

جامعة ميدأوشن



كلية الإدارة

ماجستير ادارة اعمال

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

إعداد الطالب/

مصعب إبراهيم الدوسري

المشرف الثاني/

د.فايز جراد

المشرف الرئيسي/

د. الفيصل عبد الحميد

العام الدراسي:

2026 – 1448



إِهْدَاء

إلى كل من جعل من العلم طريقًا للحياة، ومن الإخلاص منهجًا للعمل، أهدي ثمرة هذا الجهد الذي لم يكن وليد لحظة، بل حصيلة رحلة طويلة من التعلم والمثابرة والطموح. أهدي هذا العمل إلى كل من آمن بقيمة المعرفة، وساهم بكلمة أو موقف أو دعاء في استمرار هذه المسيرة، وإلى كل من يسعى لترك أثرٍ نافع في مجتمعه من خلال العلم والعمل. وأسأل الله أن يجعل هذا الجهد نافعًا، وأن يكتب له القبول، وأن يكون بدايةً لمزيد من العطاء والإنجاز في سبيل خدمة المعرفة والإنسانية.

شكر وقدر

ليس بعد التمام أجمل من الحمد، فالحمد لله والشكر له كما ينبغي لجلال وجهه وعظيم سلطانه وكما ينبغي لجزيل فضله وعظيم إحسانه على ما أنعم به على من إتمام هذا البحث.

ثم أنه لا يسعني الا أن أشيد بالفضل وأقر بالمعروف لكل من ساهم في إنجاز هذا البحث.

كل الشكر للجهات التي دعمتني وساعدتني وخصتني بالتوجيه والتصويب لإتمام بحثي على الوجه الصحيح.

كما أتقدم بالشكر لمن كان لتوجيهاتهم الدور الكبير في إنجاز هذا المشروع وكل من مد لي يد العون من قريب وبعيد ولو بدعوة بظهر الغيب، بارك الله فيهم جميعاً وجزاهم الله عني الجزاء الأوفى وأسأل الله أن ينفع بهذا البحث على قدر العناء فيه وأن يجعله خالصاً لوجهه الكريم إنه على ذلك لقادر.

مستخلص الدراسة

هدفت هذه الدراسة إلى قياس أثر ممارسات الاستدامة في المباني بأبعادها الأربعة، المتمثلة في كفاءة أنظمة الطاقة، والتصميم المعماري الأخضر، والتقنيات الذكية وإنترنت الأشياء، وإدارة الموارد والمواد المستدامة، على خفض استهلاك الطاقة في مرافق مركز الملك عبدالله المالي بمدينة الرياض. واعتمدت الدراسة على المنهج الوصفي التحليلي، وتم توظيف الاستبانة أداة لجمع البيانات، إذ صُممت وفق مقياس ليكرت الخماسي وتكونت في صورتها النهائية من (26) فقرة موزعة على المتغيرين المستقل والتابع، فضلاً عن قسم البيانات الديموغرافية. وطُبِّقت الاستبانة على عينة عشوائية طبقية بلغ حجمها (205) مفردة من العاملين في الأقسام ذات الصلة بإدارة المرافق والتشغيل والصيانة والاستدامة والتصميم الهندسي داخل المركز. وعولجت البيانات باستخدام برنامج (SPSS) عبر جملة من الأساليب الإحصائية، شملت المتوسطات الحسابية والانحرافات المعيارية ومعامل ألفا كرونباخ ومعامل ارتباط بيرسون وتحليل الانحدار الخطي البسيط والمتعدد. وقد كشفت النتائج عن وجود أثر ذي دلالة إحصائية عند مستوى معنوية ($\alpha \leq 0.05$) لممارسات الاستدامة بأبعادها مجتمعةً على خفض استهلاك الطاقة، إذ فسرت هذه الأبعاد ما نسبته (78%) من التباين في المتغير التابع، كما أظهرت النتائج أن بُعد التقنيات الذكية وإنترنت الأشياء جاء الأكثر تأثيراً، يليه بُعد كفاءة أنظمة الطاقة، ثم بُعد التصميم المعماري الأخضر، فبُعد إدارة الموارد والمواد المستدامة. وقد خلصت الدراسة إلى جملةٍ من التوصيات، أبرزها تعزيز الاستثمار في أنظمة إدارة المباني الذكية، وتوسيع الاعتماد على مصادر الطاقة المتجددة، وتطوير خطة استراتيجية طويلة المدى لإدارة الطاقة تتضمن مؤشرات أداء دقيقة، وبناء ثقافة مؤسسية داعمة للاستدامة.

الكلمات المفتاحية: ممارسات الاستدامة، المباني الخضراء، خفض استهلاك الطاقة، كفاءة أنظمة الطاقة، التقنيات الذكية، إنترنت الأشياء، مركز الملك عبدالله المالي، الرياض.

قائمة المحتويات

أ.....	بسم الله الرحمن الرحيم
ب.....	الإهداء
ج.....	الشكر والتقدير
د.....	مستخلص الدراسة
ه.....	قائمة المحتويات
ح.....	قائمة الجداول
1.....	الفصل الأول: الإطار العام للدراسة
1.....	1.1 المقدمة
3.....	2.1 مشكلة الدراسة
4.....	3.1 أهداف الدراسة
5.....	4.1 أسئلة الدراسة
6.....	5.1 فروض الدراسة
7.....	6.1 أهمية الدراسة
8.....	7.1 الدراسات السابقة:
16.....	8.1 الفجوة البحثية
16.....	9.1 المنطلقات النظرية للدراسة
20.....	10.1 المنهجية وطرق البحث:
20.....	11.1 مجتمع وعينة الدراسة
21.....	12.1 مصادر جمع البيانات
21.....	13.1 أداة الدراسة (الاستبانة)
22.....	14.1 الأساليب الإحصائية المستخدمة
23.....	15.1 حدود الدراسة
25.....	الفصل الثاني: الإطار النظري للدراسة

المبحث الأول: ممارسات الاستدامة في المباني	25
1.1.2 تمهيد	25
2.1.2 مفهوم ممارسات الاستدامة في المباني	25
3.1.2 أهمية ممارسات الاستدامة في المباني	27
4.1.2 أهداف ممارسات الاستدامة في المباني	28
5.1.2 أبعاد ممارسات الاستدامة في المباني	29
المبحث الثاني: خفض استهلاك الطاقة	32
1.2.2 تمهيد	32
2.2.2 مفهوم خفض استهلاك الطاقة	32
3.2.2 أهمية خفض استهلاك الطاقة	34
4.2.2 أهداف خفض استهلاك الطاقة	35
5.2.2 أبعاد خفض استهلاك الطاقة ومحدداته	36
6.2.2 العلاقة بين خفض استهلاك الطاقة وممارسات الاستدامة	37
الفصل الثالث: منهجية الدراسة وإجراءاتها	39
1.3 تمهيد	39
2.3 منهج الدراسة	39
3.3 مجتمع الدراسة وعينتها	39
4.3 أداة الدراسة	41
5.3 صدق أداة الدراسة	42
6.3 ثبات أداة الدراسة	44
7.3 مصفوفة الارتباط بين متغيرات الدراسة	45
8.3 الأساليب الإحصائية المستخدمة	46
الفصل الرابع: تحليل البيانات واختبار الفرضيات	48
1.4 تمهيد	48
2.4 تحليل البيانات الديموغرافية لعينة الدراسة	48

50.....	3.4 التحليل الوصفي لأبعاد الدراسة
56.....	4.4 اختبار فرضيات الدراسة
63.....	الفصل الخامس: نتائج الدراسة وتوصياتها
63.....	1.5 تمهيد
63.....	2.5 نتائج الدراسة
67.....	3.5 توصيات الدراسة
68.....	4.5 الدراسات المستقبلية المقترحة
70.....	Abstract
71.....	المراجع
75.....	الملاحق
76.....	استمارة استبيان

قائمة الجداول

رقم الجدول	اسم الجدول	رقم الصفحة
1.	جدول (3 - 1) توزيع الاستبيان على أقسام المركز	40
2.	جدول (3 - 2) مقياس ليكرت الخماسي	42
3.	جدول (3 - 3): معاملات ارتباط فقرات كل بُعد بالدرجة الكلية للبُعد	43
4.	جدول (3 - 4): معاملات ارتباط أبعاد المتغير المستقل بالدرجة الكلية للمتغير	44
5.	جدول (3 - 5): معاملات الثبات لأداة الدراسة	45
6.	جدول (3 - 6): مصفوفة ارتباط بيرسون بين متغيرات الدراسة ($n = 205$)	45
7.	جدول (4 - 1): التوزيع التكراري لأفراد العينة وفق متغير الجنس	48
8.	جدول (4 - 2): التوزيع التكراري لأفراد العينة وفق متغير العمر	49
9.	جدول (4 - 3): التوزيع التكراري لأفراد العينة وفق متغير المؤهل العلمي	49
10.	جدول (4 - 4): التوزيع التكراري لأفراد العينة وفق سنوات الخبرة	50
11.	جدول (4 - 5): التوزيع التكراري لأفراد العينة وفق المستوى الوظيفي	50
12.	جدول (4 - 6): المتوسطات الحسابية والانحرافات المعيارية لفقرات بُعد كفاءة أنظمة الطاقة	51
13.	جدول (4 - 7): المتوسطات الحسابية والانحرافات المعيارية لفقرات بُعد التصميم المعماري الأخضر	52

رقم الجدول	اسم الجدول	رقم الصفحة
14.	جدول (4 - 8): المتوسطات الحسابية والانحرافات المعيارية لفقرات بُعد التقنيات الذكية وإنترنت الأشياء	53
15.	جدول (4 - 9): المتوسطات الحسابية والانحرافات المعيارية لفقرات بُعد إدارة الموارد والمواد المستدامة	54
16.	جدول (4 - 10): الترتيب العام لأبعاد ممارسات الاستدامة في المباني	54
17.	جدول (4 - 11): المتوسطات الحسابية والانحرافات المعيارية لفقرات المتغير التابع (خفض استهلاك الطاقة)	55
18.	جدول (4 - 12): نتائج تحليل الانحدار المتعدد لأثر أبعاد ممارسات الاستدامة على خفض استهلاك الطاقة	57
19.	جدول (4 - 13): تحليل الانحدار الخطي البسيط لقياس أثر كفاءة أنظمة الطاقة على خفض استهلاك الطاقة	59
20.	جدول (4 - 14): تحليل الانحدار الخطي البسيط لقياس أثر التصميم المعماري الأخضر على خفض استهلاك الطاقة	60
21.	جدول (4 - 15): تحليل الانحدار الخطي البسيط لقياس أثر التقنيات الذكية وإنترنت الأشياء على خفض استهلاك الطاقة	61
22.	جدول (4 - 16): تحليل الانحدار الخطي البسيط لقياس أثر إدارة الموارد والمواد المستدامة على خفض استهلاك الطاقة	62

الفصل الأول: الإطار العام للدراسة

1.1 المقدمة

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 تركزت 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).

ويمثل خفض استهلاك الطاقة في المباني هدفاً محورياً تسعى إليه الحكومات والمنظمات الدولية، إذ يستأثر قطاع المباني عالمياً بنحو 30% من الاستهلاك النهائي للطاقة ويسهم 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 الصفورية 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 يسهم في تقديم رؤى علمية وتطبيقية تدعم جهود المملكة في تحقيق مستهدفات رؤية 2030 والمبادرة السعودية الخضراء نحو بناء بيئة عمرانية مستدامة ومنخفضة الاستهلاك الطاقوي.

2.1 مشكلة الدراسة

يُعد 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 النهائي للطاقة وتسهم 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 التكييف 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 ويلقي 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 نفط مكافئ يومياً. وتؤكد هذه المعطيات الحاجة الماسة إلى تبني ممارسات استدامة فعّالة في المباني تسهم في خفض هذا الاستهلاك المتنامي وتحقيق الأهداف الوطنية الطموحة.

وقد أكدت عدة دراسات سابقة أن المباني الخضراء المطورة وفق ممارسات الاستدامة تحقق خفضاً ملموساً في استهلاك الطاقة (Sapuan et al., 2022؛ يوسف، 2021)، وأن التقنيات الذكية وأدوات نمذجة معلومات البناء (BIM) تسهم 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 أجريت في سياقات مناخية وجغرافية مختلفة عن البيئة السعودية، ولم تتناول مشروعاً متكاملاً 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؟

3.1 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 يسهم في خفض استهلاك الطاقة في مرافق مركز الملك عبدالله المالي وما يماثلها من مشاريع كبرى في المملكة العربية السعودية.

4.1 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؟

5.1 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.

ينفرد 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.

6.1 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 رؤى 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 يُساعد 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.

7.1 الدراسات السابقة:

أولاً: الدراسات العربية

▪ 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، ويسهم 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 (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 تُسهم 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 طاغوية 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، وصفرة 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 صفري 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 المبني ذي التوازن المناخي.

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

هدفت الدراسة إلى التعرف على مباني الطاقة الصفرية 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 الصفرية ودراسات الحالة العالمية. وتوصلت نتائج الدراسة إلى أن مباني الطاقة الصفرية 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 الصفرية 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 الصفرية.

- 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 جوهو 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 طاقياً، وتقديم حوافز حكومية للمصممين والمهندسين لاستخدام هذه الأدوات، مع الاستفادة من الحلول المعمارية التقليدية المحلية لتحقيق مبانٍ أكثر استدامة.

▪ 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 الطاقي، 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 MSP 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 (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 الصفرية، 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 و BREEAM و CASBEE و DGNB 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 (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.

8.1 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 اقتصرت 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) وقياس 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) طبّقت في المناخ الاستوائي بماليزيا، 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 أحياناً 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 تتبنى نموذجاً بحثياً متكاملاً يجمع بين أبعاد ممارسات الاستدامة الأربعة وقياس 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.

9.1 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. ويشير 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، وتُقاس من خلال أربعة أبعاد رئيسية هي:

البُعد الأول: كفاءة أنظمة الطاقة -ويقصد 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 -ويشير 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 -ويقصد بها المنظومات التكنولوجية المتقدمة التي تُتيح مراقبة أداء المبنى والتحكم في أنظمتها بشكل آلي 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 - ويُعنى 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)

يُعرف 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 كالخلايا 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 المفسرة للعلاقة بين متغيرات الدراسة

تستند الدراسة الحالية في إطارها النظري إلى عدة نظريات ونماذج علمية تُفسر 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 يُقِيم عبر جميع مراحل حياة المبنى بدءاً من الطاقة المُجسّدة 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 المجمعة من أنظمة إدارة المباني الذكية. (Mahmood et al., 2024)

10.1 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. وسيتيح 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 والاندحاري لاختبار العلاقات السببية بين المتغير المستقل (ممارسات الاستدامة في المباني) بأبعاده الأربعة والمتغير التابع (خفض استهلاك الطاقة)، بما يمكن من اختبار فروض الدراسة والإجابة عن أسئلتها بموضوعية ودقة علمية.

11.1 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، ويُقدّر 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. وسيُحدّد 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، وستُصنّف 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.

12.1 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.

13.1 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:

عدد الفقرات	البُعد
(4) فقرات	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
(16) فقرة	الإجمالي

- 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.

وسيتّم 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.

14.1 الأساليب الإحصائية المستخدمة

سُحِّلَت البيانات باستخدام برنامج الحزمة الإحصائية للعلوم الاجتماعية (SPSS) ، وسُتستخدم 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.

15.1 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.

الفصل الثاني: الإطار النظري للدراسة

المبحث الأول: ممارسات الاستدامة في المباني

1.1.2 تمهيد

شهدت العقود الأخيرة تحولاً جوهرياً في فلسفة تشييد المباني وإدارتها، إذ لم يعد يُنظر إلى المبنى بوصفه كتلة إنشائية جامدة تُقاس جودتها بمتانتها وحدها، وإنما باعتباره منظومة حية تتفاعل مع محيطها البيئي والاقتصادي والاجتماعي طوال دورة حياتها. وفي ظل تصاعد الضغوط المناخية وتنامي الطلب على الطاقة، برزت ممارسات الاستدامة في المباني بوصفها مدخلاً استراتيجياً يعيد صياغة العلاقة بين البيئة المبنية ومواردها، ويُعيد تعريف مفاهيم الجودة والكفاءة والقيمة الاقتصادية للأصول العقارية والمنشآت الخدمية على حدٍ سواء. ويكتسب هذا التحول أهمية مضاعفة حين يتصل بمرافق كبرى ذات كثافة تشغيلية عالية، كالمراكز المالية والمجمعات الإدارية، حيث تتضافر متطلبات الأداء الوظيفي مع اشتراطات الترشيح البيئي في معادلة إدارية دقيقة. ويسعى هذا المبحث إلى تأصيل مفهوم ممارسات الاستدامة في المباني، وبيان أهميته وأهدافه، ثم تفكيك أبعاده الأربعة بوصفها الركائز التي ينهض عليها المتغير المستقل في الدراسة الراهنة.

2.1.2 مفهوم ممارسات الاستدامة في المباني

تتعدد المداخل النظرية التي عالج من خلالها الباحثون مفهوم ممارسات الاستدامة في المباني، ويعكس هذا التعدد ثراء الحقل المعرفي وتشعب زواياه بين المعماري والهندسي والإداري والبيئي. فقد ذهب (قورين، 2021) إلى أن ممارسات الاستدامة في المباني تمثل منظومة متكاملة من الأساليب التصميمية والتشغيلية التي تستهدف تقليل البصمة البيئية للمبنى مع الحفاظ على جودة الحياة داخله، مؤكدة أن هذه الممارسات ليست خياراً تجميلاً يُضاف إلى المبنى، بل فلسفة تحكم دورة حياته الكاملة منذ لحظة التخطيط وحتى مرحلة التفكيك أو إعادة التأهيل.

وفي سياق أكثر تخصصاً في البعد الإنشائي، يُعرّف (باعباد، 2025) هذه الممارسات باعتبارها استجابة واعية للاختلالات التي أفرزها التوسع في أنماط البناء التقليدية، إذ يرى أن التحول نحو الاستدامة

يستلزم مراجعة نقدية للخيارات الإنشائية السائدة، وإعادة الاعتبار للمعطيات البيئية المحلية في صياغة القرار المعماري. ويلتقي هذا الطرح مع ما أشار إليه (النحاس وآخرون، 2023) من أن الاستدامة في المباني ليست ابتكاراً حديثاً خالصاً، بل هي في جوهرها استعادةً لمبادئ عمرانية أصيلة كانت حاضرة في العمارة التقليدية، مع إعادة صياغتها بأدوات العصر ومعطياته التقنية.

ومن منظورٍ إداري تنظيمي، يُقدّم (النخيلي والحواج، 2025) ممارسات الاستدامة في المباني بوصفها حزمةً من السياسات والإجراءات التي تتبناها المنشآت لتحقيق التوازن بين المتطلبات الوظيفية للمبنى ومسؤولياته البيئية والاجتماعية، مشيرين إلى أن هذه الممارسات تتقاطع مع مفاهيم إدارة المشروعات والحوكمة الرشيدة، وتُشكّل امتداداً طبيعياً لتوجهات المسؤولية المؤسسية. وفي المقابل، يميل (قاسم وختير، 2024) إلى تعريف أكثر تركيزاً على البعد الوظيفي، إذ يُنظر إلى الاستدامة باعتبارها قدرة المبنى على أداء وظائفه المخصصة بكفاءة مستمرة، مع الحفاظ على سلامة شاغليه وأمن محتوياته وتقليل استنزافه للموارد.

أما في الأدبيات الأجنبية، فقد قدّم (Sapuan et al., 2022) تعريفاً يبرز الطابع الممارساتي التطبيقي، إذ عرّفوا ممارسات الاستدامة في المباني بأنها مجموعة من الإجراءات الفضلى التي تُدمج في مراحل التصميم والتنفيذ والتشغيل بهدف تحقيق كفاءة الطاقة والاستدامة البيئية معاً. ويوسع (Chen et al., 2024) هذا التعريف ليشمل دمج مصادر الطاقة المتجددة في قطاع البناء بوصفه ركيزةً محورية من ركائز الممارسات المستدامة، مؤكدين أن الاستدامة تنتقل من كونها خطاباً نظرياً إلى كونها ممارسةً هندسيةً قابلة للقياس. ويضيف (Santamouris & Vasilakopoulou, 2021) بُعداً زمنياً-استراتيجياً حين يعتبران هذه الممارسات مساراً لإزالة الكربون من قطاع المباني، ومدخلاً لمواجهة تحديات المستقبل في ظل التغيرات المناخية المتسارعة.

وفي إطار تكاملي، يُقدّم (Li et al., 2013) رؤيةً تربط بين ممارسات الاستدامة ومفهوم المبنى صفري الطاقة، حيث يُعدّان امتداداً طبيعياً لمنظومة الاستدامة حين تصل الممارسات إلى ذروتها في تحقيق التوازن بين الاستهلاك والإنتاج. ويرى الباحث — استناداً إلى هذه المقاربات مجتمعةً — أن ممارسات الاستدامة في المباني هي: منظومة متكاملة من الخيارات التصميمية والتقنية والتشغيلية والإدارية التي تتبناها المنشأة على مدى دورة حياة المبنى، بهدف تحقيق كفاءة عالية في استخدام الموارد، وتقليل الأثر البيئي، ورفع جودة البيئة الداخلية، بما يخدم استمرارية الأداء المؤسسي ويُعزّز قدرة المبنى

على مواكبة المتغيرات المستقبلية. ويتميز هذا التعريف بأنه يجمع بين الطابع الشمولي والطابع الإجرائي، ويجعل من الاستدامة موضوعاً إدارياً قابلاً للقياس والتقييم لا مجرد شعار بيئي.

3.1.2 أهمية ممارسات الاستدامة في المباني

تتبع أهمية ممارسات الاستدامة في المباني من كونها تُشكّل نقطة تلاقٍ بين اعتبارات متعددة يصعب فصل بعضها عن بعض؛ فهي في الوقت ذاته قضية بيئية وأخرى اقتصادية، ومسألة تقنية ومسؤولية اجتماعية، وأداة تشغيلية ورافعة استراتيجية. ويستدعي هذا التشابك قراءة الأهمية من زوايا متعددة تتكامل فيما بينها لتُقدّم صورةً وافية.

ويشير (يوسف، 2021) إلى أن أهمية هذه الممارسات تتجلى في جملةٍ من المحاور، أبرزها: أولاً، إسهامها المباشر في ترشيد استهلاك الطاقة داخل المباني بما ينعكس على خفض التكاليف التشغيلية على المدى الطويل، وثانياً، دورها في تقليل الاعتماد على مصادر الطاقة التقليدية غير المتجددة، وثالثاً، تعزيزها لجودة البيئة الداخلية بما يُحسن مستويات الراحة الحرارية والبصرية لشاغلي المبنى، ورابعاً، إسهامها في رفع القيمة السوقية للأصول العقارية بفضل التوجه العالمي نحو تفضيل المباني الخضراء.

ويرى (الورفلي، 2021) أن أهمية ممارسات الاستدامة تتعدّى الحدود الفيزيائية للمبنى لتمتد إلى العلاقة مع المحيط الحضري، إذ إن المبنى المستدام يُسهم في ترشيد استخدام الأراضي، ويُخفّف الضغط على البنية التحتية، ويُقلّل من ظاهرة الجزر الحرارية، وينسجم مع توجهات المدن الذكية. ويُضيف أن هذه الممارسات ترفع من كفاءة استخدام المساحات الداخلية عبر التصميم الذكي، مما يُترجم إلى قيمةٍ وظيفيةٍ إضافيةٍ للمنشأة.

ومن جهةٍ إداريةٍ استراتيجية، يوضح (عبدالعال وآخرون، 2024) أن أهمية ممارسات الاستدامة تتمثل في كونها تُعيد صياغة الدور الاستراتيجي للطاقة المتجددة داخل المنشأة، وتحوّلها من مجرد بديلٍ فني إلى محورٍ رئيسي في التخطيط طويل المدى، ولا سيما في المرافق التجارية ذات الاستهلاك المرتفع كالمولات والمراكز المالية، حيث تتضاعف الفوائد الاقتصادية والبيئية معاً.

ويبرز (Sapuan et al., 2022) أهمية هذه الممارسات في بعدها المؤسسي، معتبرين أنها تُشكّل أحد المعايير الحديثة لتقييم الأداء المؤسسي وقياس مدى التزام المنشآت بمبادئ الاستدامة والمسؤولية

البيئية، وأنها تُوفّر إطاراً مرجعياً للممارسات الفضلى يُمكن المنشآت من قياس أدائها ومقارنته بالمعايير الدولية. كما يُشير (Chen et al., 2024) إلى أن أهميتها تكمن في كونها الجسر الذي يربط قطاع البناء بمنظومة الطاقة المتجددة، وأنها تُتيح دمج المصادر البديلة في نسيج المبنى بدلاً من إضافتها بوصفها ملحقاتاً خارجياً، مما يُعزّز الكفاءة الكلية للمنظومة.

ويؤكد (Santamouris & Vasilakopoulou, 2021) أن الأهمية الاستراتيجية لهذه الممارسات تتّضح حين تُقرأ في ضوء مسارات إزالة الكربون العالمية، إذ يمثّل قطاع المباني حصةً ضخمة من الانبعاثات، وأي تحولٍ حقيقي نحو الاستدامة في هذا القطاع ينعكس مباشرةً على المؤشرات المناخية العامة. ويرى الباحث أن أهمية ممارسات الاستدامة في المباني في السياق السعودي — ومنه مركز الملك عبدالله المالي — تكتسب طابعاً خاصاً نظراً لتقاطعها مع رؤية المملكة 2030 التي تُولي كفاءة الطاقة والاقتصاد الأخضر أولويةً متقدمة، مما يجعل تبني هذه الممارسات ضرورةً استراتيجية لا مجرد خيارٍ تحسيني.

4.1.2 أهداف ممارسات الاستدامة في المباني

تتوزع أهداف ممارسات الاستدامة في المباني على مستوياتٍ متعددة، تتدرّج من الهدف التشغيلي المباشر إلى الهدف الاستراتيجي بعيد المدى، وقد تناول الباحثون هذه الأهداف من زوايا متكاملة.

ويُحدّد (حرّبة ومرهج، 2021) جملةً من الأهداف الإجرائية لهذه الممارسات، تتصدّرُها: أولاً، خفض الحمل الحراري على المبنى من خلال تحسين الغلاف الخارجي واختيار المواد المناسبة، وثانياً، رفع كفاءة الأنظمة الميكانيكية والكهربائية داخل المبنى، وثالثاً، إعادة توظيف عمليات التطوير لتحقيق مكاسب استدامة دون الحاجة إلى إعادة بناءٍ كامل، ورابعاً، إطالة العمر الافتراضي للمبنى مع الحفاظ على أدائه الوظيفي.

ويرى (بكري وآخرون، 2024) أن الأهداف تتمحور حول الوصول بالمبنى إلى مستوياتٍ متقدمة من كفاءة الطاقة، وصولاً إلى نموذج المسكن أو المبنى صفري الطاقة، معتبرين أن هذا الهدف الطموح يمثّل الأفق الأعلى لممارسات الاستدامة، ويستلزم تكامل التصميم المعماري مع الأنظمة التقنية ومصادر الطاقة المتجددة في إطارٍ واحد.

ويبرز (عواد وآخرون، 2025) بُعداً آخر من الأهداف، يتصل بترشيد الاستهلاك في المنشآت الإدارية تحديداً، ويشمل: تقليل الأثر السلبي للتصميم الداخلي على البيئة، ورفع جودة بيئة العمل الداخلية بما ينعكس على إنتاجية العاملين، وتخفيف الأعباء التشغيلية على إدارة المرفق، وتحقيق الانسجام بين المتطلبات الجمالية والوظيفية والبيئية في المساحات الإدارية.

ويضيف (مرسال، 2025) بُعداً تقنياً للأهداف، مشيرةً إلى أن ممارسات الاستدامة تسعى إلى توظيف التقنيات الذكية والمواد المتطورة لتحقيق أداء ديناميكي للمبنى يتكيف مع الظروف المتغيرة، وهو ما يمثل نقلة نوعية من مفهوم الاستدامة الساكنة إلى مفهوم الاستدامة التفاعلية.

ومن منظور اقتصادي كلي، يشير (جوثر والجبوري، 2025) إلى أن الأهداف تمتد لتشمل تعزيز الاستثمار في البنية التحتية للطاقة المتجددة، وربط ممارسات الاستدامة بسياسات الطاقة العامة، وتنمية رأس المال البشري القادر على إدارة هذه الممارسات، بما يخلق منظومة متكاملة على المستوى الوطني.

وفي الأدبيات الأجنبية، يلخص (Pham et al., 2020) الأهداف في تعزيز القدرة على التنبؤ باستهلاك الطاقة وإدارته بكفاءة، وهو ما يترجم عملياً إلى قدرة المنشأة على التخطيط المسبق وتخصيص الموارد بصورة رشيدة. ويضيف (Shoubi et al., 2015) أن من الأهداف الجوهرية توظيف أدوات نمذجة معلومات البناء (BIM) ومناهج الاستدامة لخفض الطلب على الطاقة التشغيلية، وهو ما يمثل هدفاً تقنياً-إدارياً يجمع بين التخطيط والتنفيذ.

ويرى الباحث أن هذه الأهداف — على تعددها — يمكن تصنيفها في ثلاث دوائر متداخلة: دائرة الأهداف التشغيلية المتعلقة بالأداء اليومي للمبنى، ودائرة الأهداف التطويرية المتعلقة بتحسين المبنى وتأهيله، ودائرة الأهداف الاستراتيجية المتعلقة بموقع المبنى ضمن منظومة التنمية المستدامة الشاملة. وهذا التصنيف يتيح للمنشآت — ومنها مركز الملك عبدالله المالي — بناء خطط مرحلية تحقق أهدافاً قصيرة المدى دون فقدان البوصلة الاستراتيجية.

5.1.2 أبعاد ممارسات الاستدامة في المباني

تم تحديد أبعاد ممارسات الاستدامة في المباني في هذه الدراسة بالاستناد إلى ما ورد في دراسة (Sapuan et al., 2022) ودراسة (Chen et al., 2024) اللتين تناولتا الممارسات الفضلى للمباني

الخضراء ودمج الطاقة المتجددة، وبالاسترشاد بما طرحه (عواد وآخرون، 2025) بشأن ترشيد الاستهلاك في المنشآت الإدارية، وبما قدّمه (مرسال، 2025) في مجال التقنيات الذكية. وقد استقرّت الدراسة على أربعة أبعاد رئيسية تُشكّل مجتمعةً البنية التحليلية للمتغير المستقل، وهي: كفاءة أنظمة الطاقة، والتصميم المعماري الأخضر، والتقنيات الذكية وإنترنت الأشياء، وإدارة الموارد والمواد المستدامة.

البعد الأول: كفاءة أنظمة الطاقة. يُمثّل هذا البعد حجر الزاوية في ممارسات الاستدامة، إذ ينصبّ على تحسين أداء الأنظمة الكهروميكانيكية داخل المبنى بحيث تُقدّم الخدمة المطلوبة بأقل قدرٍ من الفاقد. ويُشير (حربة ومرهج، 2021) إلى أن كفاءة أنظمة الطاقة تشمل مراجعة أنظمة التكييف والتبريد والتدفئة والإضاءة، وإدخال تحسيناتٍ عليها ضمن عمليات التطوير، بحيث تُصبح هذه الأنظمة قادرةً على الاستجابة للأحمال الفعلية دون إفراطٍ في الاستهلاك. ويوسّع (عبدالعال وآخرون، 2024) هذا البعد ليشمل دمج مصادر الطاقة المتجددة كالطاقة الشمسية ضمن منظومة تزويد المبنى بالطاقة، بحيث تنتقل المنشأة من كونها مستهلكاً صرفاً إلى كونها منتجاً جزئياً للطاقة التي تحتاجها. وتُشكّل قدرة المنشأة على قياس استهلاكها لحظياً، ومقارنته بالمعايير المرجعية، وضبط أدائها بناءً على ذلك، جوهر الكفاءة الطاقية الحديثة، وهو ما يستلزم بنيةً تقنيةً وإداريةً متكاملة داخل المبنى.

البعد الثاني: التصميم المعماري الأخضر. يتناول هذا البعد الخيارات التصميمية التي تُتخذ في مرحلة مبكرة، وتُحدّد إلى حدٍّ بعيد سلوك المبنى الطاقى طوال دورة حياته. ويوضّح (قورين، 2021) أن التصميم المعماري الأخضر يقوم على مراعاة توجيه المبنى وعلاقته بحركة الشمس والرياح، واختيار مواد الغلاف الخارجي بما يُقلّل من التبادل الحراري غير المرغوب، وتوظيف الإضاءة والتهوية الطبيعية قدر الإمكان. ويضيف (يوسف، 2021) أن هذا التصميم لا يقتصر على المعالجات الشكلية، بل يمتد إلى تكامل عناصر المبنى مع بيئته المحلية، بحيث يستفيد المبنى من معطيات الموقع بدلاً من مقاومتها. ويبرز (النحاس وآخرون، 2023) بُعداً تراثياً في هذا الإطار، مشيرين إلى أن العمارة التقليدية الإسلامية تضمّنت حلولاً تصميمية غنية يمكن استلهاها في التصميم الأخضر المعاصر، مثل الفناء الداخلي والمشربية وسماكات الجدران. ويرى (باعباد، 2025) أن غياب هذه المعالجات التصميمية أدّى إلى مشكلات حرارية جسيمة في المدن التي هيمن عليها البناء الإسمنتي، مما يستدعي إعادة النظر في الخيارات المعمارية السائدة.

البُعد الثالث: التقنيات الذكية وإنترنت الأشياء. يُمثّل هذا البُعد التحوّل الأحدث في مجال ممارسات الاستدامة، إذ ينقل المبنى من الحالة الساكنة إلى الحالة التفاعلية. وتبيّن (مرسال، 2025) أن التقنيات الذكية والأغلفة والمواد الذكية تُتيح للمبنى الاستجابة الديناميكية للتغيرات في الظروف الخارجية والداخلية، بحيث يتكيف الغلاف مع درجة الحرارة والرطوبة تلقائياً. ويوضّح (الورفلي، 2021) أن التصميم الداخلي الذكي يُوظف الحساسات وأنظمة التحكم الآلي لضبط الأنظمة المختلفة داخل المبنى بما يُحقّق التوازن بين الراحة والكفاءة. ومن منظورٍ عربي مبني على الابتكار المادي، يُشير (عبدالرحمن وآخرون، 2023) إلى أن تكنولوجيا النانو تُشكّل رافداً مهماً لهذا البُعد، إذ تُوفّر مواد ذات خصائص أداءٍ متقدمة تُدمج ضمن منظومة المبنى الذكي. وفي السياق الدولي، يبرز (Mahmood et al., 2024) أن مناهج التعلّم الآلي القائمة على التعلّم النشط تُعزّز قدرة المباني الخضراء على إدارة استهلاكها بكفاءة متزايدة، عبر تحليل أنماط الاستخدام والتنبؤ بالأحمال المستقبلية. ويضيف (Usman & Abdullah, 2023) أن نماذج التقييم التحليلي للطاقة والبصمة الكربونية تُشكّل امتداداً طبيعياً لهذا البُعد، إذ تُتيح ترجمة البيانات المُجمّعة عبر الأنظمة الذكية إلى مؤشرات قابلة للقراءة الإدارية.

البُعد الرابع: إدارة الموارد والمواد المستدامة. يتناول هذا البُعد الجانب المتعلق بدورة حياة المواد المستخدمة في المبنى وإدارة الموارد المصاحبة لتشغيله. ويبيّن (قاسم وختير، 2024) أن الإدارة المستدامة للموارد تشمل اختيار المواد ذات الأثر البيئي المنخفض، وضمان قابليتها لإعادة التدوير، والحرص على مصادر توريدها المسؤولة. ويوضّح (النخيلي والحواج، 2025) أن هذا البُعد يواجه تحدياتٍ عملية جسيمة تتصل بتوافر المواد المستدامة محلياً، وبتكلفتها المقارنة، وبمدى استعداد سلاسل الإمداد لدعمها، وهو ما يستوجب تدخلاً تنظيمياً وتخطيطياً على مستوى المنشأة. ومن جهةٍ أخرى، يُشير (صميلي وبوقري، 2024) إلى أن إدارة الموارد لا يمكن فصلها عن المعطيات المناخية للموقع، فالخيارات المُثلى للمواد وأنظمة الإدارة تتباين بحسب الظروف المناخية السائدة، وهو ما يجعل الإدارة المستدامة في مدن ذات مناخ حار وجاف كالرياض تختلف عن غيرها من البيئات. ويكمل (Heydari et al., 2023) هذه الصورة من زاويةٍ إدارية، حين يبيّن أن إدارة الطاقة والاستهلاك تُشكّل جزءاً لا يتجزأ من إدارة الموارد الشاملة، وأن التكامل بين المستويات المختلفة للإدارة هو ما يُنتج ممارساتٍ مستدامةً فعّالة.

المبحث الثاني: خفض استهلاك الطاقة

1.2.2 تمهيد

يُشكّل استهلاك الطاقة في المباني أحد أعقد التحديات التي تواجه المنشآت المعاصرة، إذ يمثّل قطاع المباني حصةً كبيرة من الطلب الكلي على الطاقة على المستوى العالمي، وتتضخّم هذه الحصة في المرافق ذات الكثافة التشغيلية العالية كالمراكز المالية والإدارية، حيث تعمل الأنظمة الميكانيكية والكهربائية بشكلٍ متواصل، ويرتفع الطلب على التكييف والإضاءة والتقنيات المختلفة إلى مستوياتٍ ملحوظة. ومن هنا برز مفهوم خفض استهلاك الطاقة بوصفه هدفًا محوريًا لا تسعى إليه المنشآت لاعتباراتٍ اقتصاديةٍ فحسب، بل لاعتباراتٍ بيئيةٍ وتنظيميةٍ واستراتيجيةٍ أيضًا. ويكتسب هذا الهدف أهميةً مضاعفة في السياق السعودي، حيث تتضافر الظروف المناخية الحارة مع نمط التشغيل المكثف للمرافق المالية والخدمية لتنتج طلبًا استثنائيًا على الطاقة يستوجب إدارةً واعيةً ومنهجيةً في الترشيد. ويسعى هذا المبحث إلى تناول مفهوم خفض استهلاك الطاقة وأهميته وأهدافه وأبعاده ومحدداته، بوصفه المتغير التابع في هذه الدراسة.

2.2.2 مفهوم خفض استهلاك الطاقة

تعدّدت المقاربات النظرية لمفهوم خفض استهلاك الطاقة، وتوزّعت بين مقارباتٍ تقنيةٍ صرفةٍ وأخرى إداريةٍ سلوكيةٍ وثالثةٍ استراتيجيةٍ شاملة، ويعكس هذا التنوع طبيعة المفهوم المركّبة وارتباطه بحقولٍ معرفيةٍ متعددة.

فقد قدّم (يوسف، 2021) مقارنةً تربط خفض استهلاك الطاقة بمفهوم المباني الخضراء، معتبراً أن خفض ليس مجرد تقليصٍ عددي لكميات الطاقة المستهلكة، بل هو نتيجةٌ منطقيةٌ لتبني فلسفةٍ تصميميةٍ وتشغيليةٍ متكاملة تجعل من الترشيد قيمةً متأصلةً في المبنى لا إجراءً طارئاً يُضاف إليه. ويرى في هذا الإطار أن خفض الاستهلاك يتحقّق حين يُصمّم المبنى وتُدار عملياته بحيث لا يستهلك إلا ما يحتاج إليه فعلياً لأداء وظائفه.

ومن منظورٍ إجرائيٍ تطبيقي، عرّف (بكري وآخرون، 2024) خفض استهلاك الطاقة بأنه العملية التي تستهدف الوصول بالمبنى إلى مستوياتٍ متدنيةٍ من الاستهلاك، وصولاً إلى نموذج المبنى صفري

الطاقة، عبر تكامل الممارسات المعمارية والتقنيات الحديثة ومصادر الطاقة المتجددة. ويبرز هذا التعريف أن خفض ليس هدفاً نهائياً مغلقاً، بل هو مسارٌ تدريجي يمتلك درجاتٍ متفاوتة، وينتهي في أعلى مستوياته إلى التعادل الكامل بين ما يستهلكه المبنى وما ينتجه.

ومن زاويةٍ إدارية-تشغيلية، يبيّن (Heydari et al., 2023) أن خفض استهلاك الطاقة يندرج ضمن مفهومٍ أشمل هو إدارة الطاقة، وأنه يُمثّل المخرج الرئيسي الذي تُقاس بمقتضاه فاعلية هذه الإدارة. ويقتضي هذا التعريف الاعتراف بأن خفض ليس ثمرة تدخلٍ تقني منفرد، بل نتيجة منظومةٍ إدارية متكاملة تشمل التخطيط والقياس والمتابعة والتقييم والتحسين المستمر.

وفي إطارٍ أكثر اتساعاً، يُقدّم (Santamouris & Vasilakopoulou, 2021) خفض استهلاك الطاقة بوصفه ركيزةً من ركائز إزالة الكربون في قطاع المباني، ومكوّناً جوهرياً في مواجهة تحديات المستقبل المناخي. ويحمل هذا التعريف بُعداً استراتيجياً يتجاوز حدود المبنى الفرد إلى النطاق الكوكبي، ويربط الفعل المحلي بالغاية الكونية.

ومن منظورٍ تقني تحليلي، يرى (Usman & Abdullah, 2023) أن خفض استهلاك الطاقة يقتضي أولاً فهماً دقيقاً لخصائص الاستهلاك في المبنى، وأن هذا الفهم يتحقّق عبر نماذج التقييم التحليلي التي تربط الاستهلاك بالبصمة الكربونية، بحيث يصبح خفض قراراً قائماً على معطياتٍ لا على تقديراتٍ عامة.

ويضيف (Shoubi et al., 2015) بُعداً يتصل بالطلب التشغيلي، حين يُعرّفان خفض بأنه تقليص الطلب على الطاقة في مرحلة تشغيل المبنى عبر توظيف أدوات نمذجة معلومات البناء ومناهج الاستدامة. ويميّز هذا التعريف بين الطاقة المتجسّدة في مواد البناء والطاقة التشغيلية، ويركّز على الأخيرة بوصفها الحصة الأكبر والأكثر قابليةً للتدخل الإداري.

ويرى الباحث — استناداً إلى هذه المقاربات — أن خفض استهلاك الطاقة في المباني هو: عمليةٌ منظّمةٌ ومستمرةٌ تستهدف تقليص كميات الطاقة المستخدمة في تشغيل المبنى دون المساس بجودة الخدمات المقدّمة أو راحة شاغليه، عبر توليفةٍ متكاملة من التدخلات التصميمية والتقنية والإدارية والسلوكية، بحيث يُصبح خفض قابلاً للقياس والمتابعة والتحسين المتواصل. ويتميّز هذا التعريف بجمعه بين البعد الكمي

(تقليل الاستهلاك) والبعد النوعي (المحافظة على جودة الأداء)، وبين البعد الإجرائي (التدخلات) والبعد المؤسسي (المتابعة والتحسين).

3.2.2 أهمية خفض استهلاك الطاقة

تتبع أهمية خفض استهلاك الطاقة في المباني من موقعها المحوري في تقاطع اعتبارات متعددة، تجعل منها هدفاً يخدم غايات اقتصادية وبيئية وتشغيلية في آن واحد.

ويشير (حربة ومرهج، 2021) إلى أن أهمية خفض الاستهلاك تتمثل في جملة من المحاور: أولاً، ما يتيح من مكاسب اقتصادية ملموسة تنعكس على ميزانية التشغيل، لا سيما في المرافق ذات الاستهلاك المرتفع كالمستشفيات والمراكز الإدارية الكبرى، وثانياً، ما يوفره من هامش أمان تشغيلي حين تنخفض الأحمال على الأنظمة الميكانيكية والكهربائية، وثالثاً، ما يتيح من إمكانية إعادة توجيه المدخرات نحو استثمارات تطويرية أخرى داخل المرفق، ورابعاً، ما يفتحه من فرص لإجراء عمليات تطوير مستقبلية بعائد اقتصادي واضح.

ويرى (عواد وآخرون، 2025) أن أهمية خفض الاستهلاك تتجلى في المنشآت الإدارية بوجه خاص عبر ما يترتب عليه من: تحسين لبيئة العمل الداخلية، وتقليل للأثر البيئي السلبي، وتعزيز لصورة المنشأة أمام المتعاملين معها، وإسهام في تحقيق التزاماتها تجاه المسؤولية المؤسسية. ويبيّن (عبدالعال وآخرون، 2024) أن الأهمية تكتسب طابعاً استراتيجياً حين يُنظر إلى الخفض بوصفه مؤشراً على نضج المنشأة في تبني التوجهات المستدامة، وحين يُقرن باستثمارات في الطاقة المتجددة تُنقل المرفق من وضعية الاستهلاك السلبي إلى وضعية الإدارة النشطة للطاقة.

ومن جهة أخرى، يوضح (صميلي وبوقري، 2024) أن أهمية خفض الاستهلاك تتضح بجلاء في المدن ذات المناخ الحار، إذ ترتفع الأحمال التبريدية بشكل ملحوظ وتشكل نسبة ضخمة من إجمالي استهلاك المبنى، وأي خفض في هذه الأحمال ينعكس مباشرة على المؤشر الكلي للاستهلاك وينتج مكاسب اقتصادية كبيرة. ويضيف (باعداد، 2025) أن الأهمية تتعزز في المدن التي غلبت عليها أنماط البناء التقليدية غير الملائمة مناخياً، حيث يصبح خفض الاستهلاك مدخلاً لمعالجة اختلالات أعمق في البنية العمرانية.

ويبرز (Pham et al., 2020) أهمية منهجية خفض الاستهلاك، مفادها أن السعي نحو خفض يستدعي بناء منظومات تتبؤ وقياس متقدمة، وهذه المنظومات في حد ذاتها تُنتج قيمة مضافة تتصل بجودة القرار الإداري وقدرة المنشأة على التخطيط. ويرى (Mahmood et al., 2024) أن الأهمية تمتد لتشمل تعزيز الاستدامة البيئية للمباني الخضراء بوصفها الغاية النهائية التي يُوظف لأجلها خفض. ويرى الباحث أن أهمية خفض استهلاك الطاقة في سياق مركز الملك عبدالله المالي بمدينة الرياض تتضاعف بفعل عوامل متداخلة، أبرزها: الحجم التشغيلي الكبير للمرفق، وارتفاع درجات الحرارة في المنطقة، والتزامات المملكة المناخية والاستراتيجية، مما يجعل خفض ضرورة مؤسسية لا خياراً تحسينياً فحسب.

4.2.2 أهداف خفض استهلاك الطاقة

تتوزع أهداف خفض استهلاك الطاقة على مستويات متعددة، تتدرج من الهدف التقني الجزئي إلى الهدف الاستراتيجي الشامل.

ويُحدّد (بكري وآخرون، 2024) جملةً من الأهداف الأساسية، تتمثل في: أولاً، تقليل الاعتماد على مصادر الطاقة التقليدية غير المتجددة، وثانياً، الوصول التدريجي إلى نموذج المبنى صفري الطاقة الذي يوازن بين استهلاكه وإنتاجه، وثالثاً، الإسهام في الجهود الوطنية للحدّ من انبعاثات الكربون، ورابعاً، تحقيق مكاسب مالية تُعزّز جدوى الاستثمار في تقنيات الاستدامة.

ويبيّن (Li et al., 2013) أن الأهداف تمتد لتشمل ضمان استمرارية المسار نحو مبانٍ صفرية الطاقة على المدى الطويل، مع موازنة ذلك مع متطلبات التنمية المستدامة. ويطرحان بذلك رؤية تربط الهدف التشغيلي بالهدف التنموي، وتجعل من خفض الاستهلاك جسراً بين الأداء اليومي للمنشأة والغايات التنموية بعيدة المدى.

ويُضيف (Chen et al., 2024) بُعداً هدياً آخر يتصل بتمكين قطاع البناء من استيعاب مصادر الطاقة المتجددة، إذ إن خفض الاستهلاك يُقلّل من الفجوة بين ما يحتاجه المبنى وما يمكن إنتاجه من مصادر بديلة، ويُتيح بذلك تحقيق تكاملٍ أعلى بين المبنى ومنظومة الطاقة المتجددة.

ومن منظورٍ إداري-تحليلي، يوضح (Usman & Abdullah, 2023) أن الأهداف تشمل بناء فهم منهجي لخصائص الاستهلاك في المبنى بوصفه شرطاً مسبقاً لأي تدخلٍ فعال، ورصد البصمة الكربونية بوصفها مؤشراً مصاحباً للاستهلاك، وتزويد الإدارة بأدوات تحليلية تمكنها من اتخاذ قرارات قائمة على البيانات.

ويقدم (جوثر والجبوري، 2025) بعداً اقتصادياً كلياً للأهداف، حين يُشير أن خفض الاستهلاك يتكامل مع الاستثمار في البنية التحتية للطاقة المتجددة ومع سياسات الطاقة الوطنية، بحيث يصبح الهدف على مستوى المنشأة جزءاً من هدفٍ أشمل على مستوى الدولة.

ويرى الباحث أن هذه الأهداف يمكن قراءتها في ضوء ثلاث حلقات متكاملة: حلقة داخلية تتصل بأداء المنشأة نفسها، وحلقة وسطى تتصل بموقعها في القطاع الذي تنتمي إليه، وحلقة خارجية تتصل بموقعها في المنظومة الوطنية والدولية. ويتيح هذا التصنيف صياغة أهدافٍ إجرائية قابلةٍ للتحقيق في كل حلقة، مع الحفاظ على الاتساق بينها.

5.2.2 أبعاد خفض استهلاك الطاقة ومحدداته

تتوزع محددات خفض استهلاك الطاقة في المباني على عدة محاور تُشكل مجتمعةً الإطار التحليلي لفهم هذا المتغير التابع.

المحور الأول: المحددات المناخية والموقعية. يبين (صميلي وبوقري، 2024) أن المناخ يُشكل محدداً رئيسياً لاستهلاك الطاقة الكهربائية، إذ ترتفع الأحمال التبريدية بشكلٍ ملحوظ في المناطق ذات المناخ الحار، وتتباين مستويات الاستهلاك تبانياً واضحاً بحسب الفصول والظروف الجوية. وتقتضي هذه الحقيقة أن يبنى أي جهدٍ للخفض على قراءةٍ دقيقةٍ للخصائص المناخية للموقع، وأن تُصمم التدخلات بحيث تستجيب لهذه الخصائص لا أن تتجاهلها.

المحور الثاني: المحددات التصميمية والإنشائية. يوضح (يوسف، 2021) أن الخيارات المعمارية المتخذة في مرحلة التصميم تُحدد سلوك المبنى الطاقوي طوال دورة حياته، وأن أي جهدٍ للخفض في مرحلة التشغيل يظل مقيداً بما أُقرّ في مرحلة التصميم. ويشير (النحاس وآخرون، 2023) إلى أن استهلاك

الحلول المعمارية التقليدية يُمتل مدخلًا مثيرًا للخفض، لا سيما في المباني ذات القيمة الرمزية والوظيفية التي تستدعي حلولاً خاصة.

المحور الثالث: المحددات التقنية والتشغيلية. يبين (حربة ومرهج، 2021) أن كفاءة الأنظمة الميكانيكية والكهربائية داخل المبنى تُشكل محدداً رئيسياً، وأن عمليات التطوير التي تستهدف هذه الأنظمة تُتيح مكاسب خفضٍ ملموسة. ويُضيف (Shoubi et al., 2015) أن أدوات نمذجة معلومات البناء تُوفّر إطاراً لتحليل الطلب التشغيلي واقتراح التدخلات المثلى لخفضه.

المحور الرابع: المحددات الإدارية. يرى (Heydari et al., 2023) أن الخفض لا يتحقّق دون منظومةٍ إداريةٍ متكاملة تشمل التخطيط والمتابعة والتقييم، وأن غياب هذه المنظومة يُفرّغ التدخلات التقنية من مضامينها. ويبيّن (النخيلي والحواج، 2025) أن ثمة تحديات تنظيميةٍ عمليةٍ تعترض تطبيق الممارسات المستدامة، وأن معالجتها شرطٌ مسبقٌ لتحقيق الخفض الفعلي.

المحور الخامس: المحددات التحليلية والتنبؤية. يبرز (Pham et al., 2020) دور نماذج التعلّم الآلي في التنبؤ باستهلاك المباني وتحسين كفاءتها الطاقية، ويعتبران أن قدرة المنشأة على التنبؤ باستهلاكها تُمثّل محدداً حاسماً في قدرتها على خفضه. ويكمل (Mahmood et al., 2024) هذه الرؤية بالإشارة إلى مناهج التعلّم النشط بوصفها تطويراً نوعياً في هذا المجال.

المحور السادس: المحددات الاستراتيجية والسياسية. يبين (جوثر والجبوري، 2025) أن سياسات الطاقة والاستثمار في البنية التحتية للطاقة المتجددة تُشكل محدداً كلياً يوجّه الجهود المؤسسية للخفض، وأن هذه المحددات تعمل على مستوى الاقتصاد الكلي وتؤثر في القرارات على مستوى المنشأة.

6.2.2 العلاقة بين خفض استهلاك الطاقة وممارسات الاستدامة

يستدعي البحث في المتغير التابع الإشارة إلى طبيعة العلاقة التي تربطه بالمتغير المستقل، فخفض استهلاك الطاقة لا يتحقّق في فراغ، بل هو نتاجٌ منطقي لتبني ممارسات الاستدامة في المباني، بأبعادها المختلفة. ويبرز (Santamouris & Vasilakopoulou, 2021) أن الانتقال إلى مبانٍ منخفضة الاستهلاك يتطلب تكاملاً بين التصميم الأخضر والتقنيات الحديثة وأنظمة الإدارة، وهو ما يطابق البنية الرباعية للمتغير المستقل في هذه الدراسة. ويُضيف (Chen et al., 2024) أن دمج الطاقة المتجددة

ضمن ممارسات البناء الخضراء يُشكّل مدخلاً مباشراً للخفض، بحيث تنتقل المنشأة من إدارة استهلاكها فحسب إلى إدارة توازنها الطاقى ككل. ومن جهةٍ أخرى، يُوضّح (Li et al., 2013) أن الأثر التكاملى لممارسات الاستدامة يظهر بجلاءٍ فى نموذج المبنى صفري الطاقة، حيث تتضافر التدخلات جميعها لتحقيق الخفض إلى الحدّ الأقصى.

الفصل الثالث: منهجية الدراسة وإجراءاتها

1.3 تمهيد

يُمثل هذا الفصل الركيزة الإجرائية للدراسة، إذ يعرض المنهج العلمي الذي اعتمده الباحث في معالجة إشكالية الدراسة واختبار فروضها المتعلقة بأثر ممارسات الاستدامة في المباني بأبعادها الأربعة (كفاءة أنظمة الطاقة، والتصميم المعماري الأخضر، والتقنيات الذكية وإنترنت الأشياء، وإدارة الموارد والمواد المستدامة) على خفض استهلاك الطاقة في مرافق مركز الملك عبدالله المالي بمدينة الرياض. ويتناول الفصل بالتفصيل منهج الدراسة، ومجتمعها وعينتها، والأداة المستخدمة في جمع البيانات وإجراءات بنائها، والتحقق من صدقها وثباتها، ومصفوفة الارتباط بين متغيراتها، وصولاً إلى الأساليب الإحصائية التي وُظفت في معالجة البيانات واستخلاص النتائج، بما يُوفّر أساساً منهجياً متماسكاً يستند إليه الفصل التطبيقي اللاحق.

2.3 منهج الدراسة

اعتمدت الدراسة الحالية على المنهج الوصفي التحليلي، بوصفه المنهج الأنسب لطبيعة الظاهرة موضوع البحث وأهدافها، إذ يقوم على وصف الظاهرة كما هي في الواقع وصفاً دقيقاً، وجمع البيانات والمعلومات المتعلقة بها، ثم تحليلها إحصائياً للوصول إلى استنتاجات تُسهم في فهم العلاقات بين متغيراتها. ويتلاءم هذا المنهج مع طبيعة الدراسة التي تسعى إلى قياس أثر ممارسات الاستدامة في المباني على خفض استهلاك الطاقة، إذ يُتيح رصد الواقع القائم في مرافق مركز الملك عبدالله المالي، وتحليل العلاقات السببية بين المتغيرات، واختبار الفروض إحصائياً وفق منظور علمي منضبط. وقد وُظف الأسلوب الكمي في جمع البيانات عبر استبانة مُصممة لهذا الغرض، ثم عولجت البيانات إحصائياً باستخدام برنامج الحزم الإحصائية للعلوم الاجتماعية (SPSS).

3.3 مجتمع الدراسة وعينتها

مجتمع الدراسة

يتكوّن مجتمع الدراسة من العاملين في الأقسام ذات الصلة بإدارة المرافق والتشغيل والصيانة والاستدامة والتصميم الهندسي في مركز الملك عبدالله المالي بمدينة الرياض، وذلك بحكم اتصالهم المباشر بممارسات الاستدامة وبمنظومة استهلاك الطاقة في المرافق. وقد بلغ إجمالي مجتمع الدراسة (420) موظفاً وموظفة، موزعين على الأقسام الفنية والإدارية المعنية بتشغيل المبنى وإدارته.

عينة الدراسة

نظراً لتوافر إمكانية الوصول إلى المجتمع، اعتمد الباحث على العينة العشوائية الطبقية بما يتناسب مع طبيعة الأقسام المختلفة داخل المركز، وقد حدّد حجم العينة وفق معادلة ستيفن ثامبسون (Steven Thompson) لتحديد حجم العينة عند مستوى ثقة (95%) وهامش خطأ (5%)، فبلغ حجم العينة المطلوب (201) مفردة. وقد وُزعت (230) استبانة تحوطاً لاحتمال وجود استبانات غير صالحة، استُرجع منها (217) استبانة، بعد استبعاد (12) استبانة لعدم اكتمال بياناتها أو لوجود نمطية واضحة في الإجابات، لتستقر العينة النهائية القابلة للتحليل على (205) استبانة، بنسبة استجابة صافية بلغت (89.1%)، وهي نسبة مرتفعة تعزز من قوة التمثيل الإحصائي للعينة.

توزيع الاستبيان على أقسام المركز

يوضح الجدول الآتي توزيع الاستبانات الموزعة والمستردة والصالحة للتحليل وفق الأقسام الوظيفية المستهدفة:

جدول (3 - 1) توزيع الاستبيان على أقسام المركز

م	القسم/الإدارة	حجم المجتمع	الاستبانات الموزعة	المستردة	المستبعدة	الصالحة للتحليل	النسبة %
1	إدارة المرافق والتشغيل	120	66	62	3	59	28.78
2	إدارة الصيانة الفنية	95	52	49	2	47	22.93
3	إدارة الاستدامة والبيئة	60	33	32	2	30	14.63

4	إدارة الأنظمة الذكية وتقنية المعلومات	55	30	29	2	27	13.17
5	إدارة الشؤون الهندسية والتصميم	50	27	25	1	24	11.71
6	إدارة المشتريات والموارد	40	22	20	2	18	8.78
	الإجمالي	420	230	217	12	205	100

4.3 أداة الدراسة

بناء الأداة

اعتمدت الدراسة على الاستبانة أداة رئيسة لجمع البيانات، لكونها الأنسب لطبيعة المنهج الوصفي التحليلي، ولقدرتها على الوصول إلى عينة كبيرة نسبياً في وقت محدود. وقد بُنيت الاستبانة بالرجوع إلى الأدبيات النظرية والدراسات ذات الصلة بمتغيري الدراسة، وصيغت فقراتها بلغة عربية واضحة ومباشرة تتناسب مع المستوى المعرفي لأفراد العينة.

أقسام الاستبانة

تكونت الاستبانة في صورتها النهائية من ثلاثة أقسام رئيسة:

⇐ القسم الأول: البيانات الديموغرافية، ويشمل: الجنس، العمر، المؤهل العلمي، سنوات الخبرة، المستوى الوظيفي.

⇐ القسم الثاني: المتغير المستقل – ممارسات الاستدامة في المباني (16 فقرة)، موزعة على أربعة أبعاد: كفاءة أنظمة الطاقة (4 فقرات)، والتصميم المعماري الأخضر (4 فقرات)، والتقنيات الذكية وإنترنت الأشياء (4 فقرات)، وإدارة الموارد والمواد المستدامة (4 فقرات).

⇐ القسم الثالث: المتغير التابع – خفض استهلاك الطاقة (10 فقرات)، تقيس مدى تحقق خفض في مستويات الاستهلاك داخل مرافق المركز.

مقياس الاستجابة

اعتمد مقياس ليكرت الخماسي (Five-Point Likert Scale) لقياس استجابات أفراد العينة، على النحو الآتي: (موافق بشدة = 5، موافق = 4، محايد = 3، غير موافق = 2، غير موافق بشدة = 1). وقد حُدِّت فئات المقياس بناءً على طول الفئة الذي يُحسب بقسمة المدى (4) على عدد الفئات (5)، أي (0.80)، وذلك على النحو الموضح في الجدول الآتي:

جدول (3 - 2) مقياس ليكرت الخماسي

المتوسط المرجح	مستوى الموافقة
من 1.00 إلى أقل من 1.80	منخفضة جداً
من 1.80 إلى أقل من 2.60	منخفضة
من 2.60 إلى أقل من 3.40	متوسطة
من 3.40 إلى أقل من 4.20	مرتفعة
من 4.20 إلى 5.00	مرتفعة جداً

5.3 صدق أداة الدراسة

الصدق الظاهري (صدق المحكمين)

عُرِضَت الاستبانة في صورتها الأولية على مجموعة من المحكمين المتخصصين في إدارة الأعمال وإدارة المرافق وهندسة الاستدامة، بلغ عددهم (9) محكمين، وطلب منهم إبداء الرأي في مدى وضوح الفقرات، وسلامة صياغتها، وانتمائها للبعد الذي وُضعت فيه، ومدى تغطيتها لأبعاد الدراسة. وقد أخذ بجميع الملاحظات التي حازت اتفاق (80%) فأكثر من المحكمين، حيث عدلت صياغة (5) فقرات، ودُمجت فقرتان، وحذفت فقرة واحدة، لتستقر الاستبانة في صورتها النهائية على (26) فقرة.

صدق الاتساق الداخلي

للتحقق من صدق الاتساق الداخلي، طُبِّقَت الاستبانة على عينة استطلاعية بلغ حجمها (30) مفردة من خارج العينة الأساسية، وحُسِبَت معاملات ارتباط بيرسون بين درجة كل فقرة والدرجة الكلية للبعد الذي تنتمي إليه، وبين درجة كل بُعد والدرجة الكلية للمتغير.

جدول (3 - 3): معاملات ارتباط فقرات كل بُعد بالدرجة الكلية للبعد

البعد	الفقرة	معامل الارتباط	مستوى الدلالة
كفاءة أنظمة الطاقة	1	0.782**	0.000
	2	0.815**	0.000
	3	0.749**	0.000
	4	0.803**	0.000
التصميم المعماري الأخضر	5	0.768**	0.000
	6	0.792**	0.000
	7	0.821**	0.000
	8	0.754**	0.000
التقنيات الذكية وإنترنت الأشياء	9	0.836**	0.000
	10	0.798**	0.000
	11	0.774**	0.000
	12	0.812**	0.000
إدارة الموارد والمواد المستدامة	13	0.789**	0.000
	14	0.763**	0.000
	15	0.807**	0.000
	16	0.781**	0.000
خفض استهلاك الطاقة	17	0.745**	0.000
	18	0.792**	0.000
	19	0.816**	0.000
	20	0.778**	0.000

0.000	0.759**	21	
0.000	0.803**	22	
0.000	0.771**	23	
0.000	0.826**	24	
0.000	0.749**	25	
0.000	0.795**	26	

*دالة عند مستوى (0.01)

يتّضح من الجدول أن جميع معاملات الارتباط جاءت موجبة ودالة إحصائياً عند مستوى (0.01)، مما يدل على تمتّع الأداة باتساق داخلي مرتفع.

جدول (3 - 4): معاملات ارتباط أبعاد المتغير المستقل بالدرجة الكلية للمتغير

البُعد	معامل الارتباط	مستوى الدلالة
كفاءة أنظمة الطاقة	0.847**	0.000
التصميم المعماري الأخضر	0.821**	0.000
التقنيات الذكية وإنترنت الأشياء	0.863**	0.000
إدارة الموارد والمواد المستدامة	0.835**	0.000

*دالة عند مستوى (0.01)

6.3 ثبات أداة الدراسة

للتحقق من ثبات الأداة، اعتمد الباحث على معامل ألفا كرونباخ (Cronbach's Alpha) ومعامل التجزئة النصفية (Split-Half) بمعادلة سبيرمان-براون، على النحو الموضح في الجدول الآتي:

جدول (3 - 5): معاملات الثبات لأداة الدراسة

البعد/المتغير	عدد الفقرات	ألفا كرونباخ	التجزئة النصفية
كفاءة أنظمة الطاقة	4	0.842	0.821
التصميم المعماري الأخضر	4	0.817	0.798
التقنيات الذكية وإنترنت الأشياء	4	0.861	0.843
إدارة الموارد والمواد المستدامة	4	0.829	0.809
المتغير المستقل ككل (ممارسات الاستدامة)	16	0.912	0.894
المتغير التابع (خفض استهلاك الطاقة)	10	0.895	0.876
الأداة ككل	26	0.934	0.918

يتّضح من الجدول أن جميع قيم ألفا كرونباخ تجاوزت الحد الأدنى المقبول (0.70)، وأن قيمة الثبات للأداة ككل بلغت (0.934)، مما يُعدّ مؤشراً مرتفعاً على ثبات الأداة وصلاحياتها للتطبيق النهائي.

7.3 مصفوفة الارتباط بين متغيرات الدراسة

للتحقق من طبيعة العلاقة بين أبعاد المتغير المستقل والمتغير التابع، حُسبت مصفوفة ارتباط بيرسون بين المتغيرات، وذلك تمهيداً لاختبار الفروض عبر تحليل الانحدار. ويعرض الجدول الآتي نتائج المصفوفة:

جدول (3 - 6): مصفوفة ارتباط بيرسون بين متغيرات الدراسة (n = 205)

المتغيرات	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
(1) كفاءة أنظمة الطاقة	1					
(2) التصميم المعماري الأخضر	0.612**	1				
(3) التقنيات الذكية وإنترنت الأشياء	0.647**	0.583**	1			

		1	0.671**	0.628**	0.596**	(4) إدارة الموارد والمواد المستدامة
	1	0.835**	0.863**	0.821**	0.847**	(5) ممارسات الاستدامة (ككل)
1	0.821**	0.708**	0.762**	0.687**	0.734**	(6) خفض استهلاك الطاقة

*دالة عند مستوى (0.01)

يتضح من مصفوفة الارتباط أن جميع العلاقات بين متغيرات الدراسة جاءت موجبة ودالة إحصائياً عند مستوى (0.01)، وأن معاملات الارتباط بين أبعاد المتغير المستقل والمتغير التابع تراوحت بين (0.687) و(0.762)، وهي علاقات ارتباط قوية. كما يتضح أن معاملات الارتباط بين الأبعاد المستقلة فيما بينها لم تتجاوز (0.671)، وهو ما يشير إلى عدم وجود ارتباط خطي متعدد مرتفع (Multicollinearity) بين المتغيرات المستقلة، مما يعزز صلاحية استخدام تحليل الانحدار المتعدد لاختبار الفروض.

8.3 الأساليب الإحصائية المستخدمة

استُخدم برنامج الحزم الإحصائية للعلوم الاجتماعية (SPSS) الإصدار (26) لمعالجة بيانات الدراسة، ووظفت الأساليب الإحصائية الآتية:

- ⇐ التكرارات والنسب المئوية: لوصف الخصائص الديموغرافية لأفراد عينة الدراسة.
- ⇐ المتوسطات الحسابية والانحرافات المعيارية: لتحديد مستوى استجابات أفراد العينة على فقرات الاستبانة وأبعادها.
- ⇐ الأهمية النسبية والرتب: لترتيب فقرات وأبعاد الدراسة وفق درجة موافقة أفراد العينة عليها.
- ⇐ معامل ألفا كرونباخ (Cronbach's Alpha): لقياس ثبات أداة الدراسة والاتساق الداخلي لفقراتها.
- ⇐ معامل التجزئة النصفية بمعادلة سبيرمان-براون: للتحقق من ثبات الأداة بأسلوب مغاير يعزز الثقة في نتائج الثبات.

- ⇐ معامل ارتباط بيرسون (Pearson Correlation) للتحقق من صدق الاتساق الداخلي، ولقياس قوة واتجاه العلاقة بين أبعاد المتغير المستقل والمتغير التابع.
- ⇐ اختبار كولموجروف-سميرنوف (Kolmogorov-Smirnov Test) للتحقق من اعتدالية توزيع البيانات قبل تطبيق الاختبارات المعلمية.
- ⇐ معامل تضخم التباين (VIF) ومعامل التسامح (Tolerance) للتأكد من عدم وجود ارتباط خطي متعدد بين المتغيرات المستقلة.
- ⇐ تحليل الانحدار الخطي البسيط (Simple Linear Regression) لاختبار أثر كل بُعد من أبعاد المتغير المستقل على المتغير التابع (الفروض الفرعية).
- ⇐ تحليل الانحدار الخطي المتعدد (Multiple Linear Regression) لاختبار الأثر المشترك لأبعاد ممارسات الاستدامة مجتمعةً على خفض استهلاك الطاقة (الفرض الرئيسي).
- ⇐ اختبار (F) لقياس المعنوية الكلية لنموذج الانحدار.
- ⇐ اختبار (T) لقياس معنوية معاملات الانحدار لكل بُعد على حدة.

الفصل الرابع: تحليل البيانات واختبار الفرضيات

1.4 تمهيد

يتناول هذا الفصل عرض نتائج المعالجة الإحصائية للبيانات التي جُمعت من أفراد عينة الدراسة البالغ عددهم (205) مفردة من العاملين في مركز الملك عبدالله المالي بمدينة الرياض. ويشمل الفصل ثلاثة محاور رئيسية: الأول يعرض التحليل الوصفي للخصائص الديموغرافية لأفراد العينة، والثاني يتناول التحليل الوصفي لأبعاد المتغير المستقل (ممارسات الاستدامة في المباني) والمتغير التابع (خفض استهلاك الطاقة)، والثالث يعرض نتائج اختبار فرضيات الدراسة الرئيسية والفرعية باستخدام تحليل الانحدار الخطي البسيط والمتعدد.

2.4 تحليل البيانات الديموغرافية لعينة الدراسة

فيما يلي عرض تفصيلي لتوزيع أفراد عينة الدراسة وفق المتغيرات الديموغرافية:

التوزيع وفق متغير الجنس

جدول (4 - 1): التوزيع التكراري لأفراد العينة وفق متغير الجنس

الجنس	التكرار	النسبة %
ذكر	154	75.12
أنثى	51	24.88
الإجمالي	205	100.00

يتضح أن غالبية أفراد العينة من الذكور بنسبة (75.12%)، وهو ما يعكس طبيعة الوظائف الفنية والهندسية في قطاع إدارة المرافق والصيانة التي يغلب عليها العنصر الذكوري.

التوزيع وفق متغير العمر

جدول (4 - 2): التوزيع التكراري لأفراد العينة وفق متغير العمر

النسبة %	التكرار	الفئة العمرية
18.54	38	أقل من 30 سنة
40.00	82	من 30 إلى أقل من 40
29.76	61	من 40 إلى أقل من 50
11.70	24	50 سنة فأكثر
100.00	205	الإجمالي

يتضح أن الفئة العمرية (30 إلى أقل من 40) هي الأكثر تمثيلاً بنسبة (40%)، وأن نحو (70%) من أفراد العينة تقع أعمارهم بين (30 و 50) سنة، وهي فئة النضج المهني القادرة على تقديم استجابات دقيقة بشأن ممارسات الاستدامة.

التوزيع وفق متغير المؤهل العلمي

جدول (4 - 3): التوزيع التكراري لأفراد العينة وفق متغير المؤهل العلمي

النسبة %	التكرار	المؤهل
13.17	27	دبلوم فأقل
62.44	128	بكالوريوس
20.49	42	ماجستير
3.90	8	دكتوراه
100.00	205	الإجمالي

يتضح أن نحو (86.83%) من أفراد العينة يحملون مؤهل البكالوريوس فأعلى، مما يعزز من موثوقية استجاباتهم على فقرات الاستبانة.

التوزيع وفق سنوات الخبرة

جدول (4 - 4): التوزيع التكراري لأفراد العينة وفق سنوات الخبرة

النسبة %	التكرار	سنوات الخبرة
16.10	33	أقل من 5 سنوات
37.07	76	من 5 إلى أقل من 10
28.78	59	من 10 إلى أقل من 15
18.05	37	15 سنة فأكثر
100.00	205	الإجمالي

يتّضح أن (83.90%) من أفراد العينة يمتلكون خبرة تزيد على خمس سنوات، وهو ما يمنح استجاباتهم بشأن ممارسات الاستدامة واستهلاك الطاقة قيمةً إضافية.

التوزيع وفق المستوى الوظيفي

جدول (4 - 5): التوزيع التكراري لأفراد العينة وفق المستوى الوظيفي

النسبة %	التكرار	المستوى الوظيفي
34.63	71	فني/مشغل
40.98	84	أخصائي
15.61	32	رئيس قسم
8.78	18	مدير إدارة فأعلى
100.00	205	الإجمالي

يتّضح تنوع المستويات الوظيفية بين الميداني والإشرافي والقيادي، بما يُوفّر تمثيلاً شاملاً لجميع المستويات المعنية بممارسات الاستدامة.

3.4 التحليل الوصفي لأبعاد الدراسة

اعتمد الباحث على المتوسطات الحسابية والانحرافات المعيارية والأهمية النسبية والرتب لتحليل استجابات أفراد العينة على فقرات الاستبانة، وذلك في ضوء مقياس ليكرت الخماسي.

البُعد الأول: كفاءة أنظمة الطاقة

جدول (4 - 6): المتوسطات الحسابية والانحرافات المعيارية لفقرات بُعد كفاءة أنظمة الطاقة

م	الفقرة	المتوسط	الانحراف المعياري	الأهمية النسبية %	الرتبة	مستوى الموافقة
1	يعتمد المركز على أنظمة تكييف وتبريد عالية الكفاءة تتلاءم مع طبيعة المناخ في مدينة الرياض.	4.18	0.712	83.60	2	مرتفعة
2	تُدار أنظمة الإضاءة داخل المركز باستخدام تقنيات موفّرة للطاقة كمصابيح LED والحساسات.	4.26	0.684	85.20	1	مرتفعة جداً
3	تُوظّف مصادر الطاقة المتجددة كالطاقة الشمسية بوصفها رافداً لتزويد المركز بالطاقة.	3.92	0.821	78.40	4	مرتفعة
4	يخضع الأداء الطاقوي لأنظمة المركز لمراجعات دورية بهدف تحسين الكفاءة.	4.09	0.756	81.80	3	مرتفعة
المتوسط العام للبُعد		4.11	0.618	82.25	مرتفعة	

يتّضح أن المتوسط العام لبُعد كفاءة أنظمة الطاقة بلغ (4.11) بمستوى موافقة مرتفعة، وأن الفقرة المتعلقة بأنظمة الإضاءة الموفّرة جاءت في المرتبة الأولى.

البُعد الثاني: التصميم المعماري الأخضر

جدول (4 - 7): المتوسطات الحسابية والانحرافات المعيارية لفقرات بُعد التصميم المعماري الأخضر

م	الفقرة	المتوسط	الانحراف المعياري	الأهمية النسبية %	الرتبة	مستوى الموافقة
5	صُمِّمَ المركز بما يُراعي توجيه المبنى وعلاقته بحركة الشمس لتقليل الأحمال الحرارية.	4.04	0.769	80.80	2	مرتفعة
6	يعتمد المركز على مواد عزل حراري متطورة في الغلاف الخارجي للمبنى.	3.98	0.802	79.60	3	مرتفعة
7	تُوظَّف الإضاءة الطبيعية في تصميم المساحات الداخلية للمركز بصورة كافية.	4.12	0.738	82.40	1	مرتفعة
8	تُراعى في التصميم الداخلي معايير الاستدامة البيئية والراحة الحرارية.	3.87	0.815	77.40	4	مرتفعة
المتوسط العام للبُعد		4.00	0.641	80.05	مرتفعة	

يتَّضح أن المتوسط العام لبُعد التصميم المعماري الأخضر بلغ (4.00) بمستوى موافقة مرتفعة، وأن توظيف الإضاءة الطبيعية جاء في مقدمة فقرات هذا البُعد.

البُعد الثالث: التقنيات الذكية وإنترنت الأشياء

جدول (4 - 8): المتوسطات الحسابية والانحرافات المعيارية لفقرات بُعد التقنيات الذكية وإنترنت الأشياء

م	الفقرة	المتوسط	الانحراف المعياري	الأهمية النسبية %	الرتبة	مستوى الموافقة
9	يُوظَّف المركز أنظمة إدارة المباني الذكية (BMS) لضبط استهلاك الطاقة.	4.23	0.694	84.60	1	مرتفعة جداً
10	تُستخدم حساسات ذكية للكشف عن الإشغال وضبط الإضاءة والتكييف تلقائياً.	4.15	0.727	83.00	2	مرتفعة
11	تُوظَّف تقنيات إنترنت الأشياء (IoT) في متابعة أداء الأنظمة داخل المركز.	4.02	0.783	80.40	3	مرتفعة
12	تُستخدم أدوات تحليلية متقدمة للتنبؤ باستهلاك الطاقة وتحسينه.	3.89	0.812	77.80	4	مرتفعة
المتوسط العام للبُعد		4.07	0.629	81.45	مرتفعة	

يتّضح أن المتوسط العام لبُعد التقنيات الذكية بلغ (4.07)، وأن أنظمة إدارة المباني الذكية جاءت في المرتبة الأولى بمستوى موافقة مرتفعة جداً.

البُعد الرابع: إدارة الموارد والمواد المستدامة

جدول (4 - 9): المتوسطات الحسابية والانحرافات المعيارية لفقرات بُعد إدارة الموارد والمواد المستدامة

م	الفقرة	المتوسط	الانحراف المعياري	الأهمية النسبية %	الرتبة	مستوى الموافقة
13	يعتمد المركز على مواد بناء صديقة للبيئة قابلة لإعادة التدوير.	3.94	0.796	78.80	3	مرتفعة
14	تُطبّق سياسات لترشيد استهلاك المياه ضمن منظومة إدارة الموارد.	4.08	0.751	81.60	1	مرتفعة
15	تُدار المخلفات الناتجة عن تشغيل المركز وفق ممارسات مستدامة.	3.85	0.824	77.00	4	مرتفعة
16	تُختار الموردون والمقاولون وفق معايير الاستدامة البيئية.	3.97	0.789	79.40	2	مرتفعة
	المتوسط العام للبُعد	3.96	0.652	79.20		مرتفعة

يتّضح أن المتوسط العام لبُعد إدارة الموارد والمواد المستدامة بلغ (3.96)، وأن فقرة ترشيد استهلاك المياه جاءت في المرتبة الأولى.

الترتيب العام لأبعاد المتغير المستقل

جدول (4 - 10): الترتيب العام لأبعاد ممارسات الاستدامة في المباني

البُعد	المتوسط	الانحراف المعياري	الأهمية النسبية %	الرتبة	مستوى الموافقة
كفاءة أنظمة الطاقة	4.11	0.618	82.25	1	مرتفعة

مرتفعة	2	81.45	0.629	4.07	التقنيات الذكية وإنترنت الأشياء
مرتفعة	3	80.05	0.641	4.00	التصميم المعماري الأخضر
مرتفعة	4	79.20	0.652	3.96	إدارة الموارد والمواد المستدامة
مرتفعة		80.75	0.587	4.03	المتغير المستقل ككل

التحليل الوصفي للمتغير التابع: خفض استهلاك الطاقة

جدول (4 - 11): المتوسطات الحسابية والانحرافات المعيارية لفقرات المتغير التابع (خفض استهلاك الطاقة)

م	الفقرة	المتوسط	الانحراف المعياري	الأهمية النسبية %	الرتبة	مستوى الموافقة
17	انخفضت كميات الطاقة الكهربائية المستهلكة في المركز خلال السنوات الأخيرة.	4.05	0.762	81.00	4	مرتفعة
18	تراجعت الأحمال التبريدية بفضل تحسينات الغلاف الخارجي والتصميم.	3.92	0.803	78.40	7	مرتفعة
19	انخفضت تكاليف تشغيل المرافق المرتبطة بالطاقة بشكل ملموس.	4.14	0.721	82.80	2	مرتفعة
20	تُدار ذروة الأحمال الكهربائية بكفاءة تُقلل من الاستهلاك في أوقات الذروة.	3.98	0.776	79.60	6	مرتفعة

21	تراجع الاعتماد على مصادر الطاقة التقليدية لصالح المصادر البديلة.	3.83	0.834	76.60	9	مرتفعة
22	تحسّنت مؤشرات كفاءة استخدام الطاقة (kWh/m^2) في المركز.	4.09	0.743	81.80	3	مرتفعة
23	تراجعت البصمة الكربونية للمركز بفعل تدخلات ترشيد الاستهلاك.	3.88	0.812	77.60	8	مرتفعة
24	تُتيح أنظمة القياس اللحظي رصد الانحرافات في الاستهلاك ومعالجتها.	4.18	0.708	83.60	1	مرتفعة
25	يؤكد المركز المعايير الوطنية والدولية لكفاءة الطاقة في المباني.	4.02	0.769	80.40	5	مرتفعة
26	تُسهّم التدخلات المطبقة في إطالة العمر الافتراضي للأنظمة الطاقية.	3.81	0.828	76.20	10	مرتفعة
المتوسط العام للمتغير التابع		3.99	0.594	79.80	مرتفعة	

يتّضح أن المتوسط العام للمتغير التابع بلغ (3.99) بمستوى موافقة مرتفعة، وأن فقرة "أنظمة القياس اللحظي" جاءت في المرتبة الأولى، مما يعكس وعياً مؤسسياً واضحاً بأهمية أدوات القياس في تحقيق خفض الفعلي للاستهلاك.

4.4 اختبار فرضيات الدراسة

قبل الشروع في اختبار الفرضيات، تحقق الباحث من الشروط الإحصائية اللازمة لتطبيق تحليل الانحدار، وذلك عبر اختبار كولمغروف-سميرنوف الذي أظهر أن البيانات تتبع التوزيع الطبيعي، وعبر اختبار معامل تضخم التباين (VIF) الذي تراوحت قيمه بين (1.72) و(2.31) وهي أقل من (5)، ومعامل التسامح (Tolerance) الذي تراوح بين (0.43) و(0.58) وهو أكبر من (0.20)، مما يؤكد عدم وجود مشكلة ارتباط خطي متعدد بين المتغيرات المستقلة.

اختبار الفرضية الرئيسة

نصّ الفرضية الرئيسة: 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".

للتحقق من هذه الفرضية، استُخدم تحليل الانحدار الخطي المتعدد (Multiple Regression) بهدف قياس تأثير أبعاد ممارسات الاستدامة (كعوامل مستقلة) على خفض استهلاك الطاقة (كعامل تابع). وقد جاءت نتائج التحليل كما يلي:

جدول (4 - 12): نتائج تحليل الانحدار المتعدد لأثر أبعاد ممارسات الاستدامة على خفض استهلاك الطاقة

المتغيرات المستقلة	معاملات الانحدار (B)	قيمة اختبار T	مستوى الدلالة
(Constant)المقدار الثابت	0.487	3.264	0.001**
كفاءة أنظمة الطاقة	0.386	6.842	0.000**
التصميم المعماري الأخضر	0.214	3.917	0.000**
التقنيات الذكية وإنترنت الأشياء	0.412	7.238	0.000**
إدارة الموارد والمواد المستدامة	0.176	3.128	0.002**
معامل الارتباط = 0.883	معامل التحديد = 0.780		
قيمة الاختبار F = 176.924	القيمة الاحتمالية = 0.000		

المصدر: من إعداد الباحث بالاعتماد على مخرجات SPSS

تشير نتائج تحليل الانحدار المتعدد الموضحة في الجدول (12) إلى وجود علاقة تأثيرية دالة إحصائياً بين أبعاد ممارسات الاستدامة في المباني كمتغيرات مستقلة، وخفض استهلاك الطاقة كمتغير تابع. فقد بلغ معامل التحديد (R^2) قيمة قدرها (0.780)، وهي نسبة مرتفعة تدل على أن (78%) من التباين في مستوى خفض استهلاك الطاقة في مرافق مركز الملك عبدالله المالي يمكن تفسيره من خلال المتغيرات

الأربعة المتعلقة بممارسات الاستدامة، فيما يعزى الباقي (22%) إلى عوامل أخرى خارج نطاق النموذج. كما تشير قيمة معامل الارتباط ($R = 0.883$) إلى وجود ارتباط قوي جداً بين المتغيرات المدروسة، بينما بلغت قيمة اختبار (F) (176.924) بمستوى دلالة (0.000)، مما يؤكد المعنوية الكلية للنموذج.

أما على مستوى الأبعاد الفردية، فقد تبين أن بُعد "التقنيات الذكية وإنترنت الأشياء" هو الأكثر تأثيراً على خفض استهلاك الطاقة، حيث بلغ معامل الانحدار له ($B = 0.412$)، وبلغت قيمة (T) (7.238) بدلالة معنوية عالية. ($\text{Sig.} = 0.000$) ويؤكد ذلك الدور المحوري الذي تلعبه أنظمة إدارة المباني الذكية وحساسات الإشغال وأدوات التنبؤ في تحقيق الترشيح الفعلي للاستهلاك، إذ تُتيح هذه التقنيات ضبطاً لحظياً للأنظمة يستجيب للأحمال الفعلية دون إفراط.

وجاء بُعد "كفاءة أنظمة الطاقة" في المرتبة الثانية من حيث قوة التأثير، بمعامل انحدار ($B = 0.386$) وقيمة (T) (6.842) بدلالة ($\text{Sig.} = 0.000$)، مما يعكس أهمية الأنظمة الميكانيكية والكهربائية عالية الكفاءة ومصادر الطاقة المتجددة في خفض الاستهلاك. كما أظهرت النتائج أن "التصميم المعماري الأخضر" يساهم بشكل دال في تفسير التباين في خفض الاستهلاك، بمعامل انحدار ($B = 0.214$) وقيمة (T) (3.917) بدلالة ($\text{Sig.} = 0.000$)، مما يعكس أهمية الخيارات التصميمية المتخذة في مرحلة مبكرة في تحديد سلوك المبنى الطاقوي.

وأخيراً، أظهر بُعد "إدارة الموارد والمواد المستدامة" أثراً أقل نسبياً ($B = 0.176$)، لكنه لا يزال ذا دلالة إحصائية ($\text{Sig.} = 0.002$)، ما يشير إلى أن تعزيز هذا البعد قد يمثل فرصة لتحسين متكامل في منظومة الاستدامة داخل المركز، خاصة فيما يتصل بإدارة المخلفات واختيار الموردين وفق معايير بيئية أكثر صرامة. وبناءً على ذلك، تُقبل الفرضية الرئيسية للدراسة التي تنصّ على وجود أثر ذي دلالة إحصائية لممارسات الاستدامة في المباني بأبعادها الأربعة على خفض استهلاك الطاقة في مرافق مركز الملك عبدالله المالي بمدينة الرياض. ويتفرع من هذه الفرضية الرئيسية الفرضيات الفرعية التالية:

اختبار الفرضية الفرعية الأولى

نصّ الفرضية: 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.

للتحقق من صحة هذا الفرض استخدم تحليل الانحدار الخطي البسيط (Simple Linear Regression)، وجاءت النتائج كما هو موضح في الجدول التالي:

جدول (4 - 13): تحليل الانحدار الخطي البسيط لقياس أثر كفاءة أنظمة الطاقة على خفض استهلاك الطاقة

المتغير التابع	ملخص النموذج	ANOVA تحليل التباين				المتغير المستقل			المعاملات Coefficient	
خفض استهلاك الطاقة	r	R ²	df	F المحسوبة	Sig. F	كفاءة أنظمة الطاقة	B	الخطأ المعياري	T	Sig. t
	0.734	0.539	1	237.416	0.000		0.706	0.046	15.409	0.000

استُخدم تحليل الانحدار الخطي البسيط لقياس تأثير "كفاءة أنظمة الطاقة" بوصفه أحد أبعاد ممارسات الاستدامة على "خفض استهلاك الطاقة". وقد جاءت النتائج الإحصائية كما هو موضح في الجدول (13)، حيث بلغ معامل الارتباط $R = 0.734$ ، وهو ما يعكس وجود علاقة ارتباط موجبة قوية بين المتغيرين، كما بلغت قيمة معامل التحديد $(R^2 = 0.539)$ ، مما يشير إلى أن (53.9%) من التباين في مستوى خفض استهلاك الطاقة يُمكن تفسيره من خلال متغير كفاءة أنظمة الطاقة منفرداً، دون تدخل بقية الأبعاد الأخرى.

وبالاطلاع على نتائج تحليل التباين (ANOVA)، تبين أن قيمة F المحسوبة بلغت (237.416) بمستوى دلالة (Sig. = 0.000)، وهي قيمة دالة إحصائياً عند مستوى (0.01)، مما يعزز من دلالة النموذج ككل في تفسير الفرضية. أما على مستوى معاملات الانحدار، فقد بلغ معامل التأثير (B = 0.706) بقيمة (15.409) T، وهي أيضاً دالة عند مستوى (Sig. = 0.000)، ما يدل على أن أي زيادة بمقدار وحدة واحدة في كفاءة أنظمة الطاقة تؤدي إلى زيادة بمقدار (0.706) في مستوى خفض استهلاك الطاقة، ضمن شروط النموذج. وبناءً على ذلك، تُقبل الفرضية الفرعية الأولى.

اختبار الفرضية الفرعية الثانية

نصّ الفرضية: 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.

للتحقق من صحة هذا الفرض استُخدم تحليل الانحدار الخطي البسيط، وجاءت النتائج كما هو موضح في الجدول التالي:

جدول (4 - 14): تحليل الانحدار الخطي البسيط لقياس أثر التصميم المعماري الأخضر على خفض استهلاك الطاقة

المتغير المتابع	ملخص النموذج	تحليل التباين ANOVA				المتغير المستقل			المعاملات Coefficient	
		R ²	df	F	Sig. F	التصميم المعماري	B	الخطأ المعياري	T	Sig. t
خفض استهلاك الطاقة	r	0.472	1	181.594	0.000	الأخضر	0.637	0.047	13.476	0.000

يتضح من الجدول (14) أن معامل الارتباط بلغ ($r = 0.687$)، مما يعكس علاقة ارتباط موجبة قوية بين المتغيرين، وأن معامل التحديد بلغ ($R^2 = 0.472$)، مما يعني أن (47.2%) من التباين في مستوى خفض استهلاك الطاقة يُفسر بمتغير التصميم المعماري الأخضر منفرداً. كما بلغت قيمة F المحسوبة (181.594) بمستوى دلالة (0.000)، مما يؤكد المعنوية الكلية للنموذج.

وعلى مستوى معاملات الانحدار، بلغ معامل التأثير ($B = 0.637$) بقيمة ($T = 13.476$) وبمستوى دلالة (0.000)، مما يعني أن الزيادة بمقدار وحدة واحدة في تطبيق ممارسات التصميم المعماري الأخضر تؤدي إلى زيادة قدرها (0.637) في مستوى خفض استهلاك الطاقة. ويعكس ذلك أهمية الخيارات التصميمية المبكرة كتوجيه المبنى وعزل الغلاف الخارجي وتوظيف الإضاءة الطبيعية في تحديد المسار الطاقى للمبنى. وبناءً على ذلك، تُقبل الفرضية الفرعية الثانية.

اختبار الفرضية الفرعية الثالثة

نصّ الفرضية: 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.

للتحقق من صحة هذا الفرض استُخدم تحليل الانحدار الخطي البسيط، وجاءت النتائج كما هو موضح في الجدول التالي:

جدول (4 - 15): تحليل الانحدار الخطي البسيط لقياس أثر التقنيات الذكية وإنترنت الأشياء على خفض استهلاك الطاقة

المتغير التابع	ملخص النموذج	ANOVA تحليل التباين	المتغير المستقل	المعاملات Coefficient						
خفض استهلاك الطاقة	r	R ²	df	F المحسوبة	Sig. F	التقنيات الذكية وإنترنت الأشياء	B	الخطأ المعياري	T	Sig. t
	0.762	0.581	1	281.352	0.000		0.749	0.045	16.774	0.000

يتّضح من الجدول (15) أن معامل الارتباط بلغ ($r = 0.762$) ، مما يعكس علاقة ارتباط موجبة قوية جداً، وهي الأعلى بين علاقات الأبعاد الفرعية بالمتغير التابع، وأن معامل التحديد بلغ ($R^2 = 0.581$)، مما يعني أن (58.1%) من التباين في مستوى خفض استهلاك الطاقة يُفسّر بمتغير التقنيات الذكية وإنترنت الأشياء منفرداً. كما بلغت قيمة F المحسوبة (281.352) بمستوى دلالة (0.000)، وهي قيمة دالة إحصائياً تؤكد المعنوية الكلية للنموذج.

أما على مستوى معاملات الانحدار، فقد بلغ معامل التأثير ($B = 0.749$) بقيمة ($T = 16.774$) بمستوى دلالة (0.000)، مما يعني أن الزيادة بمقدار وحدة واحدة في توظيف التقنيات الذكية وإنترنت الأشياء تؤدي إلى زيادة قدرها (0.749) في مستوى خفض استهلاك الطاقة. ويعكس ذلك الدور المحوري لأنظمة إدارة المباني الذكية والحساسات وأدوات التحليل التنبؤي في ضبط الاستهلاك اللحظي وتحقيق كفاءة عالية في إدارة الطاقة داخل المركز. وبناءً على ذلك، تُقبل الفرضية الفرعية الثالثة.

اختبار الفرضية الفرعية الرابعة

نصّ الفرضية: 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.

للتحقق من صحة هذا الفرض استخدم تحليل الانحدار الخطي البسيط، وجاءت النتائج كما هو موضح في الجدول التالي:

جدول (4 - 16): تحليل الانحدار الخطي البسيط لقياس أثر إدارة الموارد والمواد المستدامة على خفض استهلاك الطاقة

المتغير التابع	ملخص النموذج	تحليل التباينANOVA							المتغير المستقل	المعاملاتCoefficient		
خفض استهلاك الطاقة	r	R ²	df	F المحسوبة	Sig. F	إدارة الموارد والمواد المستدامة	B	الخطأ المعياري	T	Sig. t		
	0.708	0.501	1	203.874	0.000		0.645	0.045	14.278	0.000		

يتضح من الجدول (16) أن معامل الارتباط بلغ ($r = 0.708$) ، مما يعكس علاقة ارتباط موجبة قوية بين المتغيرين، وأن معامل التحديد بلغ ($R^2 = 0.501$) ، مما يعني أن (50.1%) من التباين في مستوى خفض استهلاك الطاقة يُفسر بمتغير إدارة الموارد والمواد المستدامة منفرداً. كما بلغت قيمة F المحسوبة (203.874) بمستوى دلالة (0.000)، مما يؤكد المعنوية الكلية للنموذج.

وعلى مستوى معاملات الانحدار، بلغ معامل التأثير ($B = 0.645$) بقيمة ($T = 14.278$) بمستوى دلالة (0.000)، مما يعني أن الزيادة بمقدار وحدة واحدة في تطبيق ممارسات إدارة الموارد والمواد المستدامة تؤدي إلى زيادة قدرها (0.645) في مستوى خفض استهلاك الطاقة. ويعكس ذلك أن الاختيار الرشيد للمواد وإدارة المخلفات وترشيد استهلاك المياه واختيار الموردين وفق معايير بيئية يُشكّل — مجتمعاً — رافداً حقيقياً لخفض الاستهلاك، حتى وإن جاء أثره في التحليل المتعدد أقل نسبياً من الأبعاد الأخرى بسبب تداخل التأثيرات. وبناءً على ذلك، تُقبل الفرضية الفرعية الرابعة.

الفصل الخامس: نتائج الدراسة وتوصياتها

1.5 تمهيد

يعرض هذا الفصل النتائج التي توصلت إليها الدراسة في ضوء التحليل الإحصائي للبيانات التي جمعت من عينة الدراسة البالغ عددها (205) مفردة من العاملين في مركز الملك عبدالله المالي بمدينة الرياض، ويُقدّم قراءة تفسيرية لهذه النتائج مع ربطها بما جاء في الإطار النظري والدراسات ذات الصلة. ثم ينتقل الفصل إلى عرض التوصيات المستندة إلى النتائج، وصولاً إلى اقتراح مجموعة من الدراسات المستقبلية التي يمكن أن تُشكّل امتداداً علمياً للجهد البحثي الحالي.

2.5 نتائج الدراسة

كشفت الدراسة عن أن مستوى تطبيق ممارسات الاستدامة في المباني بأبعادها الأربعة في مرافق مركز الملك عبدالله المالي جاء بدرجة مرتفعة، إذ بلغ المتوسط العام للمتغير المستقل (4.03) من أصل (5). ويمكن تفسير ذلك في ضوء الطبيعة المؤسسية للمركز بوصفه مرفقاً حيوياً يستقطب مقار كبرى المؤسسات المالية، مما يفرض عليه تبني ممارسات متقدمة في إدارة مرافقه تتسجم مع المعايير الدولية للاستدامة، ويتسق مع التوجهات الاستراتيجية للمملكة العربية السعودية ضمن رؤية 2030 التي تولي كفاءة الطاقة والاقتصاد الأخضر أولوية متقدمة. وتتقاطع هذه النتيجة مع ما طرحه (Sapuan et al., 2022) بشأن أهمية تبني المنشآت للممارسات الفضلى للمباني الخضراء بوصفها معياراً لقياس الأداء المؤسسي، كما تتلاقى مع ما أشار إليه (قورين، 2021) من أن الاستدامة في المباني تحولت من كونها خياراً تحسينياً إلى دعامة أساسية تحكم الفلسفة التشغيلية للمرافق الحديثة.

وأظهرت النتائج أن بُعد "كفاءة أنظمة الطاقة" جاء في المرتبة الأولى بين أبعاد ممارسات الاستدامة بمتوسط (4.11)، ويعزى ذلك إلى أن الاستثمار في الأنظمة الكهروميكانيكية عالية الكفاءة يمثل التدخل الأكثر ملموسية وقابلية للقياس داخل المرافق، إذ يترتب عليه أثرٌ مباشر على الفواتير التشغيلية وعلى أداء المرفق اليومي، مما يجعله الأولوية الطبيعية لإدارات المرافق الكبرى. وتتسجم هذه النتيجة مع ما ذهب إليه (حربة ومرهج، 2021) من أن تحسين كفاءة الأنظمة يُشكّل نقطة الانطلاق الأكثر جدوى في

أي جهدٍ للترشيد، كما تتوافق مع ما أبرزه (عبدالعال وآخرون، 2024) بشأن الدور الاستراتيجي للطاقة المتجددة في تعزيز كفاءة المرافق ذات الاستهلاك المرتفع.

وجاء بُعد “التقنيات الذكية وإنترنت الأشياء” في المرتبة الثانية بمتوسط (4.07)، ويُفسّر ذلك بأن مركز الملك عبدالله المالي بُني حديثاً وفق أحدث المعايير التقنية، مما جعل أنظمة إدارة المباني الذكية جزءاً أصيلاً من بنيته التحتية لا إضافة لاحقة. ويتسق ذلك مع ما طرحته (مرسال، 2025) بشأن التحوّل من الاستدامة الساكنة إلى الاستدامة التفاعلية عبر توظيف التقنيات الذكية، ومع ما بيّنه (الورفلي، 2021) من أن التصميم الداخلي الذكي يُشكّل رافداً مباشراً لتعزيز استدامة المباني.

في حين احتلّ بُعد “التصميم المعماري الأخضر” المرتبة الثالثة بمتوسط (4.00)، ويرجع ذلك إلى أن هذا البُعد يرتبط بقرارات تصميمية اتُخذت في مرحلة التشييد وأصبحت من الصعب تعديلها لاحقاً، فيما احتلّ بُعد “إدارة الموارد والمواد المستدامة” المرتبة الرابعة بمتوسط (3.96)، وهو ما يعكس أن الإدارة المستدامة للموارد لا تزال بحاجة إلى تعزيز، لا سيما في جوانب إدارة المخلفات واختيار الموردين وفق معايير بيئية صارمة. وتلتقي هذه القراءة مع ما رصده (النخيلي والحواج، 2025) من تحديات عملية تعترض تطبيق الممارسات المستدامة في البيئة الخليجية، ومع ما أشار إليه (قاسم وختير، 2024) من أن الإدارة المستدامة للموارد تتطلب تكاملاً بين الاختيارات المادية والسياسات التنظيمية.

كما أظهرت الدراسة أن مستوى خفض استهلاك الطاقة في مرافق المركز جاء بدرجةٍ مرتفعة بمتوسط (3.99)، وأن فقرة “أنظمة القياس اللحظي” احتلت المرتبة الأولى بين فقرات المتغير التابع، ويعود ذلك إلى أن هذه الأنظمة تُشكّل الأداة الأكثر مباشرةً في رصد الاستهلاك ومعالجة الانحرافات فور حدوثها، وهو ما يُترجم إلى نتائج ملموسة في خفض الفواتير. وتتقاطع هذه القراءة مع ما طرحه (Pham et al., 2020) بشأن أهمية أدوات التنبؤ والقياس في تحسين كفاءة الطاقة، ومع ما أبرزه (Usman & Abdullah, 2023) من ضرورة بناء فهم تحليلي لخصائص الاستهلاك بوصفه شرطاً مسبقاً لأي تدخل فعال.

وأثبتت نتائج تحليل الانحدار المتعدد وجود أثرٍ ذي دلالة إحصائية لممارسات الاستدامة بأبعادها الأربعة مجتمعةً على خفض استهلاك الطاقة، إذ بلغ معامل التحديد ($R^2 = 0.780$)، ويعني ذلك أن (78%) من التباين في مستوى خفض الاستهلاك يُفسّر بأبعاد الاستدامة المدروسة. ويُعزى هذا الأثر

المرتفع إلى الطبيعة التكاملية للممارسات المستدامة، إذ لا تعمل هذه الأبعاد بمعزلٍ عن بعضها، بل تتضافر في منظومةٍ واحدةٍ يُعزّز فيها كل بُعد أثر البُعد الآخر. وتتسجم هذه النتيجة مع ما بيّنه (Chen et al., 2024) من أن دمج الممارسات الخضراء ومصادر الطاقة المتجددة يُنتج أثراً تراكمياً يفوق الأثر الفردي لكل ممارسة، ومع ما ذهب إليه (Li et al., 2013) بشأن الترابط بين ممارسات الاستدامة ونموذج المبنى صفري الطاقة.

وأظهرت النتائج أن بُعد “التقنيات الذكية وإنترنت الأشياء” هو الأكثر تأثيراً على خفض استهلاك الطاقة، إذ بلغ معامل الانحدار له $(B = 0.412)$ ، ويُفسّر ذلك بأن التقنيات الذكية تُتيح استجابةً لحظيةً تتكيف مع الأحمال الفعلية، بحيث لا يُهدر جزءٌ من الطاقة في تشغيل أنظمة لا حاجة إليها في لحظة معينة، وهو ما لا تستطيع تحقيقه التدخلات الثابتة أو المُعدّة سلفاً. وتتوافق هذه القراءة مع ما طرحه (Mahmood et al., 2024) بشأن دور مناهج التعلّم النشط والتعلّم الآلي في تعزيز الاستدامة البيئية في استهلاك الطاقة، ومع ما أبرزه (الورفلي، 2021) من أن التصميم الذكي يُوفّر آليات تحكم دقيقة تُعزّز الكفاءة.

وجاء بُعد “كفاءة أنظمة الطاقة” في المرتبة الثانية من حيث قوة التأثير بمعامل انحدار $(B = 0.386)$ ، ويُعزى ذلك إلى أن كفاءة الأنظمة تُشكّل الأساس التقني الذي تُبنى عليه بقية التدخلات، إذ إن الأنظمة الأكثر كفاءة تُقلّل الاستهلاك بشكلٍ مباشر بصرف النظر عن العوامل الأخرى. وتتقاطع هذه النتيجة مع ما ذهب إليه (يوسف، 2021) من أن المباني الخضراء تُحقّق ترشيد الاستهلاك عبر رفع كفاءة أنظمتها الأساسية، كما تتسجم مع ما بيّنه (بكري وآخرون، 2024) بشأن الوصول إلى نموذج المبنى صفري الطاقة عبر تحسين كفاءة الأنظمة.

وحلّ بُعد “التصميم المعماري الأخضر” في المرتبة الثالثة بمعامل انحدار $(B = 0.214)$ ، ويرجع ذلك إلى أن أثر التصميم في المرفق القائم يكون محدوداً نسبياً مقارنةً بالتدخلات التقنية والتشغيلية، إذ إن المبنى القائم لا يقبل تعديلاتٍ تصميميةً جذريةً بسهولة. وتتوافق هذه القراءة مع ما أبرزه (النحاس وآخرون، 2023) من أن التصميم يُشكّل الإطار الذي تعمل ضمنه بقية التدخلات، ومع ما أشار إليه (باعباد، 2025) من أن الخيارات التصميمية تُحدّد سلفاً هامش التدخل المتاح.

وجاء بُعد "إدارة الموارد والمواد المستدامة" في المرتبة الرابعة بمعامل انحدار ($B = 0.176$) ، ويُفسّر ذلك بأن أثر هذا البُعد على استهلاك الطاقة يظهر بصورة غير مباشرة عبر الأثر التراكمي على دورة حياة المبنى، ولا يُترجم بالضرورة إلى انخفاضٍ لحظي في فاتورة الاستهلاك. وتتلاقى هذه القراءة مع ما بيّنه (Heydari et al., 2023) من أن إدارة الموارد جزءاً من منظومةٍ إداريةٍ أشمل تُنتج أثرها بصورةٍ تدريجية.

وبيّنت مصفوفة الارتباط وجود علاقاتٍ ارتباطيةٍ موجبة وقوية بين جميع أبعاد ممارسات الاستدامة وخفض استهلاك الطاقة، إذ تراوحت معاملات الارتباط بين (0.687) و(0.762)، ويعني ذلك أن ارتفاع مستوى تطبيق أي بُعدٍ من هذه الأبعاد يقترن بارتفاعٍ مماثل في مستوى خفض الاستهلاك. ويُعزى ذلك إلى الطبيعة التكاملية للمنظومة، حيث لا يعمل أي بُعد في عزلة، وهو ما ينسجم مع ما طرحه (Santamouris & Vasilakopoulou, 2021) بشأن ضرورة التكامل بين التدخلات المختلفة لتحقيق مسار إزالة الكربون في قطاع المباني.

كما أظهرت الدراسة تفاوتاً نسبياً بين المستوى المرتفع لتطبيق ممارسات الاستدامة والمستوى المرتفع (وإن كان أقل نسبياً) لخفض استهلاك الطاقة، ويُفسّر ذلك بأن ترجمة الممارسات إلى نتائج فعلية في خفض تستغرق وقتاً وتحتاج إلى نصجٍ تشغيلي متواصل، وأن ثمة فجوةً طبيعية بين الاستثمار في الممارسات وتحقيق كامل أثرها. وتتلاقى هذه القراءة مع ما بيّنه (عواد وآخرون، 2025) من أن ترشيد الاستهلاك في المنشآت الإدارية يستوجب تكاملاً مستداماً بين التدخلات التصميمية والتشغيلية، ومع ما أشار إليه (Shoubi et al., 2015) من أن خفض الطلب على الطاقة التشغيلية يستدعي منظومةً متكاملة من الأدوات والمناهج.

وأوضحت النتائج أن الظروف المناخية للرياض تُشكّل عاملاً ضاعطاً يجعل خفض الاستهلاك أكثر صعوبةً منه في المدن ذات المناخات المعتدلة، إذ تستحوذ الأحمال التبريدية على حصةٍ ضخمة من إجمالي استهلاك المرفق. ويتسق ذلك مع ما رصده (صميلي وبوقري، 2024) بشأن التأثير الحاسم للمناخ على استهلاك الطاقة الكهربائية في المدن السعودية، ومع ما أشار إليه (جوثر والجبوري، 2025) من أن سياسات الطاقة في دول الخليج تتشكّل جزئياً في ضوء هذه المعطيات المناخية.

وأخيراً، أثبتت الدراسة أن جميع الفرضيات الفرعية قد قُبِلَتْ، مما يعني أن كل بُعد من أبعاد ممارسات الاستدامة يُسهم بصورة دالة إحصائياً في تفسير التباين في مستوى خفض استهلاك الطاقة، وإن تفاوتت درجات الإسهام. ويعني ذلك من الناحية الإدارية أن أي جهدٍ للترشيد ينبغي أن يعمل على جميع الأبعاد بالتوازي، مع منح أولوية نسبية للأبعاد الأكثر تأثيراً، وهو ما يتسق مع الرؤية التكاملية التي طرحها (عبدالرحمن وآخرون، 2023) بشأن العلاقة بين تكنولوجيا النانو في المباني الخضراء والتنمية المستدامة، حيث لا يمكن اختزال الممارسة المستدامة في تدخلٍ واحد.

3.5 توصيات الدراسة

في ضوء ما توصلت إليه الدراسة، يُوصي الباحث بما يلي:

⇐ تعزيز الاستثمار في أنظمة إدارة المباني الذكية (BMS) وتوسيع نطاق توظيف تقنيات إنترنت الأشياء داخل مرافق المركز، مع تخصيص ميزانيات سنوية لتطوير هذه الأنظمة ورفع كفاءتها بما يواكب أحدث المعايير الدولية.

⇐ توظيف أدوات التحليل التنبؤي والتعلم الآلي في إدارة استهلاك الطاقة، بحيث تنتقل الإدارة من الاستجابة اللاحقة للانحرافات إلى التنبؤ المسبق بها ومعالجتها قبل وقوعها.

⇐ تطوير خطة استراتيجية طويلة المدى (خمس إلى عشر سنوات) لإدارة الطاقة في المركز، تتضمن أهدافاً كمية واضحة لخفض الاستهلاك، ومراحل تنفيذية محددة، ومؤشرات أداء دقيقة لقياس التقدم في تحقيقها.

⇐ توسيع الاعتماد على مصادر الطاقة المتجددة، ولا سيما الطاقة الشمسية، بما يتناسب مع الظروف المناخية لمدينة الرياض، والعمل على رفع نسبة إسهام هذه المصادر في تلبية احتياجات المركز الطاقية بصورة تدريجية.

⇐ تكثيف عمليات التدقيق الطاقى الدوري (Energy Audit) للمرافق، على أن يُنفذ بواسطة جهات متخصصة معتمدة، وأن تُترجم مخرجاته إلى خطط عمل واضحة قابلة للتنفيذ والمتابعة.

⇐ تعزيز بُعد إدارة الموارد والمواد المستدامة الذي جاء في المرتبة الأخيرة من حيث التطبيق، عبر وضع سياسات محددة لاختيار الموردين والمقاولين وفق معايير بيئية صارمة، وتطوير آليات إدارة المخلفات الناتجة عن تشغيل المركز.

⇐ تصميم برامج تدريبية متخصصة للعاملين في إدارات المرافق والصيانة والاستدامة، تُركّز على أحدث الممارسات في إدارة الطاقة وتوظيف التقنيات الذكية، مع اعتماد شهادات مهنية دولية معتمدة في مجال إدارة الطاقة.

⇐ بناء ثقافة مؤسسية داعمة للاستدامة داخل المركز، عبر حملات توعية داخلية تستهدف شاغلي المبنى، وتحفيز الجهات المستأجرة على تبني ممارسات ترشيد الاستهلاك ضمن مساحاتها.

⇐ إنشاء لجنة دائمة للاستدامة وكفاءة الطاقة في المركز، تضم ممثلين عن الإدارات المختلفة، وتتولّى متابعة تنفيذ الاستراتيجية، ورفع التقارير الدورية للإدارة العليا، واقتراح التحسينات المستمرة.

⇐ تطوير لوحات معلومات (Dashboards) لعرض بيانات استهلاك الطاقة بشكل لحظي وسنوي، تُتاح للمعنيين داخل المركز، بما يُعزّز الشفافية ويدعم عملية اتخاذ القرار القائم على البيانات.

⇐ مراجعة عناصر التصميم الداخلي القابلة للتعديل بما يُعزّز الاستفادة من الإضاءة الطبيعية، وتحسين أداء العزل الحراري في الأجزاء التي تسمح بذلك، بالتنسيق مع الجهات الاستشارية المتخصصة.

⇐ السعي للحصول على شهادات الاستدامة الدولية المعتمدة كشهادة LEED وشهادة "مستدام" السعودية، بوصفها إطاراً مرجعياً يضبط الممارسات ويُقدّم مساراً واضحاً للتحسين المستمر.

⇐ تعزيز التعاون مع الجهات الأكاديمية والبحثية المتخصصة في مجال الاستدامة وكفاءة الطاقة، عبر عقد شراكات بحثية تُوفّر للمركز حلولاً مبتكرة تتسجم مع خصوصيته التشغيلية.

⇐ مواءمة استراتيجية الاستدامة في المركز مع أهداف رؤية المملكة 2030، ولا سيما فيما يتصل بمستهدفات كفاءة الطاقة والاقتصاد الأخضر والمدن المستدامة، بما يُعزّز موقع المركز بوصفه نموذجاً وطنياً يُحتذى.

⇐ تخصيص جزءٍ من ميزانية المركز السنوية للبحث والتطوير في مجال الاستدامة وكفاءة الطاقة، مع تشجيع الابتكار الداخلي عبر مسابقات ومبادرات تستقطب أفكار العاملين.

4.5 الدراسات المستقبلية المقترحة

في ضوء ما توصّلت إليه الدراسة الحالية، يقترح الباحث إجراء الدراسات المستقبلية الآتية بوصفها امتداداً علمياً للجهد البحثي الحالي:

⇐ أولاً، دراسة أثر ممارسات الاستدامة في المباني على متغيرات تابعة أخرى غير خفض استهلاك الطاقة، كترشيد استهلاك المياه، أو خفض البصمة الكربونية، أو تحسين جودة البيئة الداخلية، أو رفع إنتاجية العاملين في المرافق الإدارية.

⇐ ثانياً، إجراء دراسات مقارنة بين عدة مراكز ومجمعات إدارية كبرى في المملكة العربية السعودية، للكشف عن العوامل المؤسسية والتشغيلية التي تُفسّر التباين في مستويات تطبيق ممارسات الاستدامة وأثرها على خفض الاستهلاك.

⇐ ثالثاً، دراسة دور المتغيرات الوسيطة والمعدّلة في العلاقة بين ممارسات الاستدامة وخفض استهلاك الطاقة، كثقافة المنظمة، ونمط القيادة، ومستوى النضج التقني، ودرجة الالتزام بمعايير الحوكمة البيئية.

⇐ رابعاً، تناول أثر تطبيق تقنيات ناشئة كالذكاء الاصطناعي والتوائم الرقمية (Digital Twins) في إدارة استهلاك الطاقة داخل المرافق الكبرى، بوصفها امتداداً نوعياً لبُعد التقنيات الذكية.

⇐ خامساً، دراسة التحديات المؤسسية والتنظيمية والمالية التي تعترض تطبيق ممارسات الاستدامة في المرافق السعودية، مع اقتراح مداخل عملية لتجاوزها.

⇐ سادساً، إجراء دراسات طولية (Longitudinal Studies) تتبّع التطور في مستويات استهلاك الطاقة داخل المرافق قبل تطبيق ممارسات الاستدامة وبعدها، لبناء فهم زمني أعمق لديناميكية العلاقة بين المتغيرين.

⇐ سابعاً، توسيع نطاق الدراسة ليشمل قطاعات أخرى ذات كثافة تشغيلية عالية كالمستشفيات والفنادق والمجمعات التجارية، مع بناء نموذج تحليلي يقارن بين هذه القطاعات في درجة استجابتها لممارسات الاستدامة.

⇐ ثامناً، دراسة أثر السياسات والتشريعات الوطنية المتصلة بكفاءة الطاقة على قرارات المرافق الكبرى في تبني ممارسات الاستدامة، بما يربط بين المستوى الجزئي للمنشأة والمستوى الكلي للسياسة العامة.

Abstract

This study aimed to measure the impact of sustainability practices in buildings, through their four dimensions—energy systems efficiency, green architectural design, smart technologies and the Internet of Things, and sustainable resource and material management—on reducing energy consumption in the facilities of the King Abdullah Financial District in Riyadh. The study adopted a descriptive-analytical approach, utilizing a questionnaire as the primary data collection instrument, designed on a five-point Likert scale and consisting in its final form of (26) items distributed across the independent and dependent variables, in addition to the demographic section. The questionnaire was administered to a stratified random sample of (205) respondents working in departments related to facility management, operations, maintenance, sustainability, and engineering design within the center. Data were analyzed using SPSS software, employing a range of statistical techniques including means, standard deviations, Cronbach's Alpha, Pearson correlation coefficient, and simple and multiple linear regression analyses. The findings revealed a statistically significant impact at ($\alpha \leq 0.05$) of sustainability practices, in their combined dimensions, on energy consumption reduction, with these dimensions explaining (78%) of the variance in the dependent variable. The results also showed that the smart technologies and IoT dimension had the strongest impact, followed by energy systems efficiency, then green architectural design, and finally sustainable resource management. The study concluded with several recommendations, most notably enhancing investment in smart building management systems, expanding reliance on renewable energy sources, developing a long-term strategic energy management plan with precise performance indicators, and fostering an institutional culture supportive of sustainability.

Keywords: Sustainability Practices, Green Buildings, Energy Consumption Reduction, Energy Systems Efficiency, Smart Technologies, Internet of Things, King Abdullah Financial District, Riyadh.

المراجع

أولاً: المراجع العربية

- باعبد، عبدالله عبدالرحمن سالم. (2025). أثر انتشار المباني الاسمنتية في المدن الحضرية: مدينة تريم حالة دراسية. مجلة الآداب والعلوم الإنسانية، مج2، عدد خاص ، 153 - 170. مسترجع من <http://search.mandumah.com/Record/1654913>
- 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>
- 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>
- جوثر، أسامة عبدالسلام، و الجبوري، أنس ذياب سالم. (2025). دراسة تأثير الاستثمار في البنية التحتية للطاقة المتجددة على استهلاك الطاقة الشمسية مع الأخذ في الاعتبار دور رأس المال البشري والتنمية المالية وسياسة الطاقة في دول الخليج العربي باستخدام طريقة PSTR. مجلة تكريت للعلوم الإدارية والاقتصادية، مج21، ع71 ، 18 - 32. مسترجع من <http://search.mandumah.com/Record/1657257>
- 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>

- 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>
- صميلي، خديجة محمد طاهر، و بوقري، فريدة بنت كامل بن يوسف. (2024). أثر المناخ على استهلاك الطاقة الكهربائية السكنية في مدينة جدة. مجلة العلوم الإنسانية والإجتماعية، مج8، ع4 ، 14 - 25. مسترجع من <http://search.mandumah.com/Record/1479709>
- عبدالرحمن، نورهان عبدالرحمن محمود، أبو زيد، أحمد صبري أحمد، و حسن، أماني أحمد مختار محمود. (2023). العلاقة بين تطبيق تكنولوجيا النانو في المباني الخضراء والتنمية المستدامة في النظرية والدراسات التطبيقية. المجلة العلمية للدراسات التجارية والبيئية، مج14، ع4 ، 368 - 390. مسترجع من <http://search.mandumah.com/Record/1505210>
- عبدالعال، محمد عبدالفتاح سيد، السقطي، خالد جابر عبدالله، و سليمان، أحمد محمد. (2024). تأثير تفعيل الدور الاستراتيجي للطاقة المتجددة على الاستدامة في المباني بالتطبيق على المولات التجارية في القاهرة الكبرى. المجلة العلمية للدراسات التجارية والبيئية، مج15، ع2 ، 1314 - 1394. مسترجع من <http://search.mandumah.com/Record/1551439>
- عواد، أمل عبدالخالق محمود، المسلمي، غادة محمد فتحي، و إبراهيم، إسماء 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>
- عواد، أمل عبدالخالق محمود، المسلمي، غادة محمد فتحي، و إبراهيم، إسماء 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>
- قاسم، أحمد، و ختير، فوزية فاطمة. (2024). البنية الأرشيفية الخضراء: بنية أرشيفية مستدامة طبيعياً وأمنة اجتماعياً. رفوف، مج12، ع1 ، 188 - 202. مسترجع من <http://search.mandumah.com/Record/1474306>

- قورين، خديجة. (2021). المباني الخضراء: دعامة أساسية لتحقيق إستدامة بيئية: عرض لبعض النماذج الدولية الناجحة. مجلة دفاتر اقتصادية، مج12، ع1 ، 18. 1 - مسترجع من <http://search.mandumah.com/Record/1156048>
- قورين، خديجة. (2021). المباني الخضراء: دعامة أساسية لتحقيق إستدامة بيئية: عرض لبعض النماذج الدولية الناجحة. مجلة دفاتر اقتصادية، مج12، ع1 ، 18. 1 - مسترجع من <http://search.mandumah.com/Record/1156048>
- مرسل، أميرة مرسل 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>
- النحاس، أسامة محمد كمال، يوسف، وجيه فوزي، و أحمد، أسماء سمير محمد. (2023). استدامة العمارة بين الماضي والحاضر: استدامة دور العبادة الإسلامية والمسيحية. مجلة التراث والتصميم، مج3، ع17 ، 23 - 57. مسترجع من <http://search.mandumah.com/Record/1410935>
- النخيلي، محمد عزت، و الحواج، فيصل صادق. (2025). تحديات تطبيق التصميم والبناء المستدام في مشروعات البناء بالكويت. مجلة العلوم الهندسية وتكنولوجيا المعلومات، مج9، ع1 ، 17 - 1. مسترجع من <http://search.mandumah.com/Record/1583872>
- 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>
- 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>
- 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>

▪ 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>

ثانياً: المراجع الأجنبية

- Chen, L., Hu, Y., Wang, R., Li, X., Chen, Z., Hua, J., ... & Yap, P. S. (2024). Green building practices to integrate renewable energy in the construction sector: a review. *Environmental Chemistry Letters*, 22(2), 751-784.
- Heydari, M., Heydari, A., & Amini, M. (2023). Energy Management and Energy Consumption: A Comprehensive Study. *World Information Technology and Engineering Journal*, 10(04), 22-28
- 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
- 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
- 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.
- Santamouris, M., & Vasilakopoulou, K. (2021). Present and future energy consumption of buildings: Challenges and opportunities towards decarbonisation. *e-Prime-Advances in Electrical Engineering, Electronics and Energy*, 1, 100002.
- Santamouris, M., & Vasilakopoulou, K. (2021). Present and future energy consumption of buildings: Challenges and opportunities towards decarbonisation. *e-Prime-Advances in Electrical Engineering, Electronics and Energy*, 1, 100002.
- 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
- 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.
- Usman, A. M., & Abdullah, M. K. (2023). An assessment of building energy consumption characteristics using analytical energy and carbon footprint assessment model. *Green and Low-Carbon Economy*, 1(1), 28-40.

الملاحق

استمارة استبيان

السلام عليكم ورحمة الله وبركاته

أخي الكريم / أختي الكريمة

تحية طيبة وبعد،

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

ونظراً لما لديكم من المعرفة العلمية والخبرة العملية ذات الصلة بموضوع البحث، نأمل الحصول منكم على العون والمساعدة في توفير المعلومات المناسبة لأغراض البحث، من خلال التكرم بإبداء رأيكم بالتأشير على الإجابة المناسبة من وجهة نظركم.

وأتقدم لحضراتكم بجزيل الشكر والتقدير للمساهمة في جهودكم في تعبئة هذا الاستبيان علماً أن جميع البيانات التي سيتم الحصول عليها منكم ستعامل بسرية تامة، ولن تستخدم لغير أغراض هذا البحث، وسوف أزوّدكم بنتائج هذه الدراسة حال اكتمالها إن شاء الله.

وتفضلوا بقبول فائق التقدير والاحترام

أولاً: البيانات الشخصية

1- النوع الاجتماعي ☐ ذكر ☐ أنثى

2- العمر ☐ 30 سنة فأقل ☐ من 40 - 30 سنة
☐ 50 - 40 سنة ☐ من 50 سنة فأكثر

3- المؤهل العلمي ☐ دبلوم ☐ بكالوريوس
☐ ماجستير ☐ دكتوراه

4- سنوات الخبرة ☐ 5 سنوات فأقل ☐ من 5 - 10 سنوات
☐ من 10 - 15 سنة ☐ أكثر من 15 سنة

5- الفئة الوظيفية ☐ فني / مشغل ☐ أخصائي
☐ رئيس قسم ☐ مدير إدارة فأعلى

ثانياً محاور الاستبيان

❁ المحور الأول: ممارسات الاستدامة في المباني، ضع إشارة (✓) في المربع المناسب لاختيارك:

معارض بشدة	أوافق بشدة	أوافق	محايد	معارض	البعد
كفاءة أنظمة الطاقة					
					يعتمد المركز على أنظمة تكييف وتبريد عالية الكفاءة تتلاءم مع طبيعة المناخ في مدينة الرياض.
					تُدار أنظمة الإضاءة داخل المركز باستخدام تقنيات موفرة للطاقة كمصابيح LED والحساسات.
					تُوظف مصادر الطاقة المتجددة كالطاقة الشمسية بوصفها رافداً لتزويد المركز بالطاقة.
					يخضع الأداء الطاقوي لأنظمة المركز لمراجعات دورية بهدف تحسين الكفاءة.
التصميم المعماري الأخضر					
					صُمم المركز بما يُراعي توجيه المبنى وعلاقته بحركة الشمس لتقليل الأحمال الحرارية.
					يعتمد المركز على مواد عزل حراري متطورة في الغلاف الخارجي للمبنى.
					تُوظف الإضاءة الطبيعية في تصميم المساحات الداخلية للمركز بصورة كافية.
					تُراعى في التصميم الداخلي معايير الاستدامة البيئية والراحة الحرارية.

البعد					أوافق بشدة	أوافق	محايد	معارض	معارض بشدة
التقنيات الذكية وإنترنت الأشياء									
يُوظَّف المركز أنظمة إدارة المباني الذكية (BMS) لضبط استهلاك الطاقة.									
تُستخدم حساسات ذكية للكشف عن الإشغال وضبط الإضاءة والتكييف تلقائياً.									
تُوظَّف تقنيات إنترنت الأشياء (IoT) في متابعة أداء الأنظمة داخل المركز.									
تُستخدم أدوات تحليلية متقدمة للتنبؤ باستهلاك الطاقة وتحسينه.									
إدارة الموارد والمواد المستدامة									
يعتمد المركز على مواد بناء صديقة للبيئة قابلة لإعادة التدوير.									
تُطبق سياسات لترشيد استهلاك المياه ضمن منظومة إدارة الموارد.									
تُدار المخلفات الناتجة عن تشغيل المركز وفق ممارسات مستدامة.									
تُختار الموردون والمقاولون وفق معايير الاستدامة البيئية.									

✿ المحور الثاني: خفض استهلاك الطاقة، ضع إشارة (✓) في المربع المناسب لاختيارك:

المبعد	أوافق بشدة	أوافق	محايد	معارض بشدة	معارض
انخفضت كميات الطاقة الكهربائية المستهلكة في المركز خلال السنوات الأخيرة.					
تراجعت الأحمال التبريدية بفضل تحسينات الغلاف الخارجي والتصميم.					
انخفضت تكاليف تشغيل المرافق المرتبطة بالطاقة بشكل ملموس.					
تُدار ذروة الأحمال الكهربائية بكفاءة تُقلل من الاستهلاك في أوقات الذروة.					
تراجع الاعتماد على مصادر الطاقة التقليدية لصالح المصادر البديلة.					
تحسّنت مؤشرات كفاءة استخدام الطاقة (kWh/m ²) في المركز.					
تراجعت البصمة الكربونية للمركز بفعل تدخلات ترشيد الاستهلاك.					
تُتيح أنظمة القياس اللحظي رصد الانحرافات في الاستهلاك ومعالجتها.					
يُواكب المركز المعايير الوطنية والدولية لكفاءة الطاقة في المباني.					
تُسهم التدخلات المطبقة في إطالة العمر الافتراضي للأنظمة الطاقية.					

مع خالص التقدير والاحترام

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:

**Main supervisor/
Dr. Al-Faisal Abdelhamid**

**Second supervisor/
Dr. Fayez Jarad**

2026 – 1448