

دور الحلول التقنية في تحسين إدارة نفايات البناء والهدم وتحسين جودة البيئة الحضرية في مدينة الرياض

إعداد الطالب/ راكان المشاري

إشراف/

د. الفصيل عبد الحميد

د. فايز جراد

العام الدراسي:

2026

فهرس المحتويات:

6.....	الفصل الأول
7.....	المقدمة:
8.....	-مشكلة الدراسة.
10.....	-أهمية الدراسة.
12.....	-أهداف الدراسة.
13.....	-تساؤلات الدراسة.
14.....	- فروض الدراسة.
15.....	-النظرية العلمية المتبعة لإعداد البحث.
17.....	الفصل الثاني
17.....	الدراسات السابقة
18.....	-مقدمة
19.....	-الإطار النظري
29.....	الفصل الثالث
29.....	منهجية الدراسة
30.....	-مقدمة
31.....	-المنهجية وطرق البحث.
32.....	-مجتمع البحث
34.....	-حدود البحث
35.....	الفصل الرابع
35.....	النتائج والتوصيات
36.....	-مقدمة
37.....	-تحليل البيانات
39.....	-النتائج
42.....	-التوصيات
43.....	مقترحات لدراسات مستقبلية
44.....	المراجع
45.....	-المراجع العربية.
46.....	-المراجع الأجنبية
47.....	الملاحق
48.....	-الاستبانة

قائمة الجداول :

جدول (1-2): تصنيف مصادر نفايات البناء والهدم وفق الأنشطة الإنشائية

23

جدول (1-4): مقياس ليكرت الخماسي المستخدم في الدراسة

40

جدول (2-4): تفسير المتوسطات الحسابية

40

فهرس الأشكال:

شكل (1-4): المتوسطات الحسابية لعبارات الاستبانة العشر

المستخلص : Abstract

هدفت هذه الدراسة إلى التعرف على دور الحلول التقنية في تحسين إدارة نفايات البناء والهدم وتحسين جودة البيئة الحضرية في مدينة الرياض، من خلال تحليل واقع إدارة هذا النوع من النفايات، واستعراض أبرز التحديات البيئية والاقتصادية والمكانية المرتبطة بها، وبيان دور تقنيتي نمذجة معلومات البناء (- Building Information Modeling BIM) والذكاء الاصطناعي والرؤية الحاسوبية في تحسين عمليات التنبؤ بكميات النفايات، ورفع كفاءة عمليات الفرز، ودعم اتخاذ القرار.

اعتمدت الدراسة المنهج الوصفي التحليلي، واستخدمت الاستبانة الإلكترونية بوصفها أداة رئيسة لجمع البيانات من عينة قصدية مكونة من (12) خبيراً ومتخصصاً في مجال إدارة نفايات البناء والهدم، بالإضافة إلى الاعتماد على تحليل الأدبيات العلمية، والأنظمة واللوائح الوطنية، والدراسات السابقة ذات العلاقة.

وأظهرت نتائج الدراسة أن الرمي العشوائي وبعُد المواقع النظامية لاستقبال نفايات البناء والهدم يمثلان من أبرز التحديات التي تواجه إدارة هذا النوع من النفايات في مدينة الرياض، كما أظهرت النتائج وجود اتفاق مرتفع بين الخبراء على أهمية استخدام تقنية نمذجة معلومات البناء (BIM) في التنبؤ بكميات النفايات قبل التنفيذ وتقليل الهدر وتحسين التخطيط للمشروعات. كما أكدت النتائج أهمية تحسين التوزيع المكاني للمرافق النظامية، لما له من دور في رفع كفاءة إدارة نفايات البناء والهدم وتقليل تكاليف النقل والحد من الرمي العشوائي.

وأوصت الدراسة بالتوسع في تطبيق الحلول التقنية في إدارة نفايات البناء والهدم، وتعزيز التكامل الإلكتروني بين الجهات ذات العلاقة، وإعادة دراسة التوزيع المكاني للمرافق النظامية بما يتوافق مع التوسع العمراني في مدينة الرياض، إلى جانب دعم استخدام التقنيات الحديثة في التخطيط والرقابة واتخاذ القرار.

الكلمات المفتاحية: نفايات البناء والهدم، نمذجة معلومات البناء (BIM)، الذكاء الاصطناعي، الرؤية الحاسوبية، إدارة النفايات، جودة البيئة الحضرية، مدينة الرياض.

الفصل الأول

المقدمة:

تشهد المملكة العربية السعودية نهضة عمرانية وتنموية متسارعة في ظل مستهدفات رؤية المملكة العربية السعودية 2030، وما يصاحبها من تنفيذ العديد من المشروعات الإنشائية الكبرى، الأمر الذي أدى إلى زيادة كميات نفايات البناء والهدم الناتجة عن أعمال البناء والهدم والترميم والبنية التحتية. وتمثل هذه النفايات أحد أبرز التحديات التي تواجه الجهات التنظيمية والرقابية، لما قد يترتب على سوء إدارتها من آثار بيئية واقتصادية ومكانية، إضافة إلى ما تسببه من تشوه بصري وارتفاع في تكاليف النقل والمعالجة.

وتعد مدينة الرياض من أكثر المدن السعودية نشاطاً في قطاع التشييد والبناء، نتيجة النمو العمراني المستمر والمشروعات التنموية الكبرى، الأمر الذي يفرض الحاجة إلى تطوير أساليب إدارة نفايات البناء والهدم بما يحقق الاستدامة ويرفع كفاءة استخدام الموارد. وقد اتجهت العديد من الدول إلى توظيف الحلول التقنية الحديثة، مثل تقنية نمذجة معلومات البناء (BIM) والذكاء الاصطناعي والرؤية الحاسوبية، بهدف تحسين التنبؤ بكميات النفايات، ودعم عمليات الفرز والتصنيف، وتحسين التخطيط واتخاذ القرار، بما يساهم في رفع كفاءة إدارة النفايات والحد من آثارها السلبية.

وفي المملكة العربية السعودية، يعمل المركز الوطني لإدارة النفايات (موان) بالتعاون مع الجهات الحكومية ذات العلاقة على تطوير المنظومة التنظيمية لإدارة النفايات، وإصدار اللوائح والأدلة الفنية، وإنشاء المرافق النظامية لاستقبال نفايات البناء والهدم، إلا أن استمرار التوسع العمراني وما يصاحبه من زيادة في كميات النفايات يبرز الحاجة إلى دراسة دور الحلول التقنية في دعم هذه المنظومة وتحسين كفاءتها، مع مراعاة الجوانب البيئية والاقتصادية والمكانية المرتبطة بإدارة هذا النوع من النفايات.

وانطلاقاً من ذلك، تسعى هذه الدراسة إلى تحليل واقع إدارة نفايات البناء والهدم في مدينة الرياض، واستعراض أبرز التحديات المرتبطة بها، وبيان دور الحلول التقنية في تحسين عمليات الإدارة، من خلال التركيز على تقنيتي نمذجة معلومات البناء (BIM) والذكاء الاصطناعي والرؤية الحاسوبية، وصولاً إلى تقديم توصيات يمكن أن تساهم في دعم متخذي القرار وتعزيز جودة البيئة الحضرية بما يتوافق مع مستهدفات التنمية المستدامة ورؤية المملكة العربية السعودية 2030.

-مشكلة الدراسة.

تشهد مدينة الرياض توسعاً عمرانياً متسارعاً، وما صاحب ذلك من تنفيذ مشروعات تنموية وعمرانية كبرى في إطار مستهدفات رؤية المملكة العربية السعودية 2030، الأمر الذي أدى إلى زيادة أعمال البناء والهدم وارتفاع كميات نفايات البناء والهدم الناتجة عنها. وتشير بيانات الهيئة العامة للإحصاء (2024) إلى أن إجمالي النفايات المتولدة في المملكة بلغ نحو 135.1 مليون طن، منها 32.2 مليون طن ناتجة عن قطاع التشييد والبناء، وهو ما يعكس حجم التحدي المرتبط بإدارة هذا النوع من النفايات. كما تشير التقارير الحكومية إلى أن مدينة الرياض تنتج ما يقارب 5 ملايين طن سنوياً من نفايات البناء والهدم، مع وجود نحو 20 مليون طن متراكمة في الأراضي الفضاء وعلى جوانب الطرق، الأمر الذي يبرز الحاجة إلى تطوير منظومة إدارتها بما يتوافق مع النمو العمراني المتسارع ومتطلبات التنمية المستدامة (وزارة البيئة والمياه والزراعة، 2019).

وعلى الرغم من الجهود التي تبذلها الجهات المختصة، والمتمثلة في إصدار الأنظمة واللوائح التنظيمية والأدلة الفنية، وتطوير المبادرات المرتبطة بالاقتصاد الدائري، وإنشاء مرافق نظامية لمعالجة وإدارة نفايات البناء والهدم، لا تزال إدارة هذه النفايات تواجه عدداً من التحديات البيئية والتشغيلية، من أبرزها استمرار وجود مواقع للرمي العشوائي وما يترتب عليها من تشوه بصري، إضافة إلى فقدان جزء من الموارد التي يمكن الاستفادة منها عند إدارتها بصورة أكثر كفاءة. كما تشير التقارير الرسمية إلى إزالة أكثر من 120 مليون متر مكعب من مخلفات البناء والهدم ونواتج الحفر ضمن برامج معالجة التشوه البصري، وهو ما يعكس حجم الجهود الحكومية المبذولة، وفي الوقت ذاته يبرز حجم التحدي المرتبط باستمرار تولد هذه النفايات وضرورة تحسين كفاءة إدارتها (وزارة البلديات والإسكان، 2024).

ولا تقتصر آثار الإدارة غير الفعالة لنفايات البناء والهدم على الجوانب البيئية فحسب، بل تمتد إلى الجوانب الاقتصادية، حيث تتحمل الجهات المختصة تكاليف إضافية مرتبطة بأعمال الرصد، والجمع، والنقل، والإزالة، وإدارة مواقع التخلص النظامي، إلى جانب الآثار غير المباشرة المرتبطة بجودة البيئة الحضرية. وتشير إحدى الدراسات الدولية إلى أن تكلفة إزالة نفايات البناء والهدم الملقاة بصورة غير نظامية تتراوح بين 84 و99 يورو للطن، أي ما يعادل تقريباً 370 إلى 440 ريالاً سعودياً للطن وفقاً لأسعار الصرف التقريبية، وهو ما يعكس حجم العبء المالي الذي قد يترتب على استمرار ممارسات التخلص غير النظامي، مع مراعاة اختلاف الظروف التشغيلية والاقتصادية بين الدول (Ramos & Martinho, 2023). وفي المقابل، توضح الفرص الاستثمارية الصادرة عن المركز الوطني لإدارة النفايات أن إنشاء منشأة ثابتة لمعالجة نفايات البناء والهدم بطاقة 1.8 مليون طن سنوياً يتطلب استثماراً رأسمالياً يقدر بنحو 60 مليون ريال سعودي، مما يؤكد أهمية تبني حلول تساهم في رفع كفاءة إدارة هذه النفايات وتحقيق الاستفادة الاقتصادية (المركز الوطني لإدارة النفايات، 2024؛ ب.2024).

ومع استمرار التوسع العمراني في مدينة الرياض، تبرز أهمية دراسة مدى ملاءمة التوزيع المكاني للمواقع النظامية المعلنة لإدارة نفايات البناء والهدم مقارنة بمناطق تركز المشروعات العمرانية الكبرى، لما قد يكون لذلك من أثر في

كفاءة عمليات النقل والإدارة وتكاليها. ولا تفترض هذه الدراسة وجود علاقة سببية مباشرة بين التوزيع المكاني لهذه المواقع ومستوى كفاءة إدارة نفايات البناء والهدم، وإنما تنظر إليه باعتباره أحد العوامل التي تستحق الدراسة والتحليل في إطار تحسين منظومة الإدارة.

وفي ظل هذه التحديات، برزت الحلول التقنية الحديثة بوصفها أحد الاتجاهات الواعدة لتطوير إدارة نفايات البناء والهدم، ومن أبرزها نمذجة معلومات البناء (Building Information Modeling - BIM) التي تسهم في التنبؤ بكميات النفايات خلال مراحل التخطيط والتصميم، وتقنيات الذكاء الاصطناعي والرؤية الحاسوبية التي أظهرت نتائج واعدة في تحسين عمليات الفرز، ودعم اتخاذ القرار، ورفع كفاءة إدارة النفايات (Saka et al., 2024؛ Langley et al., 2024). وعلى الرغم من التطور المتسارع لهذه التقنيات، لا تزال الدراسات التي تناولت تقييم دورها في تحسين إدارة نفايات البناء والهدم في مدينة الرياض محدودة، كما يلاحظ وجود نقص في الدراسات التي تجمع بين الجوانب البيئية والاقتصادية والمكانية والحلول التقنية ضمن إطار علمي متكامل يتناسب مع خصوصية مدينة الرياض.

وبناءً على ما سبق، تتمثل مشكلة الدراسة في الحاجة إلى تقييم دور الحلول التقنية في تحسين إدارة نفايات البناء والهدم وتحسين جودة البيئة الحضرية في مدينة الرياض، من خلال دراسة واقع إدارة هذه النفايات، وتحليل أبرز التحديات البيئية والاقتصادية والمكانية المرتبطة بها، وبيان مدى إسهام الحلول التقنية الحديثة في رفع كفاءة الإدارة، وتعزيز الاستفادة من الموارد، وتحسين جودة البيئة الحضرية بما يدعم مستهدفات التنمية المستدامة ورؤية المملكة العربية السعودية 2030.

سؤال البحث الرئيسي:

ما دور الحلول التقنية في تحسين إدارة نفايات البناء والهدم وتحسين جودة البيئة الحضرية في مدينة الرياض؟

-أهمية الدراسة-

تستمد هذه الدراسة أهميتها من الأبعاد العلمية والعملية والاقتصادية والبيئية المرتبطة بإدارة نفايات البناء والهدم في مدينة الرياض، في ظل التوسع العمراني المتسارع الذي تشهده المدينة، وما يصاحبه من زيادة في كميات نفايات البناء والهدم، الأمر الذي يتطلب تطوير حلول أكثر كفاءة واستدامة لإدارة هذا النوع من النفايات بما يتوافق مع مستهدفات التنمية المستدامة ورؤية المملكة العربية السعودية 2030 (رؤية السعودية 2030، 2016). ويمكن توضيح أهمية الدراسة على النحو الآتي:

أولاً: الأهمية العلمية

تسهم هذه الدراسة في إثراء الأدبيات العلمية المتعلقة بإدارة نفايات البناء والهدم من خلال دمج أربعة محاور رئيسية تتمثل في الجوانب البيئية والاقتصادية والمكانية والحلول التقنية ضمن إطار بحثي متكامل، مع التركيز على مدينة الرياض. كما تسعى الدراسة إلى سد جانب من الفجوة البحثية المتعلقة بتقييم دور التقنيات الحديثة، وبشكل خاص نمذجة معلومات البناء (Building Information Modeling - BIM) وتقنيات الذكاء الاصطناعي والرؤية الحاسوبية، في تحسين إدارة نفايات البناء والهدم، وهو جانب لا يزال محدود التداول في الدراسات المحلية مقارنة بالدراسات العالمية (Saka et al., 2024؛ Langley et al., 2024).

ثانياً: الأهمية العملية

تكمن الأهمية العملية للدراسة في إمكانية الاستفادة من نتائجها من قبل الجهات الحكومية والتنظيمية، والقطاع الخاص العامل في مجالي البناء وإدارة النفايات، من خلال تقديم تصور علمي حول كيفية توظيف الحلول التقنية لتحسين إدارة نفايات البناء والهدم، ورفع كفاءة عمليات التنبؤ بكميات النفايات، وتحسين عمليات الفرز والإدارة، ودعم اتخاذ القرار، بما يسهم في رفع كفاءة الأداء التشغيلي وتحسين جودة البيئة الحضرية.

كما يمكن أن تسهم نتائج الدراسة في دعم جهود الجهات المعنية، مثل المركز الوطني لإدارة النفايات (موان)، ووزارة البلديات والإسكان، وأمانة منطقة الرياض، في تطوير السياسات والمبادرات المتعلقة بإدارة نفايات البناء والهدم، وتعزيز كفاءة إدارة الموارد، ودعم تطبيقات الاقتصاد الدائري بما يتوافق مع مستهدفات رؤية المملكة العربية السعودية 2030.

ثالثاً: الأهمية الاقتصادية

تكتسب الدراسة أهمية اقتصادية من خلال إبراز الأثر المالي المترتب على الإدارة غير الفعالة لنفايات البناء والهدم، وما ينتج عنها من تكاليف مرتبطة بأعمال الرصد، والجمع، والنقل، والإزالة، وإدارة مرافق التخلص النظامي، إضافة إلى الفرص الاقتصادية المرتبطة بتحسين كفاءة الإدارة. وكما أوضحت مشكلة الدراسة وجود فروقات بين التكاليف المترتبة على الإدارة غير النظامية والاستثمارات اللازمة لتطوير مرافق الإدارة النظامية، فإن تقييم دور الحلول التقنية يمكن أن يسهم في رفع الكفاءة التشغيلية، وخفض التكاليف على المدى الطويل، وتعظيم الاستفادة من الموارد، بما يدعم الاستدامة الاقتصادية لقطاع إدارة النفايات.

رابعاً: الأهمية البيئية والتنموية

تنبع أهمية الدراسة من ارتباطها المباشر بتحسين جودة البيئة الحضرية والحد من الآثار البيئية الناتجة عن الإدارة غير الفعالة لنفايات البناء والهدم، مثل التشوه البصري، والاستغلال غير الأمثل للموارد، والضغط المتزايدة على مرافق إدارة النفايات. كما تسلط الدراسة الضوء على أهمية مراعاة البعد المكاني في تطوير منظومة إدارة نفايات البناء والهدم، من خلال دراسة مدى ملاءمة توزيع المواقع النظامية المعلنة مقارنة بمناطق التوسع العمراني، إلى جانب تقييم دور الحلول التقنية في رفع كفاءة الإدارة وتحسين استغلال الموارد، بما يسهم في دعم التوجهات الوطنية نحو الاقتصاد الدائري وتحقيق التنمية الحضرية المستدامة.

-أهداف الدراسة-

الهدف الرئيس

دراسة دور الحلول التقنية في تحسين إدارة نفايات البناء والهدم في مدينة الرياض، في ضوء تحليل التحديات البيئية والاقتصادية والمكانية المرتبطة بها، بما يساهم في تحسين جودة البيئة الحضرية.

الأهداف الفرعية

1. دراسة واقع إدارة نفايات البناء والهدم في مدينة الرياض، من حيث الأطر التنظيمية، والممارسات الحالية، والمرافق النظامية المعتمدة.
2. تحليل أبرز التحديات والآثار البيئية والاقتصادية والمكانية المرتبطة بإدارة نفايات البناء والهدم في مدينة الرياض.
3. تحليل أبرز الحلول التقنية المستخدمة محليًا وعالميًا في إدارة نفايات البناء والهدم، مع التركيز على تقنية نمذجة معلومات البناء (BIM) وتقنيات الذكاء الاصطناعي والرؤية الحاسوبية.
4. تحليل مدى إسهام تقنية نمذجة معلومات البناء (BIM) في تحسين التنبؤ بكميات نفايات البناء والهدم خلال مراحل التخطيط والتنفيذ في ضوء الأدبيات والتجارب ذات الصلة.
5. تحليل مدى إسهام تقنيات الذكاء الاصطناعي والرؤية الحاسوبية في تحسين عمليات فرز وإدارة نفايات البناء والهدم ودعم اتخاذ القرار في ضوء الأدبيات والتجارب المحلية والدولية.
6. تحليل مدى ملائمة التوزيع المكاني للمواقع النظامية المعلنه لإدارة نفايات البناء والهدم مقارنة بمناطق التوسع العمراني في مدينة الرياض، وبيان أثره المحتمل في كفاءة منظومة الإدارة.
7. تقديم مجموعة من التوصيات العلمية والعملية التي تساهم في تطوير إدارة نفايات البناء والهدم، وتعزيز توظيف الحلول التقنية بما يدعم تحسين جودة البيئة الحضرية.

تساؤلات الدراسة

السؤال الرئيس

ما دور الحلول التقنية في تحسين إدارة نفايات البناء والهدم في مدينة الرياض، في ضوء التحديات البيئية والاقتصادية والمكانية، بما يسهم في تحسين جودة البيئة الحضرية؟

التساؤلات الفرعية:

1. ما واقع إدارة نفايات البناء والهدم في مدينة الرياض من حيث الأطر التنظيمية، والممارسات الحالية، والمرافق النظامية المعتمدة؟
2. ما أبرز التحديات والآثار البيئية والاقتصادية والمكانية المرتبطة بإدارة نفايات البناء والهدم في مدينة الرياض؟
3. ما أبرز الحلول التقنية المستخدمة محليًا وعالميًا في إدارة نفايات البناء والهدم، وما خصائصها وتطبيقاتها؟
4. ما مدى إسهام تقنية نمذجة معلومات البناء (Building Information Modeling - BIM) في تحسين التنبؤ بكميات نفايات البناء والهدم خلال مراحل التخطيط والتنفيذ؟
5. ما مدى إسهام تقنيات الذكاء الاصطناعي والرؤية الحاسوبية في تحسين عمليات فرز وإدارة نفايات البناء والهدم ودعم اتخاذ القرار؟
6. ما مدى ملاءمة التوزيع المكاني للمواقع النظامية المعلنة لإدارة نفايات البناء والهدم مقارنة بمناطق التوسع العمراني في مدينة الرياض، وما أثره المحتمل في كفاءة منظومة إدارة نفايات البناء والهدم؟

- فروض الدراسة

اعتمدت الدراسة على التساؤلات البحثية بدلاً من الفروض؛ نظرًا لأن طبيعتها وصفية تحليلية، وتركز على تحليل الواقع، واستعراض الأدبيات، ودراسة دور الحلول التقنية في إدارة نفايات البناء والهدم، دون السعي إلى اختبار علاقات سببية أو فرضيات إحصائية بين المتغيرات.

-النظرية العلمية المتبعة لإعداد البحث

تعتمد هذه الدراسة على مفهوم الاقتصاد الدائري (Circular Economy) بوصفه الإطار المفاهيمي الذي تستند إليه في تفسير كيفية تحسين إدارة الموارد والحد من الهدر، من خلال الانتقال من النموذج الاقتصادي الخطي القائم على الاستخراج والتصنيع والتخلص إلى نموذج يركز على الاستخدام الأمثل للموارد، وتقليل تولد النفايات، وتعظيم الاستفادة منها، بما يسهم في تحقيق الاستدامة البيئية والاقتصادية (Ellen MacArthur Foundation, 2013)؛ (Kirchherr, Reike, & Hekkert, 2017).

ويعد مفهوم الاقتصاد الدائري من أكثر الأطر المفاهيمية استخدامًا في مجال إدارة نفايات البناء والهدم، نظرًا لارتباطه بتعزيز كفاءة استخدام الموارد، وتقليل الفاقد، وتحسين إدارة دورة حياة المواد، بما يسهم في الحد من الآثار البيئية وتحقيق قيمة اقتصادية من الموارد المتاحة (Kabirifar et al., 2020). وفي هذا السياق، لا تقتصر إدارة نفايات البناء والهدم على عمليات الجمع والنقل والتخلص، بل تمتد إلى تطوير منظومة متكاملة تعتمد على التخطيط المسبق، والإدارة الفعالة، وتوظيف التقنيات الحديثة لتحسين كفاءة إدارة الموارد.

وتتوافق الحلول التقنية محل الدراسة مع مبادئ الاقتصاد الدائري؛ إذ تسهم تقنية نمذجة معلومات البناء (Building Information Modeling - BIM) في تحسين التخطيط المسبق والتنبؤ بكميات نفايات البناء والهدم خلال مراحل التصميم والتنفيذ، مما يساعد على تقليل الهدر وتحسين استخدام الموارد (Saka et al., 2024). كما تسهم تقنيات الذكاء الاصطناعي والرؤية الحاسوبية في تحسين عمليات الفرز، ودعم اتخاذ القرار، ورفع كفاءة إدارة نفايات البناء والهدم، بما يعزز كفاءة استغلال الموارد ويدعم تطبيق مبادئ الاقتصاد الدائري (Langley et al., 2024).

ومن الجوانب المرتبطة بإدارة نفايات البناء والهدم أيضًا مبدأ القرب (Proximity Principle)، الذي يعد من المبادئ المستقرة في أدبيات إدارة النفايات، ويقوم على معالجة النفايات أو إدارتها في أقرب موقع نظامي مناسب لمصدر تولدها متى ما كان ذلك ممكنًا، بهدف تقليل مسافات النقل، وخفض التكاليف التشغيلية، والحد من الآثار البيئية المرتبطة بالنقل. ويكتسب هذا المبدأ أهمية خاصة في هذه الدراسة عند تحليل مدى ملاءمة التوزيع المكاني للمواقع النظامية المعلنة مقارنة بمناطق التوسع العمراني في مدينة الرياض، دون افتراض وجود علاقة سببية مباشرة، وإنما باعتباره أحد العوامل المؤثرة التي يمكن الاستفادة منها في تحسين كفاءة منظومة إدارة نفايات البناء والهدم.

وبناءً على ذلك، يعتمد هذا البحث على مفهوم الاقتصاد الدائري بوصفه الإطار المفاهيمي للدراسة، لكونه يوفر أساساً علمياً يربط بين الجوانب البيئية والاقتصادية والمكانية والحلول التقنية في إدارة نفايات البناء والهدم، ويساعد في تفسير دور التقنيات الحديثة في تحسين كفاءة الإدارة، وتعظيم الاستفادة من الموارد، وتحسين جودة البيئة الحضرية، بما يتوافق مع مستهدفات رؤية المملكة العربية السعودية 2030.

الفصل الثاني

الدراسات السابقة

هدف هذا الفصل إلى استعراض الأسس العلمية التي تستند إليها الدراسة، من خلال تناول المفاهيم الرئيسة المرتبطة بإدارة نفايات البناء والهدم، وتحليل أبرز الجوانب البيئية والاقتصادية والمكانية ذات العلاقة، إلى جانب استعراض واقع إدارة هذا النوع من النفايات في المملكة العربية السعودية ومدينة الرياض، مع التركيز على الحلول التقنية الحديثة المستخدمة في تحسين كفاءة الإدارة، وفي مقدمتها نمذجة معلومات البناء (Building Information Modeling - BIM) وتقنيات الذكاء الاصطناعي والرؤية الحاسوبية.

كما يتناول الفصل الإطار المفاهيمي الذي تستند إليه الدراسة، والمتمثل في مفهوم الاقتصاد الدائري، باعتباره أحد أبرز المداخل الحديثة لتعزيز كفاءة إدارة الموارد وتقليل الهدر وتحقيق الاستدامة في قطاع البناء والتشييد. ويستعرض كذلك أهمية البعد المكاني في إدارة نفايات البناء والهدم من خلال مناقشة التوزيع المكاني للمواقع النظامية المعلنة، وعلاقته بكفاءة منظومة الإدارة في ظل التوسع العمراني الذي تشهده مدينة الرياض.

ويختتم الفصل باستعراض وتحليل الدراسات السابقة ذات الصلة بموضوع الدراسة على المستويات المحلية والعربية والدولية، بهدف التعرف على أبرز ما توصلت إليه تلك الدراسات، وتحليل أوجه الاتفاق والاختلاف بينها، وتحديد الفجوة البحثية التي تسعى الدراسة الحالية إلى معالجتها، بما يسهم في بناء إطار علمي متكامل يدعم تحقيق أهداف الدراسة والإجابة عن تساؤلاتها.

-الإطار النظري

2.1 مفهوم نفايات البناء والهدم

تُعد نفايات البناء والهدم من أبرز أنواع النفايات الصلبة الناتجة عن الأنشطة المرتبطة بقطاع التشييد والبناء، وتشمل المخلفات المتولدة من أعمال إنشاء المباني، والهدم، والترميم، والصيانة، والتوسعات، وإزالة المنشآت والبنية التحتية. ومع التوسع العمراني المتسارع، أصبحت إدارة هذا النوع من النفايات تمثل أحد التحديات الرئيسة المرتبطة بحماية البيئة، ورفع كفاءة استخدام الموارد، وتحقيق التنمية الحضرية المستدامة.

وتشير الأدبيات العلمية إلى أن مفهوم نفايات البناء والهدم لا يقتصر على المواد الناتجة عن إزالة المباني فقط، بل يشمل جميع المواد المتولدة خلال مختلف مراحل دورة حياة المشروع الإنشائي، ابتداءً من أعمال الإنشاء وحتى الصيانة والهدم، بما في ذلك الخرسانة، والطوب، والمعادن، والأخشاب، والزجاج، والجبس، والأسفلت، ونواتج الحفر وغيرها من المواد المرتبطة بالأنشطة الإنشائية (Kabirifar et al., 2020).

أما على المستوى التنظيمي في المملكة العربية السعودية، فيمكن استخلاص التعريف التنظيمي من الدليل الفني لإدارة نفايات البناء والهدم الصادر عن المركز الوطني لإدارة النفايات، والذي يوضح أن نفايات البناء والهدم تشمل النفايات الناتجة عن أعمال البناء أو الهدم أو الترميم أو الصيانة أو الحفر، والتي تخضع لمنظومة متكاملة من الإجراءات التنظيمية المتعلقة بالجمع، والنقل، والفرز، والمعالجة، والتخلص، وفقاً للاشتراطات والضوابط المنظمة لإدارة هذا النوع من النفايات (المركز الوطني لإدارة النفايات، 2025).

ويلاحظ أن التعريف العلمي يركز على طبيعة المواد ودورة حياتها وإمكانية إدارتها بكفاءة، في حين يركز التعريف التنظيمي على الجوانب الإجرائية والتنظيمية المرتبطة بإدارة نفايات البناء والهدم داخل المملكة العربية السعودية. ولا يوجد تعارض بين التعريفين، بل يكمل كل منهما الآخر؛ إذ يقدم الأول الأساس المفاهيمي للدراسة، بينما يوفر الثاني الإطار التنظيمي الذي يحكم إدارة هذا النوع من النفايات في السياق المحلي.

وبناءً على ذلك، تعتمد هذه الدراسة التعريف الوارد في الدليل الفني للمركز الوطني لإدارة النفايات باعتباره المرجع التنظيمي الرسمي في المملكة العربية السعودية، مع الاستفادة من المفهوم العلمي الذي ينظر إلى نفايات البناء والهدم بوصفها مورداً يمكن تحسين إدارته من خلال توظيف الحلول التقنية الحديثة، مثل تقنية نمذجة معلومات البناء (Building Information Modeling - BIM) وتقنيات الذكاء الاصطناعي والرؤية الحاسوبية، بما يساهم في رفع كفاءة إدارة نفايات البناء والهدم وتحسين جودة البيئة الحضرية في مدينة الرياض.

2.2 مصادر نفايات البناء والهدم

تنشأ نفايات البناء والهدم خلال مختلف مراحل دورة حياة المشروعات الإنشائية، ولا تقتصر على مرحلة الهدم النهائي للمباني، بل تبدأ منذ مرحلة التخطيط والتصميم، وتمتد إلى أعمال التنفيذ والتشغيل والصيانة والترميم والإزالة. وتختلف كميات هذه النفايات وتركيبها باختلاف نوع المشروع، وطريقة التنفيذ، وجودة التخطيط، وطبيعة المواد المستخدمة، ومدى الالتزام بممارسات الإدارة والفرز داخل الموقع.

أولاً: النفايات الناتجة عن أعمال البناء الجديدة

تنتج هذه النفايات أثناء تنفيذ المباني ومشروعات البنية التحتية الجديدة، وتشمل بقايا الخرسانة، والطوب، والحديد، والأخشاب، والجبس، والزجاج، ومواد التغليف، والكميات الزائدة من المواد التي لم تُستخدم في المشروع. وقد يرتبط تولدها بعدم دقة تقدير الاحتياجات، أو سوء تخزين المواد ومناولتها، أو تنفيذ الأعمال بطريقة ينتج عنها فاقد مرتفع، أو إجراء تعديلات أثناء مرحلة التنفيذ.

وتبرز أهمية التخطيط المسبق في هذا النوع من المشروعات؛ لأن تحسين تقدير كميات المواد قبل بدء التنفيذ يمكن أن يحد من فائض المشتريات ويقلل كمية المخلفات المتولدة. ومن هنا تظهر صلة تقنية نمذجة معلومات البناء (BIM) بموضوع الدراسة، باعتبارها إحدى الأدوات التي يمكن توظيفها في تقدير المواد والنفايات المتوقعة وتحسين القرارات المتعلقة باستخدام الموارد خلال مراحل المشروع. (Saka et al., 2024)

ثانياً: النفايات الناتجة عن أعمال الهدم والإزالة

تنتج هذه النفايات عند إزالة المباني والمنشآت كلياً أو جزئياً، وعادةً ما تكون كمياتها أكبر وأكثر تنوعاً من النفايات الناتجة عن أعمال البناء الجديدة. وتشمل الخرسانة المسلحة، والمعادن، والطوب، والأخشاب، والزجاج، ومواد العزل، والأنابيب، وغيرها من مكونات المنشأة.

وتتأثر إمكانية إدارة هذه المواد بطريقة الهدم المتبعة؛ إذ يؤدي الهدم غير المنظم إلى اختلاط المواد ببعضها، مما يزيد صعوبة فرزها والاستفادة منها. أما التخطيط المسبق لأعمال الهدم وتحديد أنواع المواد وكمياتها، فيساعد على تحسين عمليات الفصل والنقل والمعالجة. ويؤكد ذلك أهمية وجود بيانات دقيقة عن مكونات المبنى قبل بدء الهدم، وربطها بخطط إدارة النفايات.

ثالثاً: النفايات الناتجة عن أعمال الترميم والصيانة

تنشأ هذه النفايات من أعمال إصلاح المباني وتجديدها وتغيير الاستخدامات الداخلية واستبدال التشطيبات والأنظمة الكهربائية والميكانيكية. وتشمل بقايا السيراميك، والجبس، والأخشاب، والزجاج، والأنابيب، والأسلاك، والأبواب، ومواد التشطيب المختلفة.

وعلى الرغم من أن كميات هذه النفايات قد تكون أقل من نفايات الهدم الكامل، فإنها تتولد بصورة مستمرة في المناطق الحضرية، وتتوزع بين عدد كبير من المشروعات الصغيرة والمتوسطة. وقد يجعل هذا الانتشار عملية جمعها وتتبعها أكثر تعقيداً مقارنة بالنفايات الناتجة عن المشروعات الكبرى التي تكون مواقعها وكمياتها أكثر وضوحاً.

رابعاً: النفايات الناتجة عن أعمال البنية التحتية

تشمل النفايات الناتجة عن إنشاء وصيانة وإزالة الطرق والجسور وشبكات المياه والصرف الصحي والكهرباء والاتصالات وغيرها من مشروعات البنية التحتية. ومن أبرز مكوناتها الأسفلت، والخرسانة، والصخور، والأنابيب، والمعادن، والتربة الناتجة عن الحفر.

وتكتسب هذه الفئة أهمية خاصة في مدينة الرياض بسبب تعدد مشروعات البنية التحتية والتوسع العمراني. كما تتطلب إدارتها التنسيق بين الجهات المالكة للمشروعات والمقاولين والناقلين والمرافق النظامية المستقبلية، نظراً لكبر الكميات والحاجة إلى نقلها عبر مسافات قد تؤثر في التكلفة والكفاءة التشغيلية.

خامساً: نواتج الحفر

تنتج نواتج الحفر عند تجهيز مواقع المشروعات، وتنفيذ الأساسات والأنفاق وشبكات الخدمات والأعمال تحت سطح الأرض. وتتكون غالباً من التربة والصخور والمواد الطبيعية المستخرجة من الموقع، وقد تختلف عن نفايات البناء والهدم المختلطة من حيث طبيعتها وإمكانات إدارتها.

ويجب التمييز بين نواتج الحفر النظيفة التي يمكن توجيهها إلى استخدامات مناسبة وفق الاشتراطات الفنية، وبين المواد المختلطة أو الملوثة التي تتطلب مساراً مختلفاً للإدارة. ويكتسب هذا التمييز أهمية في الدراسة نظراً إلى وجود مواقع نظامية مخصصة لاستقبال نواتج الحفر في مدينة الرياض، تختلف في وظيفتها عن منشآت معالجة نفايات البناء والهدم.

العوامل المؤثرة في تولد نفايات البناء والهدم

على الرغم من أن مصادر نفايات البناء والهدم ترتبط بطبيعة الأنشطة الإنشائية، فإن كمية النفايات المتولدة لا تعتمد على نوع النشاط وحده، بل تتأثر بمجموعة من العوامل الإدارية والفنية التي قد تزيد أو تقلل من حجم النفايات الناتجة خلال دورة حياة المشروع. وتشير الأدبيات إلى أن ضعف التخطيط، والتغيرات المتكررة في التصميم، وسوء التنسيق بين أطراف المشروع، وعدم دقة تقدير الكميات، وضعف عمليات التخزين والمناولة، والأخطاء التنفيذية التي تستدعي إعادة العمل، تعد من أبرز العوامل التي تؤدي إلى زيادة تولد نفايات البناء والهدم (Alazmi et al., PR003).

كما يسهم ضعف ممارسات الفرز من المصدر، وتأخر نقل النفايات، وعدم تطبيق خطط إدارة النفايات داخل مواقع العمل، في تقليل كفاءة إدارة هذا النوع من النفايات، وزيادة الكميات التي تتطلب النقل والمعالجة. ولذلك، تؤكد الأدبيات أن تحسين إدارة نفايات البناء والهدم يبدأ من مرحلة التخطيط والتصميم وإدارة المشروع، وليس بعد تولد النفايات فقط، وهو ما يفسر الاهتمام المتزايد بتطبيق الحلول التقنية الداعمة للتخطيط وإدارة الموارد في القطاع الإنشائي.

تصنيف المصادر وفق مراحل المشروع

جدول (2-1): تصنيف مصادر نفايات البناء والهدم وفق الأنشطة الإنشائية

النشاط الإنشائي	أبرز النفايات الناتجة
أعمال البناء	الخرسانة، الطوب، الحديد، الأخشاب، الجبس، الزجاج، مواد التغليف
أعمال الهدم والإزالة	الخرسانة المسلحة، المعادن، الطوب، الأخشاب، الزجاج، مواد العزل
أعمال الترميم والصيانة	السيراميك، الجبس، الأخشاب، الأنابيب، الأسلاك، مواد التشطيب
أعمال البنية التحتية	الأسفلت، الخرسانة، الأنابيب، المعادن، التربة والصخور
نواتج الحفر	التربة، الصخور، المواد الطبيعية الناتجة عن الحفر

المصدر: إعداد الباحث بالاعتماد على المركز الوطني لإدارة النفايات (موان، الدليل الفني)، و (Kabirifar et al. (2020)، و (Alazmi et al. (2023).

وفي ضوء ما سبق، يتضح أن مصادر نفايات البناء والهدم ترتبط بمختلف الأنشطة الإنشائية التي تمر بها دورة حياة المشروع، في حين تؤثر الممارسات الإدارية والفنية في حجم النفايات المتولدة وكفاءة إدارتها. ويؤكد ذلك أن تحسين إدارة نفايات البناء والهدم يتطلب الجمع بين الإدارة الوقائية التي تهدف إلى الحد من تولد النفايات من المصدر، والإدارة التشغيلية التي تركز على تحسين عمليات الفرز والنقل والمعالجة. وفي هذا الإطار، تمثل تقنية نمذجة معلومات البناء (BIM) أداة داعمة لتقليل النفايات قبل تنفيذ المشروع من خلال تحسين التخطيط والتنبؤ بالكميات، في حين تسهم تقنيات الذكاء الاصطناعي والرؤية الحاسوبية في تحسين فرز نفايات البناء والهدم بعد تولدها ورفع كفاءة إدارتها، وهو ما يشكل الأساس الذي تستند إليه هذه الدراسة

2.3 الآثار البيئية والاقتصادية والمكانية للإدارة غير الفعالة لنفايات البناء والهدم

ترتبط الإدارة غير الفعالة لنفايات البناء والهدم بمجموعة من الآثار البيئية والاقتصادية والمكانية التي تختلف باختلاف كميات النفايات المتولدة، وطرق إدارتها، ومدى الالتزام بالاشتراطات التنظيمية الخاصة بجمعها ونقلها وفرزها ومعالجتها. ومع ازدياد النشاط العمراني والتوسع في تنفيذ المشروعات الإنشائية، أصبحت الإدارة غير الفعالة لهذا النوع من النفايات تمثل تحدياً رئيساً لما يترتب عليها من آثار بيئية واقتصادية ومكانية تؤثر في كفاءة إدارة الموارد وجودة البيئة الحضرية (Kabirifar et al., 2020؛ المركز الوطني لإدارة النفايات، 2025).

أولاً: الآثار البيئية

تؤدي الإدارة غير الفعالة لنفايات البناء والهدم إلى مجموعة من الآثار البيئية، من أبرزها التشوه البصري الناتج عن تراكم النفايات في الأراضي الفضاء وعلى جوانب الطرق، إضافة إلى إشغال مساحات واسعة من الأراضي وما يترتب

عليه من تدهور في المشهد الحضري. كما قد يؤدي التخلص غير النظامي من بعض مكونات نفايات البناء والهدم إلى الإضرار بالتربة والبيئة المحيطة، خاصة في حال غياب ممارسات الإدارة النظامية والرقابة الفعالة (وزارة البلديات والإسكان، 2024؛ المركز الوطني لإدارة النفايات، 2025).

كما ينتج عن عمليات الهدم والنقل غير المنظم انبعاث الغبار والجسيمات العالقة، مما قد يؤثر في جودة الهواء داخل المناطق العمرانية، خاصة في مواقع المشروعات ذات الكثافة الإنشائية المرتفعة. ويضاف إلى ذلك أن ضعف الاستفادة من المواد القابلة للاسترجاع يؤدي إلى زيادة الاعتماد على الموارد الطبيعية، وهو ما يتعارض مع مبادئ الإدارة المستدامة للموارد والاقتصاد الدائري (وزارة البلديات والإسكان، 2024؛ Directive 2008/98/EC).

ثانيًا: الآثار الاقتصادية

تمثل الإدارة غير الفعالة لنفايات البناء والهدم تحديًا اقتصاديًا يتمثل في التكاليف المباشرة وغير المباشرة المرتبطة بأعمال الجمع، والنقل، والفرز، والمعالجة، وإزالة المخلفات الناتجة عن الرمي العشوائي، إضافة إلى تكاليف تشغيل المرافق النظامية وأعمال الرقابة والمتابعة. وتشير الأدبيات إلى أن هذه التكاليف قد تشكل عبئًا ماليًا متزايدًا على الجهات المختصة، خصوصًا مع استمرار النمو العمراني وزيادة كميات النفايات المتولدة (Ramos & Martinho, 2023؛ المركز الوطني لإدارة النفايات، 2024؛ المركز الوطني لإدارة النفايات، 2024 ب).

وفي المقابل، يمكن أن يسهم تحسين إدارة نفايات البناء والهدم من خلال الحلول التقنية الحديثة في رفع كفاءة استخدام الموارد، وتقليل الفاقد، وتحسين عمليات التخطيط والإدارة، بما ينعكس إيجابًا على كفاءة المشروعات الإنشائية ويخفض التكاليف التشغيلية على المدى الطويل (Saka et al., 2024).

ثالثًا: الآثار المكانية

يمثل البعد المكاني أحد الجوانب المهمة في إدارة نفايات البناء والهدم، إذ تتأثر كفاءة الإدارة بتوزيع مواقع تولد النفايات مقارنة بالمرافق النظامية المخصصة لاستقبالها ومعالجتها. فكلما ازدادت مسافات النقل بين مواقع

المشروعات والمرافق النظامية، ارتفعت التكاليف التشغيلية، وزاد الزمن اللازم لنقل النفايات، وازدادت الأعباء اللوجستية المرتبطة بإدارة هذا النوع من النفايات.

وتكتسب هذه المسألة أهمية خاصة في مدينة الرياض في ظل التوسع العمراني المستمر، وتمركز عدد كبير من المشروعات الإنشائية في مناطق محددة، الأمر الذي يستدعي دراسة مدى ملائمة توزيع المواقع النظامية المعلنة مقارنة بمناطق تولد نفايات البناء والهدم. ويتوافق ذلك مع مبدأ القرب (Proximity Principle)، الذي يدعو إلى إدارة النفايات أو معالجتها في أقرب موقع نظامي مناسب لمصدر تولدها متى ما كان ذلك ممكنًا، بما يساهم في تقليل مسافات النقل، وخفض التكاليف التشغيلية، والحد من الآثار البيئية المرتبطة بالنقل (Directive 2008/98/EC).

ومع ذلك، فإن الدراسة الحالية لا تنظر إلى التوزيع المكاني للمرافق النظامية باعتباره سببًا مباشرًا لكفاءة الإدارة، وإنما باعتباره أحد العوامل التي تستحق الدراسة والتحليل عند تقييم منظومة إدارة نفايات البناء والهدم في مدينة الرياض.

ارتباط الآثار بالحلول التقنية

توضح الآثار السابقة أن الحد من الآثار البيئية والاقتصادية والمكانية للإدارة غير الفعالة لنفايات البناء والهدم لا يقتصر على تطوير الجوانب التشغيلية، بل يتطلب تبني حلول تقنية تدعم مختلف مراحل الإدارة. فتسهم تقنية نمذجة معلومات البناء (Building Information Modeling - BIM) في الحد من تولد النفايات من خلال تحسين التخطيط والتنبؤ بالكميات قبل بدء التنفيذ، بينما تسهم تقنيات الذكاء الاصطناعي والرؤية الحاسوبية في تحسين فرز نفايات البناء والهدم بعد تولدها، ورفع كفاءة إدارتها، ودعم اتخاذ القرار، بما يساهم في تقليل الآثار البيئية والاقتصادية والمكانية المرتبطة بها (Saka et al., 2024; Langley et al., 2024).

-الدراسات السابقة

تمثل الدراسات السابقة أساسًا مهمًا لفهم الاتجاهات العلمية والتطبيقية المتعلقة بإدارة نفايات البناء والهدم، والتعرف على المناهج المستخدمة والنتائج التي توصل إليها الباحثون. وقد جرى اختيار أربع دراسات ترتبط مباشرة بمحاور الدراسة الحالية؛ تشمل دراسة محلية مطبقة على مدينة الرياض، ودراسة عربية مطبقة في جمهورية مصر

العربية، ودراستين عالميتين تناولتا نمذجة معلومات البناء والتعلم الآلي، والذكاء الاصطناعي والرؤية الحاسوبية. ويتيح هذا التنوع مقارنة الواقع المحلي بالتجارب العربية والتطورات التقنية العالمية.

أولاً: الدراسة المحلية

أجرى علي وإبراهيم ومسعد (2009) دراسة بعنوان رسم خرائط مواقع التخلص من النفايات في الرياض باستخدام صور رادارات، ونُشرت في مجلة جامعة الملك سعود للعلوم الهندسية. هدفت الدراسة إلى اختبار إمكانية استخدام صور الأقمار الصناعية الرادارية في تحديد مواقع التخلص من النفايات داخل مدينة الرياض.

اعتمدت الدراسة على صورة رقمية من نوع الرادار ذي الفتحة الاصطناعية التقطها القمر الصناعي الكندي Radarsat، وتغطي مدينة الرياض. كما استخدم الباحثون برنامج PCI لإجراء عمليات معالجة الصورة وتحليلها، بهدف التعرف على مواقع التخلص من النفايات وإظهارها مكانياً.

أظهرت نتائج الدراسة أن الصور الرادارية الفضائية عالية الدقة يمكن أن تمثل أداة مناسبة لحصر مواقع التخلص من النفايات ومراقبتها بصورة دورية، ولا سيما في المدن الكبيرة التي تتطلب متابعة مستمرة للحد من الآثار البيئية المرتبطة بتراكم النفايات.

وتكمن أهمية هذه الدراسة بالنسبة إلى الدراسة الحالية في تطبيقها المباشر على مدينة الرياض، ودعمها للبعد المكاني واستخدام الحلول التقنية في رصد مواقع التخلص من النفايات. ومع ذلك، تناولت الدراسة مواقع التخلص من النفايات بصورة عامة، ولم تقتصر على نفايات البناء والهدم، كما لم تتناول تقنيتي نمذجة معلومات البناء والذكاء الاصطناعي اللتين تركّز عليهما الدراسة الحالية.

ثانياً: الدراسة العربية

أجرى إسماعيل والمهدي وإبراهيم وداود (2023) دراسة بعنوان إطار شامل نحو التخلص الآمن من نفايات البناء والهدم: حالة مصر. هدفت الدراسة إلى تطوير إطار متكامل لتحسين التخلص الآمن من نفايات البناء والهدم في قطاع

التشييد المصري، من خلال تحليل ثلاثة محاور رئيسة هي: إدارة المسارات والجمع والنقل، وتحديد مواقع الرمي غير النظامي، وتتبع نفايات البناء وجدولة عملياتها.

اتبعت الدراسة المنهج الكمي على مرحلتين؛ تمثلت المرحلة الأولى في إجراء استبانة إلكترونية شملت مختصين وأكاديميين وممارسين في قطاع التشييد المصري، بينما استخدمت المرحلة الثانية التحليل الإحصائي متعدد المتغيرات ونمذجة المعادلات الهيكلية لدراسة أثر المحاور الثلاثة في التخلص الآمن من نفايات البناء والهدم.

أظهرت النتائج وجود أثر إيجابي للمحاور الثلاثة في تحسين التخلص الآمن من نفايات البناء والهدم. كما بينت الدراسة أن إدارة المسارات والجمع والنقل كانت الأكثر تأثيراً في النموذج، تلتها عمليات التتبع والجدولة، ثم تحديد مواقع الرمي غير النظامي. وانتهت الدراسة إلى تقديم خريطة طريق تساعد الجهات الحكومية وقطاع التشييد على تطبيق الإطار المقترح بما يتوافق مع مستهدفات التنمية المستدامة في مصر.

وتفيد هذه الدراسة البحث الحالي في دعمها للأبعاد التشغيلية والمكانية والتقنية، ولا سيما ما يتعلق بمسافات ومسارات النقل، وتحديد مواقع الرمي غير النظامي، واستخدام تقنيات التتبع والجدولة. وتختلف عنها الدراسة الحالية في تركيزها على مدينة الرياض، وفي تناولها تقنية نمذجة معلومات البناء والذكاء الاصطناعي والرؤية الحاسوبية بصورة أكثر تحديداً.

ثالثاً: الدراسة العالمية الأولى

قدم ساكا وآخرون (2024) دراسة بعنوان نظام متكامل لنمذجة معلومات البناء والتعلم الآلي للتنبؤ بدائرية نفايات البناء والهدم. هدفت الدراسة إلى تطوير نظام تقني للتنبؤ بكميات المواد الناتجة عن أعمال الهدم، مع التمييز بين المواد القابلة للاستفادة والمواد المتجهة إلى الطمر.

اعتمدت الدراسة على بيانات مستمدة من 2,280 مشروع هدم، واستخدمت عدة نماذج للتعلم الآلي لتحليل البيانات والتنبؤ بكميات النفايات. وأظهرت النتائج أن نموذج XGBoost حقق أفضل أداء بين النماذج المختبرة، إذ بلغ معامل التحديد R

كما دمج الباحثون نموذج التعلم الآلي مع نمذجة معلومات البناء، لتطوير نظام يساعد على التنبؤ بكميات المواد القابلة لإعادة الاستخدام أو التدوير، والمواد التي قد تتجه إلى الطمر قبل تنفيذ أعمال الهدم. وأكدت الدراسة أهمية هذا النظام في دعم التدقيق السابق للهدم، والتخطيط المبكر، وتحسين إدارة الموارد والنفايات.

وترتبط هذه الدراسة مباشرة بالمحور الأول للحلول التقنية في البحث الحالي، إذ توضح إمكانية دمج نمذجة معلومات البناء مع التعلم الآلي لتحسين التنبؤ بكميات نفايات الهدم قبل تنفيذ الأعمال. وتختلف عنها الدراسة الحالية في أنها لا تهدف إلى بناء نموذج تنبؤي جديد، بل إلى تحليل مدى إسهام هذه التقنية وإمكان تطبيقها ضمن منظومة إدارة نفايات البناء والهدم في مدينة الرياض.

رابعاً: الدراسة العالمية الثانية

أجرى لانغلي ولونيرغان وهوانغ وأزغادي (2025) دراسة مراجعة بعنوان تحليل نفايات البناء والهدم المختلطة في مرافق استرداد المواد: تطور الرؤية الحاسوبية والتعلم العميق وتحدياتهما وتطبيقاتهما. هدفت الدراسة إلى تحليل تطور استخدام تقنيات الرؤية الحاسوبية والتعلم العميق في التعرف على مكونات نفايات البناء والهدم المختلطة داخل مرافق استرداد المواد.

استعرضت الدراسة تطور مجموعات البيانات وأجهزة الاستشعار والكاميرات، إلى جانب الانتقال من تقنيات اكتشاف الأجسام إلى نماذج تقسيم الصور في الزمن الحقيقي. كما ركزت على التحديات المرتبطة بتحليل النفايات المختلطة والملوثة في البيئات التجارية الفعلية، مقارنة بالنفايات المتجانسة التي يسهل التعرف عليها وتصنيفها.

أوضحت الدراسة أن تقنيات التعلم العميق والرؤية الحاسوبية توفر إمكانات واعدة لتحسين التعرف الآلي على مكونات نفايات البناء والهدم، إلا أن تطبيقها على نطاق تجاري واسع لا يزال يواجه عدداً من التحديات، من أبرزها محدودية مجموعات البيانات المتنوعة وعالية الجودة، واختلاف خصائص المواد، وتداخل مكونات النفايات، والحاجة إلى أجهزة استشعار وخوارزميات قادرة على العمل في الظروف التشغيلية الواقعية.

وتخدم هذه الدراسة المحور الثاني للحلول التقنية في البحث الحالي، إذ توفر أساساً علمياً لتحليل دور الذكاء الاصطناعي والرؤية الحاسوبية في تحسين فرز نفايات البناء والهدم. وتختلف الدراسة الحالية عنها في أنها لا تركز على

تطوير الخوارزميات أو تقييم أدائها تقنيًا، وإنما تبحث في دور هذه التقنيات ضمن إطار إداري وبيئي واقتصادي ومكاني يرتبط بمدينة الرياض.

خامسًا: التعقيب على الدراسات السابقة

يتضح من استعراض الدراسات السابقة تنوع مجالات الاهتمام والمناهج المستخدمة. فقد ركزت الدراسة المحلية لعللي وآخرين (2009) على البعد المكاني واستخدام صور الأقمار الصناعية الرادارية في حصر مواقع التخلص من النفايات داخل مدينة الرياض. وتناولت الدراسة العربية لإسماعيل وآخرين (2023) الجوانب التشغيلية والمكانية والتقنية المرتبطة بإدارة المسارات والجمع والنقل، وتحديد مواقع الرمي غير النظامي، وتتبع نفايات البناء وجدولتها.

أما دراسة ساكا وآخرين (2024)، فقد ركزت على التنبؤ المسبق بكميات نفايات الهدم من خلال دمج نمذجة معلومات البناء والتعلم الآلي، في حين تناولت دراسة لانغلي وآخرين (2025) استخدام الرؤية الحاسوبية والتعلم العميق في تحليل وفرز نفايات البناء والهدم المختلطة داخل مرافق استرداد المواد.

وتتفق الدراسات الأربع على أهمية توظيف البيانات والحلول التقنية في تحسين إدارة النفايات ودعم اتخاذ القرار، إلا أنها تختلف في نطاقها وأهدافها. فالدراسة المحلية تناولت النفايات بصورة عامة ولم تقتصر على نفايات البناء والهدم، بينما ركزت الدراسة العربية على التخلص الآمن وإدارة عمليات النقل والتتبع. أما الدراستان العالميتان فتناولتا تطبيقين تقنيين متخصصين، هما التنبؤ المسبق باستخدام نمذجة معلومات البناء والتعلم الآلي، والفرز والتحليل باستخدام الرؤية الحاسوبية والتعلم العميق.

وتتمثل الفجوة البحثية في محدودية الدراسات التي تجمع بين الأبعاد البيئية والاقتصادية والمكانية والتنظيمية، وبين دور نمذجة معلومات البناء والذكاء الاصطناعي والرؤية الحاسوبية، ضمن إطار متكامل يركز على إدارة نفايات البناء والهدم في مدينة الرياض. ومن ثم، تسعى الدراسة الحالية إلى الاستفادة من نتائج الدراسات السابقة وربط محاورها المتفرقة، من خلال تحليل واقع إدارة نفايات البناء والهدم في الرياض، ودراسة التحديات المرتبطة بها، وتحليل مدى إسهام الحلول التقنية في رفع كفاءة الإدارة وتحسين جودة البيئة الحضرية.

الفصل الثالث
منهجية الدراسة

-مقدمة-

يتناول هذا الفصل المنهجية العلمية التي اعتمدت عليها الدراسة لتحقيق أهدافها والإجابة عن تساؤلاتها، من خلال توضيح منهج الدراسة، ومجتمعها وعينتها، وأداة جمع البيانات، وإجراءات التحقق من صدق الأداة وثباتها، إضافة إلى الأساليب الإحصائية المستخدمة في تحليل البيانات واستخلاص النتائج.

وانطلاقاً من طبيعة الدراسة، التي تهدف إلى تحليل دور الحلول التقنية في تحسين إدارة نفايات البناء والهدم في مدينة الرياض، فقد اعتمدت الدراسة المنهج الوصفي التحليلي، الذي يُعد من أكثر المناهج استخداماً في الدراسات التي تهدف إلى وصف الظواهر وتحليلها وتفسيرها بالاعتماد على جمع البيانات وتحليلها للوصول إلى نتائج علمية تسهم في فهم الواقع ودعم عملية اتخاذ القرار (عبيدات وآخرون، 2022). ويُعد هذا المنهج الأنسب للدراسة الحالية؛ لملاءمته في دراسة واقع إدارة نفايات البناء والهدم، وتحليل آراء أفراد الدراسة حول الحلول التقنية، بما يسهم في تحقيق أهداف الدراسة والإجابة عن تساؤلاتها.

-المنهجية وطرق البحث.

اعتمدت الدراسة المنهج الوصفي التحليلي؛ لملاءمته لطبيعة الدراسة وأهدافها، إذ يُعرّف بأنه المنهج الذي يهتم بوصف الظاهرة كما هي في الواقع، وجمع البيانات المتعلقة بها، وتحليلها وتفسيرها بصورة علمية، بما يساهم في الوصول إلى نتائج تدعم فهم الظاهرة واتخاذ القرارات المناسبة بشأنها (عبيدات وآخرو

ن، 2021).

ويقوم المنهج الوصفي التحليلي على جمع البيانات المتعلقة بالظاهرة المدروسة، وتنظيمها، وتحليلها إحصائيًا، ثم تفسير النتائج في ضوء الإطار النظري والدراسات السابقة، بهدف الوصول إلى استنتاجات علمية يمكن الاستفادة منها في تطوير الواقع العملي ومعالجة المشكلات محل الدراسة.

وقد اختير هذا المنهج لملاءمته للدراسة الحالية، التي تهدف إلى تحليل واقع إدارة نفايات البناء والهدم في مدينة الرياض، ودراسة التحديات البيئية والاقتصادية والمكانية المرتبطة بها، إلى جانب تحليل آراء المختصين حول مدى إسهام الحلول التقنية، والمتمثلة في تقنية نمذجة معلومات البناء (Building Information Modeling - BIM) وتقنيات الذكاء الاصطناعي والرؤية الحاسوبية، في تحسين إدارة نفايات البناء والهدم، بما يساهم في تحقيق أهداف الدراسة والإجابة عن تساؤلاتها.

أسلوب الدراسة

اعتمدت الدراسة الأسلوب الكمي (Quantitative Approach)، وذلك من خلال تصميم استبانة إلكترونية لجمع البيانات من أفراد الدراسة، وتحليلها باستخدام الأساليب الإحصائية المناسبة للإجابة عن تساؤلات الدراسة وتحقيق أهدافها.

كما اعتمدت الدراسة على المراجعة الوثائقية (Document Review) بوصفها أسلوبًا مساندًا، من خلال تحليل الأنظمة واللوائح والتقارير الرسمية والدراسات العلمية ذات العلاقة، وذلك لدعم الإطار النظري، وتفسير النتائج، وربطها بالواقع التنظيمي والتطبيقي في المملكة العربية السعودية، ولا سيما في مدينة الرياض.

-مجتمع البحث

يتكون مجتمع الدراسة من الأفراد ذوي العلاقة بإدارة نفايات البناء والهدم في مدينة الرياض، ممن يمتلكون المعرفة أو الخبرة المهنية المرتبطة بالجوانب التنظيمية أو الفنية أو التشغيلية أو التقنية ذات الصلة بموضوع الدراسة. ويشمل ذلك العاملين في الجهات الحكومية والهيئات التنظيمية، والقطاع الخاص، والاستشاريين، والأكاديميين، والمهندسين والمختصين في مجالات إدارة النفايات، والهندسة المدنية، وإدارة المشروعات، وتقنيات البناء، وتقنيات الذكاء الاصطناعي ونظم المعلومات الجغرافية، ممن يرتبط عملهم أو خبراتهم بإدارة نفايات البناء والهدم أو تطويرها. ويُعد اختيار هذا المجتمع مناسباً لطبيعة الدراسة؛ نظرًا لأن تقييم واقع إدارة نفايات البناء والهدم، وتحليل التحديات البيئية والاقتصادية والمكانية، وتقدير مدى إسهام الحلول التقنية في تحسين الإدارة، يتطلب الحصول على آراء مختصين يمتلكون خبرة عملية أو علمية في هذا المجال، بما يساهم في الوصول إلى نتائج أكثر دقة وموضوعية. وتتمثل أبرز الجهات التي يمكن أن يمثلها أفراد مجتمع الدراسة فيما يأتي:

- المركز الوطني لإدارة النفايات (موان).
- وزارة البلديات والإسكان.
- أمانة منطقة الرياض.
- الشركات المرخصة العاملة في نقل وإدارة نفايات البناء والهدم.
- المكاتب الاستشارية والهندسية.
- شركات المقاولات.
- الجامعات والباحثون المتخصصون في مجالات إدارة النفايات والهندسة والبيئة.

ونظرًا لتعدد الجهات المرتبطة بإدارة نفايات البناء والهدم، وتنوع التخصصات المهنية ذات العلاقة، وصعوبة حصر العدد الفعلي لجميع أفراد المجتمع المستهدف، يُعد مجتمع الدراسة من المجتمعات غير المحصورة، وهو ما استدعى اختيار عينة تمثل هذا المجتمع بما يحقق أهداف الدراسة. وسيتم توضيح أسلوب اختيار العينة وحجمها في القسم التالي.

اعتمدت الدراسة العينة القصدية (Purposive Sampling)، وذلك لاختيار أفراد يمتلكون المعرفة والخبرة العملية المرتبطة بموضوع الدراسة، بما يضمن الحصول على بيانات تعكس واقع إدارة نفايات البناء والهدم في مدينة الرياض، وتساعد في تحقيق أهداف الدراسة والإجابة عن تساؤلاتها.

ويُعد هذا النوع من العينات من أكثر الأساليب ملاءمة في الدراسات التي تستهدف الخبراء والمتخصصين، إذ يقوم على اختيار المشاركين وفق معايير محددة تناسب مع طبيعة الدراسة، بدلاً من الاختيار العشوائي، بما يساهم في الحصول على معلومات أكثر دقة وعمقًا من أفراد لديهم خبرة مباشرة في مجال الدراسة (عبيدات وآخرون، 2021).

وتستهدف الدراسة عينة تتراوح بين (10-15) خبيرًا ومتخصصًا في إدارة نفايات البناء والهدم، يتم اختيارهم من الجهات الحكومية والتنظيمية، والقطاع الخاص، والجهات الاستشارية والأكاديمية ذات العلاقة، وفقًا لخبراتهم المهنية ومشاركتهم في الجوانب التنظيمية أو التشغيلية أو التقنية المرتبطة بإدارة نفايات البناء والهدم.

ولضمان تمثيل مختلف جوانب الدراسة، يُراعى عند اختيار أفراد العينة تنوع تخصصاتهم وخبراتهم العملية، بحيث تشمل مجالات الرقابة والتفتيش، وإدارة النفايات، والهندسة المدنية، وإدارة المشروعات، وتقنيات البناء، والتحول الرقمي، بما يحقق تنوعًا في الآراء ويعزز موثوقية النتائج.

وسيتم توزيع الاستبانة إلكترونيًا على أفراد العينة المستهدفة، وتحليل الاستبانات المكتملة والصالحة للتحليل الإحصائي، مع استبعاد أي استبانة غير مكتملة أو لا تحقق متطلبات الدراسة.

-حدود البحث

أولاً: الحدود الموضوعية

تقتصر الدراسة على تحليل دور الحلول التقنية في تحسين إدارة نفايات البناء والهدم وتحسين جودة البيئة الحضرية في مدينة الرياض، مع التركيز على تقنيتي نمذجة معلومات البناء (Building Information Modeling - BIM) والذكاء الاصطناعي والرؤية الحاسوبية، وذلك من خلال دراسة مدى إسهامهما في التنبؤ بكميات نفايات البناء والهدم قبل التنفيذ، وتحسين عمليات فرزها بعد تولدها، وتحليل أثرهما في دعم الإدارة الفعالة لهذا النوع من النفايات من الجوانب البيئية والاقتصادية والمكانية.

كما تتناول الدراسة دور هذه التقنيات في تحسين تصنيف النفايات وتحديد المواد القابلة للاستفادة أو إعادة التدوير بوصفها إحدى نتائج الإدارة الفعالة، دون التوسع في دراسة تقنيات إعادة التدوير أو عمليات المعالجة الصناعية للنفايات وآليات تشغيلها، إذ يقتصر نطاق الدراسة على مراحل التنبؤ والفرز ودعم اتخاذ القرار.

ثانياً: الحدود المكانية

تقتصر الدراسة على مدينة الرياض، باعتبارها من أكثر المدن السعودية نشاطاً في قطاع التشييد والبناء، وما يترتب على ذلك من ارتفاع في كميات نفايات البناء والهدم. كما تركز الدراسة على المرافق النظامية المخصصة لاستقبال هذا النوع من النفايات داخل المدينة، والمتمثلة في المواقع الرسمية المعلنة، بما في ذلك موقع أكام وموقع التنظيم المخصص لاستقبال نواتج الحفر، مع الاستفادة من البعد المكاني في تحليل العلاقة بين مواقع المشروعات الإنشائية والمرافق النظامية.

ثالثاً: الحدود البشرية

تقتصر الدراسة على الخبراء والمختصين في مجال إدارة نفايات البناء والهدم، من العاملين في الجهات الحكومية والتنظيمية، والقطاع الخاص، والجهات الاستشارية والأكاديمية ذات العلاقة، ممن يمتلكون خبرة أو معرفة مباشرة بمجال إدارة نفايات البناء والهدم أو الحلول التقنية المرتبطة بها.

رابعاً: الحدود الزمنية

أُجريت الدراسة خلال عام 2026م، واعتمدت على الأنظمة واللوائح والتقارير الرسمية والدراسات العلمية المنشورة والمتاحة حتى فترة إعداد الدراسة، بالإضافة إلى البيانات التي جُمعت من أفراد عينة الدراسة خلال الفترة الزمنية المخصصة لتطبيق الاستبانة.

الفصل الرابع
النتائج والتوصيات

-مقدمة

يتناول هذا الفصل عرض نتائج الدراسة التي تم التوصل إليها من خلال تحليل بيانات الاستبانة المطبقة على أفراد عينة الدراسة، وذلك بهدف الإجابة عن تساؤلات الدراسة وتحقيق أهدافها. وقد جرى تحليل البيانات باستخدام الأساليب الإحصائية المناسبة، ثم تفسير النتائج وربطها بالإطار النظري والدراسات السابقة؛ للوصول إلى استنتاجات علمية تسهم في بيان دور الحلول التقنية في تحسين إدارة نفايات البناء والهدم وتحسين جودة البيئة الحضرية في مدينة الرياض.

ويبدأ الفصل بعرض الخصائص العامة لأفراد عينة الدراسة، استنادًا إلى البيانات الديموغرافية التي تضمنتها الاستبانة، ثم تُعرض نتائج محاور الدراسة وتحليلها وفقًا لتسلسل تساؤلات الدراسة الواردة في الفصل الأول، مع مناقشة النتائج في ضوء الأدبيات والدراسات السابقة، وصولًا إلى استخلاص أبرز النتائج التي تمثل أساسًا لبناء التوصيات والمقترحات التي تقدمها الدراسة.

تحليل البيانات

اعتمدت الدراسة على تحليل البيانات التي تم جمعها من خلال الاستبانة الإلكترونية الموجهة إلى أفراد عينة الدراسة، وذلك بعد التحقق من اكتمال جميع الاستجابات وصلاحيتها للتحليل الإحصائي. وقد بلغ عدد الاستبانات الصالحة للتحليل (12) استبانة، بنسبة استجابة بلغت 100% من العدد المستهدف لعينة الدراسة.

واعتمدت الدراسة في تحليل البيانات على مجموعة من الأساليب الإحصائية الوصفية التي تتناسب مع طبيعة الدراسة وحجم العينة، وذلك بهدف وصف خصائص أفراد العينة وتحليل استجاباتهم تجاه عبارات الاستبانة والإجابة عن تساؤلات الدراسة.

وشملت الأساليب الإحصائية المستخدمة ما يأتي:

- التكرارات (Frequencies)؛ لوصف توزيع استجابات أفراد العينة وخصائصهم الديموغرافية.
- النسب المئوية (Percentages)؛ لبيان نسبة كل فئة من إجمالي أفراد العينة.
- المتوسط الحسابي (Mean)؛ لتحديد مستوى موافقة أفراد العينة على عبارات الاستبانة.
- الانحراف المعياري (Standard Deviation)؛ لقياس مدى تشتت استجابات أفراد العينة حول المتوسط الحسابي.

واعتمدت الدراسة مقياس ليكرت الخماسي (Five-Point Likert Scale) لقياس استجابات المشاركين على عبارات الاستبانة، وذلك وفق التدرج الموضح في الجدول (4-1)

جدول (4-1)

مقياس ليكرت الخماسي المستخدم في الدراسة

درجة الموافقة	القيمة
لا أوافق بشدة	1
لا أوافق	2
محايد	3
أوافق	4
أوافق بشدة	5

ولتفسير المتوسطات الحسابية، اعتمدت الدراسة التصنيف الموضح في الجدول (4-2)

جدول (4-2)

تفسير المتوسطات الحسابية

المتوسط الحسابي	المتوسط الحسابي
منخفض جدًا	1.00 – 1.80
منخفض	1.81 – 2.60
متوسط	2.61 – 3.40
مرتفع	3.41 – 4.20
مرتفع جدًا	4.21 – 5.00

وبناءً على هذه المعايير، جرى تحليل استجابات أفراد العينة وتفسير النتائج وفقًا لمستوى المتوسطات الحسابية، بما يسهم في الإجابة عن تساؤلات الدراسة وتحقيق أهدافها.

-النتائج

يستعرض هذا القسم نتائج الدراسة وفقاً لتسلسل تساؤلاتها، وذلك من خلال تحليل استجابات أفراد العينة على عبارات الاستبانة، وتفسير النتائج بالاعتماد على المتوسطات الحسابية والانحرافات المعيارية ومستويات الموافقة.

نتائج السؤال الأول

السؤال الأول: ما واقع إدارة نفايات البناء والهدم في مدينة الرياض؟

لقياس هذا السؤال، طُرحت العبارة الآتية:

"توجد منظومة تنظيمية واضحة لإدارة نفايات البناء والهدم في مدينة الرياض".

وأظهرت نتائج التحليل أن المتوسط الحسابي بلغ (3.33) من 5، بينما بلغ الانحراف المعياري (1.11)، وهو ما يشير إلى مستوى موافقة متوسط وفقاً لتفسير المتوسطات المعتمد في الدراسة.

وتوزعت استجابات أفراد العينة بين مؤيدين ومحايدين وغير موافقين، حيث أبدى (3) مشاركين موافقة شديدة، ومشارك واحد موافقة، بينما اختار (5) مشاركين الإجابة المحايدة، في حين أبدى (3) مشاركين عدم موافقتهم.

وتشير هذه النتيجة إلى أن الخبراء يرون وجود إطار تنظيمي لإدارة نفايات البناء والهدم، إلا أن درجة وضوحه أو تكامله ما زالت بحاجة إلى مزيد من التطوير، وهو ما يتفق مع ما تناولته مشكلة الدراسة بشأن الحاجة إلى تعزيز كفاءة المنظومة التنظيمية ورفع مستوى التكامل بين الجهات ذات العلاقة.

نتائج السؤال الثاني

السؤال الثاني: ما أبرز التحديات البيئية والاقتصادية والمكانية المرتبطة بإدارة نفايات البناء والهدم؟

تم قياس هذا السؤال من خلال العبارة الآتية:

"يمثل الرمي العشوائي وبعدها المواقع النظامية لاستقبال النفايات من أبرز التحديات التي تواجه إدارة نفايات البناء والهدم".

وأظهرت النتائج أن المتوسط الحسابي بلغ (4.92) من 5، بينما بلغ الانحراف المعياري (0.28)، وهو أعلى متوسط حسابي في الدراسة، ويعكس مستوى موافقة مرتفعاً جداً.

كما أظهرت النتائج وجود شبه إجماع بين أفراد العينة، إذ وافق جميع المشاركين على العبارة، مما يدل على أن الرمي العشوائي وبعدها المواقع النظامية يمثلان من وجهة نظر الخبراء أبرز التحديات التي تواجه إدارة نفايات البناء والهدم في مدينة الرياض.

وتتفق هذه النتيجة مع ما توصلت إليه الدراسة في الإطار النظري، الذي أشار إلى أن ارتفاع مسافات النقل وقلة قرب المرافق النظامية من مواقع المشاريع يؤديان إلى زيادة التكاليف التشغيلية، وقد يسهمان في استمرار ظاهرة الرمي العشوائي.

نتائج السؤال الثالث

السؤال الثالث: ما أبرز الحلول التقنية المستخدمة في إدارة نفايات البناء والهدم؟

لم يُقَس هذا السؤال من خلال الاستبانة، وإنما أُجيب عنه بالاعتماد على الإطار النظري والدراسات السابقة الواردة في الفصل الثاني، نظرًا لكونه سؤالًا وصفيًا يهدف إلى استعراض أبرز الحلول التقنية المستخدمة في إدارة نفايات البناء والهدم.

وقد أظهرت مراجعة الأدبيات أن من أبرز هذه الحلول تقنية نمذجة معلومات البناء (BIM) التي تستخدم في التنبؤ بكميات النفايات وتحسين التخطيط قبل التنفيذ، وتقنيات الذكاء الاصطناعي والرؤية الحاسوبية المستخدمة في تحسين عمليات فرز النفايات وتصنيفها، إلى جانب نظم المعلومات الجغرافية التي تدعم التحليل المكاني والتخطيط للمرافق النظامية.

نتائج السؤال الرابع

السؤال الرابع: ما مدى إسهام تقنية نمذجة معلومات البناء (BIM) في تحسين إدارة نفايات البناء والهدم؟

تم قياس هذا السؤال من خلال عبارتين.

أظهرت العبارة الأولى، المتعلقة بإسهام تقنية BIM في التنبؤ بكميات نفايات البناء والهدم قبل بدء تنفيذ المشروع، متوسطًا حسابيًا بلغ 4.33 من 5، مما يشير إلى مستوى موافقة مرتفع جدًا.

كما أظهرت العبارة الثانية، المتعلقة بدور تقنية BIM في تقليل الهدر وتحسين التخطيط لإدارة نفايات البناء والهدم، متوسطًا حسابيًا بلغ 4.42 من 5، وهو ما يعكس اتفاق غالبية أفراد العينة على أهمية هذه التقنية في رفع كفاءة إدارة نفايات البناء والهدم.

وتؤكد هذه النتائج أن الخبراء ينظرون إلى تقنية BIM بوصفها أداة فعالة لتحسين التخطيط المسبق للمشروعات، وتقليل الهدر في المواد، ودعم اتخاذ القرار قبل مرحلة التنفيذ.

نتائج السؤال الخامس

السؤال الخامس: ما أثر البعد المكاني للمرافق النظامية في تحسين إدارة نفايات البناء والهدم؟

تم قياس هذا السؤال من خلال عبارتين.

أظهرت النتائج أن متوسط العبارة المتعلقة بتأثير بُعد المواقع النظامية في ارتفاع تكاليف نقل النفايات وإدارتها بلغ (4.58) من 5، بينما بلغ متوسط العبارة المتعلقة بتأثير تحسين توزيع المواقع النظامية داخل مدينة الرياض (4.75) من 5، وكلاهما يعكس مستوى موافقة مرتفعاً جداً.

وتشير هذه النتائج إلى وجود اتفاق واضح بين الخبراء على أن تحسين التوزيع الجغرافي للمرافق النظامية يمثل أحد العوامل الرئيسة التي يمكن أن تسهم في رفع كفاءة إدارة نفايات البناء والهدم، وخفض تكاليف النقل، والحد من الرمي العشوائي.

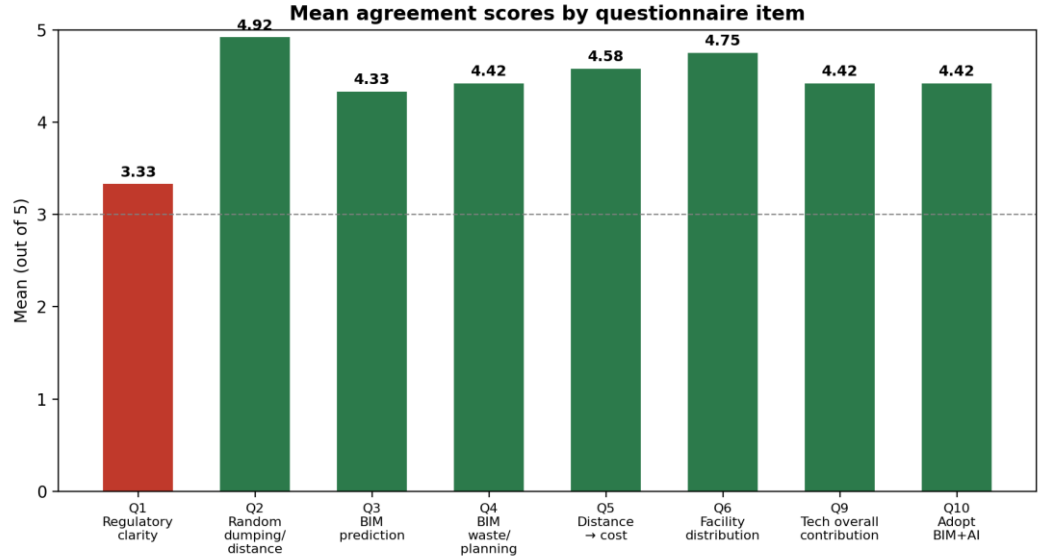
نتائج السؤال الرئيس

السؤال الرئيس: ما دور الحلول التقنية في تحسين إدارة نفايات البناء والهدم وتحسين جودة البيئة الحضرية في مدينة الرياض؟

لقياس هذا السؤال، تم تحليل استجابات المشاركين على عبارتين تمثلان التقييم العام للدراسة.

وأظهرت النتائج أن المتوسط الحسابي لكلتا العبارتين بلغ (4.42) من 5، وهو ما يعكس مستوى موافقة مرتفعاً جداً، ويشير إلى وجود اتفاق بين الخبراء على أن توظيف الحلول التقنية يسهم بصورة فعالة في تحسين إدارة نفايات البناء والهدم.

كما أظهرت النتائج وجود تأييد واضح لتبني تقنيات نمذجة معلومات البناء (BIM) والذكاء الاصطناعي ضمن منظومة إدارة نفايات البناء والهدم في المملكة العربية السعودية، لما لها من دور في دعم التخطيط، وتحسين كفاءة الإدارة، وتعزيز جودة البيئة الحضرية.



شكل (1-4): المتوسطات الحسابية لعبارات الاستبانة العشر

المصدر: إعداد الباحث بالاعتماد على نتائج تحليل الاستبانة (القسم 4.5-4.6).

-التوصيات

في ضوء النتائج التي توصلت إليها الدراسة، توصي الدراسة بما يأتي:

أولاً

التوسع في تطبيق الحلول التقنية في إدارة نفايات البناء والهدم، ولا سيما تقنية نمذجة معلومات البناء (BIM)، لما أظهرته نتائج الدراسة من اتفاق مرتفع بين الخبراء على دورها في التنبؤ بكميات النفايات قبل التنفيذ، وتحسين التخطيط، والحد من الهدر في المواد.

ثانيًا

دعم استخدام تقنيات الذكاء الاصطناعي والرؤية الحاسوبية في عمليات فرز نفايات البناء والهدم والرقابة عليها، بما يساهم في تحسين كفاءة التصنيف، ودعم اتخاذ القرار، ورفع كفاءة إدارة النفايات، بما يتوافق مع الاتجاهات العالمية الحديثة في هذا المجال.

ثالثًا

إعادة دراسة التوزيع المكاني للمرافق النظامية المخصصة لاستقبال نفايات البناء والهدم داخل مدينة الرياض، والعمل على زيادة عددها أو إعادة توزيعها بما يتناسب مع التوسع العمراني ومناطق تركيز المشروعات الإنشائية، خاصة في المناطق الشمالية من المدينة، بما يساهم في تقليل مسافات النقل والحد من ظاهرة الرمي العشوائي.

رابعًا

تعزيز التكامل الإلكتروني بين الجهات ذات العلاقة بإدارة نفايات البناء والهدم، من خلال تطوير منصات رقمية موحدة لتبادل البيانات بين الجهات التنظيمية والرقابية والبلديات والقطاع الخاص، بما يسهم في تحسين الرقابة وسرعة اتخاذ القرار.

خامسًا

الاستفادة من تقنيات نظم المعلومات الجغرافية (GIS) في دعم تخطيط مواقع المرافق النظامية المستقبلية، وتحليل توزيع المشروعات الإنشائية، بما يسهم في رفع كفاءة التخطيط المكاني وتحسين إدارة نفايات البناء والهدم.

سادسًا

العمل على مراجعة السياسات والإجراءات التنظيمية بصورة دورية، بما يسهم في تعزيز وضوح الأدوار والمسؤوليات بين الجهات ذات العلاقة، ورفع مستوى الالتزام بالاشتراطات التنظيمية الخاصة بإدارة نفايات البناء والهدم.

سابعًا

تعزيز برامج التوعية والتدريب للمقاولين والاستشاريين والعاملين في قطاع البناء، فيما يتعلق بأفضل الممارسات في إدارة نفايات البناء والهدم، وأهمية توظيف الحلول التقنية في الحد من الهدر وتحسين الكفاءة التشغيلية.

ثامنًا

إجراء دراسات مستقبلية تتناول الجوانب التي لم تغطيها الدراسة الحالية، مثل تقييم تطبيقات الذكاء الاصطناعي ميدانيًا، وتحليل الجدوى الاقتصادية لتوسيع شبكة المرافق النظامية، ودراسة أثر استخدام الحلول التقنية على معدلات إعادة الاستفادة من نفايات البناء والهدم.

مقترحات لدراسات مستقبلية

استنادًا إلى نتائج الدراسة، تقترح الدراسة إجراء عدد من الدراسات المستقبلية، من أبرزها:

1. دراسة تطبيقات الذكاء الاصطناعي والرؤية الحاسوبية في تحسين فرز نفايات البناء والهدم داخل المملكة العربية السعودية .
2. تقييم الأثر الاقتصادي لتطبيق تقنية نمذجة معلومات البناء (BIM) في المشروعات الحكومية الكبرى .
3. تطوير نموذج مكاني باستخدام نظم المعلومات الجغرافية (GIS) لاختيار أفضل مواقع المرافق النظامية لاستقبال نفايات البناء والهدم في مدينة الرياض .
4. دراسة العلاقة بين قرب المرافق النظامية ومستوى الالتزام بالتخلص النظامي من نفايات البناء والهدم .
5. تقييم أثر التحول الرقمي في تحسين كفاءة الرقابة والتفتيش على أنشطة إدارة نفايات البناء والهدم.

المراجع

-المراجع العربية-

- لهيئة العامة للإحصاء. (2024). *إحصاءات البيئة في المملكة العربية السعودية 2024*. الرياض، المملكة العربية السعودية.
- المركز الوطني لإدارة النفايات (موان). (2024أ). *فرصة استثمارية لإنشاء وتشغيل مرفق معالجة نفايات البناء والهدم في منطقة مكة المكرمة*. الرياض، المملكة العربية السعودية.
- المركز الوطني لإدارة النفايات (موان). (2024ب). *فرصة استثمارية لإنشاء وتشغيل مرفق معالجة نفايات البناء والهدم في منطقة المدينة المنورة*. الرياض، المملكة العربية السعودية.
- المركز الوطني لإدارة النفايات (موان). (2025أ). *الدليل الفني لإدارة نفايات البناء والهدم*. الرياض، المملكة العربية السعودية.
- المركز الوطني لإدارة النفايات (موان). (2025ب). *اللائحة التنفيذية لنظام إدارة النفايات*. الرياض، المملكة العربية السعودية.
- وزارة البلديات والإسكان. (2024). *تقرير جهود معالجة التشوه البصري وتحسين المشهد الحضري*. الرياض، المملكة العربية السعودية.
- أمانة منطقة الرياض. (2025). *المواقع النظامية المعتمدة لاستقبال نفايات البناء والهدم ونواتج الحفر في مدينة الرياض*. الرياض، المملكة العربية السعودية.
- رؤية المملكة العربية السعودية 2030. (2016). *وثيقة رؤية المملكة العربية السعودية 2030*. الرياض، المملكة العربية السعودية.
- عبيدات، ذوقان، عدس، عبد الرحمن، وعبد الحق، كايد. (2021). *البحث العلمي: مفهومه وأدواته وأساليبه* (الطبعة الحادية والعشرون). دار الفكر، عمان، الأردن.
- علي، إبراهيم، ومسعد. (2009). *إدارة مخلفات البناء والهدم في مدينة الرياض باستخدام نظم المعلومات الجغرافية*. جامعة الملك سعود، الرياض، المملكة العربية السعودية.

Ellen MacArthur Foundation. (2013). Towards the Circular Economy: Economic and Business Rationale
.for an Accelerated Transition. Ellen MacArthur Foundation

Kabirifar, K., Mojtahedi, M., Wang, C., & Tam, V. W. Y. (2020). Construction and demolition waste
management contributing factors coupled with circular economy strategies for effective waste
.management: A review. Journal of Cleaner Production, 263, 121265

Kirchherr, J., Reike, D., & Hekkert, M. (2017). Conceptualizing the circular economy: An analysis of 114
.definitions. Resources, Conservation and Recycling, 127, 221–232

Langley, P., et al. (2024). Artificial Intelligence and Computer Vision for Automated Construction and
.Demolition Waste Classification. arXiv

Ramos, A., & Martinho, G. (2021). Economic assessment of construction and demolition waste
.management: Costs associated with illegal dumping and proper management. Waste Management

Saka, A., et al. (2024). Building Information Modeling (BIM) for Construction Waste Prediction and
.Management Using Machine Learning. arXiv

European Parliament and Council. (2008). Directive 2008/98/EC on Waste (Waste Framework
.Directive). Official Journal of the European Union

الملاحق

استبانة: دور الحلول التقنية في تحسين إدارة نفايات البناء والهدم وتحسين جودة البيئة الحضرية في مدينة الرياض

مقدمة

عزيزي المشارك،

تهدف هذه الاستبانة إلى التعرف على آراء المختصين حول دور الحلول التقنية في تحسين إدارة نفايات البناء والهدم بمدينة الرياض. ستستخدم البيانات لأغراض البحث العلمي فقط، وستعامل جميع الإجابات بسرية تامة.

تعريف مختصر:

- تقنية نمذجة معلومات البناء (BIM): تقنية رقمية تساعد في إنشاء نموذج للمشروع قبل التنفيذ للتنبؤ بكميات المواد والنفايات وتحسين التخطيط وتقليل الهدر.
- الذكاء الاصطناعي والرؤية الحاسوبية: تقنيات تستخدم لتحليل الصور والبيانات بهدف تحسين فرز نفايات البناء والهدم ودعم الرقابة واتخاذ القرار.

يرجى اختيار درجة موافقتك وفق مقياس ليكرت الخماسي.

أولاً: البيانات العامة

1- جهة العمل: ☐ موان ☐ وزارة البلديات والإسكان ☐ أمانة الرياض ☐ شركة مقاولات ☐ مكتب استشاري ☐ أخرى

2- المسمى الوظيفي: _____

3- سنوات الخبرة: ☐ أقل من 5 ☐ 5-10 ☐ 11-15 ☐ أكثر من 15

4- التخصص: ☐ إدارة النفايات ☐ هندسة مدنية ☐ هندسة بيئية ☐ إدارة مشاريع ☐ تقنية معلومات ☐ أخرى

5- خبرة مباشرة في إدارة نفايات البناء والهدم: ☐ نعم ☐ لا

بارة	لا أو افق بشدة	لا أو افق	محايد	لا أو افق	أوافق بشدة
توجد منظومة تنظيمية واضحة لإدارة نفايات البناء والهدم في مدينة الرياض.	☐	☐	☐	☐	☐
يمثل الرمي العشوائي وُبعد المواقع النظامية لاستقبال النفايات من أبرز التحديات.	☐	☐	☐	☐	☐
يمكن لتقنية التنبؤ BIM بكميات نفايات البناء والهدم قبل بدء المشروع.	☐	☐	☐	☐	☐
يسهم استخدام BIM في تقليل الهدر	☐	☐	☐	☐	☐

وتحسين التخطيط.					
يمكن للذكاء الاصطناعي والرؤية الحاسوبية تحسين فرز نفايات البناء والهدم.	☐	☐	☐	☐	☐
يسهم الذكاء الاصطناعي في دعم الرقابة واتخاذ القرار.	☐	☐	☐	☐	☐
يؤثر بُعد المواقع النظامية في ارتفاع تكاليف النقل والإدارة.	☐	☐	☐	☐	☐
يسهم تحسين توزيع المواقع النظامية في رفع كفاءة إدارة النفايات.	☐	☐	☐	☐	☐
يسهم تطبيق الحلول التقنية في تحسين إدارة نفايات البناء والهدم.	☐	☐	☐	☐	☐
أوصي بتبني والذكاء BIM	☐	☐	☐	☐	☐

الاصطناعي

ضمن منظومة

إدارة نفايات

البناء والهدم.

--	--	--	--	--	--

هدفت هذه الدراسة إلى التعرف على دور الحلول التقنية في تحسين إدارة نفايات البناء والهدم وتحسين جودة البيئة الحضرية في مدينة الرياض، من خلال التركيز على تقنيتي نمذجة معلومات البناء (BIM) والذكاء الاصطناعي والرؤية الحاسوبية، ودراسة أثرهما في تحسين عمليات التنبؤ بكميات النفايات، وتحسين عمليات الفرز، ودعم اتخاذ القرار، إلى جانب تحليل التحديات البيئية والاقتصادية والمكانية المرتبطة بإدارة هذا النوع من النفايات.

واعتمدت الدراسة المنهج الوصفي التحليلي، واستخدمت استبانة إلكترونية بوصفها أداة رئيسة لجمع البيانات، وطُبقت على عينة قصدية مكونة من (12) خبيراً ومتخصصاً في مجال إدارة نفايات البناء والهدم. كما اعتمدت الدراسة على تحليل الأدبيات العلمية، والأنظمة واللوائح الوطنية، والدراسات السابقة ذات العلاقة.

وأظهرت نتائج الدراسة أن الرمي العشوائي وبُعد المواقع النظامية لاستقبال النفايات يمثلان أبرز التحديات التي تواجه إدارة نفايات البناء والهدم في مدينة الرياض، كما بينت النتائج وجود اتفاق مرتفع بين الخبراء على أهمية استخدام تقنية نمذجة معلومات البناء (BIM) في التنبؤ بكميات النفايات وتقليل الهدر وتحسين التخطيط للمشروعات. كذلك أكدت النتائج أهمية تحسين التوزيع المكاني للمرافق النظامية ودوره في رفع كفاءة الإدارة وتقليل تكاليف النقل والحد من الرمي العشوائي.

وأوصت الدراسة بالتوسع في تطبيق الحلول التقنية في إدارة نفايات البناء والهدم، وتعزيز التكامل الإلكتروني بين الجهات ذات العلاقة، وإعادة دراسة توزيع المرافق النظامية داخل مدينة الرياض بما يتوافق مع التوسع العمراني، إلى جانب دعم استخدام التقنيات الحديثة في التخطيط والرقابة واتخاذ القرار.

الكلمات المفتاحية: نفايات البناء والهدم، نمذجة معلومات البناء (BIM)، الذكاء الاصطناعي، الرؤية الحاسوبية، إدارة النفايات، جودة البيئة الحضرية، مدينة الرياض.

Midocean University

College of Management

Department of Risk management

**The Role of Technological Solutions in Improving Construction and Demolition Waste
Management and Enhancing Urban Environmental Quality in Riyadh City**

Prepared by: Rakan ALmeshari

Supervised by:

Year:2026