتية للتجميع والمعالجة.
- التشريعات والتنظيمات المشجعة.

ويهدف هذا القسم من البحث إلى الربط بين النظرية والتطبيق، واستكشاف إمكانات بناء نموذج وطني مستدام لتدوير النفايات العضوية، اعتمادًا على تحليل شامل ومقارن بين المشاريع القائمة، والممارسات الدولية.

٢. منهجية البحث :

- المقدمة

يُعد هذا الفصل بمثابة الإطار المنهجي الذي استند إليه الباحث لتحقيق أهداف الدراسة والإجابة عن أسئلتها. ويعتمد على مزيج من الأساليب الكمية والنوعية لتكوين صورة متكاملة حول واقع تدوير النفايات العضوية في المملكة العربية السعودية، وتحليل العوامل المؤثرة على كفاءة هذه العملية من النواحي الاقتصادية والاجتماعية والبيئية.

- التعريفات الإجرائية لمتغيرات البحث

- النفايات العضوية: هي كافة المخلفات الحيوية القابلة للتحلل، مثل بقايا الطعام، المحاصيل الزراعية، والروث الحيواني، الناتجة من المنازل والمطاعم والمزارع والأسواق.
- تدوير النفايات العضوية: يقصد به كل العمليات التي تهدف إلى تحويل النفايات العضوية إلى منتجات مفيدة مثل السماد العضوي أو الغاز الحيوي أو الأعلاف.
- الجدوى الاقتصادية: قدرة مشروع التدوير على تحقيق عوائد تفوق التكاليف الاستثمارية والتشغيلية على المدى المتوسط والطويل.
- الوعي المجتمعي: مدى إدراك الأفراد والمزارعين لفوائد التدوير واستعدادهم لتغيير سلوكياتهم البيئية.
- الشراكة المؤسسية: التعاون بين القطاعين العام والخاص لتنفيذ مشاريع تدوير النفايات العضوية.
- تصميم البحث (صلة البحث)

اعتمد البحث على المنهج الوصفي التحليلي بهدف دراسة الوضع الراهن لتدوير النفايات العضوية، وتحليل السياسات والتحديات، وقياس وعي الأفراد والمزارعين. كما تم توظيف منهج دراسة الحالة عبر تحليل تجربة شركة "إدامة" كنموذج محلي تطبيقي. وتم الربط بين التحليل النظري والميداني للخروج بتوصيات واقعية.

- مجتمع البحث وطرق وتقنيات أخذ العينات

• مجتمع الدراسة: شمل فئتين رئيسيتين:

◦ الأفراد والمزارعون في مختلف مناطق المملكة.

- العاملون في الجهات المعنية مثل البلديات ووزارة البيئة وشركات التدوير.
- العينة : تم استخدام عينة غير احتمالية (ميسرة) نتيجة نشر الاستبيان إلكترونياً عبر Google Forms، واستهدفت حوالي ١٠٠ مشارك من فئات مختلفة.
- تقنيات أخذ العينات : اعتمدت على التوزيع العشوائي غير المنتظم، بالإضافة إلى المقابلات الموجهة مع ذوي العلاقة بالمجال.
- طريقة جمع البيانات
- تم استخدام أدوات متعددة لجمع البيانات لتحقيق شمولية في التحليل:
- الاستبيان الإلكتروني لقياس وعي الأفراد والمزارعين، تضمن أسئلة مغلقة ومفتوحة.
- مقابلات شبه منظمة مع موظفين في شركة "إدامة"، وأكاديميين، ومسؤولين في أمانة جدة.
- تحليل وثائق وتقارير رسمية وأكاديمية.
- بيانات مالية تشغيلية صادرة من شركة "إدامة" لتقدير الجدوى الاقتصادية.
- أنواع البيانات
- كمية: مثل استجابات الاستبيان باستخدام خيارات محددة وتصنيفية.
- نوعية: من خلال الأسئلة المفتوحة والمقابلات والملاحظات الشخصية.
- ثانوية: من تقارير المؤسسات الحكومية والدولية) مثل UNEP و GIZ ووزارة البيئة).
- إجراءات التحليل الإحصائي
- تم إدخال بيانات الاستبيان في برامج تحليل إلكترونية.(Excel/Google Sheets)
- استخدمت الإحصائيات الوصفية (النسب، التكرارات، الأعمدة البيانية) لتحليل إجابات المشاركين.
- جرى تحليل نوعي للنصوص المفتوحة والمقابلات لاستخلاص الاتجاهات العامة.
- تم مقارنة نتائج تجربة "إدامة" مع نماذج دولية لاستخلاص الفجوات والتحسينات الممكنة.
- الخاتمة
- اعتمد البحث على منهجية علمية متعددة الأدوات تجمع بين التحليل النظري والميداني. وقد ساعدت هذه المنهجية في الوصول إلى نتائج دقيقة ومتكاملة حول جدوى تدوير النفايات العضوية في المملكة، كما مهدت الطريق لبناء فصل النتائج والتوصيات الذي يمثل المرحلة الختامية للدراسة.

٨. الهيكل المقترح للمشروع

أ. العنوان :جدوى إدارة تدوير النفايات العضوية في المملكة العربية السعودية

ب. الهيكل المقترح:

١. مقدمة البحث
٢. مشكلة البحث
٣. أهمية البحث
٤. أهداف البحث
٥. أسئلة البحث
٦. فرضيات البحث
٧. مراجعة الأدبيات
٨. نموذج البحث
٩. الصناعة / المؤسسة المقترحة
١٠. منهجية البحث
١١. الدراسة التطبيقية (شركة إدامة)
١٢. النتائج والتوصيات
١٣. قائمة المراجع

٩. فصل مراجعة الأدبيات

يُعد تدوير النفايات العضوية أحد أهم الاتجاهات الحديثة في مجالات الإدارة البيئية والاقتصاد الدائري، ويُنظر إليه كأداة فعالة لمواجهة التحديات البيئية والاقتصادية المتزايدة المرتبطة بالنفايات الصلبة. تشير العديد من الدراسات إلى أن النفايات العضوية تمثل النسبة الأكبر من إجمالي النفايات الصلبة في معظم دول العالم، حيث تتراوح نسبتها ما بين ٤٠٪ إلى ٦٥٪، ويزداد هذا الرقم في الدول النامية والاقتصادات الاستهلاكية. وفي المملكة العربية السعودية، تشكل النفايات العضوية أكثر من ٥٠٪ من إجمالي النفايات البلدية، مما يجعلها محورًا استراتيجيًا لأي جهود إصلاحية في قطاع إدارة النفايات.

استعرضت دراسة (Chaher et al. (2022) التحديات المرتبطة بإدارة النفايات العضوية في البيئات الجافة، وخلصت إلى أن من أهم العوائق هو غياب البنية التحتية لفرز النفايات من المصدر، إضافة إلى محدودية التقنيات المستخدمة في المعالجة. وقد نُقلت هذه التحديات إلى السياق السعودي، حيث ما تزال عملية الجمع والنقل تتم دون تصنيف مسبق، مما يجعل عملية التدوير لاحقًا أقل فعالية وأكثر تكلفة. كما أشار تقرير منظمة الأمم المتحدة للبيئة (UNEP, 2020) إلى أن العديد من الدول تفتقر إلى الإمكانيات الفنية والمالية لتطبيق تقنيات مثل الكمر الهوائي أو الهضم اللاهوائي، وهي تقنيات تُعد حجر الزاوية في تحويل النفايات العضوية إلى طاقة أو سماد.

وفي السياق المحلي، أصدر المركز الوطني لإدارة النفايات "موان" في عام ٢٠٢٢ تقريرًا يُحلل واقع التدوير العضوي في المملكة، مشيرًا إلى جملة من التحديات المؤسسية والتنظيمية، مثل ضعف التكامل بين الجهات المعنية، وغياب سياسة وطنية ملزمة بفرز النفايات، وتضارب الصلاحيات بين الجهات التنفيذية. كما أكد التقرير على أن الحوافز المالية والتشريعية للقطاع الخاص لا تزال ضعيفة، مما يحد من فرص الاستثمار في هذا القطاع الحيوي.

وفيما يتعلق بالقطاع الخاص، فقد سلطت دراسة حالة شركة "إدامة للحلول العضوية"، التي تأسست في جامعة الملك عبد الله للعلوم والتقنية (كاوست)، الضوء على إمكانية نجاح نموذج التدوير المحلي في حال توفر الدعم المؤسسي والتقني المناسب. فقد تمكنت الشركة من إعادة تدوير عشرات الآلاف من الأطنان من النفايات العضوية وتحويلها إلى سماد عالي الجودة، مستفيدة من شراكاتها مع مؤسسات تعليمية وتجارية. إلا أن التحديات لا تزال قائمة، لاسيما فيما يتعلق بالتوسع الجغرافي، والوصول إلى أسواق لتصريف المنتجات، والتعامل مع الرواسب غير العضوية المتبقية.

تشير الأدبيات أيضًا إلى أهمية الوعي المجتمعي كعنصر حاسم في نجاح برامج التدوير. فقد أظهرت تجربة ألمانيا، كما هو موثق في دراسات الاتحاد الأوروبي (European Commission, 2020)، أن فرض أنظمة صارمة لفرز النفايات من المصدر، إلى جانب حملات توعية مستمرة، أدى إلى

وصول نسب التدوير إلى أكثر من ٦٥٪. وفي كوريا الجنوبية، ساهم تطبيق نظام "ادفع مقابل ما تُنتج (Pay-as-you-throw)" في خفض النفایات العضوية بنسبة كبيرة خلال أقل من عقد. هذه التجارب تُظهر كيف أن تغيير السلوك المجتمعي، مقرونًا بإجراءات تنظيمية فعالة، يمكن أن يحدث تحولًا كبيرًا في إدارة النفایات.

من زاوية الجدوى الاقتصادية، أظهرت مراجعة أدبيات عالمية (Alharbi et al., 2021) أن مشاريع التدوير العضوي تكون أكثر جدوى في البيئات التي تتبنى سياسات محفزة، وتوفر الدعم الفني، وتُشجع على الشراكات بين القطاعين العام والخاص. وتؤكد هذه المراجع أن غياب البيانات الاقتصادية الدقيقة حول تكاليف التدوير والعوائد المتوقعة، يُعد أحد العوائق الكبرى أمام اتخاذ القرار الاستثماري في الدول النامية.

بناءً على ما سبق، يمكن القول إن مراجعة الأدبيات تسلط الضوء على ثلاث قضايا رئيسية تؤثر في تدوير النفایات العضوية: أولاً، الجوانب التقنية والبنية التحتية؛ ثانياً، البيئة التنظيمية والتشريعية؛ وثالثاً، الوعي المجتمعي والدعم المؤسسي. وإن نجاح أي مبادرة محلية، مثل مبادرة شركة "إدامة"، يتطلب معالجة هذه المحاور بشكل متكامل، مع ضرورة الاستفادة من التجارب الدولية، وتكييفها بما يتناسب مع السياق السعودي.

١٠. الدراسات السابقة

يشكل تدوير النفايات العضوية أحد المحاور الجوهرية في مساعي التنمية المستدامة والاقتصاد الدائري على الصعيدين المحلي والدولي. وقد تنوعت الدراسات السابقة التي تناولت هذا الموضوع من حيث المنهجية، والأهداف، والنطاق الجغرافي، حيث ركزت بعض الدراسات على الجدوى الاقتصادية، بينما تناولت أخرى الأبعاد البيئية والتنظيمية والاجتماعية. وفيما يلي عرض مفصل لأبرز هذه الدراسات وتحليلها:

• دراسة الحربي (2020)

أجرت الباحثة نورة الحربي دراسة بعنوان "الجدوى الاقتصادية لمشاريع تدوير النفايات العضوية في المملكة العربية السعودية"، وهدفت إلى تقدير التكلفة الاستثمارية والتشغيلية لمشاريع إعادة تدوير المخلفات العضوية وتحويلها إلى سماد. أظهرت الدراسة أن غياب الإطار التشريعي المحفز، وعدم توافر بيانات دقيقة عن كميات النفايات، يشكلان عائقين رئيسيين أمام نجاح مثل هذه المشاريع. كما أشارت إلى أن دعم الحكومة عبر إعفاءات ضريبية وتسهيلات تمويلية يمكن أن يرفع الجدوى الاقتصادية إلى مستويات منافسة مقارنة بدول أخرى.

تحليل:

تقدم هذه الدراسة إطاراً مالياً أولياً مهماً، لكنها ركزت على جوانب الجدوى الاقتصادية دون التعمق في الأبعاد الاجتماعية والسلوكية.

• دراسة العتيبي (2019)

في دراسة بعنوان "تقييم كفاءة إدارة النفايات الصلبة في مدينة الرياض"، قام الباحث محمد العتيبي بتحليل أساليب جمع ومعالجة النفايات في العاصمة السعودية. بينت الدراسة أن النفايات العضوية تشكل أكثر من ٥٠٪ من إجمالي النفايات، ومع ذلك فإن غالبية عمليات المعالجة تعتمد على الطمر والحرق. وأوصت بتبني تقنيات الكمر الهوائي والهضم اللاهوائي للاستفادة من الموارد العضوية وتحقيق عوائد اقتصادية.

تحليل:

تميزت هذه الدراسة بتركيزها على البيئة الحضرية، لكنها لم تقدم نموذجاً مالياً مفصلاً يوضح تأثير تلك التقنيات على الميزانيات البلدية.

• دراسة ريم الدوسري (2021)

ركزت هذه الدراسة على "تحليل التحديات التي تواجه إعادة تدوير النفايات المنزلية في السعودية". أظهرت نتائجها أن الثقافة المجتمعية وضعف حملات التوعية يعدان من أبرز المعوقات، حيث لا يدرك

معظم السكان فوائد التدوير وآثاره البيئية. وأشارت الدراسة إلى أن حملات التثقيف يجب أن ترتبط بحوافز مالية وسلوكيات يومية بسيطة قابلة للتطبيق.

تحليل:

تؤكد هذه الدراسة البعد السلوكي كعامل حاسم، ما يبرز الحاجة لدمج برامج التعليم البيئي مع خطط التدوير الوطنية.

• تجربة شركة "إدامة"

تعتبر "إدامة للحلول العضوية" نموذجًا سعوديًّا ناجحًا نسبيًا، حيث بدأت كمبادرة أكاديمية في جامعة الملك عبدالله للعلوم والتقنية، وتطورت إلى مشروع تجاري لمعالجة النفايات العضوية وتحويلها إلى سماد عالي الجودة. بينت التقارير السنوية للشركة قدرتها على معالجة عشرات آلاف الأطنان من النفايات وتقليل الانبعاثات، إلا أن توسعها لا يزال محدودًا بسبب غياب إطار تنظيمي واضح لتوزيع السماد وتسويقه على مستوى المملكة.

تحليل:

توضح تجربة "إدامة" أهمية الشراكة بين البحث العلمي والقطاع الخاص، لكنها تكشف في الوقت ذاته ضعف السياسات التي تمكن الشركات الناشئة من التوسع والتنافسية.

• تقرير (UNEP 2020)

أصدر برنامج الأمم المتحدة للبيئة تقريرًا بعنوان "توقعات إدارة النفايات في غرب آسيا"، تناول فيه التحديات في الدول النامية، خاصة غياب تقنيات المعالجة الحديثة، مثل الكمر الديناميكي والهضم اللاهوائي. وأشار التقرير إلى أن الدول التي لم تضع سياسات ملزمة للفرز من المصدر لم تحقق نسب تدوير تتجاوز ٢٠%.

تحليل:

يمثل هذا التقرير مرجعًا دوليًا مهما، ويكشف عن نقاط التشابه مع السياق السعودي، خصوصًا في البنية التحتية المحدودة ونقص التمويل.

• تقرير (GIZ 2021)

تناول تقرير "تحويل النفايات إلى موارد" الصادر عن الوكالة الألمانية للتعاون الدولي تجارب أوروبا وآسيا في تطوير اقتصاد دائري لإدارة النفايات. بين التقرير أن الجمع المنفصل للنفايات العضوية، وفرض نظام دفع مقابل ما تنتج، أسهما في رفع نسب التدوير إلى أكثر من ٦٠٪ في بعض الدول.

تحليل:

يشير هذا التقرير إلى أن الحوافز الاقتصادية والأنظمة الملزمة تشكل حجر الأساس لنجاح منظومات التدوير، وهي نقطة لا تزال غائبة إلى حد كبير في التجربة السعودية.

• تجربة ألمانيا وكوريا الجنوبية

ركزت الأدبيات الأكاديمية على نموذج ألمانيا الذي يعتمد على الجمع المنزلي الإلزامي للنفايات العضوية، وتخصيص حاويات منفصلة، وربط ذلك برسوم الخدمات البلدية. أما كوريا الجنوبية، فقد اعتمدت نظام "ادفع مقابل ما تنتج"، مما أدى إلى خفض النفايات العضوية بنسبة تتجاوز ٤٠٪ خلال عشر سنوات.

تحليل:

تكشف هذه التجارب عن الدور الجوهري للتشريعات والمشاركة المجتمعية المتواصلة لتحقيق الاستدامة.

ملخص الدراسات السابقة :

يتضح من العرض السابق أن غالبية الدراسات والوثائق توافقت على عدة محاور رئيسية:

- أن النفايات العضوية تشكل نسبة كبيرة من النفايات الصلبة، وتتطلب بنية تحتية منفصلة للفرز والمعالجة.
- أن غياب الحوافز الاقتصادية والأنظمة الملزمة يعد من أكبر العوائق.
- أن الوعي المجتمعي عامل حاسم لا يقل أهمية عن الدعم المالي والتقني.
- أن شراكات القطاعين العام والخاص (PPP) تعتبر مدخلا واعداً، شرط توفر تشريعات واضحة وضمانات استثمارية.

في ضوء ذلك، تسعى هذه الدراسة إلى سد فجوة معرفية مهمة، من خلال دمج البعد الاقتصادي والاجتماعي والتشريعي والبيئي في تحليل جدوى مشاريع تدوير النفايات العضوية في المملكة العربية السعودية.

١١. ملحق : استبيان لمتغيرات البحث

عنوان الاستبيان:
وعي الأفراد والمزارعين حول تدوير النفايات العضوية في المملكة العربية السعودية

الغرض:
يهدف هذا الاستبيان إلى التعرف على مستوى وعي الأفراد والمزارعين تجاه تدوير النفايات العضوية، والممارسات الحالية المتعلقة بها، والتحديات التي قد تعيق التوسع في تطبيقها.
جميع المعلومات المجمعة ستستخدم لأغراض علمية فقط وبشكل سري.

القسم الأول: المعلومات العامة

١ / الجنس:

☐ ذكر

☐ أنثى

٢ / الفئة العمرية:

☐ أقل من ٢٠ سنة

☐ 21 – 30 سنة

☐ 31 – 40 سنة

☐ 41 – 50 سنة

☐ أكثر من ٥٠ سنة

٣ / المهنة:

☐ طالب

☐ موظف حكومي

☐ موظف قطاع خاص

☐ مزارع

☐ صاحب عمل

☐ لا أعمل

القسم الثاني: الوعي والممارسات

٤ / هل تعرف ما المقصود بالنفايات العضوية؟

☐ نعم

☐ لا

☐ غير متأكد

٥ / ما أبرز مصدر للنفايات العضوية لديك؟

☐ بقايا طعام

☐ مخلفات الزراعة (قش، أوراق، بقايا محاصيل...)

☐ روث حيوان

☐ غير ذلك (يُرجى التوضيح) _____ :

٦/ هل تقوم بفرز النفايات العضوية عن غيرها في منزلك أو مزرعتك؟

☐ نعم دائماً

☐ أحياناً

☐ لا

٧/ إذا كانت إجابتك "لا"، فما السبب؟ (يمكن اختيار أكثر من خيار):

☐ لا توجد حاويات مخصصة

☐ لا أعلم الفائدة

☐ لا وقت لدي

☐ لا توجد جهة تستلمها

☐ غير ذلك (يُرجى التوضيح) _____ :

٨/ هل لديك اهتمام أو استعداد لاستخدام النفايات العضوية لإنتاج سماد طبيعي أو طاقة؟

☐ نعم

☐ لا

☐ ربما في المستقبل

القسم الثالث: الفرص والتحديات

٩/ هل تعتقد أن إعادة تدوير النفايات العضوية تفيد البيئة؟

☐ أوافق بشدة

☐ أوافق

☐ لا أوافق

☐ لا أعلم

١٠/ برأيك، من المسؤول الأول عن نشر ثقافة التدوير العضوي؟ (يمكن اختيار أكثر من خيار):

☐ الأمانات/البلديات

☐ وزارة البيئة والمياه والزراعة

☐ الإعلام

☐ القطاع الخاص

☐ المجتمع والأسرة

١١/ ما التحديات التي تعتقد أنها تمنع نجاح مشاريع التدوير العضوي؟ (يمكن اختيار أكثر من خيار):

☐ نقص الوعي المجتمعي

☐ غياب التشريعات

☐ الحاجة إلى الدعم الحكومي

☐ نقص الشركات المتخصصة

☐ غير ذلك (يرجى التوضيح) _____ :

١٢ / هل ترى أن دعم المزارعين والأفراد بأدوات بسيطة (مثل حاويات فرز أو معدات سماد) سيساهم في انتشار التدوير؟

☐ نعم

☐ لا

☐ لا أعلم

القسم الرابع: ملاحظات إضافية (اختياري)

١٣ / هل لديك مقترح لتحسين التدوير العضوي في منطقتك؟

١٢. جدول أدوات البحث

رقم	أداة البحث	الغرض من استخدامها	الفئة المستهدفة	طريقة التطبيق
1	استبيان	قياس مستوى وعي الأفراد والمزارعين تجاه تدوير النفايات العضوية	أفراد المجتمع، المزارعون	نشر إلكتروني عبر Google Forms
2	مقابلات شبه منظمة	التعرف على وجهات نظر مسؤولي البلديات والخبراء في إدارة النفايات	موظفو البلديات، أكاديميون	مقابلات شخصية أو هاتفية
3	تحليل محتوى وثائق وتقارير	مراجعة السياسات والخطط الحكومية والوثائق الأكاديمية	تقارير رسمية وأبحاث منشورة	جمع وتحليل الوثائق
4	بيانات مالية من شركة إدامة	دراسة الجدوى الاقتصادية بناءً على نموذج تطبيقي	إدارة شركة إدامة للحلول العضوية	تحليل البيانات التشغيلية

١٣. قائمة المراجع :

- الحربي، نورة. (2020) *الجدوى الاقتصادية لمشاريع تدوير النفايات العضوية في المملكة العربية السعودية*. رسالة ماجستير، جامعة الملك سعود.
الجهة: جامعة الملك سعود <https://ksu.edu.sa> .:
- محمد العتيبي. (2019) *تقييم كفاءة إدارة النفايات الصلبة في مدينة الرياض*. رسالة ماجستير، جامعة الإمام محمد بن سعود الإسلامية.
الجهة: جامعة الإمام محمد بن سعود <https://imamu.edu.sa> .:
- ريم الدوسري. (2021) *تحليل التحديات التي تواجه إعادة تدوير النفايات المنزلية في السعودية*. جامعة الملك عبد العزيز.
الجهة: جامعة الملك عبد العزيز <https://kau.edu.sa> .:
- مركز التميز البحثي في الدراسات البيئية. (2020) *المشاريع البحثية المدعومة في مجال إدارة النفايات*. جامعة الملك عبد العزيز https://hajj.uqu.edu.sa/multaga/drive/scientific_portal21_arabic.pdf .:
- مركز البحوث (١٤٢٦هـ). *تقرير عن تقييم تقنيات إدارة النفايات العضوية*. كلية الهندسة، جامعة الملك سعود .:
<https://ksu.edu.sa>
- المركز الوطني لإدارة النفايات. (2023) *الاستراتيجية الوطنية للنفايات*. وزارة البيئة والمياه والزراعة .:
<https://mewa.gov.sa/ar/Ministry/Agencies/Environment/Topics/Pages/National-Waste-Strategy.aspx>
- وزارة البيئة والمياه والزراعة. (2022) *تقرير الأداء البيئي السنوي* <https://mewa.gov.sa> .:
- الهيئة العامة للإحصاء. (2022) *نشرة النفايات البلدية الصلبة في المملكة العربية السعودية* .:
<https://stats.gov.sa/ar>
- غرفة الشرقية. (2019) *متوسط إنتاج الفرد من النفايات المنزلية الصلبة يوميًا* .:
<https://chamber.org.sa/sites/Arabic/MediaCenter>
- UNEP (2021). *Organic Waste Management in Developing Countries*. United Nations Environment Programme.: <https://www.unep.org>
- GIZ (2020). *Waste to Resources: A Waste Management Handbook*. Deutsche Gesellschaft Internationale Zusammenarbeit (GIZ):. <https://www.giz.de/en/html/index.html>
- FAO (2021). *Composting and Recycling in Arid Regions*. Food and Agriculture Organization.:
<https://www.fao.org>

- World Bank (2022). *What a Waste 2.0: A Global Snapshot of Solid Waste Management.*: <https://www.worldbank.org/en/topic/urbandevelopment/publication/what-a-waste-2>
- المركز الوطني لإدارة النفايات (٢٠٢٢). تقرير إدارة النفايات العضوية في المملكة. الرياض، المملكة العربية السعودية. <https://www.ncwaste.gov.sa>
- ☐ Chaher, N., Hammami, L., & Ben Amor, M. (2022). *Organic waste valorization in arid regions: challenges and prospects*. Waste Management, 145, 53–61. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2022.04.012>
- ☐ UNEP (2020). *Waste Management Outlook for West Asia*. United Nations Environment Programme. <https://www.unep.org/resources/report/waste-management-outlook-west-asia>
- شركة إدامة للحلول العضوية. تقرير الأداء السنوي ٢٠٢٣. جامعة الملك عبد الله للعلوم والتقنية (كاوست). <https://www.edamah.bio>
- وزارة البيئة والمياه والزراعة (٢٠٢١). استراتيجية البيئة الوطنية. المملكة العربية السعودية <https://www.mewa.gov.sa>
- ☐ GIZ (2021). *Waste to Resources: A Sustainable Circular Economy Approach*. Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit. <https://www.giz.de/en/downloads/giz2021-en-waste-to-resources.pdf>
- ☐ Alharbi, M. et al. (2021). *Municipal solid waste composition and management in Saudi Arabia: A review*. Environmental Science and Pollution Research. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-12421-z>
- Vision 2030 (2019). *National Waste Management Strategy*. المملكة العربية السعودية. <https://vision2030.gov.sa>