

أثر ممارسات الاستدامة في المباني على خفض استهلاك الطاقة: دراسة تطبيقية على مرافق مركز
الملك عبدالله المالي بمدينة الرياض.

إعداد الطالب/

مصعب إبراهيم الدوسري

إشراف/

د. الفیصل عبد الحمید محمد حسن

د.فايز جراد

العام الدراسي: 2026

3	.....	مقدمة:
5	.....	مشكلة الدراسة
6	.....	أهداف الدراسة
6	.....	الهدف الرئيسي
7	.....	أسئلة الدراسة
7	.....	السؤال الرئيسي
8	.....	فروض الدراسة
8	.....	الفرض الرئيسي
9	.....	أهمية الدراسة
9	.....	الأهمية العلمية (النظرية)
10	.....	الأهمية العملية (التطبيقية)
11	.....	الدراسات السابقة:
11	.....	أولاً: الدراسات العربية
15	.....	ثانياً: الدراسات الأجنبية
18	.....	الفجوة البحثية
18	.....	المنطلقات النظرية للدراسة
22	.....	المنهجية وطرق البحث:
22	.....	مجتمع وعينة الدراسة
23	.....	مصادر جمع البيانات
23	.....	أداة الدراسة (الاستبانة)
24	.....	الأساليب الإحصائية المستخدمة
25	.....	حدود الدراسة
27	.....	المراجع:
27	.....	أولاً: المراجع العربية
28	.....	المراجع الأجنبية

مقدمة:

يشهد العالم المعاصر تحولاً جوهرياً في النظرة إلى قطاع البناء والتشييد، إذ لم يعد يُنظر إلى المباني باعتبارها هياكل جامدة تؤدي وظائف محددة فحسب، بل أصبحت تُعدّ منظومات ديناميكية ذات أثر بالغ على البيئة والاقتصاد والمجتمع. وقد أفرز التوسع العمراني المتسارع الذي تشهده المدن الكبرى حول العالم ضغوطاً متزايدة على الموارد الطبيعية، ولا سيما مصادر الطاقة، مما دفع المجتمع الدولي إلى تبني مفاهيم التنمية المستدامة كإطار شامل يوازن بين متطلبات التنمية الحضرية والحفاظ على البيئة وحقوق الأجيال القادمة. وفي هذا السياق، برزت ممارسات الاستدامة في المباني كأحد أهم الأدوات الاستراتيجية التي تسعى الدول المتقدمة والنامية على حد سواء إلى توظيفها لمواجهة تحديات التغير المناخي واستنزاف الموارد (قورين، 2021).

وتُعرف ممارسات الاستدامة في المباني بأنها مجموعة متكاملة من الأساليب والتقنيات والمبادئ التصميمية التي تهدف إلى تقليل الأثر البيئي السلبي للمباني طوال دورة حياتها، بدءاً من مرحلة التخطيط والتصميم مروراً بالتشييد والتشغيل وصولاً إلى الصيانة وإعادة التدوير. وتتعدد أبعاد هذه الممارسات لتشمل كفاءة أنظمة الطاقة التي تُعنى بتحسين أداء منظومات التدفئة والتبريد والتهوية والإضاءة، والتصميم المعماري الأخضر الذي يوظف التوجيه الأمثل للمبنى والعزل الحراري واختيار المواد المستدامة، والتقنيات الذكية وإنترنت الأشياء التي تُتيح مراقبة استهلاك الطاقة والتحكم فيه آنياً، فضلاً عن إدارة الموارد والمواد المستدامة التي تركز على ترشيد استخدام المياه وإعادة تدوير النفايات وتوظيف مواد البناء صديقة البيئة (Sapuan et al., 2022).

ولقد أسهمت المباني الخضراء في إعادة تشكيل العلاقة بين البيئة المبنية والنظام البيئي الطبيعي، حيث تُركّز على ترشيد استخدام الموارد الطبيعية وتقليل انبعاثات الكربون وتحسين جودة البيئة الداخلية، مما ينعكس إيجاباً على صحة الأفراد ويزيد من العمر الافتراضي للمباني. وقد نشأت أنظمة تقييم دولية متعددة لتعزيز مبادرات البناء المستدام، من أبرزها نظام LEED الأمريكي ونظام BREEAM البريطاني، اللذان أثبتا فعالتهما في ضمان مراقبة جميع مراحل البناء من اختيار الموقع إلى انتهاء العمر التشغيلي للمبنى. كما شهد العقد الأخير تطوراً لافتاً في توظيف التقنيات الذكية وأغلفة المباني الذكية التي تستجيب

ديناميكياً للتغيرات المناخية وتتحكم في النفاذية الحرارية والضوئية، مما يفتح آفاقاً واسعة لتحقيق مستويات غير مسبقة من الكفاءة الطاقوية (مرسال، 2025).

ويُمثل خفض استهلاك الطاقة في المباني هدفاً محورياً تسعى إليه الحكومات والمنظمات الدولية، إذ يستأثر قطاع المباني عالمياً بنحو 30% من الاستهلاك النهائي للطاقة ويُسهم بنسبة كبيرة من انبعاثات غازات الاحتباس الحراري. ويتحقق خفض الاستهلاك الطاقوي من خلال استراتيجيتين متكاملتين تتمثل الأولى في تقليل الحاجة إلى الطاقة عبر تدابير الكفاءة كتحسين أغلفة المباني والعزل الحراري وأنظمة الخدمات، والثانية في اعتماد تقنيات الطاقة المتجددة كالخلايا الكهروضوئية والطاقة الشمسية الحرارية لتلبية الاحتياجات المتبقية، وهو ما يُعرف بمفهوم مباني الطاقة الصفية الذي تبنته عدة دول كأهداف طاقوية مستقبلية. (Li, Yang & Lam, 2013).

وعلى المستوى المحلي، يكتسب خفض استهلاك الطاقة في المباني أهمية استثنائية في المملكة العربية السعودية، حيث يستهلك قطاع المباني النسبة الأكبر من الطاقة الكهربائية المولدة، وتستحوذ أجهزة التكييف على حصة ضخمة بسبب المناخ الحار والجاف. ويتطلب تحقيق هذا الخفض اعتماد مقاربات شاملة تتضمن تحسين الأداء الحراري للمباني واستخدام محطات التبريد المركزي وتوظيف أنظمة المراقبة والتحكم الذكية وتبني أساليب التصميم الشمسي الذاتي، وهي استراتيجيات أثبتت فعاليتها في تقليل الأحمال الحرارية والتشغيلية وتحقيق وفورات مالية وبيئية ملموسة في المنشآت الإدارية والتجارية (عواد وآخرون، 2025).

ومن هذا المنطلق، تتقاطع ممارسات الاستدامة في المباني مع مستهدفات خفض استهلاك الطاقة في علاقة تكاملية وثيقة، إذ تُشكل الأولى المدخلات الأساسية والأدوات الفاعلة، فيما يُمثل الثاني المخرج المنشود والنتيجة المستهدفة. ويبرز مركز الملك عبدالله المالي (كافد) في مدينة الرياض كنموذج تطبيقي فريد لهذا التقاطع، باعتباره أكبر مشروع تطوير حضري في العالم حائز على شهادة LEED البلاتينية، ويجمع بين أبعاد متعددة لممارسات الاستدامة في بيئة تشغيلية حقيقية ضمن ظروف مناخية صحراوية حارة وجافة. (Shoubi et al., 2015).

وبناءً على ما تقدم، تسعى الدراسة الحالية إلى دراسة أثر ممارسات الاستدامة في المباني بأبعادها (كفاءة أنظمة الطاقة، التصميم المعماري الأخضر، التقنيات الذكية وإنترنت الأشياء، إدارة الموارد والمواد

المستدامة) على خفض استهلاك الطاقة في مرافق مركز الملك عبدالله المالي بمدينة الرياض، بما يُسهم في تقديم رؤى علمية وتطبيقية تدعم جهود المملكة في تحقيق مستهدفات رؤية 2030 والمبادرة السعودية الخضراء نحو بناء بيئة عمرانية مستدامة ومنخفضة الاستهلاك الطاقوي.

مشكلة الدراسة

يُعدّ قطاع المباني من أكثر القطاعات استنزافاً لموارد الطاقة على المستويين العالمي والمحلي، إذ تُشير تقارير وكالة الطاقة الدولية (IEA) إلى أن عمليات تشغيل المباني تستأثر بنحو 30% من إجمالي الاستهلاك العالمي للطاقة وتُسهم بما يقارب 26% من الانبعاثات الكربونية المرتبطة بالطاقة عالمياً (Li, Yang & Lam, 2013)، فيما يتزايد هذا الاستهلاك بوتيرة متسارعة نتيجة النمو الحضري المتصاعد والتوسع العمراني الذي تشهده المدن الكبرى. وعلى الصعيد المحلي، يستهلك قطاع المباني في المملكة العربية السعودية أكثر من 80% من إجمالي الطاقة الكهربائية المولدة، حيث يستحوذ التكيف وحده على ما يقارب 70% من هذا الاستهلاك بسبب الطبيعة المناخية الحارة والجافة التي تتسم بها المملكة، وهو ما يفرض تحدياً جوهرياً على منظومة الطاقة الوطنية ويُلقي بأعباء اقتصادية وبيئية ثقيلة تتنافى مع مستهدفات التحول الوطني نحو الاستدامة.

وفي ظل هذا الواقع، أطلقت المملكة العربية السعودية رؤية 2030 التي وضعت الاستدامة وكفاءة الطاقة في صدارة أولوياتها الاستراتيجية، مستهدفةً توليد 50% من الطاقة الكهربائية من مصادر متجددة بحلول عام 2030 والوصول إلى الحياد الكربوني بحلول عام 2060 من خلال المبادرة السعودية الخضراء. كما أنشأت المملكة المركز السعودي لكفاءة الطاقة (كفاءة) الذي يعمل على وضع اللوائح الفنية والسياسات اللازمة لرفع كفاءة استهلاك الطاقة في قطاع المباني الذي يستهلك وحده نحو 29% من الطاقة الأولية في المملكة بما يعادل 1.4 مليون برميل نפט مكافئ يومياً. وتؤكد هذه المعطيات الحاجة الماسة إلى تبني ممارسات استدامة فعّالة في المباني تُسهم في خفض هذا الاستهلاك المتنامي وتحقيق الأهداف الوطنية الطموحة.

وقد أكدت عدة دراسات سابقة أن المباني الخضراء المطورة وفق ممارسات الاستدامة تُحقق خفضاً ملموساً في استهلاك الطاقة (Sapuan et al., 2022; يوسف، 2021)، وأن التقنيات الذكية وأدوات نمذجة

معلومات البناء (BIM) تُسهم في تقليل الطلب على الطاقة التشغيلية (Shoubi et al., 2015; الورفلي، 2021)، وأن نماذج تعلم الآلة قادرة على التنبؤ باستهلاك الطاقة في المباني بدقة عالية (Pham et al., 2020; Mahmood et al., 2024). غير أن معظم هذه الدراسات أُجريت في سياقات مناخية وجغرافية مختلفة عن البيئة السعودية، ولم تتناول مشروعاً متكاملًا بحجم مركز الملك عبدالله المالي يجمع بين أبعاد متعددة للاستدامة في آن واحد. كما أشارت دراسات أخرى إلى وجود تحديات حقيقية تواجه تطبيق الاستدامة في البناء بدول الخليج العربي كنقص الوعي وغياب التشريعات الملزمة وضعف الحوافز (النخيلي والحواج، 2025)، مما يستدعي إجراء مزيد من الدراسات التطبيقية لتقييم فعالية هذه الممارسات في سياقها الفعلي.

وعليه، تتبلور مشكلة الدراسة الحالية في التساؤل الرئيسي التالي: ما أثر ممارسات الاستدامة في المباني بأبعادها (كفاءة أنظمة الطاقة، التصميم المعماري الأخضر، التقنيات الذكية وإنترنت الأشياء، إدارة الموارد والمواد المستدامة) على خفض استهلاك الطاقة في مرافق مركز الملك عبدالله المالي بمدينة الرياض؟

أهداف الدراسة

الهدف الرئيسي

تهدف الدراسة إلى دراسة أثر ممارسات الاستدامة في المباني بأبعادها (كفاءة أنظمة الطاقة، التصميم المعماري الأخضر، التقنيات الذكية وإنترنت الأشياء، إدارة الموارد والمواد المستدامة) على خفض استهلاك الطاقة في مرافق مركز الملك عبدالله المالي (كافد) بمدينة الرياض.

يتفرع من الهدف الرئيسي الأهداف الفرعية التالية:

1. التعرف على مستوى تطبيق ممارسات الاستدامة في المباني بأبعادها المختلفة (كفاءة أنظمة الطاقة، التصميم المعماري الأخضر، التقنيات الذكية وإنترنت الأشياء، إدارة الموارد والمواد المستدامة) في مرافق مركز الملك عبدالله المالي بمدينة الرياض.
2. قياس مستوى خفض استهلاك الطاقة المتحقق في مرافق مركز الملك عبدالله المالي بمدينة الرياض.

3. تحديد أثر كفاءة أنظمة الطاقة على خفض استهلاك الطاقة في مرافق مركز الملك عبدالله المالي بمدينة الرياض.
4. تحديد أثر التصميم المعماري الأخضر على خفض استهلاك الطاقة في مرافق مركز الملك عبدالله المالي بمدينة الرياض.
5. تحديد أثر التقنيات الذكية وإنترنت الأشياء على خفض استهلاك الطاقة في مرافق مركز الملك عبدالله المالي بمدينة الرياض.
6. تحديد أثر إدارة الموارد والمواد المستدامة على خفض استهلاك الطاقة في مرافق مركز الملك عبدالله المالي بمدينة الرياض.
7. تحديد الأهمية النسبية لأبعاد ممارسات الاستدامة في المباني من حيث درجة تأثيرها على خفض استهلاك الطاقة في مرافق مركز الملك عبدالله المالي بمدينة الرياض.
8. تقديم إطار مقترح لتعزيز ممارسات الاستدامة في المباني بما يساهم في خفض استهلاك الطاقة في مرافق مركز الملك عبدالله المالي وما يماثلها من مشاريع كبرى في المملكة العربية السعودية.

أسئلة الدراسة

السؤال الرئيسي

ما أثر ممارسات الاستدامة في المباني بأبعادها (كفاءة أنظمة الطاقة، التصميم المعماري الأخضر، التقنيات الذكية وإنترنت الأشياء، إدارة الموارد والمواد المستدامة) على خفض استهلاك الطاقة في مرافق مركز الملك عبدالله المالي بمدينة الرياض؟

يتفرع من السؤال الرئيسي الأسئلة الفرعية التالية:

1. ما مستوى تطبيق ممارسات الاستدامة في المباني بأبعادها المختلفة (كفاءة أنظمة الطاقة، التصميم المعماري الأخضر، التقنيات الذكية وإنترنت الأشياء، إدارة الموارد والمواد المستدامة) في مرافق مركز الملك عبدالله المالي بمدينة الرياض؟
2. ما مستوى خفض استهلاك الطاقة المتحقق في مرافق مركز الملك عبدالله المالي بمدينة الرياض؟

3. ما أثر كفاءة أنظمة الطاقة على خفض استهلاك الطاقة في مرافق مركز الملك عبدالله المالي بمدينة الرياض؟

4. ما أثر التصميم المعماري الأخضر على خفض استهلاك الطاقة في مرافق مركز الملك عبدالله المالي بمدينة الرياض؟

5. ما أثر التقنيات الذكية وإنترنت الأشياء على خفض استهلاك الطاقة في مرافق مركز الملك عبدالله المالي بمدينة الرياض؟

6. ما أثر إدارة الموارد والمواد المستدامة على خفض استهلاك الطاقة في مرافق مركز الملك عبدالله المالي بمدينة الرياض؟

7. ما الأهمية النسبية لأبعاد ممارسات الاستدامة في المباني من حيث درجة تأثيرها على خفض استهلاك الطاقة في مرافق مركز الملك عبدالله المالي بمدينة الرياض؟

فروض الدراسة

الفرض الرئيسي

يوجد أثر ذو دلالة إحصائية عند مستوى معنوية ($\alpha \leq 0.05$) لممارسات الاستدامة في المباني بأبعادها (كفاءة أنظمة الطاقة، التصميم المعماري الأخضر، التقنيات الذكية وإنترنت الأشياء، إدارة الموارد والمواد المستدامة) على خفض استهلاك الطاقة في مرافق مركز الملك عبدالله المالي بمدينة الرياض.

يتفرع من الفرض الرئيسي الفروض الفرعية التالية:

الفرض الفرعي الأول: يوجد أثر ذو دلالة إحصائية عند مستوى معنوية ($\alpha \leq 0.05$) لكفاءة أنظمة الطاقة على خفض استهلاك الطاقة في مرافق مركز الملك عبدالله المالي بمدينة الرياض.

الفرض الفرعي الثاني: يوجد أثر ذو دلالة إحصائية عند مستوى معنوية ($\alpha \leq 0.05$) للتصميم المعماري الأخضر على خفض استهلاك الطاقة في مرافق مركز الملك عبدالله المالي بمدينة الرياض.

الفرض الفرعي الثالث: يوجد أثر ذو دلالة إحصائية عند مستوى معنوية ($\alpha \leq 0.05$) للتقنيات الذكية وإنترنت الأشياء على خفض استهلاك الطاقة في مرافق مركز الملك عبدالله المالي بمدينة الرياض.

الفرض الفرعي الرابع: يوجد أثر ذو دلالة إحصائية عند مستوى معنوية ($\alpha \leq 0.05$) لإدارة الموارد والمواد المستدامة على خفض استهلاك الطاقة في مرافق مركز الملك عبدالله المالي بمدينة الرياض.

أهمية الدراسة

الأهمية العلمية (النظرية)

- تسهم هذه الدراسة في إثراء المكتبة العربية والبحث العلمي بإطار نظري متكامل يربط بين ممارسات الاستدامة في المباني بأبعادها الأربعة (كفاءة أنظمة الطاقة، التصميم المعماري الأخضر، التقنيات الذكية وإنترنت الأشياء، إدارة الموارد والمواد المستدامة) وخفض استهلاك الطاقة، وهو ما يُعدّ إضافة علمية في ظل محدودية الدراسات العربية المتخصصة في هذا المجال.
- تقدم الدراسة نموذجاً بحثياً يجمع بين أبعاد متعددة لممارسات الاستدامة وقياس أثرها المشترك والمنفرد على خفض استهلاك الطاقة، مما يُوفّر أداة منهجية يمكن للباحثين الاستفادة منها وتطويرها في دراسات مستقبلية.
- تسد الدراسة فجوة بحثية واضحة تتمثل في ندرة الدراسات التطبيقية التي تناولت أثر ممارسات الاستدامة على استهلاك الطاقة في المشاريع الكبرى بالمملكة العربية السعودية عموماً ومركز الملك عبدالله المالي خصوصاً، رغم حصوله على شهادة LEED البلاتينية كأكبر مشروع تطوير حضري في العالم ينال هذا التصنيف.
- تُسهم الدراسة في تأصيل المفاهيم النظرية المرتبطة بالمباني الخضراء ومعايير الاستدامة البيئية ونظم التقييم الدولية كـ LEED و BREEAM وتكييفها مع السياق السعودي والبيئة المناخية الحارة والجافة، مما يُثري الإطار المفاهيمي للباحثين في هذا المجال.
- تفتح الدراسة آفاقاً واسعة لدراسات مستقبلية في مجالات ذات صلة كدراسة الأثر الاقتصادي لممارسات الاستدامة، والمقارنة بين المشاريع المستدامة والتقليدية في استهلاك الطاقة، ودراسة دور التحول الرقمي في تعزيز استدامة المباني.

الأهمية العملية (التطبيقية)

- تكتسب الدراسة أهمية تطبيقية بالغة في ضوء توجهات رؤية المملكة العربية السعودية 2030 التي تضع الاستدامة وكفاءة الطاقة في صدارة أولوياتها، حيث تُقدّم الدراسة رؤية عملية وتوصيات قابلة للتطبيق تدعم تحقيق مستهدفات الرؤية في مجال ترشيد استهلاك الطاقة في القطاع العقاري.
- تُوفّر الدراسة لصنّاع القرار في القطاعين الحكومي والخاص معلومات تفصيلية ونتائج تطبيقية حول أكثر ممارسات الاستدامة فعاليةً في خفض استهلاك الطاقة، مما يُساعدهم في تحديد الأولويات وتوجيه الاستثمارات نحو الممارسات ذات الأثر الأعلى.
- تُسهم نتائج الدراسة في تعزيز القدرة التنافسية للمشاريع العقارية الكبرى في المملكة من خلال تقديم ممارسات مثبتة الفعالية لتحقيق شهادات الاستدامة الدولية وجذب الاستثمارات العالمية التي تشترط معايير بيئية صارمة.
- تُقدّم الدراسة توصيات عملية لشركات إدارة المرافق والتشغيل في مركز الملك عبدالله المالي والمشاريع المماثلة حول كيفية خفض التكاليف التشغيلية المرتبطة باستهلاك الطاقة من خلال تبني ممارسات استدامة محددة ومُقاسة الأثر.
- تُوفّر الدراسة أساساً تطبيقياً للجهات التنظيمية والتشريعية في المملكة (كالهيئة السعودية للمواصفات والمقاييس والجودة ووزارة الشؤون البلدية (لتطوير أكواد البناء المستدام والاشتراطات البيئية الإلزامية للمباني الجديدة استناداً إلى بيانات ونتائج ميدانية.
- تُسهم الدراسة في توثيق ونقل تجربة مركز الملك عبدالله المالي كنموذج رائد في الاستدامة إلى المشاريع الكبرى الأخرى في المملكة كمشروع نيوم ومشروع البحر الأحمر ومشروع القدية، مما يُعزّز من منظومة تبادل المعرفة والخبرات في القطاع العقاري السعودي.
- تُسهم الدراسة في رفع مستوى الوعي لدى المهندسين والمعماريين ومديري المرافق والمطورين العقاريين بأهمية ممارسات الاستدامة ودورها المحوري في خفض استهلاك الطاقة، مما يدفع نحو تبني ثقافة مهنية داعمة للبناء المستدام في المملكة.

الدراسات السابقة:

أولاً: الدراسات العربية

دراسة (حربة ومرهج، 2021) بعنوان "خفض استهلاك الطاقة لمستشفى خلال عملية التطوير: دراسة تطبيقية على مستشفى حماة الوطني بمدينة حماة - سورية"

هدفت الدراسة إلى التعرف على آليات خفض استهلاك الطاقة في المستشفيات العامة السورية خلال عملية التطوير، بأبعادها المتمثلة في (الكفاءة الحرارية للغلاف الخارجي، وتطبيقات تقنية النانو في مواد البناء، وتكاليف التشغيل) وذلك على مستشفى حماة الوطني في مدينة حماة بسورية. واستخدمت الدراسة المنهج الوصفي التحليلي إلى جانب المنهج التطبيقي من خلال محاكاة أداء المبنى الطاقوي، وتكونت العينة من مبنى مستشفى حماة الوطني كدراسة حالة تطبيقية. وتوصلت نتائج الدراسة إلى أن المستشفيات السورية المبنية في القرن العشرين تعاني من هدر كبير في الطاقة بسبب ضعف العزل الحراري وقدم مواد البناء المستخدمة، وأن الاعتماد على تقنية النانو في تطوير مواد العزل والتغليف يحقق وفراً كبيراً في استهلاك الطاقة مع خفض ملحوظ في تكاليف التشغيل. وأوصت الدراسة بضرورة وضع آلية شاملة لتطوير المستشفيات الوطنية السورية بالاعتماد على التقنيات الحديثة وتقنية النانو، واعتماد مستشفى حماة الوطني كنموذج مرجعي لتعميم التجربة على باقي المستشفيات.

دراسة (يوسف، 2021) بعنوان: "دور المباني الخضراء في ترشيد استهلاك الطاقة"

هدفت الدراسة إلى التعرف على دور المباني الخضراء والعمارة المستدامة في خفض وترشيد استهلاك الطاقة، بأبعادها المتمثلة في (ترشيد استهلاك الطاقة، وترشيد استهلاك المياه والموارد، وتحسين الصحة العامة) وذلك من خلال تصميم وتنفيذ مبانٍ تتوافق مع العمارة التقليدية باستخدام نظم ووسائل تكنولوجية حديثة. واستخدمت الدراسة المنهج الوصفي التحليلي القائم على تحليل الأدبيات والمفاهيم النظرية المرتبطة بالمباني الخضراء ومعايير الاستدامة. وتوصلت نتائج الدراسة إلى أن المباني الخضراء تسهم بشكل فعال في خفض استهلاك الطاقة والمياه وتقليل الانبعاثات الكربونية، وأن الاستخدام المنطقي للموارد الطبيعية والإدارة الملائمة للمباني مع مراعاة دورة حياة المبنى الكاملة يؤدي إلى إنقاذ الموارد النادرة وتحسين جودة البيئة. وأوصت الدراسة بضرورة تبني مفهوم المباني الخضراء في التشريعات

والمعايير البنائية، وتوظيف التكنولوجيا الحديثة في تصميم المباني لتحقيق كفاءة طاقة عالية مع الحفاظ على الجوانب الوظيفية والجمالية.

دراسة (بكري والطوانسي ومحمد، 2024) بعنوان: "فاعلية استخدام بعض تطبيقات العمارة الخضراء نحو مسكن صفري الطاقة كوسيلة للمساهمة في خفض استهلاك الطاقة في جمهورية مصر العربية"

هدفت الدراسة إلى التعرف على تطبيقات العمارة الخضراء الأكثر فعالية وملاءمة وقابلية للتطبيق في مصر، بأبعادها المتمثلة في (التصميم الشمسي السالب، وصفرية الطاقة في المباني، والجدوى الاقتصادية للتطبيقات الخضراء) وذلك على قطاع المساكن والتجمعات العمرانية في جمهورية مصر العربية. واستخدمت الدراسة المنهج الوصفي في وصف الوضع الراهن لمشكلة استهلاك الطاقة في المباني السكنية وتعريف مفهوم صفرية الطاقة، ثم المنهج الاستقرائي لإثبات فعالية وكفاءة بعض تطبيقات العمارة الخضراء في خفض معدلات الاستهلاك. وتوصلت نتائج الدراسة إلى أن هناك تطبيقات للعمارة الخضراء وخاصة التطبيقات الشمسية السالبة تتفوق على غيرها من حيث الفعالية في خفض استهلاك الطاقة بالمباني السكنية المصرية، وأن قطاع الإسكان يشكل النسبة الأكبر في استهلاك الطاقة الكهربائية مما يستدعي تقديم حلول معمارية عملية. وأوصت الدراسة بتبني التطبيقات الشمسية السالبة الأكثر ملاءمة للبيئة المصرية كخطوة نحو تحقيق مفهوم "المسكن صفري الطاقة" ودعم استراتيجية وزارة الإسكان للاستدامة.

دراسة (عواد والمسلمي وإبراهيم، 2025) بعنوان: "ترشيد استهلاك الطاقة وتقليل الأثر السلبي في التصميم الداخلي للمنشآت الإدارية"

هدفت الدراسة إلى التعرف على استراتيجيات ترشيد استهلاك الطاقة وتقليل الأثر البيئي السلبي في التصميم الداخلي للمنشآت الإدارية، بأبعادها المتمثلة في (الكفاءة الاقتصادية بشقيها الكلفة البنائية والتشغيلية، والكفاءة البيئية المتضمنة التصميم الشمسي الذاتي وأنظمة التحكم البيئي) وذلك على الحيزات الإدارية. واستخدمت الدراسة المنهج الوصفي التحليلي في استعراض الاستراتيجيات المختلفة للتحكم في استهلاك الطاقة داخل الفراغات الإدارية. وتوصلت نتائج الدراسة إلى أن الدراسة الجيدة لمتطلبات الحيزات الإدارية من حيث الراحة الحرارية والتهوية والتبريد والتدفئة والراحة الضوئية تسهم في تقليل الأثر السلبي على البيئة، وأن الاستغلال الأمثل للطاقة الشمسية وتوظيف النظم الذاتية يحقق وفراً في الطاقة المستهلكة

مع تقليل البصمة الكربونية بأنواعها. وأوصت الدراسة بضرورة إنشاء فراغات إدارية تحقق أبعاد التنمية المستدامة واستخدام تكنولوجيا الزجاج المتقدمة للحد من الأحمال الحرارية، مع تبني مفهوم المبنى ذي التوازن المناخي.

دراسة (قورين، 2021) بعنوان: "المباني الخضراء: دعامة أساسية لتحقيق استدامة بيئية - عرض لبعض النماذج الدولية الناجحة"

هدفت الدراسة إلى التعرف على الجانب البيئي للتشييد العمراني ودور المباني الخضراء في تحقيق الاستدامة البيئية، بأبعادها المتمثلة في (ترشيد استخدام الموارد الطبيعية، وخفض انبعاثات الكربون والتلوث، وتحسين جودة البيئة الداخلية، ونظم التقييم البيئي) وذلك من خلال عرض نماذج دولية ناجحة في الدول الأجنبية والعربية. واستخدمت الدراسة المنهج الوصفي التحليلي من خلال مراجعة الأدبيات وتحليل نماذج مباني خضراء عالمية وفق نظامي التقييم LEED و LCA. وتوصلت نتائج الدراسة إلى أن المباني الخضراء تمثل استجابة فعلية للتنمية العمرانية المستدامة كونها تقلل من نسبة انبعاث الكربون والمخلفات الصلبة وتحسن صحة الأفراد وتزيد من العمر الافتراضي للمباني، وأن نظامي LEED و LCA أثبتا نجاعتهما في مراقبة جميع مراحل البناء من اختيار الموقع إلى انتهاء صلاحية المبنى. وأوصت الدراسة بتوسيع تطبيق المباني الخضراء في الدول العربية وتبني أنظمة تقييم بيئية صارمة تضمن تحقيق نتائج اقتصادية واجتماعية وبيئية ملموسة.

دراسة (الورفلي، 2021) بعنوان: "التصميم الداخلي الذكي للمباني وعلاقته باستخدام الأراضي وتعزيز استدامة المباني"

هدفت الدراسة إلى التعرف على تأثير استخدام أساليب التصميم الداخلي الذكي على تعزيز استدامة المباني، بأبعادها المتمثلة في (كفاءة الطاقة، واستخدام الأثاث المرن والجدران المتحركة، وتحسين استغلال المساحات، والحد من التأثير البيئي للمباني) وذلك في علاقتها باستخدام الأراضي. واستخدمت الدراسة المنهج التحليلي المقارن من خلال استخدام مبنى ذي تصميم قياسي كدراسة حالة ومقارنته بتصميم نظري مقترح يعتمد على التقنيات الذكية للتصميم الداخلي، مع استخدام طرق فعالة وقابلة للتحقق لتقييم أداء الاستدامة. وتوصلت نتائج الدراسة إلى أن استخدام التقنيات الذكية للتصميم الداخلي مثل قطع الأثاث المرنة والجدران المتحركة يمكن أن يقلل إلى حد كبير من التأثير السلبي للمباني على البيئة،

ويُسهم في تحويل الشقق الصغيرة إلى مساحات أوسع ومتعددة الوظائف مما يقلل من الحاجة إلى التوسع العمراني. وأوصت الدراسة بتبني أساليب التصميم الداخلي الذكي في المباني الجديدة لتحقيق الاستدامة وخفض استهلاك الطاقة والحد من استنزاف الأراضي.

دراسة (مرسال، 2025) بعنوان: "دور التقنيات الذكية - الأغلفة والمواد الذكية - في تحقيق الاستدامة في المباني"

هدفت الدراسة إلى التعرف على دور التقنيات الذكية وتحديد الأغلفة والمواد الذكية في تحقيق الاستدامة في المباني، بأبعادها المتمثلة في (كفاءة الطاقة، وأغلفة المباني الذكية، والعمارة المستدامة) وذلك في مجال التصميم المعماري المعاصر. واستخدمت الدراسة المنهج الوصفي التحليلي من خلال مراجعة وتحليل أحدث التقنيات الذكية المستخدمة في أغلفة المباني والمواد الذكية ودورها في تحسين الأداء الطاقوي والبيئي للمباني. وتوصلت نتائج الدراسة إلى أن أغلفة المباني الذكية تُمثّل عنصراً محورياً في تحقيق كفاءة الطاقة من خلال قدرتها على الاستجابة الديناميكية للتغيرات المناخية والتحكم في النفاذية الحرارية والضوئية، وأن المواد الذكية تسهم في خفض الأحمال الحرارية وتقليل الاعتماد على أنظمة التكييف التقليدية. وأوصت الدراسة بضرورة دمج التقنيات الذكية في مراحل التصميم المعماري المبكرة وتشجيع البحث والتطوير في مجال المواد الذكية لتحقيق مبانٍ أكثر استدامة وكفاءة في استهلاك الطاقة.

دراسة (النخيلي والحواج، 2025) بعنوان: "تحديات تطبيق التصميم والبناء المستدام في مشروعات البناء بالكويت"

هدفت الدراسة إلى التعرف على تحديات تطبيق التصميم والبناء المستدام في المباني الحديثة في الكويت، بأبعادها المتمثلة في (الوعي والمعرفة بفوائد الاستدامة، والإطار التشريعي والتنظيمي، والدعم المؤسسي والحكومي، وطرق دمج الاستدامة في التصميم والبناء) وذلك على مشروعات البناء في دولة الكويت. واستخدمت الدراسة المنهج الوصفي التحليلي ببيانات كمية ونوعية، واستخدمت الاستبانة كأداة لجمع البيانات من العاملين في قطاع البناء والتشييد. وتوصلت نتائج الدراسة إلى أن نقص الوعي والمعرفة بفوائد تطبيق الاستدامة بلغ نسبة متوسطة 48%، وأن غياب القوانين الملزمة للبناء المستدام كان أهم العوائق بأهمية نسبية 96.4%، يليه عدم الرغبة في تغيير الطرق التقليدية بنسبة 95.6%، وغياب الحوافز بنسبة 92.6%، وضعف الدعم المؤسسي بنسبة 89.4%. وأوصت الدراسة بضرورة نشر الوعي

المجتمعي بفوائد الاستدامة، وتطوير التشريعات البيئية، وتقديم حوافز للمشاريع المستدامة، وإلزام المباني الجديدة بتركيب أنظمة طاقة شمسية لتغطية ما لا يقل عن 30% من احتياجاتها.

ثانياً: الدراسات الأجنبية

دراسة (Sapuan et al., 2022) بعنوان "Green Building Best Practices in Achieving Energy and Environmental Sustainability"

هدفت الدراسة إلى التعرف على أفضل الممارسات في المباني الخضراء لتحقيق الاستدامة في الطاقة والبيئة، بأبعادها المتمثلة في (أنظمة تصنيف المباني الخضراء، ومباني الطاقة الصفريّة، وتصميم المباني المستدامة، ومرافق المباني الخضراء، وإدارة المياه والنفايات) وذلك على مستوى صناعة البناء والتشييد عالمياً. واستخدمت الدراسة المنهج الوصفي المرجعي من خلال مراجعة شاملة للأدبيات وتحليل أنظمة التقييم الدولية مثل LEED وBREEAM وCASBEE وDGNB وأفضل الممارسات المطبقة في المباني الخضراء حول العالم. وتوصلت نتائج الدراسة إلى أن المباني الخضراء المطورة باستخدام أنظمة كفاءة الطاقة وتطبيق الممارسات المستدامة تحقق خفضاً ملموساً في استهلاك الطاقة مع تقليل تكاليف التشغيل والصيانة على المدى الطويل، وأن إضاءة LED وإنترنت الأشياء والذكاء الاصطناعي يمكن أن توفر حتى 80% من استهلاك الطاقة في الإضاءة. وأوصت الدراسة بضرورة تعزيز دور الحكومات في فرض أنظمة صارمة للمباني الخضراء وتقديم حوافز مالية جاذبة للمشاركين في قطاع البناء والتشييد لتبني الممارسات المستدامة.

دراسة (Pham et al., 2020) بعنوان "Predicting Energy Consumption in Multiple Buildings Using Machine Learning for Improving Energy Efficiency and Sustainability"

هدفت الدراسة إلى التعرف على إمكانية التنبؤ باستهلاك الطاقة قصير المدى في مبانٍ متعددة باستخدام تقنيات تعلم الآلة، بأبعادها المتمثلة في (دقة التنبؤ بالاستهلاك الطاقوي، وكفاءة الطاقة، والاستدامة في المباني) وذلك لتحسين كفاءة الطاقة والاستدامة. واستخدمت الدراسة المنهج التجريبي الكمي من خلال تطوير نموذج تنبؤ يعتمد على خوارزمية الغابات العشوائية (Random Forests)، وتكونت العينة من

خمس مجموعات بيانات لقياسات فعلية لاستهلاك الطاقة في مبانٍ متعددة على مدار عام كامل بدقة ساعية. وتوصلت نتائج الدراسة إلى أن نموذج الغابات العشوائية أظهر أداءً متفوقاً في التنبؤ باستهلاك الطاقة، حيث تفوق على نموذج RT بنسبة 49.21% في متوسط نسبة الخطأ المطلق (MAPE)، وبنسبة 46.93% في متوسط الخطأ المطلق (MAE)، كما أظهر تحسناً بنسبة 49.95% و 29.29% مقارنة بنموذج M5P في التنبؤ بالاستهلاك لـ 12 و 24 خطوة مستقبلية. وأوصت الدراسة بتبني نماذج تعلم الآلة وتحديد الغابات العشوائية كأداة فعالة للتنبؤ باستهلاك الطاقة في المباني لدعم اتخاذ قرارات مستنيرة لتحسين الكفاءة الطاقوية.

دراسة (Li, Yang & Lam, 2013) بعنوان "Zero Energy Buildings and Sustainable Development Implications – A Review"

هدفت الدراسة إلى التعرف على مباني الطاقة الصفريّة وانعكاساتها على التنمية المستدامة، بأبعادها المتمثلة في (تدابير كفاءة الطاقة المتضمنة أغلفة المباني والظروف الداخلية وأنظمة الخدمات، وتقنيات الطاقة المتجددة المتضمنة الخلايا الكهروضوئية وتوربينات الرياح والطاقة الشمسية الحرارية والمضخات الحرارية والتدفئة والتبريد المركزي) وذلك على مستوى قطاع المباني عالمياً. واستخدمت الدراسة المنهج المراجعي المنهجي (Review) لتحليل ومراجعة الأدبيات والأبحاث المنشورة حول مباني الطاقة الصفريّة ودراسات الحالة العالمية. وتوصلت نتائج الدراسة إلى أن مباني الطاقة الصفريّة تعتمد على استراتيجيتين أساسيتين هما تقليل الحاجة لاستخدام الطاقة من خلال تدابير الكفاءة واعتماد تقنيات الطاقة المتجددة لتلبية الاحتياجات المتبقية، وأن عدداً من الدول تبنت أو تدرس اعتماد مباني الطاقة الصفريّة كأهداف طاقوية مستقبلية. وأوصت الدراسة بضرورة إجراء مزيد من الأبحاث في مجالات تكلفة دورة الحياة والآثار البيئية وقضايا التغير المناخي والسياسات الاجتماعية لتعزيز تطبيق مفهوم مباني الطاقة الصفريّة.

دراسة (Mahmood et al., 2024) بعنوان "Active Learning-Based Machine Learning Approach for Enhancing Environmental Sustainability in Green Building Energy Consumption"

هدفت الدراسة إلى التعرف على فعالية نهج التعلم النشط القائم على تعلم الآلة في تعزيز الاستدامة البيئية من خلال التنبؤ باستهلاك الطاقة في المباني الخضراء، بأبعادها المتمثلة في (أحمال التدفئة، وأحمال

التبريد، وخصائص المبنى الفيزيائية كالمساحة السطحية ومساحة الجدران والارتفاع الكلي ومساحة التزجيج) وذلك على نماذج محاكاة لمبانٍ خضراء. واستخدمت الدراسة المنهج التجريبي الكمي من خلال تطبيق ثمانية نماذج تعلم آلة (الغابات العشوائية، XGBoost، شجرة القرار، الانحدار اللوجستي، تعزيز التدرج، K-أقرب جار، CatBoost، و LightGBM مع تقنية التعلم النشط، وتكونت العينة من مجموعة بيانات كفاءة الطاقة المكونة من 768 عينة و 8 خصائص. وتوصلت نتائج الدراسة إلى أن نموذج CatBoost-Active Learning (CBR-AL) المقترح حقق أفضل أداء بقيمة R^2 بلغت 0.9975 متفوقاً على جميع النماذج الأخرى في جميع التكرارات من حيث دقة التنبؤ ومعدل الخطأ. وأوصت الدراسة بتبني تقنيات التعلم النشط المدمجة مع نماذج تعلم الآلة لتحسين التنبؤ باستهلاك الطاقة في المباني الخضراء ودعم اتخاذ قرارات تصميمية مستدامة.

دراسة (Shoubi et al., 2015) بعنوان "Reducing the Operational Energy Demand in Buildings Using Building Information Modeling Tools and Sustainability Approaches"

هدفت الدراسة إلى التعرف على إمكانية خفض الطلب على الطاقة التشغيلية في المباني باستخدام أدوات نمذجة معلومات البناء (BIM) ومقاربات الاستدامة، بأبعادها المتمثلة في (تقييم مكونات المبنى المختلفة كالجدران والنوافذ والأرضيات والأسقف والأبواب، والعزل الحراري، وتعديل درجة حرارة نظام التكييف) وذلك على مبنى سكني مزدوج الطوابق في ولاية جوهر بماليزيا. واستخدمت الدراسة المنهج التجريبي القائم على المحاكاة الحاسوبية باستخدام برنامجي Revit Architecture و Ecotect Analysis لتحليل الطاقة التشغيلية السنوية للمبنى مع تغيير تركيبات المواد المختلفة، وتكونت العينة من مبنى بونغالو سكني مساحته 400 متر مربع. وتوصلت نتائج الدراسة إلى أن استهلاك الطاقة التشغيلية السنوي للتصميم الأساسي بلغ 17,600 كيلوواط/ساعة، وأنه يمكن خفضه إلى 12,850 كيلوواط/ساعة (وفر بمقدار 4,750 كيلوواط/ساعة) من خلال الجمع بين استخدام مواد بديلة محسنة كالطوب المزدوج والعزل الحراري في الأسقف وتعديل درجة حرارة التكييف بدرجة واحدة فقط. وأوصت الدراسة بضرورة اعتماد أدوات BIM في مرحلتي التصميم وما قبل البناء لتقييم أداء المباني طاقوياً، وتقديم حوافز حكومية للمصممين والمهندسين لاستخدام هذه الأدوات، مع الاستفادة من الحلول المعمارية التقليدية المحلية لتحقيق مبانٍ أكثر استدامة.

الفجوة البحثية

من خلال الاستعراض المعمق للدراسات السابقة العربية والأجنبية ذات الصلة بموضوع الدراسة الحالية، يتضح أن الأدبيات البحثية قد تناولت ممارسات الاستدامة في المباني وعلاقتها باستهلاك الطاقة من زوايا متعددة ومتباينة، غير أنها أفرزت فجوة بحثية واضحة تسعى الدراسة الحالية إلى سدّها. فمن جهة، ركّزت بعض الدراسات على بُعد واحد من أبعاد الاستدامة دون غيره، كدراسة (حربة ومرهج، 2021) التي اقتصرّت على تقنية النانو في العزل الحراري، ودراسة (الورفلي، 2021) التي تناولت التصميم الداخلي الذكي بمعزل عن الأبعاد الأخرى، ودراسة (مرسال، 2025) التي ركّزت على الأغلفة والمواد الذكية فحسب، مما يعني غياب نموذج بحثي متكامل يجمع بين الأبعاد الأربعة (كفاءة أنظمة الطاقة، التصميم المعماري الأخضر، التقنيات الذكية وإنترنت الأشياء، إدارة الموارد والمواد المستدامة) وقيس أثرها المشترك والمنفرد على خفض استهلاك الطاقة. ومن جهة أخرى، أُجريت معظم الدراسات الأجنبية في سياقات مناخية وجغرافية مختلفة تماماً عن البيئة السعودية، فدراسة (Shoubi et al., 2015) طُبِّقت في المناخ الاستوائي باليزيا، ودراسة (Pham et al., 2020) اعتمدت على بيانات مبانٍ في بيئات غير صحراوية، ودراسة (Mahmood et al., 2024) استخدمت بيانات محاكاة نظرية دون تطبيق ميداني فعلي، مما يُضعف قابلية تعميم نتائجها على المشاريع العقارية الكبرى في المناخ الحار والجاف الذي يتسم بظروف تشغيلية فريدة تفرض أحمالاً حرارية استثنائية على المباني. كما أن الدراسات العربية التي تناولت الاستدامة في سياق إقليمي كدراسة (النخيلي والحواج، 2025) في الكويت ودراسة (بكري والطوانسي ومحمد، 2024) في مصر لم تتطرق إلى مشروع بحجم وتعقيد مركز الملك عبدالله المالي الذي يُعدّ أكبر مشروع تطوير حضري في العالم حائز على شهادة LEED البلاتينية. وعليه، تتمثل الفجوة البحثية التي تسعى الدراسة الحالية إلى سدّها في غياب دراسة تطبيقية عربية وسعودية تتبنّى نموذجاً بحثياً متكاملاً يجمع بين أبعاد ممارسات الاستدامة الأربعة وقيس أثرها على خفض استهلاك الطاقة في مشروع عقاري كبير ذي بيئة مناخية حارة وجافة كمركز الملك عبدالله المالي بمدينة الرياض، وهو ما يُكسب الدراسة الحالية أصالتها وقيمتها المضافة في الحقل البحثي.

المنطلقات النظرية للدراسة

أولاً: مفهوم الاستدامة في المباني

يُعدّ مفهوم الاستدامة في المباني من المفاهيم التي تبلورت تدريجياً خلال العقود الأخيرة من القرن العشرين استجابةً للإدراك المتنامي بالآزمات البيئية الناجمة عن أنماط البناء والتشييد التقليدية. ويُشير هذا المفهوم في جوهره إلى تصميم وتشغيل المباني بأساليب تُقلّل من الأثر السلبي على البيئة الطبيعية وتُعظّم الكفاءة في استخدام الموارد طوال دورة حياة المبنى الكاملة، مع ضمان تلبية احتياجات المستخدمين الحالية دون المساس بقدرة الأجيال القادمة على تلبية احتياجاتها. وتستند الاستدامة في المباني إلى ثلاثة أبعاد متكاملة تتمثل في البعد البيئي الذي يُعنى بالحفاظ على الموارد الطبيعية وتقليل الانبعاثات والتلوث، والبعد الاقتصادي الذي يسعى إلى خفض تكاليف التشغيل والصيانة على المدى الطويل، والبعد الاجتماعي الذي يركّز على تحسين جودة البيئة الداخلية وصحة المستخدمين ورفاهيتهم (يوسف، 2021). وقد شهد هذا المفهوم تطوراً نوعياً مع ظهور أنظمة التقييم البيئي الدولية التي وفّرت أطراً معيارية لقياس مدى تحقيق المباني لمتطلبات الاستدامة، حيث يُعدّ نظام LEED الصادر عن المجلس الأمريكي للأبنية الخضراء من أوسع هذه الأنظمة انتشاراً واعتماداً في أكثر من 167 دولة، إلى جانب نظام BREEAM البريطاني ونظام CASBEE الياباني (قورين، 2021).

ثانياً: المباني الخضراء

تُعرّف المباني الخضراء بأنها تلك المباني التي تُصمّم وتُشيد وتُشغّل وفق مبادئ تُقلّل أو تُزيل الآثار السلبية على المناخ والبيئة الطبيعية، وذلك من خلال الاستخدام الرشيد للطاقة والمياه والموارد الطبيعية، وتحسين جودة الهواء الداخلي، وتقليل النفايات والانبعاثات الكربونية الناتجة عن عمليات البناء والتشغيل. وتتميز المباني الخضراء عن المباني التقليدية بتبنيها مقاربة شاملة تأخذ في الاعتبار دورة حياة المبنى بأكملها بدءاً من اختيار الموقع وحتى مرحلة الهدم أو إعادة التدوير، مع التركيز على تحقيق التوازن بين الأداء البيئي والوظيفي والجمالي. وتعتمد المباني الخضراء على مجموعة من التقنيات والاستراتيجيات التي تشمل التصميم الشمسي السالب الذي يوظف التوجيه الأمثل للمبنى والتهوية الطبيعية والإضاءة النهارية، وأنظمة التدفئة والتهوية والتكييف عالية الكفاءة، والعزل الحراري المتقدم، واستخدام مصادر الطاقة المتجددة كالألواح الشمسية الكهروضوئية (Sapuan et al., 2022) وقد أثبتت التجارب الدولية أن المباني الحاصلة على شهادة LEED تُحقّق خفضاً في تكاليف التشغيل بنسبة تصل إلى 20% مقارنة بالمباني التقليدية، مما يؤكد الجدوى الاقتصادية لهذا التوجه إلى جانب مردوده البيئي والصحي.

ثالثاً: ممارسات الاستدامة في المباني (المتغير المستقل)

تُعرّف ممارسات الاستدامة في المباني إجرائياً في هذه الدراسة بأنها مجموعة الأنشطة والتقنيات والسياسات التصميمية والتشغيلية المُطبَّقة في مرافق مركز الملك عبدالله المالي بمدينة الرياض، والتي تهدف إلى تقليل الأثر البيئي للمباني ورفع كفاءتها في استخدام الموارد، ونُقاس من خلال أربعة أبعاد رئيسية هي:

البُعد الأول: كفاءة أنظمة الطاقة - ويُقصد بها مدى فعالية المنظومات الكهروميكانيكية المستخدمة في المبنى في أداء وظائفها بأقل قدر ممكن من الهدر الطاقوي. ويشمل هذا البُعد أنظمة التبريد المركزي التي تُوفّر الطاقة المطلوبة للتكييف بكفاءة أعلى مقارنة بالأنظمة الفردية، وأنظمة الإضاءة الموفرة للطاقة كتقنية LED المزودة بحساسات الحركة والإضاءة الطبيعية، ومنظومات التدفئة والتهوية والتكييف (HVAC) عالية الأداء، فضلاً عن توظيف مصادر الطاقة المتجددة كالألواح الشمسية الكهروضوئية لتلبية جزء من احتياجات المبنى الطاقوية (حربة ومرهج، 2021).

البُعد الثاني: التصميم المعماري الأخضر - ويُشير إلى المبادئ والاستراتيجيات التصميمية التي تُراعي العوامل المناخية والبيئية في مراحل التخطيط والتصميم المعماري بهدف تقليل الأحمال الحرارية وتعظيم الاستفادة من المصادر الطبيعية. ويتضمن هذا البُعد التوجيه الأمثل للمبنى بالنسبة لحركة الشمس والرياح، واستخدام مواد العزل الحراري المتقدمة في الجدران والأسقف والأرضيات، وتصميم أغلفة المباني بمواصفات تُقلّل من الانتقال الحراري، واعتماد نسب مدروسة للترجيح بما يوازن بين الإضاءة الطبيعية والحمل الحراري (بكري والطوانسي ومحمد، 2024).

البُعد الثالث: التقنيات الذكية وإنترنت الأشياء - ويُقصد بها المنظومات التكنولوجية المتقدمة التي تُتيح مراقبة أداء المبنى والتحكم في أنظمتها بشكل آني وتلقائي استناداً إلى البيانات المُجمّعة من شبكة الحساسات المنتشرة في المبنى. ويشمل هذا البُعد أنظمة إدارة المباني الذكية (BMS) التي تُنسّق عمل أنظمة التكييف والإضاءة والأمن مركزياً، وتقنيات إنترنت الأشياء (IoT) التي تربط الأجهزة والمعدات بشبكة رقمية موحدة، وأنظمة الذكاء الاصطناعي التي تتعلم أنماط الاستخدام وتحسّن استهلاك الطاقة تنبؤياً، إضافة إلى تطبيقات الأثاث المرن والجدران المتحركة التي تُعيد توظيف المساحات بكفاءة (الورفلي، 2021).

البُعد الرابع: إدارة الموارد والمواد المستدامة -ويعنى بالأساليب والسياسات التي تضمن الاستخدام الرشيد للموارد الطبيعية وتوظيف مواد البناء ذات الأثر البيئي المنخفض. ويتضمن هذا البُعد أنظمة إعادة تدوير المياه الرمادية واستخدامها في الري والتنظيف، واعتماد مواد بناء معاد تدويرها أو مستخرجة من مصادر مستدامة ذات انبعاثات منخفضة من المركبات العضوية المتطايرة، وتطبيق مبادئ الاقتصاد الدائري في إدارة نفايات البناء والتشغيل، فضلاً عن توظيف المسطحات الخضراء والتشجير الاستراتيجي لتحسين المناخ المحلي المصغر. (Shoubi et al., 2015)

رابعاً: خفض استهلاك الطاقة (المتغير التابع)

يُعرّف خفض استهلاك الطاقة إجرائياً في هذه الدراسة بأنه الانخفاض المُحقَّق في كمية الطاقة الكهربائية والحرارية المُستهلكة في تشغيل مرافق مركز الملك عبدالله المالي مقارنة بالمعدلات المعيارية للمباني التقليدية المماثلة، وذلك نتيجة تطبيق ممارسات الاستدامة المختلفة. ويُقاس هذا المتغير من خلال عدة مؤشرات تشمل مستوى الكفاءة التشغيلية لأنظمة المبنى، ودرجة تقليل الأحمال الحرارية والتبريدية، ومدى انخفاض تكاليف الطاقة التشغيلية، ومستوى الحد من الانبعاثات الكربونية المرتبطة باستهلاك الطاقة. ويتحقق خفض الاستهلاك الطاقوي في المباني من خلال استراتيجيتين رئيسيتين: الأولى تتمثل في تقليل الطلب على الطاقة عبر تحسين أغلفة المباني وظروفها الداخلية وأنظمة خدماتها، والثانية تتمثل في تبني تقنيات الطاقة المتجددة كالألواح الكهروضوئية والطاقة الشمسية الحرارية وتوربينات الرياح لتغطية الاحتياجات المتبقية، وهو المسار الذي تتبناه عدة دول نحو تحقيق مفهوم مباني الطاقة الصفرية (Li, Yang & Lam, 2013).

خامساً: النظريات المفسّرة للعلاقة بين متغيرات الدراسة

تستند الدراسة الحالية في إطارها النظري إلى عدة نظريات ونماذج علمية تُفسّر العلاقة بين ممارسات الاستدامة وخفض استهلاك الطاقة في المباني. وتأتي في مقدمتها نظرية التصميم المتكامل (Integrated Design Theory) التي ترى أن تحقيق الكفاءة الطاقوية المثلى يستلزم تكامل جميع عناصر التصميم المعماري والهندسي والتشغيلي في منظومة واحدة منذ المراحل الأولى للمشروع، وليس معالجتها بشكل منفصل ومتتابع. كما تستند الدراسة إلى نموذج دورة حياة المبنى (Building Life Cycle Model) الذي يؤكد أن استهلاك الطاقة يجب أن يُقيّم عبر جميع مراحل حياة المبنى بدءاً من

الطاقة المجددة في مواد البناء مروراً بطاقة التشغيل وصولاً إلى طاقة الهدم وإعادة التدوير (عواد والمسلمي وإبراهيم، 2025). فضلاً عن ذلك، تستفيد الدراسة من نموذج مباني الطاقة الصفرية (Zero Energy Building Model) الذي يُقدّم إطاراً لتحقيق التوازن بين الطاقة المستهلكة والطاقة المولدة من مصادر متجددة داخل المبنى أو بالقرب منه، ومن التطورات الحديثة في مجال تعلم الآلة والذكاء الاصطناعي التي أثبتت قدرتها على التنبؤ بأنماط استهلاك الطاقة وتحسينها بدقة عالية من خلال تحليل البيانات الضخمة المُجمّعة من أنظمة إدارة المباني الذكية. (Mahmood et al., 2024)

المنهجية وطرق البحث:

ستعتمد الدراسة الحالية على المنهج الوصفي التحليلي باعتباره المنهج الأنسب لطبيعة الدراسة وأهدافها، حيث سيُستخدم في وصف ممارسات الاستدامة في المباني بأبعادها الأربعة (كفاءة أنظمة الطاقة، التصميم المعماري الأخضر، التقنيات الذكية وإنترنت الأشياء، إدارة الموارد والمواد المستدامة) وتحليل أثرها على خفض استهلاك الطاقة في مرافق مركز الملك عبدالله المالي بمدينة الرياض. وسيتم هذا المنهج جمع البيانات من الواقع الفعلي ووصف الظاهرة محل الدراسة وصفاً دقيقاً وتحليلها كمياً من خلال الأساليب الإحصائية المناسبة للوصول إلى استنتاجات علمية دقيقة.

كما ستتبنى الدراسة أسلوب المسح الميداني من خلال تصميم استبانة علمية محكمة ستوزع على عينة الدراسة لجمع البيانات الأولية حول واقع تطبيق ممارسات الاستدامة ومستوى خفض استهلاك الطاقة المتحقق في مرافق المركز. وسيستخدم أسلوب التحليل الارتباطي والانحداري لاختبار العلاقات السببية بين المتغير المستقل (ممارسات الاستدامة في المباني) بأبعاده الأربعة والمتغير التابع (خفض استهلاك الطاقة)، بما يُمكن من اختبار فروض الدراسة والإجابة عن أسئلتها بموضوعية ودقة علمية.

مجتمع وعينة الدراسة

سيكون مجتمع الدراسة من جميع العاملين في مرافق مركز الملك عبدالله المالي (كافد) بمدينة الرياض ذوي العلاقة المباشرة بممارسات الاستدامة وإدارة الطاقة، والذين يشملون المهندسين المعماريين ومهندسي الطاقة والاستدامة، ومديري المرافق والتشغيل والصيانة، والمتخصصين في إدارة المباني الذكية، ومسؤولي الاستدامة البيئية العاملين في شركة إدارة وتطوير مركز الملك عبدالله المالي والشركات المُشغلة للمرافق

داخل المركز. ووفقاً للبيانات المتاحة يضم المركز أكثر من 95 مبنى ويعمل فيه ما يزيد عن 20,000 موظف موزعين على أكثر من 100 شركة وجهة محلية ودولية، ويُقدَّر مجتمع الدراسة المستهدف من المتخصصين ذوي العلاقة بالاستدامة وإدارة الطاقة والمرافق بنحو (500) فرد.

وستعتمد الدراسة على أسلوب العينة العشوائية الطبقية لضمان تمثيل جميع الفئات الوظيفية ذات الصلة تمثيلاً متوازناً. وسيُحدَّد حجم العينة وفقاً لجدول (Krejcie & Morgan, 1970) لتحديد حجم العينات، حيث سيبلغ الحد الأدنى المناسب للعينة (217) مفردة من مجتمع قوامه (500) فرد عند مستوى ثقة 95% وهامش خطأ 5%. وسيتم توزيع (250) استبانة لتعويض الفاقد المتوقع في الاستبانات غير المكتملة أو غير المستردة، وستُصنَّف العينة إلى طبقات تشمل: المهندسين والمتخصصين الفنيين، ومديري المرافق والتشغيل، ومسؤولي الاستدامة والبيئة، والإداريين ذوي العلاقة بإدارة الطاقة، وذلك لضمان شمولية النتائج وقابليتها للتعميم على مجتمع الدراسة.

مصادر جمع البيانات

ستعتمد الدراسة على مصدرين أساسيين لجمع البيانات هما:

- **المصادر الثانوية:** وتشمل الكتب والمراجع العلمية المتخصصة، والدوريات والمجلات العلمية المحكمة العربية والأجنبية، والرسائل العلمية (ماجستير ودكتوراه)، والتقارير والنشرات الرسمية الصادرة عن مركز الملك عبدالله المالي وتقرير الاستدامة الخاص به، ومواقع الإنترنت الموثوقة وقواعد البيانات العلمية، وذلك لبناء الإطار النظري للدراسة والتعرف على الدراسات السابقة.
- **المصادر الأولية:** وتتمثل في البيانات الميدانية التي سيتم جمعها من خلال أداة الاستبانة المصممة خصيصاً لأغراض الدراسة، والتي ستوزع على أفراد عينة الدراسة من العاملين في مرافق مركز الملك عبدالله المالي.

أداة الدراسة (الاستبانة)

ستعتمد الدراسة على الاستبانة كأداة رئيسية لجمع البيانات الأولية، وسيتم تصميمها وفق مقياس ليكرت الخماسي (موافق بشدة، موافق، محايد، غير موافق، غير موافق بشدة)، وستكون من الأقسام التالية:

القسم الأول: البيانات الديموغرافية ويشمل المتغيرات الشخصية والوظيفية لأفراد العينة (المؤهل العلمي، سنوات الخبرة، التخصص الوظيفي، جهة العمل).

القسم الثاني: المتغير المستقل – ممارسات الاستدامة في المباني (16 فقرة) ويتكون من أربعة أبعاد يقيس كل بُعد منها جانباً من ممارسات الاستدامة في مرافق المركز، وذلك على النحو التالي:

البُعد	عدد الفقرات
البُعد الأول: كفاءة أنظمة الطاقة	(4) فقرات
البُعد الثاني: التصميم المعماري الأخضر	(4) فقرات
البُعد الثالث: التقنيات الذكية وإنترنت الأشياء	(4) فقرات
البُعد الرابع: إدارة الموارد والمواد المستدامة	(4) فقرات
الإجمالي	(16) فقرة

القسم الثالث: المتغير التابع – خفض استهلاك الطاقة (10 فقرات) وهو محور أحادي يقيس مستوى خفض استهلاك الطاقة المتحقق في مرافق مركز الملك عبدالله المالي، ويتكون من (10) فقرات تغطي مؤشرات خفض الاستهلاك الطاقوي من حيث الكفاءة التشغيلية وتقليل الأحمال الحرارية وخفض تكاليف الطاقة والحد من الانبعاثات الكربونية.

وبذلك يبلغ إجمالي فقرات الاستبانة (26) فقرة بالإضافة إلى البيانات الديموغرافية.

وسيتم التحقق من صدق الأداة وثباتها من خلال صدق المحكّمين بعرض الاستبانة على مجموعة من الأساتذة المتخصصين لإبداء آرائهم، وصدق الاتساق الداخلي بحساب معامل ارتباط بيرسون بين كل فقرة والمحور الذي تنتمي إليه، وقياس الثبات باستخدام معامل ألفا كرونباخ (Cronbach's Alpha) للتأكد من موثوقية الأداة.

الأساليب الإحصائية المستخدمة

سُحِّلَ البيانات باستخدام برنامج الحزمة الإحصائية للعلوم الاجتماعية (SPSS)، وستُستخدم الأساليب الإحصائية التالية:

- **الإحصاءات الوصفية:** التكرارات والنسب المئوية لوصف خصائص عينة الدراسة، والمتوسطات الحسابية والانحرافات المعيارية لتحديد اتجاهات استجابات أفراد العينة ودرجة موافقتهم على فقرات الاستبانة.
- **معامل ارتباط بيرسون (Pearson Correlation):** لقياس صدق الاتساق الداخلي لأداة الدراسة وتحديد قوة العلاقة واتجاهها بين المتغير المستقل بأبعاده والمتغير التابع.
- **معامل ألفا كرونباخ (Cronbach's Alpha):** لقياس ثبات أداة الدراسة والتأكد من موثوقيتها واتساقها الداخلي.
- **تحليل الانحدار المتعدد (Multiple Regression Analysis):** لاختبار أثر أبعاد المتغير المستقل (ممارسات الاستدامة في المباني) مجتمعةً على المتغير التابع (خفض استهلاك الطاقة).
- **تحليل الانحدار البسيط (Simple Regression Analysis):** لاختبار أثر كل بُعد من أبعاد المتغير المستقل منفرداً على المتغير التابع.
- **اختبار (ت) للعينات المستقلة (Independent Samples T-Test):** للكشف عن الفروق ذات الدلالة الإحصائية في استجابات أفراد العينة تبعاً للمتغيرات الديموغرافية ثنائية الفئات.
- **تحليل التباين الأحادي (One-Way ANOVA):** للكشف عن الفروق ذات الدلالة الإحصائية في استجابات أفراد العينة تبعاً للمتغيرات الديموغرافية متعددة الفئات (المؤهل العلمي، سنوات الخبرة، التخصص الوظيفي، جهة العمل)، مع استخدام اختبار شيفيه (Scheffé) للمقارنات البعدية عند وجود فروق دالة إحصائية.
- **معامل تضخم التباين (VIF) واختبار التحمل (Tolerance):** للتحقق من عدم وجود مشكلة الارتباط الخطي المتعدد بين المتغيرات المستقلة.

حدود الدراسة

ستلتزم الدراسة بالحدود التالية:

- **الحدود الموضوعية:** ستقتصر الدراسة على دراسة أثر ممارسات الاستدامة في المباني بأبعادها الأربعة (كفاءة أنظمة الطاقة، التصميم المعماري الأخضر، التقنيات الذكية وإنترنت الأشياء، إدارة الموارد والمواد المستدامة) على خفض استهلاك الطاقة.

- **الحدود المكانية:** ستُطبَّق الدراسة على مرافق مركز الملك عبدالله المالي (كافد) بمدينة الرياض في المملكة العربية السعودية.
- **الحدود البشرية:** ستُطبَّق الدراسة على المهندسين والمتخصصين الفنيين ومديري المرافق والتشغيل ومسؤولي الاستدامة والبيئة والإداريين ذوي العلاقة بإدارة الطاقة العاملين في مرافق مركز الملك عبدالله المالي.
- **الحدود الزمانية:** ستُجرى الدراسة الميدانية خلال الفصل الدراسي الثاني من العام الجامعي 1447هـ / 2026م.

المراجع:

أولاً: المراجع العربية

حربة، علا عمر، و مرهج، لؤي حيدر. (2021). خفض استهلاك الطاقة لمستشفى خلال عملية التطوير: دراسة تطبيقية على مستشفى حماة الوطني بمدينة حماة - سورية. *مجلة العلوم الهندسية وتكنولوجيا المعلومات*، مج5، ع3، 17، 34. - مسترجع من

<http://search.mandumah.com/Record/1236689>

يوسف، حسن. (2021). دور المباني الخضراء في ترشيد استهلاك الطاقة. *مجلة التراث والتصميم*، مج1، ع6، 79، 101. - مسترجع من <http://search.mandumah.com/Record/1196130>

بكري، أحمد صلاح الدين شيبه الحمد أحمد، الطوانسي، علي كمال، و محمد، هالة عبدالمعز. (2024). فاعلية استخدام بعض تطبيقات العمارة الخضراء نحو مسكن صفري الطاقة كوسيلة للمساهمة في خفض استهلاك الطاقة في جمهورية مصر العربية. *مجلة العمارة والفنون والعلوم الإنسانية*، ع44، 1، 14. -

مسترجع من <http://search.mandumah.com/Record/1495508>

عواد، أمل عبدالخالق محمود، المسلمي، غادة محمد فتحي، و إبراهيم، إسراء السيد علي. (2025). ترشيد استهلاك الطاقة وتقليل الأثر السلبي في التصميم الداخلي للمنشآت الإدارية. *مجلة العمارة والفنون والعلوم الإنسانية*، مج9، عدد خاص، 17، 39. - مسترجع من

<http://search.mandumah.com/Record/1601296>

قورين، خديجة. (2021). المباني الخضراء: دعامة أساسية لتحقيق إستدامة بيئية: عرض لبعض النماذج الدولية الناجحة. *مجلة دفاتر اقتصادية*، مج12، ع1، 1، 18. - مسترجع من

<http://search.mandumah.com/Record/1156048>

الورفلي، صلاح الدين الفيتوري. (2021). التصميم الداخلي الذكي للمباني وعلاقته باستخدام الأراضي وتعزيز استدامة المباني. *المجلة العربية للنشر العلمي*، ع30، 791 - 803. مسترجع من

<http://search.mandumah.com/Record/1435764>

مرسال، أميرة مرسال محمود. (2025). دور التقنيات الذكية "الأغلفة والمواد الذكية" في تحقيق الاستدامة في المباني. مجلة العمارة والفنون والعلوم الإنسانية، ع54 ، 72 - 99. مسترجع من

<http://search.mandumah.com/Record/1632821>

النخيلي، محمد عزت، و الحواج، فيصل صادق. (2025). تحديات تطبيق التصميم والبناء المستدام في مشروعات البناء بالكويت. مجلة العلوم الهندسية وتكنولوجيا المعلومات، مج9، ع1 ، 1 - 17.

مسترجع من <http://search.mandumah.com/Record/1583872>

قورين، خديجة. (2021). المباني الخضراء: دعامة أساسية لتحقيق إستدامة بيئية: عرض لبعض النماذج الدولية الناجحة. مجلة دفاتر اقتصادية، مج12، ع1 ، 1 - 18. مسترجع من

<http://search.mandumah.com/Record/1156048>

المراجع الأجنبية

•

Sapuan, N. M., Haron, N. F., Kumaran, V. V., Saudi, N. S., & Ridzuan, A. R. (2022). Green building best practices in achieving energy and environmental sustainability. *Environmental Management and Sustainable Development*, 11(4), 74

Pham, A. D., Ngo, N. T., Truong, T. T. H., Huynh, N. T., & Truong, N. S. (2020). Predicting energy consumption in multiple buildings using machine learning for improving energy efficiency and sustainability. *Journal of Cleaner Production*, 260, 121082.

Li, D. H., Yang, L., & Lam, J. C. (2013). Zero energy buildings and sustainable development implications—A review. *Energy*, 54, 1–10.

Mahmood, S., Sun, H., Ali Alhussan, A., Iqbal, A., & El-Kenawy, E. S. M. (2024). Active learning-based machine learning approach for enhancing

environmental sustainability in green building energy consumption. *Scientific Reports*, 14(1), 19894

Shoubi, M. V., Shoubi, M. V., Bagchi, A., & Barough, A. S. (2015). Reducing the operational energy demand in buildings using building information modeling tools and sustainability approaches. *Ain Shams Engineering Journal*, 6(1), 41–55.

Mid Ocean University

College of Management

Department of Business Administration



**The Impact of Building Sustainability Practices on Reducing Energy
Consumption: An Applied Study on King Abdullah Financial District
Facilities in Riyadh**

Prepared by:

Supervision:

Dr. Al-Faisal Abdelhamid Mohamed Hassan

Dr. Fayez Jarad

1447-2026