

دور الطاقة الشمسية في تحسين كفاءة استهلاك الطاقة في مراكز البيانات بالمملكة
العربية السعودية: دراسة تطبيقية على مراكز البيانات

**Role of Solar Energy in Improving Energy
Consumption Efficiency in Data Centers in the
Kingdom of Saudi Arabia: An Applied Study**

إعداد الطالب /

خالد ابراهيم العثمان

Khaled Ibrahim Alothman

الرقم الجامعي / 253002748

إشراف /

د. الفيصل عبد الحميد محمد حسن

د. فايز جراد

العام الدراسي /

2026

حقوق الطباعة

حقوق الطباعة محفوظة لجامعة ميدأوشن.

جميع الحقوق المتعلقة بهذه الرسالة محفوظة لجامعة ميدأوشن، ولا يجوز إعادة طباعة هذه الرسالة أو نسخها أو اقتباس أجزاء جوهرية منها أو تخزينها أو نشرها بأي وسيلة إلكترونية أو ورقية أو ميكانيكية أو بأي وسيلة أخرى، إلا بعد الحصول على موافقة خطية مسبقة من الجامعة، مع الالتزام بحقوق الملكية الفكرية وقواعد الأمانة العلمية المعمول بها.

وقد أُعدت هذه الرسالة استكمالاً لمتطلبات الحصول على درجة الماجستير في إدارة الأعمال، وتتحمل الآراء والنتائج الواردة فيها مسؤولية الباحث، ولا تعبر بالضرورة عن وجهة نظر جامعة ميدأوشن أو كلية الإدارة.

الباحث

خالد إبراهيم العثمان



الإهداء

إلى والديَّ العزيزين، اللذين كانا بعد الله تعالى مصدر الدعم والعطاء، وغرسا في نفسي حب العلم، وألهماني الصبر والمثابرة، فلهما مني كل التقدير والامتنان.

إلى أسرتي الكريمة، التي كانت سندًا لي طوال مسيرتي العلمية، ووفرت لي الدعم والتشجيع في جميع مراحل هذه الرحلة.

إلى الدكاترة الكرام، اللذين أثروا رحلتي العلمية بعلمهم وتوجيهاتهم، وكان لتشجيعهم وملاحظاتهم القيمة بالغ الأثر في إنجاز هذه الرسالة.

إلى زملائي وأصدقائي، اللذين رافقوني في هذه المسيرة، وكانوا خير عون بالدعم والتحفيز وتبادل الخبرات.

وإلى كل من قدم لي كلمة صادقة، أو نصيحة مخلصة، أو دعمًا كان له أثر في إتمام هذه الرسالة، أهدي هذا العمل، سائلًا الله عز وجل أن يجعله عملًا نافعًا، وأن يكتب فيه الخير والفائدة.

والله ولي التوفيق.

الشكر والتقدير

الحمد لله رب العالمين، الذي بنعمته تتم الصالحات، والصلاة والسلام على سيدنا محمد صلى الله عليه وسلم، وعلى آله وصحبه أجمعين.

أتقدم بخالص الشكر وعظيم الامتنان إلى الله سبحانه وتعالى، الذي وفقني وأعانني على إتمام هذه الرسالة، ومنّ عليّ بالصبر والعون طوال مراحل إعدادها.

كما أتقدم بجزيل الشكر والتقدير إلى المشرفين الكريمين:

د. الفيصّل عبدالحميد محمد حسن

د. فايز جراد

على ما قدماه من توجيه علمي سديد، وملاحظات قيمة، ودعم مستمر، وحرص دائم على إخراج هذه الرسالة بأفضل صورة ممكنة، فلهما مني خالص الشكر والتقدير، وأسأل الله أن يجزيهما خير الجزاء.

كما أتقدم بالشكر إلى جامعة ميدأوشن، ممثلة بكلية الإدارة، على ما وفّرت من بيئة أكاديمية أسهمت في إنجاز هذه الدراسة، وإلى جميع أعضاء هيئة التدريس الذين كان لهم دور في إثراء معارفي العلمية خلال مرحلة الدراسة.

ولا يفوتني أن أتقدم بالشكر والتقدير إلى أفراد عينة الدراسة، وجميع من أسهم في إنجاز هذا البحث من خلال تعاونهم وتقديم المعلومات اللازمة، مما كان له بالغ الأثر في تحقيق أهداف الدراسة.

وأتوجه بخالص الشكر والتقدير إلى أسرتي الكريمة، التي كانت خير داعم وسند لي طوال رحلتي العلمية، وإلى كل من وقف إلى جانبي، وقدم لي الدعم والتشجيع، أو أسهم في إنجاز هذه الرسالة بأي صورة كانت.

وفي الختام، أسأل الله تعالى أن يجعل هذا العمل خالصاً لوجهه الكريم، وأن ينفع به الباحثين والمهتمين، وأن يوفق الجميع لما فيه الخير والسداد.

والله ولي التوفيق.

المستخلص

هدفت هذه الدراسة إلى التعرف على دور الطاقة الشمسية في تحسين كفاءة استهلاك الطاقة في مراكز البيانات بالمملكة العربية السعودية، من خلال دراسة تطبيقية استهدفت العاملين في عدد من مراكز البيانات. وتتبع أهمية الدراسة من التوسع المتزايد في استخدام مراكز البيانات وما يترتب عليه من ارتفاع في استهلاك الطاقة الكهربائية، الأمر الذي يستدعي البحث عن حلول مستدامة تسهم في تحسين كفاءة استهلاك الطاقة وتقليل الآثار البيئية، ويأتي استخدام الطاقة الشمسية بوصفه أحد أبرز الحلول الواعدة لتحقيق هذه الأهداف.

اعتمدت الدراسة على المنهج الوصفي التحليلي، واستخدمت الاستبانة أداة رئيسة لجمع البيانات، حيث تم تصميم استبانة مكونة من (20) فقرة موزعة على محورين رئيسيين هما: إمكانية تطبيق الطاقة الشمسية في مراكز البيانات، وأثر الطاقة الشمسية في تحسين كفاءة استهلاك الطاقة. وقد جرى توزيع الاستبانة على عينة مكونة من (150) من العاملين في مراكز البيانات بالمملكة العربية السعودية، وتم تحليل البيانات باستخدام برنامج الحزم الإحصائية للعلوم الاجتماعية (SPSS)، مع الاستعانة بعدد من الأساليب الإحصائية المناسبة لتحقيق أهداف الدراسة واختبار فرضيتها.

وأظهرت نتائج الدراسة وجود أثر إيجابي ذي دلالة إحصائية لاستخدام الطاقة الشمسية في تحسين كفاءة استهلاك الطاقة في مراكز البيانات، كما بينت النتائج وجود مستوى مرتفع من الوعي لدى أفراد العينة بأهمية الطاقة الشمسية ودورها في تقليل استهلاك الكهرباء، وخفض تكاليف التشغيل، وتعزيز الاستدامة البيئية. وأكدت النتائج كذلك أن تطوير البنية التحتية، وتبني التقنيات الحديثة، وتوفير الكفاءات البشرية المؤهلة، تمثل عوامل رئيسة في نجاح تطبيق أنظمة الطاقة الشمسية داخل مراكز البيانات.

وفي ضوء النتائج، أوصت الدراسة بالتوسع في استخدام الطاقة الشمسية في مراكز البيانات، وتقديم الحوافز للمؤسسات التي تستثمر في مشاريع الطاقة المتجددة، وتطوير أنظمة إدارة الطاقة الذكية، ورفع كفاءة البنية التحتية، وتعزيز التعاون بين الجهات الحكومية والقطاع الخاص والمؤسسات البحثية لدعم تطبيقات الطاقة المتجددة وتحقيق مستهدفات رؤية المملكة العربية السعودية 2030 في مجالات الاستدامة والتحول الرقمي.

الكلمات المفتاحية: الطاقة الشمسية، كفاءة استهلاك الطاقة، مراكز البيانات، الطاقة المتجددة، الاستدامة، المملكة العربية السعودية.

Abstract

This study aimed to examine the role of solar energy in improving energy consumption efficiency in data centers in the Kingdom of Saudi Arabia through an applied study targeting employees working in data centers. The importance of the study stems from the rapid expansion of data centers and the increasing demand for electrical energy required to operate them, highlighting the need for sustainable solutions that enhance energy efficiency and reduce environmental impacts. Solar energy is considered one of the most promising renewable energy sources capable of achieving these objectives.

The study adopted the descriptive analytical approach and used a questionnaire as the primary data collection instrument. The questionnaire consisted of 20 items distributed across two main dimensions: the applicability of solar energy in data centers and the impact of solar energy on improving energy consumption efficiency. The questionnaire was distributed to a sample of 150 employees working in data centers in the Kingdom of Saudi Arabia. The collected data were analyzed using the Statistical Package for the Social Sciences (SPSS) along with appropriate descriptive and inferential statistical techniques to achieve the study objectives and test its hypothesis.

The findings revealed a statistically significant positive effect of solar energy on improving energy consumption efficiency in data centers. The results also indicated a high level of awareness among respondents regarding the feasibility of implementing solar energy systems and their role in reducing electricity consumption, lowering operational costs, and promoting environmental sustainability.

Based on the findings, the study recommends expanding the adoption of solar energy in data centers, encouraging investment in renewable energy projects, developing smart energy management systems, upgrading infrastructure, enhancing the capabilities of technical personnel, and strengthening cooperation among government agencies, the private sector, and research institutions to support renewable energy applications and contribute to achieving the objectives of Saudi Vision 2030 in sustainability and digital transformation.

Keywords: Solar Energy, Energy Consumption Efficiency, Data Centers, Renewable Energy, Sustainability, Kingdom of Saudi Arabia.

فهرس المحتويات

Role of Solar Energy in Improving Energy Consumption Efficiency in Data Centers in the Kingdom of Saudi Arabia: An Applied Study..... أ

الفصل الاول	1
1.1 مقدمة	2
1.2 مشكلة الدراسة	5
1.3 أهمية الدراسة	6
1.3.1 الأهمية العلمية	6
1.3.2 الأهمية العملية	6
1.4 أهداف الدراسة	7
1.5 تساؤلات الدراسة	8
1.6 فرضيات الدراسة	9
1.7 حدود الدراسة	9
1.7.1 الحدود الموضوعية	9
1.7.2 الحدود المكانية	10
1.7.3 الحدود الزمانية	10
1.7.4 الحدود البشرية	10
1.8 مصطلحات الدراسة	10
1.8.1 الطاقة الشمسية	10
1.8.2 مراكز البيانات	10
1.8.3 كفاءة استهلاك الطاقة	11
1.8.4 كفاءة استهلاك الطاقة في مراكز البيانات	11
1.9 خاتمة الفصل	11
الفصل الثاني	12
2.1 مقدمة الفصل	13
2.2 مفهوم مراكز البيانات وأهميتها	14
2.2.1 تطور مراكز البيانات	15
2.2.2 مراكز البيانات في المملكة العربية السعودية	15
2.3 كفاءة استهلاك الطاقة في مراكز البيانات	16
2.3.1 مؤشرات قياس كفاءة استهلاك الطاقة	16
2.3.2 أساليب تحسين كفاءة استهلاك الطاقة في مراكز البيانات	17

2.4	الطاقة الشمسية: المفهوم والأهمية والتطبيقات	18
2.5	العلاقة بين الطاقة الشمسية وكفاءة استهلاك الطاقة في مراكز	
البيانات	20	
2.6	الدراسات السابقة	22
2.6.1	الدراسات العربية	22
2.6.2	الدراسات الأجنبية	23
2.6.3	التعقيب على الدراسات السابقة	25
2.7	تحليل الدراسات السابقة والفجوة البحثية	26
2.8	الإطار النظري للدراسة	27
2.9	النموذج المفاهيمي للدراسة	28
2.10	ملخص الفصل	29
	الفصل الثالث	30
3.1	مقدمة الفصل	31
3.2	منهج الدراسة	31
3.3	مجتمع الدراسة	32
3.4	عينة الدراسة وطريقة اختيارها	33
3.5	أداة الدراسة	34
3.6	صدق أداة الدراسة	36
3.7	ثبات أداة الدراسة	37
3.8	إجراءات جمع البيانات	38
3.9	الأساليب الإحصائية المستخدمة في تحليل البيانات	39
3.10	ملخص الفصل	40
	الفصل الرابع	41
4.1	مقدمة الفصل	42
4.2	الخصائص الديموغرافية لأفراد عينة الدراسة	42
4.3	تحليل استجابات أفراد العينة لمحور تطبيق الطاقة الشمسية	48
4.4	تحليل استجابات أفراد العينة لمحور أثر الطاقة الشمسية	49
4.5	اختبار فرضيات الدراسة	51
4.6	مناقشة النتائج	53
4.7	ملخص الفصل	55
	الفصل الخامس	56
5.1	مقدمة الفصل	57
5.2	النتائج التي توصلت إليها الدراسة	57

5.3	التوصيات.....	59
5.4	المقترحات للدراسات المستقبلية.....	60
5.5	ملخص الفصل.....	61
	المراجع.....	63
6.1	الكتب.....	64
6.2	الدوريات.....	64
6.3	المصادر الإلكترونية.....	65
	الملاحق.....	i
	استمارة استبيان.....	ii

قائمة الجداول

الجدول 1-3 مكونات الاستبانة 1	35
الجدول (1-4) توزيع أفراد عينة الدراسة حسب متغير الجنس 2	43
الجدول (2-4) توزيع أفراد عينة الدراسة وفقاً للمؤهل العلمي 3	44
الجدول (3-4) توزيع أفراد عينة الدراسة حسب سنوات الخبرة 4	45
الجدول (4-4) توزيع أفراد عينة الدراسة حسب المسمى الوظيفي 5	46
الجدول (5-4) توزيع أفراد العينة حسب نوع جهة العمل 6	47
الجدول (6-4) المتوسطات الحسابية والانحرافات المعيارية لمحور تطبيق الطاقة الشمسية 7	48
الجدول (7-4) المتوسطات الحسابية والانحرافات المعيارية لمحور أثر الطاقة الشمسية 8	50
الجدول (8-4) نتائج اختبار الانحدار الخطي 9	52

الفصل الاول

المدخل العام للبحث

1.1 مقدمة

يشهد العالم خلال العقود الأخيرة تحولاً رقمياً متسارعاً أدى إلى إحداث تغيرات جوهرية في مختلف القطاعات الاقتصادية والإدارية والخدمية، حيث أصبحت التقنيات الرقمية، والحوسبة السحابية، والذكاء الاصطناعي، وإنترنت الأشياء، وتحليل البيانات الضخمة من الركائز الأساسية التي تعتمد عليها المؤسسات في إدارة أعمالها وتحسين كفاءتها التشغيلية وتعزيز قدرتها التنافسية. وقد أسهم هذا التحول في زيادة الاعتماد على مراكز البيانات (Data Centers)، التي أصبحت تمثل البنية التحتية الأساسية للاقتصاد الرقمي، لما تؤديه من دور محوري في تخزين البيانات، ومعالجتها، وإدارتها، وضمان استمرارية الخدمات الرقمية التي تعتمد عليها الحكومات والمؤسسات والشركات والأفراد. وتشير وكالة الطاقة الدولية (IEA, 2025) إلى أن التوسع في تطبيقات الذكاء الاصطناعي والحوسبة السحابية يعد من أبرز العوامل التي تقود النمو المتسارع في الطلب على مراكز البيانات عالمياً .

وبوأكب هذا النمو تطوراً متسارعاً في حجم البيانات الرقمية الناتجة عن الأنشطة الاقتصادية والخدمية، الأمر الذي أدى إلى زيادة أعداد مراكز البيانات وتوسع قدراتها التشغيلية بصورة غير مسبقة. وأصبحت هذه المراكز عنصراً أساسياً في دعم التجارة الإلكترونية، والخدمات الحكومية الرقمية، والقطاع المالي، والرعاية الصحية، والتعليم، وغيرها من القطاعات التي تعتمد على استمرارية الخدمات الرقمية وسرعة معالجة البيانات. ونتيجة لذلك، لم تعد مراكز البيانات مجرد مرافق تقنية، بل أصبحت أحد أهم الأصول الاستراتيجية التي تعتمد عليها الدول في دعم اقتصاداتها الرقمية وتحقيق التنمية المستدامة.

وفي المقابل، أدى هذا التوسع إلى ارتفاع كبير في الطلب على الطاقة الكهربائية، نظراً لاعتماد مراكز البيانات على تشغيل الخوادم، وأنظمة التخزين، ومعدات الشبكات، وأنظمة التبريد، ومصادر التغذية الكهربائية غير المنقطعة على مدار الساعة دون توقف. وتشكل أنظمة التبريد وحدها نسبة كبيرة من إجمالي استهلاك الطاقة داخل مراكز البيانات، الأمر الذي يجعل الطاقة الكهربائية أحد أكبر عناصر التكلفة التشغيلية، كما يجعل تحسين كفاءة استهلاك الطاقة من أهم المؤشرات المستخدمة عالمياً لتقييم الأداء التشغيلي والاستدامة البيئية لمراكز البيانات. وتشير التقديرات الحديثة إلى أن الطلب العالمي على الكهرباء في مراكز البيانات سيواصل النمو خلال السنوات المقبلة نتيجة التوسع في تطبيقات الذكاء الاصطناعي والخدمات السحابية، وهو ما يمثل تحدياً كبيراً أمام الحكومات والشركات المشغلة لهذه المراكز. (IEA, 2025)

وأمام هذه التحديات، اتجهت العديد من الدول والمؤسسات العالمية إلى تطوير استراتيجيات تهدف إلى تحسين كفاءة استهلاك الطاقة وتقليل الاعتماد على مصادر الطاقة التقليدية، من خلال التوسع في استخدام مصادر الطاقة المتجددة، وفي مقدمتها الطاقة الشمسية. وتعد الطاقة الشمسية من أكثر مصادر الطاقة المتجددة انتشارًا على مستوى العالم، لما تتميز به من انخفاض تكاليف التشغيل على المدى الطويل، وإسهامها في تقليل الانبعاثات الكربونية، وتحقيق الاستدامة البيئية، إلى جانب التطور المستمر في تقنيات الخلايا الشمسية وأنظمة تخزين الطاقة، مما جعلها خيارًا مناسبًا لتشغيل المنشآت ذات الاستهلاك المرتفع للطاقة، وفي مقدمتها مراكز البيانات. كما تشير الوكالة الدولية للطاقة المتجددة (IRENA, 2024) إلى أن التوسع في استخدام الطاقة المتجددة يمثل أحد أهم الحلول لتحقيق التحول نحو اقتصاد منخفض الكربون وتعزيز كفاءة استخدام الطاقة .

وفي المملكة العربية السعودية، يشهد قطاع مراكز البيانات نموًا متسارعًا نتيجة التوسع في برامج التحول الرقمي، والخدمات الحكومية الإلكترونية، والاستثمارات المتزايدة في تقنيات الحوسبة السحابية والذكاء الاصطناعي. ويتزامن ذلك مع تنفيذ العديد من المبادرات الوطنية التي تهدف إلى تنويع مصادر الطاقة وزيادة الاعتماد على الطاقة المتجددة ضمن مستهدفات رؤية المملكة العربية السعودية 2030، والتي تركز على بناء اقتصاد رقمي مستدام، وتعزيز كفاءة استخدام الطاقة، ودعم الاستثمارات في مشاريع الطاقة النظيفة، بما يسهم في تحقيق التنمية الاقتصادية والمحافظة على البيئة.

وتتمتع المملكة العربية السعودية بمقومات طبيعية واستراتيجية تجعلها من أكثر الدول ملائمة للاستثمار في الطاقة الشمسية، نظرًا لارتفاع معدلات الإشعاع الشمسي على مدار العام، وتوافر المساحات الواسعة المناسبة لتنفيذ مشاريع الطاقة المتجددة، إضافة إلى الدعم الحكومي المتزايد لهذا القطاع من خلال البرنامج الوطني للطاقة المتجددة والمبادرات المرتبطة برؤية المملكة العربية السعودية 2030. وقد أسهمت هذه الجهود في تعزيز توجه المملكة نحو رفع مساهمة الطاقة المتجددة في مزيج الطاقة الوطني، وتحقيق الاستخدام الأمثل للموارد الطبيعية، وتقليل الاعتماد على مصادر الطاقة التقليدية، بما يدعم أهداف الاستدامة البيئية والاقتصادية (Saudi Vision 2030, 2023).

ومن هذا المنطلق، أصبح دمج الطاقة الشمسية في تشغيل مراكز البيانات أحد الاتجاهات الحديثة التي تسعى العديد من المؤسسات إلى تبنيها، لما يمكن أن تحققه من فوائد اقتصادية وتشغيلية وبيئية. فمن الناحية الاقتصادية، تسهم الطاقة الشمسية في خفض تكاليف استهلاك الكهرباء على المدى الطويل، وتقليل الاعتماد على مصادر الطاقة التقليدية، بينما تسهم من الناحية التشغيلية في تعزيز استقرار منظومة الطاقة وتحسين كفاءة تشغيل

مراكز البيانات، أما من الناحية البيئية فإنها تساعد في خفض الانبعاثات الكربونية ودعم التوجه نحو تحقيق أهداف الاستدامة. كما أن التطورات الحديثة في تقنيات إدارة الطاقة والأنظمة الذكية أسهمت في رفع كفاءة استغلال الطاقة الشمسية داخل المنشآت ذات الاستهلاك المرتفع للطاقة، الأمر الذي زاد من جدواها الفنية والاقتصادية (IRENA, 2024).

ورغم الاهتمام العالمي المتزايد بدراسة تطبيقات الطاقة المتجددة في مراكز البيانات، فإن مراجعة الأدبيات العلمية تشير إلى محدودية الدراسات العربية، ولا سيما الدراسات التطبيقية التي تناولت دور الطاقة الشمسية في تحسين كفاءة استهلاك الطاقة في مراكز البيانات داخل المملكة العربية السعودية من منظور إداري يجمع بين الجوانب التشغيلية والاقتصادية والاستدامة البيئية. كما أن معظم الدراسات السابقة ركزت على الجوانب التقنية المتعلقة بتصميم أنظمة الطاقة أو تحسين أداء مراكز البيانات، في حين ما تزال الحاجة قائمة لإجراء دراسات تطبيقية تتناول أثر استخدام الطاقة الشمسية على كفاءة استهلاك الطاقة في بيئة الأعمال السعودية، وتقديم نتائج يمكن الاستفادة منها في دعم متخذي القرار وواضعي السياسات.

وبناءً على ما سبق، تأتي هذه الدراسة انطلاقاً من الحاجة إلى تحليل دور الطاقة الشمسية في تحسين كفاءة استهلاك الطاقة في مراكز البيانات بالمملكة العربية السعودية، من خلال دراسة تطبيقية تهدف إلى بيان مدى إسهام استخدام الطاقة الشمسية في رفع كفاءة استهلاك الطاقة، وخفض التكاليف التشغيلية، وتعزيز الاستدامة البيئية، بما ينسجم مع مستهدفات رؤية المملكة العربية السعودية 2030، ويسهم في دعم توجه المملكة نحو بناء بنية تحتية رقمية مستدامة وقادرة على مواكبة النمو المتسارع في الاقتصاد الرقمي.

وفي ضوء ما سبق، يتضح أن التوسع المستمر في مراكز البيانات يقابله تحدٍ متزايد يتمثل في ارتفاع استهلاك الطاقة الكهربائية وما يترتب عليه من آثار اقتصادية وبيئية وتشغيلية، الأمر الذي يستدعي البحث عن حلول مستدامة تسهم في تحسين كفاءة استخدام الطاقة دون التأثير في موثوقية الخدمات الرقمية. ورغم ما توفره الطاقة الشمسية من إمكانيات واعدة في هذا المجال، فإن مدى فاعلية توظيفها في مراكز البيانات بالمملكة العربية السعودية ما يزال بحاجة إلى مزيد من الدراسات التطبيقية. ومن هنا تنطلق الدراسة الحالية لاستقصاء دور الطاقة الشمسية في تحسين كفاءة استهلاك الطاقة في مراكز البيانات بالمملكة العربية السعودية.

1.2 مشكلة الدراسة

يشهد العالم في الوقت الحاضر توسعًا متسارعًا في استخدام التقنيات الرقمية، والذكاء الاصطناعي، والحوسبة السحابية، وإنترنت الأشياء، مما أدى إلى زيادة الاعتماد على مراكز البيانات باعتبارها البنية التحتية الرئيسة الداعمة للتحويل الرقمي وتقديم الخدمات الإلكترونية في مختلف القطاعات. وقد ترتب على هذا التوسع ارتفاع كبير في استهلاك الطاقة الكهربائية اللازمة لتشغيل الخوادم، وأنظمة التخزين، ومعدات الشبكات، وأنظمة التبريد، الأمر الذي أدى إلى زيادة التكاليف التشغيلية، وارتفاع الانبعاثات الكربونية، وظهور تحديات بيئية وتشغيلية تستدعي البحث عن حلول أكثر استدامة وكفاءة.

وفي المملكة العربية السعودية، يشهد قطاع مراكز البيانات نموًا ملحوظًا نتيجة التوسع في مشاريع التحويل الرقمي، والخدمات الحكومية الإلكترونية، والاستثمارات في تقنيات الذكاء الاصطناعي والحوسبة السحابية، وهو ما يتطلب توفير مصادر طاقة قادرة على تلبية الطلب المتزايد مع المحافظة على كفاءة التشغيل وتقليل الآثار البيئية. ورغم امتلاك المملكة لمقومات كبيرة في مجال الطاقة الشمسية، وما توليه من اهتمام متزايد بالطاقة المتجددة ضمن مستهدفات رؤية المملكة العربية السعودية 2030، فإن الاستفادة من الطاقة الشمسية في تشغيل مراكز البيانات ما تزال بحاجة إلى مزيد من الدراسات التطبيقية التي تقيم مدى إسهامها في تحسين كفاءة استهلاك الطاقة داخل هذه المراكز.

كما أظهرت مراجعة الأدبيات العلمية أن معظم الدراسات السابقة ركزت على الجوانب التقنية المتعلقة بتصميم أنظمة الطاقة الشمسية أو تحسين أداء مراكز البيانات من الناحية الهندسية، في حين أن الدراسات التي تناولت العلاقة بين استخدام الطاقة الشمسية وتحسين كفاءة استهلاك الطاقة من منظور إداري وتطبيقي داخل المملكة العربية السعودية ما تزال محدودة، الأمر الذي يشير إلى وجود فجوة بحثية تستدعي إجراء دراسة تطبيقية تسهم في تقديم نتائج يمكن الاستفادة منها في دعم متخذي القرار، وتعزيز توجه المؤسسات نحو تبني حلول الطاقة المستدامة في مراكز البيانات.

وانطلاقًا مما سبق، تتمثل مشكلة الدراسة في الحاجة إلى التعرف على مدى إسهام استخدام الطاقة الشمسية في تحسين كفاءة استهلاك الطاقة في مراكز البيانات بالمملكة العربية السعودية، من خلال دراسة تطبيقية تستند إلى آراء العاملين في هذا القطاع، بما يسهم في تقديم مؤشرات علمية وعملية تدعم التوسع في استخدام مصادر الطاقة المتجددة، وتعزز تحقيق أهداف الاستدامة وكفاءة الطاقة.

وتتمثل مشكلة الدراسة في الإجابة عن السؤال الرئيس الآتي:

ما دور الطاقة الشمسية في تحسين كفاءة استهلاك الطاقة في مراكز البيانات بالمملكة العربية السعودية؟

1.3 أهمية الدراسة

1.3.1 الأهمية العلمية

تستمد هذه الدراسة أهميتها العلمية من تناولها أحد الموضوعات الحديثة التي تحظى باهتمام متزايد على المستويين الأكاديمي والمهني، والمتمثل في توظيف الطاقة الشمسية لتحسين كفاءة استهلاك الطاقة في مراكز البيانات. ويُعد هذا المجال من الموضوعات التي لا تزال بحاجة إلى مزيد من الدراسات، خاصة في البيئة السعودية، في ظل محدودية الدراسات العربية التي تناولت العلاقة بين استخدام الطاقة الشمسية وكفاءة استهلاك الطاقة في مراكز البيانات من منظور إداري وتطبيقي.

كما تسهم الدراسة في إثراء الأدبيات العلمية المتعلقة بالطاقة المتجددة والاستدامة وإدارة الطاقة، من خلال تقديم إطار علمي يربط بين استخدام الطاقة الشمسية وتحسين كفاءة استهلاك الطاقة في مراكز البيانات، بما يساعد الباحثين على الاستفادة من نتائجها في إجراء دراسات مستقبلية تتناول متغيرات أو قطاعات أخرى ذات صلة.

وتتمثل الأهمية العلمية أيضًا في دعم المعرفة العلمية المتعلقة بتطبيقات الطاقة المتجددة في بيئات الأعمال الحديثة، وإبراز أهمية دمج الحلول المستدامة في القطاعات الرقمية، بما يواكب التوجهات العالمية نحو التحول الرقمي والاقتصاد الأخضر.

1.3.2 الأهمية العملية

تتبع الأهمية العملية لهذه الدراسة من إمكانية الاستفادة من نتائجها في دعم متخذي القرار والعاملين في مراكز البيانات عند وضع الخطط والاستراتيجيات المتعلقة بتحسين كفاءة استهلاك الطاقة، بما يسهم في خفض تكاليف التشغيل وتعزيز كفاءة استخدام الموارد المتاحة.

كما تقدم الدراسة مجموعة من المؤشرات التي يمكن أن تساعد الجهات الحكومية والقطاع الخاص على التوسع في تبني مشاريع الطاقة الشمسية داخل مراكز البيانات، بما يدعم تحقيق مستهدفات رؤية المملكة العربية السعودية 2030 في مجالات الاستدامة والطاقة المتجددة والتحول الرقمي.

ومن المتوقع أن تسهم نتائج الدراسة في تشجيع المؤسسات على الاستثمار في أنظمة الطاقة الشمسية، وتطوير سياسات إدارة الطاقة، وتحسين كفاءة تشغيل مراكز البيانات، إضافة إلى دعم الجهود الرامية إلى تقليل الانبعاثات الكربونية وتحقيق الاستخدام الأمثل للطاقة بما ينعكس إيجاباً على الأداء التشغيلي والاقتصادي والبيئي.

1.4 أهداف الدراسة

تهدف هذه الدراسة بصورة رئيسة إلى التعرف على دور الطاقة الشمسية في تحسين كفاءة استهلاك الطاقة في مراكز البيانات بالمملكة العربية السعودية، من خلال دراسة تطبيقية تسعى إلى تحليل واقع استخدام الطاقة الشمسية، وقياس أثرها في رفع كفاءة استهلاك الطاقة، ودعم التوجه نحو تحقيق الاستدامة في قطاع مراكز البيانات.

وينبثق عن الهدف الرئيس مجموعة من الأهداف الفرعية، تتمثل فيما يأتي:

- التعرف على واقع استخدام الطاقة الشمسية في مراكز البيانات بالمملكة العربية السعودية .
- قياس أثر استخدام الطاقة الشمسية في تحسين كفاءة استهلاك الطاقة في مراكز البيانات .
- تحديد مدى إسهام الطاقة الشمسية في خفض تكاليف التشغيل المرتبطة باستهلاك الطاقة .
- التعرف على دور الطاقة الشمسية في تعزيز الاستدامة البيئية وتقليل الانبعاثات الكربونية في مراكز البيانات .
- تحديد أبرز التحديات التي تواجه تطبيق أنظمة الطاقة الشمسية في مراكز البيانات بالمملكة العربية السعودية .

- تقديم مجموعة من التوصيات التي تسهم في دعم استخدام الطاقة الشمسية ورفع كفاءة استهلاك الطاقة في مراكز البيانات.

وتشكل هذه الأهداف الأساس الذي تستند إليه الدراسة في جميع مراحلها، حيث سيتم تناول كل هدف من خلال تحليل البيانات الميدانية، والإجابة عنه في ضوء النتائج التي سيتم التوصل إليها، بما يضمن تحقيق أهداف الدراسة وصياغة توصيات تستند إلى نتائج علمية موضوعية.

1.5 تساؤلات الدراسة

في ضوء مشكلة الدراسة وأهدافها، تسعى الدراسة الحالية إلى الإجابة عن مجموعة من التساؤلات التي تسهم في تحقيق أهدافها، وذلك من خلال استقصاء دور الطاقة الشمسية في تحسين كفاءة استهلاك الطاقة في مراكز البيانات بالمملكة العربية السعودية. ويتمثل التساؤل الرئيس للدراسة فيما يأتي:

السؤال الرئيس

ما دور الطاقة الشمسية في تحسين كفاءة استهلاك الطاقة في مراكز البيانات بالمملكة العربية السعودية؟

وينبثق عن هذا السؤال مجموعة من التساؤلات الفرعية، تتمثل فيما يأتي:

- ما واقع استخدام الطاقة الشمسية في مراكز البيانات بالمملكة العربية السعودية؟
- ما أثر استخدام الطاقة الشمسية في تحسين كفاءة استهلاك الطاقة في مراكز البيانات؟
- إلى أي مدى يسهم استخدام الطاقة الشمسية في خفض تكاليف التشغيل في مراكز البيانات؟
- ما دور استخدام الطاقة الشمسية في تعزيز الاستدامة البيئية وتقليل الانبعاثات الكربونية في مراكز البيانات؟
- ما أبرز التحديات التي تواجه تطبيق أنظمة الطاقة الشمسية في مراكز البيانات بالمملكة العربية السعودية؟

وتسعى الدراسة إلى الإجابة عن هذه التساؤلات من خلال تحليل البيانات الميدانية التي يتم جمعها باستخدام أداة الدراسة، بما يسهم في تحقيق أهداف الدراسة، واختبار فرضياتها، والوصول إلى نتائج علمية يمكن الاستناد إليها في تقديم التوصيات المناسبة.

1.6 فرضيات الدراسة

استنادًا إلى مشكلة الدراسة، وأهدافها، وتساؤلاتها، والإطار النظري الذي تستند إليه الدراسة، تمت صياغة الفرضية الرئيسة الآتية لاختبار العلاقة بين متغيرات الدراسة:

الفرضية الرئيسة

يوجد أثر ذو دلالة إحصائية لاستخدام الطاقة الشمسية في تحسين كفاءة استهلاك الطاقة في مراكز البيانات بالمملكة العربية السعودية عند مستوى دلالة $(\alpha \leq 0.05)$

وتسعى الدراسة إلى اختبار هذه الفرضية باستخدام الأساليب الإحصائية المناسبة، بما يتيح التحقق من طبيعة العلاقة بين المتغير المستقل (استخدام الطاقة الشمسية) والمتغير التابع (كفاءة استهلاك الطاقة)، وصولًا إلى نتائج علمية تسهم في الإجابة عن تساؤلات الدراسة وتحقيق أهدافها.

1.7 حدود الدراسة

اقتضت طبيعة الدراسة تحديد مجموعة من الحدود التي تحدد نطاقها، وتسهم في توضيح الإطار الذي أجريت ضمنه، وذلك على النحو الآتي:

1.7.1 الحدود الموضوعية

اقتصرت الدراسة على بحث دور استخدام الطاقة الشمسية في تحسين كفاءة استهلاك الطاقة في مراكز البيانات، من خلال دراسة العلاقة بين استخدام الطاقة الشمسية بوصفها المتغير المستقل، وكفاءة استهلاك الطاقة بوصفها المتغير التابع، مع التركيز على الجوانب الإدارية والتشغيلية المرتبطة بهذا المجال.

1.7.2 الحدود المكانية

أجريت الدراسة على مراكز البيانات العاملة في المملكة العربية السعودية، باعتبارها البيئة التطبيقية للدراسة.

1.7.3 الحدود الزمانية

تم تنفيذ الدراسة خلال العام الجامعي 2025-2026م، وشملت فترة جمع البيانات وتحليلها وإعداد النتائج.

1.7.4 الحدود البشرية

اقتصرت الدراسة على العاملين في مراكز البيانات بالمملكة العربية السعودية ممن لديهم معرفة بطبيعة تشغيل مراكز البيانات وإدارة الطاقة فيها، وذلك لارتباطهم المباشر بموضوع الدراسة.

وتحدد هذه الحدود نطاق تعميم نتائج الدراسة، حيث تقتصر النتائج على مجتمع الدراسة والظروف التي أجريت في إطارها، مع إمكانية الاستفادة منها في إجراء دراسات مستقبلية على قطاعات أو بيئات مختلفة.

1.8 مصطلحات الدراسة

1.8.1 الطاقة الشمسية

يقصد بالطاقة الشمسية في هذه الدراسة الطاقة الناتجة عن أشعة الشمس والتي يتم تحويلها إلى طاقة كهربائية باستخدام الأنظمة الكهروضوئية، بهدف المساهمة في تشغيل مراكز البيانات وتقليل الاعتماد على مصادر الطاقة التقليدية، بما يسهم في تحسين كفاءة استهلاك الطاقة وتحقيق الاستدامة.

1.8.2 مراكز البيانات

يقصد بمراكز البيانات في هذه الدراسة المنشآت المجهزة بالبنية التحتية التقنية اللازمة لاستضافة الخوادم وأنظمة التخزين والشبكات، والتي تتولى معالجة البيانات وتخزينها وإدارتها وضمان استمرارية الخدمات الرقمية.

1.8.3 كفاءة استهلاك الطاقة

يقصد بكفاءة استهلاك الطاقة في هذه الدراسة قدرة مراكز البيانات على تحقيق أعلى مستوى من الأداء التشغيلي مع الاستخدام الأمثل للطاقة الكهربائية، بما يؤدي إلى تقليل الفاقد وخفض استهلاك الطاقة دون التأثير في جودة الخدمات المقدمة.

1.8.4 كفاءة استهلاك الطاقة في مراكز البيانات

ويقصد بها إجرائيًا الدرجة التي يحصل عليها أفراد عينة الدراسة عند استجابتهم لقرات الاستبانة المتعلقة بقياس أثر استخدام الطاقة الشمسية في تحسين كفاءة استهلاك الطاقة داخل مراكز البيانات بالمملكة العربية السعودية.

1.9 خاتمة الفصل

تناول هذا الفصل الإطار العام للدراسة، حيث استعرض مقدمة تناولت أهمية مراكز البيانات في ظل التحول الرقمي، والتحديات المرتبطة بارتفاع استهلاك الطاقة، والدور المتوقع للطاقة الشمسية في تحسين كفاءة استهلاك الطاقة وتحقيق الاستدامة. كما عرض الفصل مشكلة الدراسة، وأهميتها، وأهدافها، وتسائلاتها، وفرضياتها، وحدودها، إضافة إلى تحديد أبرز المصطلحات المستخدمة في الدراسة. وقد أسهمت هذه العناصر في بناء الإطار العام للدراسة وتحديد اتجاهها العلمي، بما يوفر أساسًا منهجيًا للانتقال إلى الفصل الثاني، الذي يتناول الإطار النظري والدراسات السابقة، ويستعرض المفاهيم العلمية والنماذج والدراسات ذات الصلة بموضوع الدراسة، بما يدعم بناء الإطار المفاهيمي الذي تستند إليه الدراسة الحالية.

الفصل الثاني

الإطار النظري والدراسات السابقة

2.1 مقدمة الفصل

يتناول هذا الفصل الإطار النظري والدراسات السابقة المرتبطة بموضوع الدراسة، ويهدف إلى بناء الأساس العلمي الذي تستند إليه الدراسة في تفسير العلاقة بين استخدام الطاقة الشمسية وتحسين كفاءة استهلاك الطاقة في مراكز البيانات بالمملكة العربية السعودية. ويعد الإطار النظري أحد المكونات الرئيسية في البحوث العلمية، إذ يساهم في توضيح المفاهيم الأساسية، واستعراض النظريات ذات الصلة، وتحليل نتائج الدراسات السابقة، بما يساعد على بناء نموذج علمي يفسر العلاقات بين متغيرات الدراسة ويبرر فرضياتها.

وقد أصبحت مراكز البيانات في السنوات الأخيرة من أهم مكونات البنية التحتية الرقمية، نتيجة النمو المتسارع في تطبيقات الحوسبة السحابية، والذكاء الاصطناعي، وإنترنت الأشياء، وتحليل البيانات الضخمة. وأدى هذا النمو إلى زيادة غير مسبوق في الطلب على الطاقة الكهربائية، مما جعل تحسين كفاءة استهلاك الطاقة أحد أهم التحديات التي تواجه هذا القطاع على المستوى العالمي. وتشير وكالة الطاقة الدولية (IEA, 2025) إلى أن استهلاك مراكز البيانات للطاقة سيواصل الارتفاع خلال السنوات القادمة نتيجة التوسع في تطبيقات الذكاء الاصطناعي والخدمات الرقمية، الأمر الذي يتطلب تبني حلول مستدامة تحقق التوازن بين النمو التقني وكفاءة استخدام الطاقة.

وفي المقابل، برزت الطاقة الشمسية باعتبارها أحد أهم مصادر الطاقة المتجددة القادرة على الإسهام في خفض استهلاك الكهرباء التقليدية وتقليل الانبعاثات الكربونية وتحسين الاستدامة البيئية، خصوصاً في الدول التي تتمتع بموارد شمسية مرتفعة مثل المملكة العربية السعودية. كما أكدت الوكالة الدولية للطاقة المتجددة (IRENA, 2024) أن انخفاض تكاليف إنتاج الكهرباء من الطاقة الشمسية والتطور المستمر في تقنيات التخزين وإدارة الطاقة أسهما في زيادة الاعتماد عليها في القطاعات الصناعية والخدمية ذات الاستهلاك المرتفع للطاقة.

وتحظى المملكة العربية السعودية بفرص كبيرة للاستفادة من الطاقة الشمسية في تشغيل مراكز البيانات، في ظل التوسع في مشاري وأشارت وكالة الطاقة ع التحول الرقمي ورؤية المملكة العربية السعودية 2030، التي تركز على تنويع مصادر الطاقة، وتعزيز الاستدامة، ورفع كفاءة استخدام الموارد. إلا أن الدراسات التي تناولت تطبيقات الطاقة الشمسية في مراكز البيانات داخل البيئة السعودية ما تزال محدودة مقارنة بالدراسات العالمية، الأمر الذي يبرز أهمية استعراض الأدبيات العلمية وتحليلها لتحديد الفجوة البحثية التي تسعى الدراسة الحالية إلى معالجتها.

ويُعد الإطار النظري من أهم عناصر البحث العلمي، إذ يوفر الخلفية العلمية اللازمة لفهم موضوع الدراسة، ويُسهّم في تفسير العلاقات بين متغيراتها في ضوء ما قدمته الأدبيات العلمية والدراسات السابقة. كما يساعد في بناء الأساس العلمي الذي تستند إليه الدراسة في صياغة فرضيتها وتفسير نتائجها، بما يعزز من موثوقية الدراسة وأهميتها العلمية والتطبيقية.

وانطلاقاً من ذلك، يقسم هذا الفصل إلى مجموعة من المحاور الرئيسية، تبدأ بعرض مفهوم مراكز البيانات وأهميتها، ثم مناقشة كفاءة استهلاك الطاقة فيها، يلي ذلك استعراض مفهوم الطاقة الشمسية وتطبيقاتها، ثم توضيح العلاقة بين الطاقة الشمسية وكفاءة استهلاك الطاقة في مراكز البيانات، واستعراض الدراسات السابقة العربية والأجنبية وتحليلها، وصولاً إلى تحديد الفجوة البحثية والإطار النظري الذي تستند إليه الدراسة الحالية.

2.2 مفهوم مراكز البيانات وأهميتها

تُعرف مراكز البيانات (Data Centers) بأنها منشآت تقنية متخصصة تضم مجموعة متكاملة من الخوادم، وأنظمة التخزين، ومعدات الشبكات، والبنية التحتية الداعمة، مثل أنظمة التبريد، ومصادر الطاقة غير المنقطعة، وأنظمة الحماية والمراقبة، بهدف تخزين البيانات ومعالجتها وإدارتها وضمان استمرارية الخدمات الرقمية بكفاءة وموثوقية عالية. وتمثل هذه المراكز العمود الفقري للبنية التحتية الرقمية، إذ تعتمد عليها المؤسسات الحكومية والخاصة في تشغيل تطبيقاتها الرقمية، واستضافة قواعد البيانات، وتقديم خدمات الحوسبة السحابية، والتجارة الإلكترونية، والذكاء الاصطناعي، وغيرها من التطبيقات التي تتطلب معالجة مستمرة وأمنة للبيانات (Uptime Institute, 2024).

وقد شهدت مراكز البيانات تطوراً كبيراً خلال العقدَيْن الأخيرَيْن نتيجة التوسع في التحول الرقمي وزيادة الاعتماد على التقنيات الحديثة. ففي السابق كانت مراكز البيانات تقتصر على توفير خدمات التخزين وتشغيل الخوادم، أما اليوم فقد أصبحت منشآت ذكية تعتمد على تقنيات الأتمتة، والمحاكاة، وتحليل البيانات، وإدارة الطاقة، بما يضمن تحقيق مستويات مرتفعة من الكفاءة التشغيلية والاعتمادية. كما ساهم الانتشار الواسع للحوسبة السحابية في زيادة الطلب على إنشاء مراكز بيانات ذات قدرات استيعابية أكبر، قادرة على التعامل مع كميات هائلة من البيانات وتوفير خدمات رقمية دون انقطاع.

2.2.1 تطور مراكز البيانات

وتؤدي مراكز البيانات دورًا اقتصاديًا واستراتيجيًا مهمًا، إذ أصبحت عنصرًا أساسيًا في دعم الاقتصاد الرقمي وتعزيز تنافسية الدول. فمعظم الخدمات الإلكترونية، والمنصات الرقمية، والتطبيقات الحكومية، والمعاملات المالية، تعتمد بصورة مباشرة على كفاءة هذه المراكز واستقرارها. كما أن توسع استخدام الذكاء الاصطناعي وتحليل البيانات الضخمة أدى إلى زيادة أهمية مراكز البيانات باعتبارها البيئة التي تُشغل فيها النماذج الحاسوبية المتقدمة، الأمر الذي جعلها أحد أهم مكونات البنية التحتية الوطنية في العديد من الدول.

2.2.2 مراكز البيانات في المملكة العربية السعودية

وفي المملكة العربية السعودية، يحظى قطاع مراكز البيانات باهتمام متزايد في ظل تنفيذ مستهدفات رؤية المملكة العربية السعودية 2030، حيث يجري الاستثمار في إنشاء مراكز بيانات حديثة لدعم مشاريع التحول الرقمي، والخدمات الحكومية الإلكترونية، والحوسبة السحابية، والذكاء الاصطناعي. ويأتي هذا التوسع استجابةً لطلب المتزايد على الخدمات الرقمية، ورغبة المملكة في تعزيز مكانتها كمركز إقليمي للتقنية والابتكار، إضافة إلى دعم الاستثمارات في قطاع الاقتصاد الرقمي.

ورغم أهمية مراكز البيانات في دعم التنمية الاقتصادية، فإنها تعد من أكثر المنشآت استهلاكًا للطاقة الكهربائية، نظرًا لاعتمادها على التشغيل المستمر للخوادم وأنظمة التبريد ومعدات الشبكات على مدار الساعة. ولذلك أصبح تحقيق التوازن بين التوسع في إنشاء مراكز البيانات والمحافظة على كفاءة استهلاك الطاقة من أهم التحديات التي تواجه مشغلي هذه المراكز، وهو ما دفع العديد من المؤسسات إلى البحث عن حلول مبتكرة تعتمد على تحسين كفاءة الطاقة واستخدام مصادر الطاقة المتجددة، وفي مقدمتها الطاقة الشمسية.

ومع استمرار التوسع في إنشاء مراكز البيانات عالميًا، لم يعد التركيز مقتصرًا على زيادة السعة التخزينية أو القدرة الحاسوبية، بل أصبح تحسين كفاءة استهلاك الطاقة أحد أهم مؤشرات تقييم أداء هذه المراكز. ولذلك اتجهت العديد من المؤسسات إلى تطوير حلول مبتكرة تعتمد على تقنيات إدارة الطاقة، واستخدام مصادر الطاقة المتجددة، بهدف تحقيق التوازن بين النمو التقني ومتطلبات الاستدامة البيئية والاقتصادية.

ويلاحظ من العرض السابق أن مراكز البيانات لم تعد مجرد منشآت تقنية لحفظ البيانات، بل أصبحت بنية تحتية استراتيجية تدعم الاقتصاد الرقمي، وتؤثر بصورة مباشرة في كفاءة الخدمات الإلكترونية واستدامتها.

ومن ثم فإن دراسة العوامل التي تسهم في تحسين كفاءة استهلاك الطاقة داخل هذه المراكز أصبحت ضرورة علمية وعملية، خاصة في ظل التوسع المتزايد في استخدامها داخل المملكة العربية السعودية.

2.3 كفاءة استهلاك الطاقة في مراكز البيانات

تعد كفاءة استهلاك الطاقة (Energy Efficiency) من أهم المؤشرات المستخدمة لتقييم الأداء التشغيلي لمراكز البيانات، وذلك بسبب الاعتماد المستمر لهذه المراكز على الطاقة الكهربائية لتشغيل الخوادم، وأنظمة التخزين، ومعدات الشبكات، وأنظمة التبريد، وأنظمة التغذية الكهربائية الاحتياطية. ويقصد بكفاءة استهلاك الطاقة قدرة مركز البيانات على تقديم أعلى مستوى من الأداء والخدمات الرقمية باستخدام أقل كمية ممكنة من الطاقة، دون التأثير في الاعتمادية أو جودة الخدمة. وأصبحت كفاءة الطاقة اليوم أحد المعايير الأساسية التي تعتمد عليها المؤسسات عند تصميم وتشغيل مراكز البيانات، نظرًا لارتباطها المباشر بخفض التكاليف التشغيلية وتعزيز الاستدامة البيئية. (IEA, 2025)

وتتأثر كفاءة استهلاك الطاقة بعدد من العوامل، من أبرزها تصميم مركز البيانات، وكفاءة الخوادم المستخدمة، وأنظمة التبريد، وأساليب توزيع الأحمال الكهربائية، ومستوى استغلال الموارد الحاسوبية، إضافة إلى كفاءة أنظمة إدارة الطاقة. وتعد أنظمة التبريد من أكثر العناصر استهلاكًا للطاقة داخل مراكز البيانات، إذ تشير العديد من الدراسات إلى أنها قد تمثل نسبة كبيرة من إجمالي استهلاك الكهرباء، مما يجعل تحسين كفاءتها من أهم الوسائل المستخدمة لخفض استهلاك الطاقة الكلي.

2.3.1 مؤشرات قياس كفاءة استهلاك الطاقة

ومن المؤشرات العالمية المستخدمة في قياس كفاءة الطاقة داخل مراكز البيانات مؤشر فعالية استخدام الطاقة (Power Usage Effectiveness - PUE)، والذي طورته منظمة The Green Grid، ويقيس العلاقة بين إجمالي الطاقة المستهلكة في مركز البيانات والطاقة المستخدمة فعليًا في تشغيل معدات تقنية المعلومات. وكلما اقتربت قيمة المؤشر من (1.0)، دل ذلك على ارتفاع كفاءة استخدام الطاقة وانخفاض الفاقد الناتج عن أنظمة التبريد والبنية التحتية المساندة. ولهذا السبب أصبح مؤشر (PUE) معيارًا عالميًا تعتمد عليه المؤسسات في تقييم أداء مراكز البيانات ومقارنة كفاءتها التشغيلية.

ولا يقتصر تقييم كفاءة استهلاك الطاقة على مؤشر فعالية استخدام الطاقة (PUE) فقط، بل يشمل أيضًا مجموعة من المؤشرات التشغيلية الأخرى، مثل كفاءة أنظمة التبريد، ومعدل استغلال الخوادم، وكفاءة توزيع الأحمال الكهربائية، ومستوى استخدام أنظمة إدارة الطاقة الذكية. وتساعد هذه المؤشرات المؤسسات على تقييم الأداء التشغيلي لمراكز البيانات بصورة شاملة، وتحديد مواطن الهدر في استهلاك الطاقة، واتخاذ الإجراءات المناسبة لتحسين الكفاءة التشغيلية وخفض استهلاك الكهرباء، بما ينسجم مع أفضل الممارسات العالمية في إدارة مراكز البيانات. (Masanet et al., 2020)

2.3.2 أساليب تحسين كفاءة استهلاك الطاقة في مراكز البيانات

وفي السنوات الأخيرة، اتجهت الشركات العالمية إلى تبني تقنيات حديثة لتحسين كفاءة استهلاك الطاقة، مثل استخدام أنظمة التبريد الذكية، والاعتماد على تقنيات الذكاء الاصطناعي في إدارة الأحمال الكهربائية، وتحديث الخوادم عالية الكفاءة، وتحسين توزيع الهواء داخل غرف الخوادم، بالإضافة إلى دمج مصادر الطاقة المتجددة ضمن منظومة تشغيل مراكز البيانات. وأسهمت هذه الحلول في تقليل استهلاك الكهرباء وخفض تكاليف التشغيل وتحسين الأداء البيئي للمراكز، بما يتوافق مع متطلبات الاستدامة العالمية.

وفي المملكة العربية السعودية، تكتسب كفاءة استهلاك الطاقة أهمية متزايدة مع التوسع في إنشاء مراكز البيانات ضمن برامج التحول الرقمي ورؤية المملكة العربية السعودية 2030، إذ تسعى الجهات الحكومية والقطاع الخاص إلى تبني أفضل الممارسات العالمية في إدارة الطاقة وتحسين كفاءة التشغيل. كما أصبح تحقيق كفاءة الطاقة عنصرًا أساسيًا في دعم استدامة البنية التحتية الرقمية وتقليل الآثار البيئية الناتجة عن ارتفاع الطلب على الكهرباء، خاصة مع النمو المستمر في استخدام الخدمات السحابية والذكاء الاصطناعي.

كما تشير الدراسات الحديثة إلى أن تحسين كفاءة استهلاك الطاقة أصبح أحد أهم معايير التنافسية في مراكز البيانات، حيث تسعى المؤسسات إلى دمج تقنيات الإدارة الذكية للطاقة، وتحسين كفاءة أنظمة التبريد، وزيادة الاعتماد على مصادر الطاقة المتجددة، بما يساهم في خفض التكاليف التشغيلية وتحقيق أهداف الاستدامة البيئية على المدى الطويل. (Moroso et al., 2024)

واستنادًا إلى ما سبق، يتضح أن تحسين كفاءة استهلاك الطاقة لا يقتصر على تقليل استهلاك الكهرباء فحسب، بل يمثل مدخلًا استراتيجيًا لتعزيز الكفاءة التشغيلية، وخفض التكاليف، وتحقيق الاستدامة البيئية، وهو ما

يجعل هذا المتغير أحد المحاور الرئيسة في الدراسة الحالية، تمهيداً لبحث دور الطاقة الشمسية في تحسين هذه الكفاءة داخل مراكز البيانات.

2.4 الطاقة الشمسية: المفهوم والأهمية والتطبيقات

تعد الطاقة الشمسية من أهم مصادر الطاقة المتجددة التي شهدت تطوراً كبيراً خلال العقود الأخيرة، نتيجة تزايد الاهتمام العالمي بالاستدامة البيئية والحد من الاعتماد على الوقود الأحفوري. وتعرف الطاقة الشمسية بأنها الطاقة الناتجة عن الإشعاع الشمسي، والتي يمكن تحويلها إلى طاقة كهربائية أو حرارية باستخدام تقنيات متخصصة، مثل الخلايا الكهروضوئية (Photovoltaic Cells) أو الأنظمة الشمسية الحرارية. وتمتاز هذه الطاقة بأنها مصدر متجدد ونظيف لا ينتج عنه انبعاثات كربونية مباشرة أثناء التشغيل، مما جعلها أحد أهم البدائل التي تعتمد عليها الدول لتحقيق أهداف التنمية المستدامة وخفض الانبعاثات الناتجة عن إنتاج الكهرباء التقليدية (IRENA, 2024).

وقد شهدت تقنيات الطاقة الشمسية تطوراً ملحوظاً من حيث الكفاءة وانخفاض تكاليف الإنتاج والتركيب، الأمر الذي ساهم في انتشار استخدامها في مختلف القطاعات، سواء السكنية أو الصناعية أو التجارية. كما أسهم التطور في تقنيات البطاريات وأنظمة تخزين الطاقة في معالجة أحد أبرز التحديات المرتبطة بالطاقة الشمسية، والمتمثل في عدم استمرارية الإنتاج خلال ساعات الليل أو في الظروف الجوية غير المناسبة، مما عزز من موثوقيتها وزاد من إمكانية استخدامها كمصدر رئيس للطاقة في العديد من التطبيقات.

وقد أسهمت الابتكارات الحديثة في تقنيات الخلايا الكهروضوئية في رفع معدلات تحويل الطاقة الشمسية إلى طاقة كهربائية، إلى جانب تحسين كفاءة أنظمة التخزين باستخدام البطاريات المتقدمة، مما زاد من موثوقية الاعتماد على الطاقة الشمسية في تشغيل المنشآت ذات الاستهلاك المرتفع للطاقة. كما أدى انخفاض تكاليف إنتاج الألواح الشمسية خلال السنوات الأخيرة إلى جعل الاستثمار في أنظمة الطاقة الشمسية أكثر جدوى من الناحية الاقتصادية مقارنة بالعديد من مصادر الطاقة التقليدية. (Fraunhofer ISE, 2024)

وتنقسم أنظمة الطاقة الشمسية إلى نوعين رئيسيين؛ الأول هو الأنظمة الكهروضوئية التي تحول أشعة الشمس مباشرة إلى طاقة كهربائية باستخدام الخلايا الشمسية، والثاني هو الأنظمة الشمسية الحرارية التي تستفيد من حرارة الشمس لإنتاج الطاقة أو لتسخين المياه وتشغيل بعض العمليات الصناعية. ويعد النظام الكهروضوئي

الأكثر استخدامًا في تشغيل المنشآت الحديثة، بما في ذلك مراكز البيانات، نظرًا لسهولة تركيبه وإمكانية ربطه بالشبكة الكهربائية أو تشغيله بصورة مستقلة مع أنظمة التخزين.

وتتميز الطاقة الشمسية بمجموعة من الخصائص التي تجعلها خيارًا مناسبًا لمراكز البيانات، فهي تسهم في تقليل الاعتماد على الشبكة الكهربائية، وتخفض تكاليف التشغيل على المدى الطويل، كما تقلل من تقلبات أسعار الطاقة التقليدية، وتدعم التزام المؤسسات بالمعايير البيئية ومتطلبات الاستدامة. بالإضافة إلى ذلك، فإن استخدام الطاقة الشمسية يعزز صورة المؤسسة أمام المستثمرين والعملاء باعتبارها مؤسسة تتبنى ممارسات مسؤولة بيئيًا، وهو ما أصبح عاملاً مهماً في ظل التوجه العالمي نحو الاستثمار المستدام.

وفي السنوات الأخيرة، اتجهت العديد من الشركات العالمية إلى دمج الطاقة الشمسية ضمن أنظمة تشغيل مراكز البيانات، إما من خلال إنشاء محطات شمسية خاصة بها أو عبر شراء الكهرباء المنتجة من مشاريع الطاقة المتجددة. وقد أثبتت التجارب العملية أن هذا التوجه يسهم في خفض التكاليف التشغيلية وتحسين كفاءة استهلاك الطاقة، خاصة عند دمجها مع أنظمة الإدارة الذكية للطاقة وتقنيات التبريد الحديثة. كما يساعد هذا التكامل في تعزيز استقرار التغذية الكهربائية وتقليل الاعتماد على مصادر الطاقة التقليدية، الأمر الذي ينعكس إيجاباً على الأداء التشغيلي لمراكز البيانات.

وأظهرت دراسات حديثة أن دمج أنظمة الطاقة الشمسية مع أنظمة إدارة الطاقة الذكية وتقنيات تخزين الكهرباء يسهم في تحسين استقرار التغذية الكهربائية، وتقليل الاعتماد على الشبكات العامة، وزيادة كفاءة تشغيل مراكز البيانات، خاصة في المناطق ذات الإشعاع الشمسي المرتفع، مما يعزز الجدوى الاقتصادية والبيئية لهذه الأنظمة. (Díaz et al., 2024)

أما في المملكة العربية السعودية، فتعد الطاقة الشمسية من أكثر مصادر الطاقة الواعدة، نظرًا لما تتمتع به المملكة من معدلات مرتفعة للإشعاع الشمسي طوال العام، إضافة إلى اتساع المساحات المناسبة لإنشاء مشاريع الطاقة المتجددة. وقد أولت الحكومة السعودية اهتمامًا كبيرًا بهذا القطاع ضمن رؤية المملكة العربية السعودية 2030، من خلال إطلاق العديد من المبادرات والمشروعات الهادفة إلى رفع مساهمة الطاقة المتجددة في مزيج الطاقة الوطني، وتعزيز كفاءة استخدام الموارد الطبيعية، ودعم التحول نحو اقتصاد منخفض الانبعاثات الكربونية. ويعد هذا التوجه فرصة مهمة للاستفادة من الطاقة الشمسية في تشغيل مراكز البيانات، خاصة مع التوسع المستمر في إنشاء هذه المراكز لدعم الاقتصاد الرقمي والخدمات السحابية والذكاء الاصطناعي.

كما أن التوسع في مشاريع الطاقة المتجددة داخل المملكة يوفر بيئة مناسبة لتبني حلول تشغيل مستدامة في مراكز البيانات، خصوصًا مع ازدياد الطلب على الخدمات الرقمية والحوسبة السحابية. ومن المتوقع أن يسهم التكامل بين الطاقة الشمسية والبنية التحتية الرقمية في دعم أمن الطاقة، ورفع كفاءة استهلاكها، وتعزيز القدرة التنافسية للمملكة في قطاع مراكز البيانات الإقليمي. (World Bank, 2023)

وبناءً على ما سبق، يتضح أن الطاقة الشمسية لم تعد مجرد مصدر بديل لإنتاج الكهرباء، بل أصبحت عنصرًا استراتيجيًا في تحقيق الاستدامة ورفع كفاءة استخدام الطاقة داخل المنشآت الحديثة، ومنها مراكز البيانات. ومن ثم فإن دراسة دورها في تحسين كفاءة استهلاك الطاقة تمثل محورًا رئيسًا لفهم مدى إمكانية الاستفادة منها في البيئة السعودية وتحقيق أهداف الدراسة الحالية.

2.5 العلاقة بين الطاقة الشمسية وكفاءة استهلاك الطاقة في مراكز البيانات

تعد العلاقة بين الطاقة الشمسية وكفاءة استهلاك الطاقة في مراكز البيانات من الموضوعات التي حظيت باهتمام متزايد خلال السنوات الأخيرة، نتيجة الارتفاع المستمر في استهلاك الكهرباء داخل هذه المراكز، وما يترتب عليه من زيادة في التكاليف التشغيلية والآثار البيئية. ولم يعد الهدف من استخدام الطاقة الشمسية يقتصر على إنتاج الكهرباء فقط، بل أصبح جزءًا من استراتيجية متكاملة لإدارة الطاقة وتحقيق الاستدامة التشغيلية داخل مراكز البيانات تهدف إلى تحسين كفاءة إدارة الطاقة، ورفع الاعتمادية التشغيلية، وتعزيز الاستدامة البيئية، خاصة في المنشآت التي تعمل على مدار الساعة مثل مراكز البيانات.

وتسهم الطاقة الشمسية في تحسين كفاءة استهلاك الطاقة من خلال توفير مصدر كهربائي متجدد يغطي جزءًا من الأحمال الكهربائية اليومية، مما يقلل من الاعتماد على الشبكة العامة ويخفض كمية الطاقة التقليدية المستهلكة. كما أن استخدام أنظمة الطاقة الشمسية مع البطاريات وأنظمة إدارة الطاقة الذكية يساعد في توزيع الأحمال الكهربائية بصورة أكثر كفاءة، وتقليل الفاقد في الطاقة، وتحسين استقرار التغذية الكهربائية، وهو ما ينعكس بصورة مباشرة على الأداء التشغيلي لمراكز البيانات.

ومن الجوانب المهمة أيضًا أن الاعتماد على الطاقة الشمسية يسهم في تقليل الحمل على أنظمة التغذية الكهربائية التقليدية، مما يحد من الضغط على المعدات الكهربائية ويطيل عمرها التشغيلي. كما أن انخفاض درجات الحرارة الناتجة عن استخدام بعض التقنيات الحديثة في تصميم الأنظمة الشمسية، إلى جانب تطوير حلول التبريد الذكية، يساعد في تحسين كفاءة أنظمة التبريد التي تمثل أحد أكبر مصادر استهلاك الكهرباء داخل مراكز البيانات.

وتشير التجارب العالمية إلى أن دمج الطاقة الشمسية مع أنظمة الإدارة الذكية للطاقة يمكن أن يحقق وفورات مالية ملموسة على المدى الطويل، خاصة في ظل الانخفاض المستمر في تكاليف تركيب وتشغيل الأنظمة الشمسية. كما يتيح هذا الدمج للمؤسسات إمكانية مراقبة استهلاك الطاقة بصورة لحظية، وتحليل البيانات التشغيلية، واتخاذ قرارات مبنية على مؤشرات دقيقة لتحسين الأداء، الأمر الذي يساهم في رفع كفاءة استخدام الموارد وتقليل الهدر.

كما بينت الدراسات الحديثة أن دمج أنظمة الطاقة الشمسية مع تقنيات الذكاء الاصطناعي في إدارة الأحمال الكهربائية يساهم في تحسين كفاءة استهلاك الطاقة، والتنبؤ بأنماط الطلب، وتحقيق توزيع أكثر كفاءة للطاقة داخل مراكز البيانات. ويساعد هذا التكامل في تقليل الفاقد التشغيلي، وتحسين استقرار النظام الكهربائي، وزيادة الاعتماد على مصادر الطاقة المتجددة دون التأثير في استمرارية الخدمات الرقمية. (Ziaei et al., 2025)

وفي المملكة العربية السعودية، تزداد أهمية هذا التوجه بسبب الظروف المناخية التي تتميز بارتفاع معدلات الإشعاع الشمسي طوال العام، مما يوفر فرصة كبيرة للاستفادة من الطاقة الشمسية في تشغيل مراكز البيانات. كما أن التوسع في مشاريع التحول الرقمي والذكاء الاصطناعي يزيد من الحاجة إلى حلول مستدامة تضمن استمرارية التشغيل مع تقليل تكاليف الطاقة. ومن المتوقع أن يساهم دمج الطاقة الشمسية في دعم أهداف رؤية المملكة العربية السعودية 2030، من خلال تعزيز استخدام مصادر الطاقة المتجددة، وتحسين كفاءة استهلاك الطاقة، وخفض الانبعاثات الكربونية.

وعلى الرغم من هذه المزايا، فإن نجاح تطبيق الطاقة الشمسية في مراكز البيانات يعتمد على مجموعة من العوامل، من أهمها كفاءة تصميم النظام الشمسي، وحجم الأحمال الكهربائية، وقدرات التخزين، وأنظمة التحكم والإدارة، إضافة إلى الجدوى الاقتصادية للمشروع. لذلك فإن تحقيق أقصى استفادة من الطاقة الشمسية يتطلب تخطيطاً دقيقاً وتكاملاً بين الجوانب التقنية والإدارية والاقتصادية.

كما تشير الدراسات التطبيقية إلى أن نجاح مشاريع الطاقة الشمسية في مراكز البيانات لا يعتمد على توفر المورد الشمسي فقط، وإنما يتطلب إجراء تقييم اقتصادي وفني شامل يراعي تكاليف الاستثمار، والعائد المتوقع، وسعة أنظمة التخزين، وخصائص الأحمال الكهربائية، لضمان تحقيق أعلى مستويات الكفاءة التشغيلية والاستدامة على المدى الطويل. (Shrivastav et al., 2025)

وبناءً على ذلك، يمكن القول إن الطاقة الشمسية تمثل أحد الحلول الواعدة لتحسين كفاءة استهلاك الطاقة في مراكز البيانات، ليس فقط من خلال تقليل استهلاك الكهرباء التقليدية، وإنما أيضًا عبر دعم الاستدامة، وخفض تكاليف التشغيل، وتعزيز موثوقية الخدمات الرقمية، وهو ما يجعلها أحد المتغيرات الرئيسة التي تتناولها الدراسة الحالية.

2.6 الدراسات السابقة

حظي موضوع الطاقة المتجددة وكفاءة استهلاك الطاقة باهتمام متزايد في الأدبيات العربية خلال السنوات الأخيرة، خاصة مع توجه العديد من الدول العربية نحو تنويع مصادر الطاقة وتعزيز الاستدامة البيئية. إلا أن معظم الدراسات العربية ركزت على تطبيقات الطاقة الشمسية في القطاعات الصناعية أو السكنية، بينما لا تزال الدراسات التي تناولت استخدامها في مراكز البيانات محدودة، ولا سيما في المملكة العربية السعودية. ويستعرض هذا القسم أبرز الدراسات العربية ذات العلاقة بموضوع الدراسة الحالية.

2.6.1 الدراسات العربية

تناولت دراسة الشريف (2022) واقع استخدام الطاقة الشمسية في المنشآت الحكومية بالمملكة العربية السعودية، وهدفت إلى تقييم مدى مساهمة الأنظمة الشمسية في تقليل استهلاك الكهرباء وتحسين كفاءة الطاقة. واعتمدت الدراسة على المنهج الوصفي التحليلي، وأظهرت نتائجها أن استخدام الطاقة الشمسية يسهم في خفض تكاليف الطاقة وتحسين كفاءة استخدام الموارد، إلا أنها أشارت إلى وجود تحديات تتعلق بارتفاع تكاليف الاستثمار الأولية والحاجة إلى تطوير البنية التحتية الداعمة. وتستفيد الدراسة الحالية من هذه النتائج في تفسير أهمية الطاقة الشمسية كأحد الحلول المناسبة لخفض استهلاك الطاقة في المنشآت ذات الأحمال المرتفعة، إلا أن الدراسة السابقة لم تتناول مراكز البيانات بشكل مباشر.

وفي دراسة أجراها العتيبي (2023) حول كفاءة استهلاك الطاقة في المنشآت التقنية بالمملكة العربية السعودية، هدفت الدراسة إلى تحليل العوامل المؤثرة في استهلاك الكهرباء داخل المنشآت الرقمية، واعتمدت على استبيان شمل عددًا من العاملين في القطاع التقني. وأظهرت النتائج أن أنظمة التبريد والبنية التحتية الكهربائية تمثلان أكبر مصادر استهلاك الطاقة، كما أوصت الدراسة بضرورة التوسع في استخدام مصادر الطاقة المتجددة

لتحسين الكفاءة التشغيلية. وتتشابه هذه الدراسة مع الدراسة الحالية في اهتمامها بكفاءة الطاقة، إلا أنها لم تبحث أثر الطاقة الشمسية في مراكز البيانات بصورة مستقلة.

كما تناولت دراسة الحربي (2024) دور الطاقة المتجددة في تحقيق الاستدامة المؤسسية في المؤسسات السعودية، وركزت على العلاقة بين استخدام الطاقة النظيفة وتحسين الأداء البيئي والاقتصادي للمؤسسات. وأكدت نتائج الدراسة أن تبني الطاقة الشمسية يسهم في تحسين الأداء التشغيلي وتقليل الانبعاثات الكربونية، ويعزز التزام المؤسسات بمبادئ الاستدامة. إلا أن الدراسة ركزت على المؤسسات بصورة عامة، ولم تتناول البيئة التشغيلية الخاصة بمراكز البيانات أو متطلبات تشغيلها المستمر.

التعقيب على الدراسات العربية

ومن خلال استعراض الدراسات العربية، يلاحظ أنها اتفقت على أهمية الطاقة الشمسية في تحسين كفاءة استخدام الطاقة وتعزيز الاستدامة، إلا أنها اختلفت في طبيعة القطاعات التي تناولتها، حيث ركزت أغلبها على المباني والمنشآت العامة أو الصناعية، ولم تتناول بصورة مباشرة مراكز البيانات في المملكة العربية السعودية. كما أن معظمها اعتمد المنهج الوصفي أو المسحي، في حين تسعى الدراسة الحالية إلى تقديم تحليل تطبيقي يركز على قطاع مراكز البيانات باعتباره من أكثر القطاعات استهلاكاً للطاقة، وهو ما يمنحها قيمة علمية وتطبيقية إضافية.

2.6.2 الدراسات الأجنبية

تناولت العديد من الدراسات والتقارير الحديثة موضوع استهلاك الطاقة في مراكز البيانات، ودور الطاقة المتجددة في تحسين كفاءة التشغيل وتقليل الانبعاثات الكربونية. ويستعرض هذا القسم أبرز الدراسات ذات الصلة بموضوع الدراسة الحالية، مع توضيح أوجه الاستفادة منها.

تناولت دراسة Karimi et al. (2022) العلاقة بين استهلاك الطاقة والمياه في مراكز البيانات في البيئات الحارة والجافة، واعتمدت الدراسة على تحليل مؤشري كفاءة استخدام الطاقة PUE وكفاءة استخدام المياه WUE في مراكز بيانات تقع في منطقة فينيكس بالولايات المتحدة. وأظهرت الدراسة أن أنظمة التبريد تؤثر بصورة مباشرة في كفاءة استهلاك الطاقة، وأن المناخ الحار يزيد من تحديات التشغيل بسبب ارتفاع الحاجة إلى التبريد. وتستفيد

الدراسة الحالية من هذه الدراسة في فهم أثر المناخ الحار على استهلاك الطاقة في مراكز البيانات، وهو جانب مهم عند دراسة الحالة السعودية .

كما تناولت دراسة Zhang et al. (2023) أثر تطبيق تقنيات إدارة الطاقة الذكية في مراكز البيانات، وهدفت إلى تقييم دور أنظمة التحكم الذكية في تحسين كفاءة استهلاك الطاقة وتقليل الأحمال الكهربائية. واعتمدت الدراسة على تحليل بيانات تشغيلية لعدد من مراكز البيانات التجارية، وأظهرت النتائج أن دمج أنظمة الإدارة الذكية مع مصادر الطاقة المتجددة يساهم في تحسين كفاءة التشغيل وتقليل استهلاك الطاقة بصورة ملحوظة. وتستفيد الدراسة الحالية من هذه النتائج في دعم أهمية التكامل بين الطاقة الشمسية وأنظمة إدارة الطاقة داخل مراكز البيانات. (Zhang et al., 2023)

كما قدمت دراسة Shrivastav et al. (2025) إطاراً فنياً واقتصادياً لتصميم مركز بيانات مستدام يعمل باستخدام الطاقة الشمسية الكهروضوئية وأنظمة تخزين البطاريات. واعتمدت الدراسة على محاكاة موثوقة للإمداد بالطاقة، وتحليل مؤشرات نقص السعة والأحمال غير المخدومة. وتوصلت إلى أن دمج الطاقة الشمسية مع أنظمة التخزين يمكن أن يدعم استدامة تشغيل مراكز البيانات، مع ضرورة مراعاة الاعتمادية وتكاليف التخزين. وتفيد هذه الدراسة البحث الحالي في دعم فكرة استخدام الطاقة الشمسية كمصدر مكمل أو بديل للطاقة في مراكز البيانات .

وتناولت دراسة Ayyildiz (2025) اختيار مواقع مراكز البيانات من منظور الاستدامة، وقدمت إطاراً لاتخاذ القرار يدمج اعتبارات الطاقة المتجددة ضمن عملية اختيار موقع مركز البيانات. وبيّنت الدراسة أن توافر مصادر الطاقة المتجددة يعد عاملاً مؤثراً في تقليل الأثر البيئي وتحسين كفاءة تشغيل مراكز البيانات. وتستفيد الدراسة الحالية من هذه الدراسة في إبراز أهمية البيئة المحلية وتوافر الطاقة الشمسية في المملكة العربية السعودية عند دراسة جدوى استخدامها في مراكز البيانات .

كما ناقشت دراسة Ziaei et al. (2025) دور مراكز البيانات في دعم قطاع الطاقة المتجددة، وركزت على التقنيات التي تساعد مراكز البيانات على دمج مصادر الطاقة المتجددة وأنظمة التخزين بصورة أكثر فاعلية. وأكدت الدراسة أهمية أنظمة التحكم، وإدارة الأحمال، وتنسيق تشغيل الطاقة المتجددة مع متطلبات مراكز البيانات. وتفيد هذه الدراسة البحث الحالي في تفسير أن نجاح الطاقة الشمسية داخل مراكز البيانات لا يعتمد على توفر الطاقة فقط، بل يحتاج إلى إدارة ذكية للطاقة وتكامل تشغيلي مناسب .

كما استعرضت دراسة Li et al. (2024) أثر دمج أنظمة الطاقة الشمسية مع تقنيات الحوسبة السحابية

في تحسين كفاءة تشغيل مراكز البيانات، وأوضحت أن الاعتماد على مصادر الطاقة المتجددة، إلى جانب أنظمة التحكم الذكية، يسهم في تقليل استهلاك الكهرباء ورفع مستوى الاعتمادية التشغيلية. وأكدت الدراسة أن التخطيط السليم لتكامل مصادر الطاقة يمثل أحد العوامل الرئيسية لتحقيق الاستدامة في مراكز البيانات.

وأشارت وكالة الطاقة الدولية (IEA, 2025) إلى أن الطلب العالمي على الكهرباء في مراكز البيانات مرشح للنمو بصورة كبيرة نتيجة التوسع في الذكاء الاصطناعي والحوسبة السحابية، وأن هذا النمو سيجعل كفاءة الطاقة وتوفير مصادر كهرباء منخفضة الانبعاثات من أبرز التحديات المستقبلية. وتدعم هذه النتائج مشكلة الدراسة الحالية، لأنها تؤكد أن ارتفاع استهلاك الطاقة في مراكز البيانات ليس تحديًا محليًا فقط، بل قضية عالمية تتطلب حلولًا مستدامة .

2.6.3 التعقيب على الدراسات السابقة

يتضح من الدراسات السابقة أن هناك اتفاقًا عامًا على ارتفاع استهلاك الطاقة في مراكز البيانات، وأهمية الطاقة المتجددة في تحسين كفاءة التشغيل وتقليل الأثر البيئي. إلا أن معظم الدراسات ركزت على السياقات العالمية أو الجوانب الفنية، بينما لا تزال الحاجة قائمة لدراسة تطبيقية تركز على مراكز البيانات في المملكة العربية السعودية، وتبحث دور الطاقة الشمسية في تحسين كفاءة استهلاك الطاقة من منظور إداري وتطبيقي

أظهرت مراجعة الدراسات السابقة وجود اهتمام متزايد بدراسة كفاءة استهلاك الطاقة في مراكز البيانات وتطبيقات الطاقة المتجددة، إلا أن معظم الدراسات ركزت على الجوانب الهندسية والفنية أو تناولت تطبيقات الطاقة الشمسية في بيئات تشغيلية خارج المملكة العربية السعودية. كما أن الدراسات العربية في هذا المجال ما تزال محدودة، ولم تتناول بصورة مباشرة أثر استخدام الطاقة الشمسية في تحسين كفاءة استهلاك الطاقة في مراكز البيانات من منظور إداري وتطبيقي. ومن هنا تتميز الدراسة الحالية بتركيزها على البيئة السعودية، وسعيها إلى تحليل العلاقة بين استخدام الطاقة الشمسية وكفاءة استهلاك الطاقة في مراكز البيانات، بما يسهم في سد جانب من الفجوة البحثية وتقديم نتائج يمكن الاستفادة منها في دعم متخذي القرار وتعزيز توجهات الاستدامة والطاقة المتجددة.

2.7 تحليل الدراسات السابقة والفجوة البحثية

أظهرت الدراسات السابقة أن الاهتمام بتحسين كفاءة استهلاك الطاقة في مراكز البيانات شهد نمواً ملحوظاً خلال السنوات الأخيرة، نتيجة التوسع الكبير في استخدام الحوسبة السحابية والذكاء الاصطناعي والخدمات الرقمية. وقد اتفقت معظم الدراسات على أن استهلاك الطاقة يمثل أحد أبرز التحديات التي تواجه تشغيل مراكز البيانات، وأن تقليل هذا الاستهلاك يعد عنصراً أساسياً في تحسين الأداء التشغيلي وخفض التكاليف وتحقيق الاستدامة البيئية.

كما بينت الدراسات أن الطاقة الشمسية تعد من أكثر مصادر الطاقة المتجددة ملائمة لدعم تشغيل مراكز البيانات، لما تتميز به من انخفاض تكاليف التشغيل على المدى الطويل، وإسهامها في تقليل الاعتماد على الشبكة الكهربائية، وخفض الانبعاثات الكربونية. وأكدت العديد من الدراسات أن دمج الطاقة الشمسية مع أنظمة تخزين الطاقة وأنظمة الإدارة الذكية يساهم في رفع كفاءة تشغيل مراكز البيانات وتحسين استقرار الإمداد الكهربائي.

ورغم هذا الاتفاق، فقد اختلفت الدراسات في طبيعة الجوانب التي ركزت عليها، إذ ركزت بعض الدراسات على تصميم أنظمة الطاقة الشمسية وتحليل جدواها الاقتصادية، بينما اهتمت دراسات أخرى بقياس كفاءة الطاقة باستخدام مؤشرات الأداء العالمية مثل مؤشر PUE، في حين ركزت دراسات أخرى على اختيار مواقع مراكز البيانات أو تحسين أنظمة التبريد وإدارة الأحمال الكهربائية. ويعكس هذا التنوع تعدد العوامل المؤثرة في كفاءة استهلاك الطاقة، ويؤكد أن تحسين الأداء يتطلب تكاملاً بين الجوانب التقنية والإدارية والاقتصادية.

ومن خلال مراجعة الأدبيات، يلاحظ أن غالبية الدراسات أجريت في الولايات المتحدة وأوروبا وبعض الدول الآسيوية، حيث تتوفر بنية تحتية متقدمة للطاقة المتجددة، بينما لا تزال الدراسات التطبيقية التي تناولت مراكز البيانات في المملكة العربية السعودية محدودة، على الرغم من التوسع الكبير الذي تشهده المملكة في هذا القطاع، وما تمتلكه من إمكانيات عالية في مجال الطاقة الشمسية.

كما يلاحظ أن معظم الدراسات ركزت على الجوانب الهندسية والتقنية، في حين لم تحظ الجوانب الإدارية، مثل أثر استخدام الطاقة الشمسية في تحسين كفاءة استهلاك الطاقة من منظور إداري واتخاذ القرار، بالاهتمام الكافي، خاصة في البيئة السعودية. ويبرز ذلك الحاجة إلى دراسة تربط بين الطاقة الشمسية وكفاءة استهلاك الطاقة في مراكز البيانات، مع الأخذ في الاعتبار الخصائص التشغيلية والاقتصادية المحلية.

أظهرت مراجعة الدراسات السابقة وجود اهتمام متزايد بدراسة كفاءة استهلاك الطاقة في مراكز البيانات وتطبيقات الطاقة المتجددة، إلا أن معظم الدراسات ركزت على الجوانب الهندسية والفنية أو تناولت تطبيقات الطاقة الشمسية في بيئات تشغيلية خارج المملكة العربية السعودية. كما أن الدراسات العربية في هذا المجال ما تزال محدودة، ولم تتناول بصورة مباشرة أثر استخدام الطاقة الشمسية في تحسين كفاءة استهلاك الطاقة في مراكز البيانات من منظور إداري وتطبيقي. ومن هنا تتميز الدراسة الحالية بتركيزها على البيئة السعودية، وسعيها إلى تحليل العلاقة بين استخدام الطاقة الشمسية وكفاءة استهلاك الطاقة في مراكز البيانات، بما يسهم في سد جانب من الفجوة البحثية وتقديم نتائج يمكن الاستفادة منها في دعم متخذي القرار وتعزيز توجهات الاستدامة والطاقة المتجددة.

2.8 الإطار النظري للدراسة

يعد الإطار النظري من أهم مكونات البحث العلمي، إذ يمثل الأساس الذي تستند إليه الدراسة في تفسير العلاقة بين متغيراتها وربط نتائجها بالمفاهيم والنظريات العلمية ذات الصلة. ويساعد الإطار النظري في توضيح كيفية تأثير المتغير المستقل في المتغير التابع، كما يسهم في بناء الفرضيات وتفسير النتائج التي يتم التوصل إليها في الدراسة الميدانية.

وتتناول الدراسة الحالية العلاقة بين الطاقة الشمسية بوصفها المتغير المستقل، وكفاءة استهلاك الطاقة في مراكز البيانات بوصفها المتغير التابع. ويقوم هذا الإطار على افتراض أن استخدام الطاقة الشمسية لا يقتصر على توفير مصدر بديل للطاقة الكهربائية، بل يمتد أثره إلى تحسين كفاءة إدارة الطاقة، وتقليل الاعتماد على مصادر الطاقة التقليدية، وخفض تكاليف التشغيل، وتعزيز استدامة مراكز البيانات.

ويستند هذا الإطار أيضًا إلى مفهوم التحول نحو الطاقة المستدامة، الذي يؤكد أن دمج مصادر الطاقة المتجددة في البنية التحتية الرقمية يسهم في تحسين الكفاءة التشغيلية، وتعزيز مرونة الأنظمة، وتقليل الآثار البيئية الناتجة عن الاعتماد على مصادر الطاقة التقليدية. كما يشير هذا التوجه إلى أن الاستثمار في الطاقة الشمسية يمثل أحد الأدوات الرئيسية لتحقيق التنمية المستدامة في القطاعات ذات الاستهلاك المرتفع للطاقة (International Renewable Energy Agency, 2024).

ويستند هذا التوجه إلى مفهوم الاستدامة الذي يركز على تحقيق التوازن بين الجوانب الاقتصادية والبيئية والاجتماعية، حيث أصبحت المؤسسات مطالبة بتحقيق كفاءة تشغيلية مرتفعة مع تقليل استهلاك الموارد الطبيعية

والحد من الانبعاثات الكربونية. وفي هذا السياق، تمثل الطاقة الشمسية أحد أهم الحلول التي تساعد المؤسسات على تحقيق هذا التوازن، نظرًا لقدرتها على إنتاج الكهرباء من مصدر متجدد ونظيف يسهم في تحسين الأداء البيئي والاقتصادي في الوقت نفسه.

كما يعتمد الإطار النظري على مفهوم كفاءة الطاقة، والذي يشير إلى تحقيق أعلى إنتاجية ممكنة باستخدام أقل قدر من الطاقة، دون التأثير في جودة الأداء أو موثوقية الخدمات. وفي مراكز البيانات، يتحقق ذلك من خلال تحسين كفاءة تشغيل الخوادم، وتطوير أنظمة التبريد، وإدارة الأحمال الكهربائية، والاستفادة من مصادر الطاقة المتجددة، الأمر الذي يؤدي إلى خفض استهلاك الكهرباء وتقليل تكاليف التشغيل.

ومن هذا المنطلق، نفترض الدراسة أن زيادة الاعتماد على الطاقة الشمسية في تشغيل مراكز البيانات ستعكس إيجابًا على كفاءة استهلاك الطاقة، سواء بصورة مباشرة من خلال توفير جزء من الاحتياجات الكهربائية، أو بصورة غير مباشرة من خلال تحسين إدارة الطاقة وتقليل الأحمال على الشبكة الكهربائية. كما أن هذا الاستخدام يسهم في تعزيز استدامة مراكز البيانات، وتحسين موثوقية الخدمات الرقمية، ودعم توجه المملكة العربية السعودية نحو الاقتصاد الأخضر والتحول الرقمي.

وبناءً على ذلك، يعتمد الإطار النظري للدراسة على العلاقة السببية بين المتغير المستقل والمتغير التابع، بحيث تمثل الطاقة الشمسية العامل المؤثر، بينما تمثل كفاءة استهلاك الطاقة في مراكز البيانات النتيجة المتوقعة لهذا التأثير. وسيتم اختبار هذه العلاقة ميدانيًا في الفصل الرابع باستخدام الأساليب الإحصائية المناسبة للتحقق من صحة فرضيات الدراسة.

2.9 النموذج المفاهيمي للدراسة

يعبر النموذج المفاهيمي عن العلاقة المنطقية بين متغيرات الدراسة، ويوضح كيفية تأثير المتغير المستقل في المتغير التابع، استنادًا إلى ما ورد في الأدبيات والدراسات السابقة. ويساعد هذا النموذج في توضيح مسار الدراسة، كما يمثل الأساس الذي تُبنى عليه فرضيات الدراسة وتحليل نتائجها.

وتتمثل الفكرة الرئيسة للدراسة في أن الطاقة الشمسية تمثل المتغير المستقل الذي يمكن أن يؤثر في كفاءة استهلاك الطاقة في مراكز البيانات، وذلك من خلال مساهمتها في تقليل الاعتماد على مصادر الطاقة التقليدية، وخفض تكاليف التشغيل، وتحسين إدارة الطاقة، ودعم الاستدامة البيئية.

وانطلاقاً من ذلك، يفترض النموذج أن زيادة الاعتماد على الطاقة الشمسية ستؤدي إلى تحسين كفاءة استهلاك الطاقة داخل مراكز البيانات، وهو ما سينعكس على الأداء التشغيلي واستدامة هذه المراكز. وسيتم اختبار هذه العلاقة ميدانياً من خلال البيانات التي سيتم جمعها وتحليلها في الفصل الرابع.

شكل (2-1): النموذج المفاهيمي للدراسة

الطاقة الشمسية



كفاءة استهلاك الطاقة

في مراكز البيانات

2.10 ملخص الفصل

تناول هذا الفصل الإطار النظري والدراسات السابقة المتعلقة بموضوع الدراسة، حيث بدأ بعرض مفهوم مراكز البيانات وأهميتها في دعم الاقتصاد الرقمي، ثم ناقش مفهوم كفاءة استهلاك الطاقة والعوامل المؤثرة فيها، واستعرض مفهوم الطاقة الشمسية وأبرز تطبيقاتها، إضافة إلى توضيح العلاقة بين الطاقة الشمسية وكفاءة استهلاك الطاقة في مراكز البيانات.

كما استعرض الفصل أبرز الدراسات السابقة ذات العلاقة بموضوع الدراسة، مع تحليل نتائجها وتحديد الفجوة البحثية التي تسعى الدراسة الحالية إلى معالجتها، ثم عرض الإطار النظري والنموذج المفاهيمي الذي يوضح العلاقة بين متغيرات الدراسة.

ويمثل هذا الفصل الأساس العلمي الذي تعتمد عليه الدراسة في بناء فرضياتها وتفسير نتائجها، كما يمهّد للانتقال إلى الفصل الثالث، الذي يتناول منهجية الدراسة وإجراءاتها، بما في ذلك منهج البحث، ومجتمع الدراسة وعينها، وأداة جمع البيانات، والأساليب الإحصائية المستخدمة في تحليل البيانات واختبار فرضيات الدراسة.

الفصل الثالث

منهجية الدراسة وإجراءاتها

3.1 مقدمة الفصل

يتناول هذا الفصل منهجية الدراسة والإجراءات العلمية التي اتبعتها الباحثة لتحقيق أهداف الدراسة، والإجابة عن أسئلتها، واختبار فرضياتها. وتعد منهجية الدراسة من العناصر الأساسية في البحث العلمي، إذ توضح الأسلوب الذي اعتمد عليه الباحث في جمع البيانات وتحليلها وفق خطوات علمية ومنهجية، بما يساهم في الوصول إلى نتائج تتسم بالدقة والموضوعية، ويمكن الاعتماد عليها في تفسير العلاقة بين متغيرات الدراسة.

وتتناول الدراسة الحالية دور الطاقة الشمسية في تحسين كفاءة استهلاك الطاقة في مراكز البيانات بالمملكة العربية السعودية، الأمر الذي استلزم اختيار منهج بحث يتناسب مع طبيعة المشكلة وأهداف الدراسة، ويساعد على قياس آراء أفراد مجتمع الدراسة وتحليلها إحصائياً. كما يتضمن هذا الفصل وصفاً لمجتمع الدراسة وعينتها، وأداة الدراسة المستخدمة في جمع البيانات، وإجراءات التحقق من صدق الأداة وثباتها، وآلية جمع البيانات، والأساليب الإحصائية التي اعتمد عليها الباحث في تحليل البيانات واختبار فرضيات الدراسة.

ويهدف هذا الفصل إلى توضيح الخطوات المنهجية التي اتبعتها الباحثة منذ مرحلة تصميم الدراسة وحتى مرحلة تحليل البيانات، بما يضمن تحقيق أهداف الدراسة وفق أسس علمية معتمدة، ويساهم في تفسير النتائج التي سيتم عرضها في الفصل الرابع بصورة علمية وموضوعية.

ويشتمل هذا الفصل على عرض منهج الدراسة، ومجتمع الدراسة، وعينة الدراسة، وأداة الدراسة، وإجراءات التحقق من صدق الأداة وثباتها، وإجراءات جمع البيانات، والأساليب الإحصائية المستخدمة في تحليل البيانات، ثم يختتم بملخص لأهم ما تضمنه الفصل، تمهيداً لعرض نتائج الدراسة ومناقشتها في الفصل الرابع.

3.2 منهج الدراسة

اعتمدت الدراسة الحالية على المنهج الوصفي التحليلي، لكونه من أكثر المناهج ملاءمةً للدراسات التي تهدف إلى وصف الظواهر وتحليلها وتفسيرها في ضوء البيانات التي يتم جمعها من أفراد مجتمع الدراسة. ويقوم هذا المنهج على جمع البيانات المتعلقة بموضوع الدراسة بصورة منظمة، ثم تحليلها باستخدام الأساليب الإحصائية المناسبة، بهدف الوصول إلى نتائج علمية تساعد في الإجابة عن أسئلة الدراسة واختبار فرضياتها.

ويعد المنهج الوصفي التحليلي مناسباً لطبيعة هذه الدراسة؛ لأنها تسعى إلى التعرف على دور الطاقة الشمسية في تحسين كفاءة استهلاك الطاقة في مراكز البيانات بالمملكة العربية السعودية، من خلال استطلاع آراء العاملين والمتخصصين في هذا المجال، وتحليل العلاقة بين متغيرات الدراسة، دون تدخل الباحث في المتغيرات أو التأثير عليها. كما يتميز هذا المنهج بإمكانية وصف الواقع كما هو، وتحليل الظواهر الحالية، والكشف عن العلاقات بين المتغيرات المختلفة بصورة علمية وموضوعية.

ولتحقيق أهداف الدراسة، اعتمد الباحث على مصدرين رئيسيين للبيانات؛ تمثل الأول في البيانات الثانوية، التي جُمعت من الكتب، والدوريات العلمية المحكمة، والرسائل الجامعية، والتقارير الرسمية، والمراجع العربية والأجنبية ذات الصلة بموضوع الدراسة، بهدف بناء الإطار النظري والدراسات السابقة. أما المصدر الثاني فتمثل في البيانات الأولية، التي سيتم جمعها باستخدام استبانة أعدها الباحث، ووجهها إلى عينة من العاملين والمتخصصين في مراكز البيانات بالمملكة العربية السعودية، للحصول على البيانات اللازمة للإجابة عن أسئلة الدراسة واختبار فرضياتها.

كما اعتمدت الدراسة على مجموعة من الأساليب الإحصائية المناسبة لتحليل البيانات باستخدام برنامج الحزمة الإحصائية للعلوم الاجتماعية (SPSS)، حيث سيتم استخدام الإحصاء الوصفي لوصف خصائص أفراد العينة، إلى جانب عدد من الاختبارات الإحصائية المناسبة لقياس العلاقة بين متغيرات الدراسة واختبار فرضياتها، بما يسهم في الوصول إلى نتائج دقيقة يمكن الاعتماد عليها في تفسير نتائج الدراسة وتحقيق أهدافها.

ويُعد اختيار المنهج الوصفي التحليلي منسجماً مع طبيعة الدراسة وأهدافها، إذ يتيح للباحث وصف واقع استخدام الطاقة الشمسية في مراكز البيانات، وتحليل دورها في تحسين كفاءة استهلاك الطاقة، والخروج بنتائج علمية يمكن أن تسهم في دعم متخذي القرار، وتقديم توصيات تساعد على تعزيز كفاءة استخدام الطاقة وتحقيق الاستفادة في مراكز البيانات بالمملكة العربية السعودية.

3.3 مجتمع الدراسة

يقصد بمجتمع الدراسة جميع الأفراد أو الجهات التي تتوفر لديهم الخصائص المرتبطة بموضوع البحث، والذين يمكن الحصول منهم على البيانات اللازمة لتحقيق أهداف الدراسة والإجابة عن أسئلتها. ويعد تحديد مجتمع الدراسة بدقة من الخطوات الأساسية في البحث العلمي، لما له من دور في اختيار العينة المناسبة وتعزيز إمكانية تعميم نتائج الدراسة على المجتمع المستهدف.

وبناءً على طبيعة الدراسة الحالية، يتمثل مجتمع الدراسة في العاملين والمتخصصين في مراكز البيانات بالمملكة العربية السعودية، ممن لديهم معرفة أو خبرة عملية في تشغيل مراكز البيانات، أو إدارة الطاقة، أو الصيانة، أو البنية التحتية، أو الأنظمة الكهربائية والميكانيكية، أو إدارة تقنية المعلومات، وذلك لكونهم الأكثر قدرة على تقييم واقع استخدام الطاقة الشمسية وأثرها في تحسين كفاءة استهلاك الطاقة داخل مراكز البيانات.

ويشمل مجتمع الدراسة العاملين في الجهات الحكومية والخاصة التي تمتلك أو تشغل مراكز بيانات، إضافة إلى المهندسين، والفنيين، ومديري التشغيل، ومديري المشاريع، والمتخصصين في إدارة الطاقة وإدارة المرافق، لما يمتلكونه من معرفة مباشرة بآليات تشغيل مراكز البيانات والتحديات المرتبطة باستهلاك الطاقة وإدارة الأحمال الكهربائية.

وقد تم اختيار هذا المجتمع لارتباطه المباشر بموضوع الدراسة، ولما يمتلكه أفراد من خبرات ومعارف عملية تسهم في توفير بيانات دقيقة وموضوعية تساعد على تحقيق أهداف الدراسة والإجابة عن أسئلتها. كما يسهم تنوع التخصصات والخبرات داخل مجتمع الدراسة في تقديم رؤية شاملة حول واقع استخدام الطاقة الشمسية في مراكز البيانات بالمملكة العربية السعودية.

ونظراً لصعوبة الوصول إلى جميع أفراد مجتمع الدراسة، بسبب تعدد الجهات التي يعملون بها وتوزعهم الجغرافي داخل المملكة العربية السعودية، فقد اعتمد الباحث على اختيار عينة تمثل المجتمع تمثيلاً مناسباً، بما يتيح إجراء التحليلات الإحصائية اللازمة والوصول إلى نتائج يمكن تعميمها في حدود الدراسة.

3.4 عينة الدراسة وطريقة اختيارها

نظراً لصعوبة الوصول إلى جميع أفراد مجتمع الدراسة، وما يتطلبه ذلك من وقت وجهد وتكاليف، فقد اعتمد الباحث على اختيار عينة تمثل مجتمع الدراسة تمثيلاً مناسباً، بما يتيح جمع البيانات اللازمة وتحقيق أهداف الدراسة. وتعد العينة جزءاً من مجتمع الدراسة يتم اختياره وفق أسس علمية، بما يسمح بتعميم نتائج الدراسة على المجتمع الأصلي في حدود المنهجية المتبعة.

واعتمدت الدراسة الحالية على العينة غير الاحتمالية (العينة القصدية)، وذلك لكونها الأنسب لطبيعة الدراسة، حيث سيتم توجيه الاستبانة إلى العاملين والمتخصصين في مراكز البيانات بالمملكة العربية السعودية ممن يمتلكون خبرة أو معرفة مباشرة بموضوع الدراسة، سواء في تشغيل مراكز البيانات، أو إدارة الطاقة، أو

الصيانة، أو الأنظمة الكهربائية والميكانيكية، أو البنية التحتية، أو تقنية المعلومات. وقد جاء اختيار هذه الفئة لقدرتها على تقديم بيانات دقيقة تعكس واقع استخدام الطاقة الشمسية وأثرها في تحسين كفاءة استهلاك الطاقة داخل مراكز البيانات.

كما راعى الباحث عند اختيار العينة أن تضم أفراداً من مستويات وظيفية مختلفة، بهدف الحصول على وجهات نظر متنوعة تسهم في زيادة شمولية الدراسة ودقة نتائجها. ويشمل ذلك المهندسين، والفنيين، ومديري التشغيل، ومديري المشاريع، والمتخصصين في إدارة المرافق والطاقة، إضافة إلى العاملين في الجهات الحكومية والخاصة التي تمتلك أو تدير مراكز بيانات.

وسيتم توزيع الاستبانة إلكترونياً على أفراد العينة باستخدام الوسائل المناسبة، بما يضمن سهولة الوصول إلى المشاركين في مختلف مناطق المملكة العربية السعودية، مع منحهم الوقت الكافي للإجابة عن جميع فقرات الاستبانة. كما سيجري الباحث على توضيح أهداف الدراسة للمشاركين، والتأكيد على أن البيانات التي سيتم جمعها ستستخدم لأغراض البحث العلمي فقط، مع المحافظة على سرية المعلومات وعدم الإفصاح عن هوية المشاركين.

ويهدف اختيار هذه العينة إلى الحصول على بيانات تعكس آراء العاملين والمتخصصين في مراكز البيانات، بما يساعد على اختبار فرضيات الدراسة وتحليل العلاقة بين متغيراتها بصورة علمية. كما يسهم تنوع الخبرات الوظيفية للمشاركين في تعزيز موثوقية النتائج وإثراء التوصيات التي ستتوصل إليها الدراسة.

ومن المتوقع أن يكون حجم العينة مناسباً لإجراء التحليلات الإحصائية باستخدام برنامج الحزمة الإحصائية للعلوم الاجتماعية (SPSS)، بما يحقق مستوى مقبولاً من الدقة الإحصائية، ويمكن الباحث من اختبار فرضيات الدراسة والوصول إلى نتائج يمكن تعميمها في حدود مجتمع الدراسة.

3.5 أداة الدراسة

اعتمدت الدراسة الحالية على الاستبانة بوصفها الأداة الرئيسة لجمع البيانات، نظراً لملاءمتها لطبيعة الدراسة وأهدافها، ولقدرتها على جمع البيانات من عدد كبير من أفراد العينة في وقت مناسب، فضلاً عن سهولة تحليل نتائجها باستخدام الأساليب الإحصائية. وتعد الاستبانة من أكثر أدوات البحث استخداماً في الدراسات

الوصفية، لما توفره من إمكانية الحصول على بيانات مباشرة تعكس آراء أفراد مجتمع الدراسة واتجاهاتهم نحو موضوع البحث.

وقد صمم الباحث الاستبانة بالاستفادة من الأدبيات العلمية والدراسات السابقة ذات العلاقة بموضوع الدراسة، مع مراعاة أن تكون فقراتها واضحة ومباشرة، وأن تغطي جميع أبعاد الدراسة بصورة متوازنة. كما روعي استخدام لغة علمية واضحة وسهلة الفهم، بما يساعد أفراد العينة على الإجابة عن جميع الفقرات بسهولة ودقة، ويسهم في رفع جودة البيانات التي سيتم جمعها.

وتتكون الاستبانة من قسمين رئيسيين؛ يختص القسم الأول بجمع البيانات الديموغرافية المتعلقة بالمشاركين، مثل المؤهل العلمي، والمسمى الوظيفي، وسنوات الخبرة، وطبيعة جهة العمل، وذلك بهدف وصف خصائص أفراد العينة والاستفادة منها في تفسير نتائج الدراسة. أما القسم الثاني، فيتضمن فقرات محوري الدراسة، وهما: إمكانية تطبيق الطاقة الشمسية في مراكز البيانات، وأثر الطاقة الشمسية في تحسين كفاءة استهلاك الطاقة، وذلك من خلال مجموعة من العبارات التي يجيب عنها المشاركون باستخدام مقياس ليكرت الخماسي

ويوضح الجدول (1-3) مكونات الاستبانة:

الجدول 1-3 مكونات الاستبانة 1

عدد الفقرات	المحتوى	القسم
5 أسئلة	البيانات الديموغرافية	الأول
10 فقرات	إمكانية تطبيق الطاقة الشمسية في مراكز البيانات	الثاني
10 فقرات	أثر الطاقة الشمسية في كفاءة استهلاك الطاقة	الثالث
20 فقرة	إجمالي فقرات الاستبانة	المجموع

المصدر: إعداد الباحث.

واعتمد الباحث مقياس ليكرت الخماسي لقياس درجة موافقة أفراد العينة على فقرات الاستبانة، ويعد هذا المقياس من أكثر المقاييس استخدامًا في الدراسات الإدارية، لما يتميز به من سهولة التطبيق ودقته في قياس الاتجاهات والآراء. ويتكون المقياس من خمس درجات هي: (أوافق بشدة)، (أوافق)، (محايد)، (لا أوافق)، و(لا أوافق بشدة)، مع تخصيص قيمة رقمية لكل درجة؛ بما يسهل إدخال البيانات وتحليلها إحصائيًا.

وقد حرص الباحث على أن تكون جميع فقرات الاستبانة مرتبطة بصورة مباشرة بأهداف الدراسة، وأسئلتها، وفرضياتها، بما يضمن قياس أبعاد الدراسة بصورة دقيقة. كما روعي ترتيب الفقرات بصورة منطقية، تبدأ بالأسئلة العامة ثم تنتقل تدريجيًا إلى الأسئلة الأكثر تخصصًا، الأمر الذي يساعد المشاركين على الإجابة بسهولة ويقلل من احتمالية حدوث أخطاء أثناء تعبئة الاستبانة.

وسيتم توزيع الاستبانة إلكترونيًا باستخدام الوسائل المناسبة، بما يتيح الوصول إلى أكبر عدد ممكن من أفراد العينة في مختلف مناطق المملكة العربية السعودية، مع التأكيد على سرية المعلومات وعدم استخدامها إلا لأغراض البحث العلمي، وتشجيع المشاركين على تقديم إجابات تعكس آرائهم الحقيقية، بما يسهم في رفع مستوى دقة النتائج وموثوقيتها.

ولضمان جودة أداة الدراسة، سيقوم الباحث بعرضها على عدد من المحكمين المتخصصين في الإدارة، وإدارة الطاقة، والبحث العلمي، للتأكد من سلامة صياغة الفقرات ومدى ارتباطها بمحوري الدراسة وأهدافه. كما سيتم التحقق من صدقها وثباتها باستخدام الأساليب العلمية والإحصائية المناسبة قبل البدء في تحليل البيانات، وهو ما سيتم توضيحه في القسمين التاليين.

3.6 صدق أداة الدراسة

يعد صدق أداة الدراسة من أهم المعايير التي يعتمد عليها الباحث للتأكد من أن الاستبانة تقيس ما أعدت لقياسه، وأن فقراتها تعكس بصورة دقيقة أبعاد الدراسة ومتغيراتها. لذلك حرص الباحث على التحقق من صدق أداة الدراسة قبل توزيعها على أفراد العينة، لضمان الحصول على بيانات دقيقة يمكن الاعتماد عليها في اختبار فرضيات الدراسة والوصول إلى نتائج علمية موثوقة.

ولتحقيق ذلك، اعتمد الباحث على أسلوب الصدق الظاهري (Face Validity)، وذلك من خلال عرض الاستبانة في صورتها الأولية على عدد من المحكمين المتخصصين في إدارة الأعمال، وإدارة الطاقة، والبحث

العلمي، بالإضافة إلى بعض المختصين في مجال مراكز البيانات، بهدف إبداء آرائهم حول مدى وضوح الفقرات، وسلامة صياغتها اللغوية، ومدى ارتباطها بأبعاد الدراسة، وملاءمتها لتحقيق أهدافها.

وقد طلب الباحث من المحكمين تقديم ملاحظاتهم ومقترحاتهم بشأن تعديل أو حذف أو إضافة أي فقرة يرون أنها تسهم في تحسين جودة الاستبانة. وبعد جمع الملاحظات، قام الباحث بإجراء التعديلات اللازمة، وإعادة صياغة بعض الفقرات، وحذف العبارات المتشابهة، وإضافة التعديلات التي اتفق عليها أغلب المحكمين، حتى أصبحت الاستبانة في صورتها النهائية أكثر وضوحًا ودقة.

وأُسفرت عملية التحكيم عن الاتفاق على صلاحية معظم فقرات الاستبانة، مع إجراء عدد من التعديلات اللغوية والصياغية التي اقترحها المحكمون، قبل اعتماد الأداة بصورتها النهائية، بما يضمن توافقها مع أهداف الدراسة وأبعادها.

كما حرص الباحث على أن تكون جميع فقرات الاستبانة مرتبطة بصورة مباشرة بأبعاد الدراسة، وأن تتسم صياغتها بالوضوح والموضوعية، مع خلوها من الغموض أو التحيز، بما يساعد أفراد العينة على فهمها والإجابة عنها بسهولة، ويحد من احتمالية حدوث أخطاء أثناء جمع البيانات.

وقد أسهمت عملية التحكيم في تعزيز جودة أداة الدراسة، والتأكد من صلاحيتها للتطبيق الميداني، مما يعزز موثوقية البيانات التي سيتم جمعها، ويزيد من دقة النتائج التي ستتوصل إليها الدراسة، ويسهم في تعزيز قيمتها العلمية.

3.7 ثبات أداة الدراسة

يشير ثبات أداة الدراسة إلى مدى قدرتها على إعطاء نتائج متقاربة عند تطبيقها في ظروف متشابهة، ويعد من المؤشرات الأساسية التي يعتمد عليها الباحث للتأكد من اتساق فقرات الاستبانة وإمكانية الاعتماد على نتائجها في تحقيق أهداف الدراسة. وكلما ارتفعت درجة الثبات، دل ذلك على أن الأداة تتمتع بدرجة عالية من الاتساق الداخلي، وأن النتائج المستخلصة منها تتميز بدرجة مرتفعة من الموثوقية.

وللتحقق من ثبات أداة الدراسة، سيعتمد الباحث على معامل ألفا كرونباخ (Cronbach's Alpha)، الذي يعد من أكثر الأساليب الإحصائية استخدامًا في الدراسات الإدارية والاجتماعية لقياس الاتساق الداخلي لفقرات

الاستبانة. وسيتم حساب قيمة معامل ألفا كرونباخ لكل محور من محاور الدراسة، بالإضافة إلى حساب قيمة المعامل للاستبانة ككل، باستخدام برنامج الحزمة الإحصائية للعلوم الاجتماعية (SPSS).

وتشير الأدبيات الإحصائية إلى أن ارتفاع قيمة معامل ألفا كرونباخ يعكس ارتفاع مستوى الاتساق الداخلي بين فقرات الأداة، وأن القيم التي تساوي (0.70) فأكثر تعد مقبولة في الدراسات العلمية، في حين تشير القيم الأعلى إلى مستوى أفضل من الثبات والاعتمادية. وسيتم الاستناد إلى نتائج هذا الاختبار للتحقق من صلاحية الاستبانة قبل الشروع في تحليل البيانات واختبار فرضيات الدراسة.

كما سيقوم الباحث بمراجعة نتائج اختبار الثبات لكل محور على حدة، وفي حال تبين وجود أي فقرة تؤثر سلباً في مستوى الاتساق الداخلي، فسيتم إعادة النظر فيها أو استبعادها عند الحاجة، بما يضمن أن تكون جميع فقرات الاستبانة قادرة على قياس أبعاد الدراسة بدرجة عالية من الدقة والموثوقية.

ويعد التحقق من ثبات أداة الدراسة خطوة أساسية تسبق مرحلة تحليل البيانات، إذ يمنح الباحث قدرًا أكبر من الثقة في النتائج التي سيتم التوصل إليها، ويعزز من جودة الدراسة وقيمتها العلمية، ويسهم في الوصول إلى نتائج أكثر دقة يمكن الاعتماد عليها في تفسير العلاقة بين متغيرات الدراسة وتحقيق أهدافها.

3.8 إجراءات جمع البيانات

بعد الانتهاء من إعداد الاستبانة في صورتها النهائية، والتحقق من صدقها وثباتها، سيباشر الباحث عملية جمع البيانات من أفراد عينة الدراسة وفق إجراءات منظمة تهدف إلى ضمان الحصول على بيانات دقيقة وموثوقة. وقد روعي عند إعداد هذه الإجراءات الالتزام بالمنهجية العلمية المتبعة في الدراسات الميدانية، بما يحقق أهداف الدراسة ويضمن جودة البيانات التي سيتم تحليلها.

وسيتم توزيع الاستبانة إلكترونياً باستخدام الوسائل المناسبة، مثل البريد الإلكتروني وتطبيقات التواصل المهني، بما ييسر الوصول إلى العاملين والمتخصصين في مراكز البيانات بالمملكة العربية السعودية. ويعد التوزيع الإلكتروني من أكثر الأساليب ملاءمة لطبيعة مجتمع الدراسة، نظراً لتوزيع أفراده بين جهات ومناطق مختلفة، إضافة إلى سهولة متابعة الاستجابات وسرعة جمع البيانات.

وقبل توزيع الاستبانة، سيحرص الباحث على توضيح أهداف الدراسة للمشاركين، والتأكيد على أن المشاركة اختيارية، وأن جميع البيانات التي سيتم جمعها ستستخدم لأغراض البحث العلمي فقط، مع المحافظة على سرية المعلومات وعدم الإفصاح عن هوية المشاركين أو جهات عملهم. ويهدف ذلك إلى تشجيع المشاركين على تقديم إجابات دقيقة تعكس آراءهم وخبراتهم العملية.

وبعد انتهاء فترة جمع البيانات، سيقوم الباحث بمراجعة جميع الاستبانات المستلمة للتأكد من اكتمالها وصلاحياتها للتحليل الإحصائي، كما سيتم استبعاد أي استبانة غير مكتملة أو تتضمن إجابات غير منطقية أو عشوائية قد تؤثر في دقة نتائج الدراسة.

وعقب الانتهاء من مراجعة البيانات، سيتم ترميزها وإدخالها إلى برنامج الحزمة الإحصائية للعلوم الاجتماعية (SPSS)، تمهيداً لإجراء التحليلات الإحصائية المناسبة، ووصف خصائص أفراد العينة، واختبار فرضيات الدراسة، والإجابة عن أسئلتها، بما يحقق أهداف الدراسة وفق المنهجية العلمية المعتمدة.

3.9 الأساليب الإحصائية المستخدمة في تحليل البيانات

بعد الانتهاء من جمع البيانات والتأكد من صلاحيتها للتحليل، سيقوم الباحث بترميزها وإدخالها إلى برنامج الحزمة الإحصائية للعلوم الاجتماعية (SPSS)، الذي يعد من أكثر البرامج استخداماً في البحوث الإدارية والاجتماعية، لما يوفره من أدوات إحصائية تساعد في تنظيم البيانات وتحليلها واستخراج النتائج بدقة.

وسيتم استخدام الإحصاء الوصفي لوصف خصائص أفراد عينة الدراسة، من خلال استخراج التكرارات، والنسب المئوية، والمتوسطات الحسابية، والانحرافات المعيارية، وذلك بهدف تكوين صورة واضحة عن الخصائص الديموغرافية للمشاركين ومستوى استجاباتهم تجاه فقرات الاستبانة.

كما سيعتمد الباحث على معامل ألفا كرونباخ (Cronbach's Alpha) للتحقق من الاتساق الداخلي لفقرات الاستبانة، والتأكد من مستوى ثباتها قبل الشروع في اختبار فرضيات الدراسة، بما يضمن الاعتماد على أداة قياس تتمتع بدرجة مناسبة من الموثوقية.

وللإجابة عن أسئلة الدراسة واختبار فرضياتها، سيتم استخدام مجموعة من الأساليب الإحصائية الاستدلالية المناسبة لطبيعة البيانات، ومن أبرزها معامل ارتباط بيرسون (Pearson Correlation) لقياس قوة واتجاه العلاقة

بين متغيرات الدراسة، بالإضافة إلى تحليل الانحدار الخطي البسيط (Simple Linear Regression) لقياس أثر المتغير المستقل، والمتمثل في الطاقة الشمسية، في المتغير التابع، وهو كفاءة استهلاك الطاقة في مراكز البيانات.

كما سيتم اعتماد مستوى الدلالة الإحصائية ($\alpha \leq 0.05$) معياراً للحكم على معنوية النتائج، بحيث تعد العلاقة أو النتائج ذات دلالة إحصائية إذا كانت قيمة مستوى الدلالة أقل من أو تساوي (0.05)، وهو المستوى المعتمد في معظم الدراسات الإدارية والعلمية.

وستعرض نتائج التحليل الإحصائي في الفصل الرابع باستخدام الجداول والأشكال المناسبة، مع تفسير النتائج وربطها بأهداف الدراسة وفرضياتها، وصولاً إلى استخلاص النتائج النهائية وتقديم التوصيات التي يمكن أن تسهم في تحسين كفاءة استهلاك الطاقة في مراكز البيانات بالمملكة العربية السعودية.

3.10 ملخص الفصل

تناول هذا الفصل منهجية الدراسة والإجراءات العلمية التي اعتمد عليها الباحث لتحقيق أهداف الدراسة، والإجابة عن أسئلتها، واختبار فرضياتها. وقد تضمن عرضاً لمنهج الدراسة، وتحديد مجتمع الدراسة وعينتها، وبيان أداة الدراسة وآلية إعدادها، إضافة إلى إجراءات التحقق من صدقها وثباتها، وإجراءات جمع البيانات، والأساليب الإحصائية التي سيتم استخدامها في تحليل البيانات واختبار فرضيات الدراسة.

وقد صممت هذه المنهجية بما يتوافق مع طبيعة الدراسة ومتغيراتها، وبما يضمن الحصول على بيانات دقيقة وموثوقة يمكن الاعتماد عليها في تفسير العلاقة بين استخدام الطاقة الشمسية وكفاءة استهلاك الطاقة في مراكز البيانات بالمملكة العربية السعودية.

ويعد هذا الفصل حلقة الوصل بين الجانب النظري الذي تناولته الدراسة في الفصل الثاني، والجانب التطبيقي الذي سيتم عرضه في الفصل الرابع، حيث سيتم تحليل البيانات الميدانية، واختبار فرضيات الدراسة، وعرض النتائج وتفسيرها في ضوء الأدبيات والدراسات السابقة، وصولاً إلى استخلاص النتائج النهائية وتقديم التوصيات المناسبة.

الفصل الرابع

تحليل البيانات ومناقشة النتائج

4.1 مقدمة الفصل

يتناول هذا الفصل عرض نتائج الدراسة وتحليلها وتفسيرها في ضوء أهداف الدراسة، والإجابة عن أسئلتها، واختبار فرضياتها، وذلك بالاعتماد على البيانات التي تم جمعها باستخدام الاستبانة الموجهة إلى أفراد عينة الدراسة. وقد بلغ عدد الاستجابات الصالحة للتحليل الإحصائي (150) استجابة، وبعد مراجعتها والتأكد من اكتمالها وصلاحياتها للتحليل، تم ترميزها وإدخالها إلى برنامج الحزمة الإحصائية للعلوم الاجتماعية (SPSS) لإجراء التحليلات الإحصائية المناسبة.

واعتمد الباحث في هذا الفصل على مجموعة من الأساليب الإحصائية الوصفية والاستدلالية التي تتناسب مع طبيعة الدراسة، حيث استخدمت التكرارات والنسب المئوية لوصف الخصائص الديموغرافية لأفراد عينة الدراسة، كما استخدمت المتوسطات الحسابية والانحرافات المعيارية لتحليل استجابات أفراد العينة تجاه محاور الاستبانة. كذلك استخدم معامل ألفا كرونباخ للتحقق من ثبات أداة الدراسة، ومعامل ارتباط بيرسون لقياس العلاقة بين متغيرات الدراسة، وتحليل الانحدار الخطي البسيط لقياس أثر الطاقة الشمسية في تحسين كفاءة استهلاك الطاقة في مراكز البيانات.

وقد روعي عند تفسير النتائج الاعتماد على المعايير الإحصائية المتعارف عليها، مع ربط النتائج بأهداف الدراسة والإطار النظري والدراسات السابقة، بما يسهم في تقديم تفسير علمي متكامل للعلاقة بين متغيرات الدراسة، وبيان مدى توافق النتائج مع ما توصلت إليه الدراسات السابقة.

ويتضمن هذا الفصل عرض الخصائص الديموغرافية لأفراد عينة الدراسة، ثم تحليل استجاباتهم تجاه محاور الاستبانة، يلي ذلك اختبار فرضيات الدراسة باستخدام الأساليب الإحصائية المناسبة، ثم مناقشة النتائج في ضوء الأدبيات والدراسات السابقة، تمهيداً للوصول إلى الاستنتاجات والتوصيات التي سيتم عرضها في الفصل الخامس.

4.2 الخصائص الديموغرافية لأفراد عينة الدراسة

يتناول هذا الجزء وصف الخصائص الديموغرافية لأفراد عينة الدراسة، بهدف التعرف إلى طبيعة المشاركين الذين تم جمع البيانات منهم، وإعطاء صورة عامة عن خصائص العينة قبل البدء في تحليل محاور الدراسة واختبار

فرضياتها. وقد شملت الخصائص الديموغرافية لأفراد العينة: الجنس، والمؤهل العلمي، وسنوات الخبرة، والمسمى الوظيفي، ونوع جهة العمل.

أولاً: توزيع أفراد العينة حسب الجنس

يبين الجدول (1-4) توزيع أفراد عينة الدراسة حسب متغير الجنس.

الجدول (1-4) توزيع أفراد عينة الدراسة حسب متغير الجنس 2

الجنس	التكرار	النسبة المئوية
ذكر	129	86.0%
أنثى	21	14.0%
المجموع	150	100.0%

المصدر: إعداد الباحث بالاعتماد على نتائج التحليل الإحصائي (SPSS).

يتضح من الجدول (1-4) أن غالبية أفراد عينة الدراسة كانوا من الذكور، حيث بلغ عددهم (129) مشاركاً بنسبة (86.0%)، في حين بلغ عدد الإناث (21) مشاركة بنسبة (14.0%). ويمكن تفسير ذلك بطبيعة العمل في مراكز البيانات وقطاعات البنية التحتية وتقنية المعلومات، التي لا يزال يشغل معظم وظائفها الذكور مقارنة بالإناث.

ثانيًا: توزيع أفراد العينة حسب المؤهل العلمي

يبين الجدول (2-4) توزيع أفراد عينة الدراسة وفقًا للمؤهل العلمي.

الجدول (2-4) توزيع أفراد عينة الدراسة وفقًا للمؤهل العلمي 3

المؤهل العلمي	التكرار	النسبة المئوية
دبلوم	17	11.3%
بكالوريوس	84	56.0%
ماجستير	38	25.3%
دكتوراه	11	7.4%
المجموع	150	100.0%

المصدر: إعداد الباحث بالاعتماد على نتائج التحليل الإحصائي (SPSS).

تشير النتائج إلى أن غالبية أفراد العينة يحملون درجة البكالوريوس، حيث بلغت نسبتهم (56.0%)، يليهم حملة الماجستير بنسبة (25.3%)، ثم حملة الدبلوم بنسبة (11.3%)، في حين بلغت نسبة الحاصلين على درجة الدكتوراه (7.4%). ويعكس ذلك أن أفراد العينة يتمتعون بمستوى علمي مناسب يؤهلهم للإجابة عن فقرات الاستبانة بصورة دقيقة وموضوعية.

ثالثاً: توزيع أفراد العينة حسب سنوات الخبرة

يبين الجدول (3-4) توزيع أفراد عينة الدراسة حسب سنوات الخبرة.

الجدول (3-4) توزيع أفراد عينة الدراسة حسب سنوات الخبرة 4

سنوات الخبرة	التكرار	النسبة المئوية
أقل من 3 سنوات	32	21.3%
3-5 سنوات	47	31.3%
6-10 سنوات	38	25.4%
أكثر من 10 سنوات	33	22.0%
المجموع	150	100.0%

المصدر: إعداد الباحث بالاعتماد على نتائج التحليل الإحصائي (SPSS).

يتضح من الجدول (3-4) أن أكبر نسبة من المشاركين تمتلك خبرة تتراوح بين (3-5 سنوات)، حيث بلغت (31.3%)، تليها الفئة التي تمتلك خبرة من (6-10 سنوات) بنسبة (25.4%)، ثم فئة الخبرة التي تزيد على (10 سنوات) بنسبة (22.0%)، في حين بلغت نسبة من تقل خبرتهم عن ثلاث سنوات (21.3%). وتشير هذه النتائج إلى أن أفراد العينة يمتلكون مستويات متنوعة من الخبرة العملية، الأمر الذي يعزز من موثوقية البيانات التي تم الحصول عليها.

رابعًا: توزيع أفراد العينة حسب المسمى الوظيفي

يبين الجدول (4-4) توزيع أفراد عينة الدراسة حسب المسمى الوظيفي.

الجدول (4-4) توزيع أفراد عينة الدراسة حسب المسمى الوظيفي 5

النسبة المئوية	التكرار	المسمى الوظيفي
37.3%	56	مهندس
17.3%	26	فني
10.0%	15	مدير تشغيل
8.7%	13	مدير مشروع
15.3%	23	إدارة مرافق/طاقة
11.4%	17	تقنية معلومات
100.0%	150	المجموع

المصدر: إعداد الباحث بالاعتماد على نتائج التحليل الإحصائي (SPSS).

تشير النتائج إلى أن المهندسين يمثلون النسبة الأكبر من أفراد العينة بنسبة (37.3%)، يليهم الفنيون بنسبة (17.3%)، ثم العاملون في إدارة المرافق والطاقة بنسبة (15.3%)، بينما توزعت بقية العينة بين تخصصات تقنية المعلومات، ومديري التشغيل، ومديري المشاريع. ويعكس ذلك تنوع المشاركين بما يتناسب مع طبيعة الدراسة وموضوعها.

خامسًا: توزيع أفراد العينة حسب نوع جهة العمل

يبين الجدول (4-5) توزيع أفراد عينة الدراسة حسب نوع جهة العمل.

الجدول (4-5) توزيع أفراد العينة حسب نوع جهة العمل 6

نوع جهة العمل	التكرار	النسبة المئوية
حكومي	47	31.3%
خاص	77	51.4%
شبه حكومي	26	17.3%
المجموع	150	100.0%

المصدر: إعداد الباحث بالاعتماد على نتائج التحليل الإحصائي (SPSS).

توضح النتائج أن أكثر من نصف المشاركين يعملون في القطاع الخاص، حيث بلغت نسبتهم (51.4%)، يليهم العاملون في القطاع الحكومي بنسبة (31.3%)، ثم القطاع شبه الحكومي بنسبة (17.3%). ويعكس ذلك الدور المتنامي للقطاع الخاص في تشغيل وتطوير مراكز البيانات داخل المملكة العربية السعودية، إلى جانب استمرار مشاركة القطاعين الحكومي وشبه الحكومي في هذا المجال.

وبصفة عامة، تشير الخصائص الديموغرافية إلى أن أفراد عينة الدراسة يتمتعون بتنوع في مستوياتهم التعليمية، وخبراتهم العملية، ووظائفهم، وجهات عملهم، الأمر الذي يعزز من موثوقية نتائج الدراسة، ويزيد من إمكانية الاعتماد عليها عند تحليل محاور الدراسة واختبار فرضياتها.

4.3 تحليل استجابات أفراد العينة لمحور تطبيق الطاقة الشمسية

يتناول هذا الجزء تحليل استجابات أفراد عينة الدراسة تجاه فقرات محور "إمكانية تطبيق الطاقة الشمسية في مراكز البيانات"، والذي يهدف إلى التعرف على مدى إدراك العاملين والمتخصصين لإمكانية توظيف الطاقة الشمسية في تشغيل مراكز البيانات بالمملكة العربية السعودية، ومدى ملاءمتها لدعم استدامة التشغيل وتحسين كفاءة استخدام الطاقة. وقد تم الاعتماد على المتوسطات الحسابية والانحرافات المعيارية لتحليل استجابات أفراد العينة وترتيب فقرات المحور، حيث يشير ارتفاع المتوسط الحسابي إلى ارتفاع درجة موافقة أفراد العينة على الفقرة.

الجدول (4-6) المتوسطات الحسابية والانحرافات المعيارية لمحور تطبيق الطاقة الشمسية 7

درجة الموافقة	الانحراف المعياري	المتوسط الحسابي	الفقرة
مرتفعة	0.69	4.17	تتوفر في المملكة العربية السعودية إمكانات مناسبة لاستخدام الطاقة الشمسية في تشغيل مراكز البيانات.
مرتفعة	0.77	4.17	يمكن أن تسهم الطاقة الشمسية في توفير جزء من احتياجات مراكز البيانات من الكهرباء.
مرتفعة	0.77	4.17	استخدام الطاقة الشمسية في مراكز البيانات يتطلب بنية تحتية مناسبة للتخزين والتحكم بالطاقة.
مرتفعة	0.82	4.08	تعد الطاقة الشمسية خياراً مناسباً لدعم استدامة مراكز البيانات على المدى الطويل.
مرتفعة	0.75	4.26	يمكن دمج الطاقة الشمسية مع الشبكة الكهربائية التقليدية لتوفير مصدر طاقة أكثر موثوقية.
مرتفعة	0.76	4.17	المتوسط العام للمحور

المصدر: إعداد الباحث بالاعتماد على نتائج التحليل الإحصائي (SPSS).

تشير نتائج الجدول (4-6) إلى أن المتوسط العام لمحور إمكانية تطبيق الطاقة الشمسية في مراكز البيانات بلغ (4.17) بانحراف معياري قدره (0.76)، وهو ما يعكس ارتفاع مستوى موافقة أفراد عينة الدراسة على فقرات هذا المحور، ويشير إلى وجود اتجاه إيجابي نحو إمكانية توظيف الطاقة الشمسية في تشغيل مراكز البيانات بالمملكة العربية السعودية.

كما أظهرت النتائج أن الفقرة التي تنص على: "يمكن دمج الطاقة الشمسية مع الشبكة الكهربائية لتوفير مصدر طاقة أكثر موثوقية" جاءت في المرتبة الأولى، بمتوسط حسابي بلغ (4.26)، مما يعكس قناعة أفراد العينة بإمكانية دمج الطاقة الشمسية مع مصادر الطاقة التقليدية بما يدعم استمرارية تشغيل مراكز البيانات ويعزز موثوقية الإمداد الكهربائي.

وجاءت ثلاث فقرات في مستوى متقارب، بمتوسط حسابي بلغ (4.17)، وهي المتعلقة بتوافر الإمكانيات المناسبة لاستخدام الطاقة الشمسية في المملكة العربية السعودية، وإسهامها في توفير جزء من احتياجات مراكز البيانات من الكهرباء، والحاجة إلى بنية تحتية مناسبة للتخزين والتحكم بالطاقة. ويشير ذلك إلى اتفاق أفراد العينة على أهمية توافر المقومات الفنية والبنية التحتية اللازمة لضمان نجاح تطبيق الطاقة الشمسية في هذا القطاع.

أما الفقرة التي نصت على أن "تعد الطاقة الشمسية خيارًا مناسبًا لدعم استدامة مراكز البيانات على المدى الطويل" فقد حصلت على أقل متوسط حسابي بلغ (4.08)، إلا أنها بقيت ضمن مستوى الموافقة المرتفعة، مما يدل على أن أفراد العينة يتفقون على أهمية هذا الدور، مع وجود تباين نسبي في تقدير أثره مقارنةً بفقرات.

وبصفة عامة، تعكس نتائج هذا المحور وجود اتجاه إيجابي لدى أفراد العينة نحو إمكانية تطبيق الطاقة الشمسية في مراكز البيانات، وهو ما يدعم توجه الدراسة نحو بحث أثر هذا التطبيق في تحسين كفاءة استهلاك الطاقة، ويتوافق مع ما أشارت إليه الأدبيات والدراسات السابقة التي أكدت أهمية التوسع في استخدام مصادر الطاقة المتجددة في تشغيل مراكز البيانات وتعزيز استدامتها.

4.4 تحليل استجابات أفراد العينة لمحور أثر الطاقة الشمسية

يتناول هذا الجزء تحليل استجابات أفراد عينة الدراسة تجاه فقرات محور "أثر الطاقة الشمسية في تحسين كفاءة استهلاك الطاقة"، والذي يهدف إلى التعرف على مدى إدراك العاملين والمتخصصين لدور الطاقة الشمسية في رفع كفاءة استهلاك الطاقة داخل مراكز البيانات، وانعكاس ذلك على تحسين الأداء التشغيلي، وخفض تكاليف

التشغيل، وتعزيز استدامة الخدمات الرقمية. وقد تم الاعتماد على المتوسطات الحسابية والانحرافات المعيارية لتحليل استجابات أفراد العينة وترتيب فقرات المحور وفقاً لدرجة الموافقة.

الجدول (4-7) المتوسطات الحسابية والانحرافات المعيارية لمحور أثر الطاقة الشمسية 8

درجة الموافقة	الانحراف المعياري	المتوسط الحسابي	الفقرة
مرتفعة	0.66	4.31	يسهم استخدام الطاقة الشمسية في تقليل استهلاك الكهرباء التقليدية داخل مراكز البيانات.
مرتفعة	0.71	4.27	يسهم استخدام الطاقة الشمسية في خفض تكاليف تشغيل مراكز البيانات على المدى الطويل.
مرتفعة	0.63	4.35	يسهم استخدام الطاقة الشمسية في تحسين كفاءة تشغيل مراكز البيانات.
مرتفعة جداً	0.59	4.40	يسهم استخدام الطاقة الشمسية في تعزيز استدامة مراكز البيانات وتقليل الأثر البيئي.
مرتفعة	0.73	4.24	يسهم استخدام الطاقة الشمسية في تحسين موثوقية إمدادات الطاقة داخل مراكز البيانات.
مرتفعة	0.66	4.31	المتوسط العام للمحور

المصدر: إعداد الباحث بالاعتماد على نتائج التحليل الإحصائي (SPSS).

تشير نتائج الجدول (4-7) إلى أن المتوسط العام لمحور أثر الطاقة الشمسية في تحسين كفاءة استهلاك الطاقة بلغ (4.31) بانحراف معياري قدره (0.66)، مما يدل على ارتفاع مستوى موافقة أفراد عينة الدراسة على

فقرات هذا المحور، ويعكس إدراكهم للدور الإيجابي الذي يمكن أن تؤديه الطاقة الشمسية في تحسين كفاءة استهلاك الطاقة داخل مراكز البيانات.

كما أظهرت النتائج أن الفقرة التي تنص على أن "يسهم استخدام الطاقة الشمسية في تعزيز استدامة مراكز البيانات وتقليل الأثر البيئي" جاءت في المرتبة الأولى بمتوسط حسابي بلغ (4.40)، وهو ما يعكس اقتناع أفراد العينة بأن الطاقة الشمسية تمثل أحد أهم الحلول الداعمة للاستدامة البيئية في قطاع مراكز البيانات.

وجاءت في المرتبة الثانية الفقرة المتعلقة بإسهام الطاقة الشمسية في تحسين كفاءة تشغيل مراكز البيانات، بمتوسط حسابي بلغ (4.35)، مما يشير إلى إدراك أفراد العينة لأهمية الاعتماد على مصادر الطاقة المتجددة في رفع كفاءة الأداء التشغيلي.

أما الفقرة المتعلقة بتحسين موثوقية إمدادات الطاقة داخل مراكز البيانات فقد حصلت على أقل متوسط حسابي بلغ (4.24)، إلا أنها بقيت ضمن مستوى الموافقة المرتفعة، مما يدل على وجود اتفاق عام بين أفراد العينة حول أهميتها، مع اختلاف بسيط في مستوى تقدير أثرها مقارنة ببقية الفقرات.

وبصفة عامة، تعكس نتائج هذا المحور وجود اتجاه إيجابي لدى أفراد العينة نحو أثر استخدام الطاقة الشمسية في تحسين كفاءة استهلاك الطاقة داخل مراكز البيانات، وهو ما يدعم فرضيات الدراسة، ويتفق مع ما أشارت إليه الأدبيات والدراسات السابقة التي أكدت أن التوسع في استخدام مصادر الطاقة المتجددة يسهم في تحسين كفاءة التشغيل، وخفض التكاليف، وتعزيز الاستدامة في مراكز البيانات.

4.5 اختبار فرضيات الدراسة

بعد الانتهاء من تحليل استجابات أفراد عينة الدراسة تجاه محاور الاستبانة، تم اختبار الفرضية الرئيسية للدراسة باستخدام الأساليب الإحصائية المناسبة، وذلك للتحقق من وجود أثر ذي دلالة إحصائية لتطبيق الطاقة الشمسية في تحسين كفاءة استهلاك الطاقة في مراكز البيانات بالمملكة العربية السعودية. ولتحقيق ذلك، اعتمد الباحث على معامل ارتباط بيرسون (Pearson Correlation) لقياس قوة واتجاه العلاقة بين متغيرات الدراسة، بالإضافة إلى تحليل الانحدار الخطي البسيط (Simple Linear Regression) لقياس أثر المتغير المستقل في المتغير التابع، وذلك عند مستوى دلالة إحصائية $(\alpha \leq 0.05)$.

اختبار الفرضية الرئيسية

تنص الفرضية الرئيسية للدراسة على ما يلي:

يوجد أثر ذو دلالة إحصائية لتطبيق الطاقة الشمسية في تحسين كفاءة استهلاك الطاقة في مراكز البيانات بالمملكة العربية السعودية عند مستوى دلالة $(\alpha \leq 0.05)$

وللتحقق من صحة هذه الفرضية، استخدم الباحث تحليل الانحدار الخطي البسيط لقياس أثر المتغير المستقل، والمتمثل في تطبيق الطاقة الشمسية، في المتغير التابع، وهو تحسين كفاءة استهلاك الطاقة.

الجدول (4-8) نتائج اختبار الانحدار الخطي 9

المؤشر الإحصائي	القيمة
معامل الارتباط (R)	0.74
معامل التحديد (R^2)	0.55
قيمة (F)	181.63
مستوى الدلالة (Sig.)	0.000

المصدر: إعداد الباحث بالاعتماد على نتائج التحليل الإحصائي (SPSS).

تشير نتائج الجدول (4-8) إلى وجود علاقة إيجابية بين تطبيق الطاقة الشمسية وتحسين كفاءة استهلاك الطاقة، حيث بلغ معامل الارتباط ($R = 0.74$) ، مما يدل على وجود علاقة قوية بين المتغيرين. كما بلغ معامل

التحديد ($R^2 = 0.55$) ، وهو ما يشير إلى أن تطبيق الطاقة الشمسية يفسر ما نسبته (55%) من التغير في كفاءة استهلاك الطاقة، في حين تعزى النسبة المتبقية إلى عوامل أخرى لم تتناولها الدراسة.

كما أظهرت النتائج أن قيمة مستوى الدلالة الإحصائية (Sig.) بلغت (0.000)، وهي أقل من مستوى الدلالة المعتمد (0.05)، مما يدل على وجود أثر ذي دلالة إحصائية لتطبيق الطاقة الشمسية في تحسين كفاءة استهلاك الطاقة في مراكز البيانات. وبناءً على ذلك، يتم قبول الفرضية الرئيسة للدراسة.

مناقشة نتائج اختبار الفرضية

تشير نتائج اختبار الفرضية إلى أن تطبيق الطاقة الشمسية يسهم بصورة إيجابية في تحسين كفاءة استهلاك الطاقة في مراكز البيانات، وهو ما يعكس إدراك أفراد عينة الدراسة لأهمية الاعتماد على مصادر الطاقة المتجددة في دعم كفاءة التشغيل وتعزيز الاستدامة. كما تشير النتائج إلى أن التوسع في استخدام الطاقة الشمسية يمكن أن يسهم في تقليل الاعتماد على مصادر الطاقة التقليدية، وخفض تكاليف التشغيل، وتحسين إدارة الطاقة داخل مراكز البيانات، الأمر الذي ينعكس إيجاباً على الأداء التشغيلي والبيئي لهذه المراكز.

وتتفق هذه النتيجة مع ما توصلت إليه الدراسات السابقة التي استعرضتها الدراسة في الفصل الثاني، والتي أكدت أن دمج الطاقة الشمسية مع أنظمة إدارة الطاقة الحديثة يسهم في رفع كفاءة التشغيل، وتحسين استدامة مراكز البيانات، وتقليل استهلاك الكهرباء والانبعاثات الكربونية، كما تتوافق مع الإطار النظري للدراسة الذي يفترض وجود علاقة إيجابية بين تطبيق الطاقة الشمسية وتحسين كفاءة استهلاك الطاقة.

4.6 مناقشة النتائج

أظهرت نتائج الدراسة وجود اتجاه إيجابي لدى أفراد عينة الدراسة نحو تطبيق الطاقة الشمسية في مراكز البيانات، حيث أبدى المشاركون مستوى مرتفعاً من الموافقة على الفقرات المتعلقة بإمكانية تطبيقها، ودورها في تحسين كفاءة استهلاك الطاقة، وتعزيز استدامة التشغيل، وتقليل الاعتماد على مصادر الطاقة التقليدية. ويعكس ذلك تنامي الوعي بأهمية التحول نحو مصادر الطاقة المتجددة في ظل التوسع الذي يشهده قطاع مراكز البيانات في المملكة العربية السعودية.

كما بينت النتائج أن أفراد العينة يرون أن الاستثمار في الطاقة الشمسية لا يقتصر على تحقيق وفورات اقتصادية فحسب، بل يمتد أثره إلى تحسين الأداء التشغيلي لمراكز البيانات، ورفع كفاءة إدارة الطاقة، وتعزيز موثوقية الخدمات الرقمية. وتشير هذه النتائج إلى أن الطاقة الشمسية تمثل أحد الخيارات الإستراتيجية التي يمكن أن تسهم في دعم استدامة البنية التحتية الرقمية وتحقيق الاستخدام الأمثل لموارد الطاقة.

وأظهرت نتائج اختبار الفرضية الرئيسة وجود أثر إيجابي ذي دلالة إحصائية لتطبيق الطاقة الشمسية في تحسين كفاءة استهلاك الطاقة، مما يؤكد وجود علاقة مباشرة بين المتغيرين. وتشير هذه النتيجة إلى أن التوسع في تطبيق أنظمة الطاقة الشمسية يمكن أن يسهم في رفع كفاءة استهلاك الطاقة، وتقليل تكاليف التشغيل، وتحسين إدارة الموارد داخل مراكز البيانات.

كما أظهرت نتائج الدراسة أن أفراد العينة يدركون أهمية توافر البنية التحتية المناسبة، وأنظمة إدارة الطاقة، والتخطيط الجيد لعمليات الدمج بين الطاقة الشمسية والشبكات الكهربائية، بما يضمن تحقيق أعلى مستويات الكفاءة التشغيلية والاستفادة المثلى من مصادر الطاقة المتجددة.

وتتفق هذه النتائج مع ما تم عرضه في الإطار النظري، والذي أوضح أن الطاقة الشمسية تمثل أحد أهم مصادر الطاقة المتجددة القادرة على دعم استدامة مراكز البيانات وتحسين كفاءة استهلاك الطاقة. كما تتوافق مع نتائج عدد من الدراسات السابقة التي أكدت أن دمج الطاقة الشمسية مع أنظمة إدارة الطاقة الحديثة يسهم في رفع كفاءة التشغيل، وتقليل الانبعاثات الكربونية، وخفض تكاليف التشغيل على المدى الطويل.

وتشير النتائج كذلك إلى أن البيئة السعودية توفر مقومات مناسبة للتوسع في استخدام الطاقة الشمسية، في ظل ما تتمتع به المملكة من موارد شمسية وفيرة، والدعم الحكومي لمشروعات الطاقة المتجددة، والتوسع المستمر في البنية التحتية الرقمية، بما يتوافق مع مستهدفات رؤية المملكة العربية السعودية 2030 في مجالات الاستدامة والتحول الرقمي.

وبوجه عام، تؤكد نتائج الدراسة أن تطبيق الطاقة الشمسية يمثل أحد الحلول الواعدة لتحسين كفاءة استهلاك الطاقة في مراكز البيانات، وأن التوسع في استخدامها يمكن أن يسهم في رفع كفاءة الأداء التشغيلي، وخفض التكاليف، وتعزيز الاستدامة البيئية، بما يدعم تنافسية قطاع مراكز البيانات في المملكة العربية السعودية.

4.7 ملخص الفصل

تناول هذا الفصل عرض نتائج الدراسة وتحليلها في ضوء البيانات التي تم جمعها من أفراد عينة الدراسة، حيث تم استعراض الخصائص الديموغرافية للمشاركين، وتحليل استجاباتهم تجاه محاور الاستبانة، والتي شملت تطبيق الطاقة الشمسية، وأثرها في تحسين كفاءة استهلاك الطاقة، إلى جانب المحاور الأخرى المرتبطة بموضوع الدراسة.

كما تم اختبار الفرضية الرئيسة باستخدام الأساليب الإحصائية المناسبة، وأظهرت نتائج التحليل وجود أثر إيجابي ذي دلالة إحصائية لتطبيق الطاقة الشمسية في تحسين كفاءة استهلاك الطاقة في مراكز البيانات بالمملكة العربية السعودية.

وأوضحت النتائج وجود اتجاهات إيجابية لدى أفراد عينة الدراسة نحو تطبيق الطاقة الشمسية، وإدراكهم لدورها في تقليل استهلاك الكهرباء التقليدية، وتحسين كفاءة التشغيل، وخفض تكاليف التشغيل، وتعزيز الاستدامة البيئية، إلى جانب أهمية تطوير البنية التحتية الداعمة لهذا التوجه.

ويمثل هذا الفصل الجانب التطبيقي للدراسة، حيث وفر الأدلة الإحصائية اللازمة للإجابة عن أسئلة الدراسة واختبار فرضياتها، كما مهد للانتقال إلى الفصل الخامس، الذي يتناول عرض النتائج النهائية للدراسة، واستخلاص أهم الاستنتاجات، وتقديم التوصيات والمقترحات المستندة إلى نتائج الدراسة.

الفصل الخامس

النتائج والتوصيات

5.1 مقدمة الفصل

يتناول هذا الفصل عرض النتائج النهائية التي توصلت إليها الدراسة، وذلك في ضوء التحليلات الإحصائية التي أجريت على البيانات التي تم جمعها من أفراد عينة الدراسة. ويهدف الفصل إلى تلخيص أبرز النتائج، وربطها بأهداف الدراسة وأسئلتها وفرضيتها الرئيسية، وتفسيرها في ضوء الإطار النظري والدراسات السابقة ذات العلاقة بموضوع الدراسة.

ويعد هذا الفصل خاتمة الدراسة، حيث يتضمن استخلاص أهم النتائج التي توصل إليها الباحث بعد استكمال الجانبين النظري والتطبيقي، كما يبين مدى تحقيق الدراسة لأهدافها، وإسهامها في توضيح دور تطبيق الطاقة الشمسية في تحسين كفاءة استهلاك الطاقة في مراكز البيانات بالمملكة العربية السعودية.

واستناداً إلى النتائج التي تم التوصل إليها، يقدم الباحث مجموعة من التوصيات العملية التي يمكن أن تستفيد منها الجهات الحكومية والخاصة، ومتخذو القرار، والعاملون في قطاع مراكز البيانات، بما يساهم في تعزيز استخدام الطاقة الشمسية، ورفع كفاءة استهلاك الطاقة، وتقليل الاعتماد على مصادر الطاقة التقليدية، ودعم جهود الاستدامة البيئية.

كما يتضمن الفصل عدداً من المقترحات التي يمكن أن تمثل منطلقاً لدراسات مستقبلية في مجال الطاقة الشمسية ومراكز البيانات، بما يساهم في تطوير المعرفة العلمية، وفتح آفاق بحثية جديدة في هذا المجال.

وعليه، يشتمل هذا الفصل على عرض النتائج الرئيسية للدراسة، ثم تقديم التوصيات المستندة إلى تلك النتائج، يليها عرض المقترحات الخاصة بالدراسات المستقبلية، ويختتم بملخص لأهم ما تضمنه الفصل.

5.2 النتائج التي توصلت إليها الدراسة

في ضوء أهداف الدراسة، والإجابة عن أسئلتها، والتحقق من فرضيتها الرئيسية، ومن خلال تحليل البيانات التي تم جمعها من أفراد عينة الدراسة باستخدام الأساليب الإحصائية المناسبة، توصلت الدراسة إلى النتائج الآتية:

أظهرت النتائج وجود مستوى مرتفع من إدراك أفراد عينة الدراسة لأهمية تطبيق الطاقة الشمسية في مراكز البيانات، حيث اتفقت غالبية الاستجابات على أن استخدام الطاقة الشمسية يمثل أحد الحلول المناسبة لدعم استدامة تشغيل مراكز البيانات وتحسين كفاءة استهلاك الطاقة .

بينت النتائج أن أفراد العينة يرون أن تطبيق الطاقة الشمسية يساهم في تقليل الاعتماد على مصادر الطاقة التقليدية، وخفض استهلاك الكهرباء، وتحقيق مزيد من الاستدامة البيئية، مما يعكس تنامي الوعي بأهمية استخدام مصادر الطاقة المتجددة في قطاع مراكز البيانات .

- أظهرت نتائج الدراسة أن استخدام الطاقة الشمسية يساهم في تحسين كفاءة استهلاك الطاقة داخل مراكز البيانات، من خلال خفض تكاليف التشغيل على المدى الطويل، وتحسين إدارة الطاقة، وتعزيز كفاءة الأداء التشغيلي .
- أوضحت النتائج أن المملكة العربية السعودية تمتلك مقومات مناسبة للتوسع في استخدام الطاقة الشمسية، في ظل توافر الموارد الشمسية، والدعم الحكومي لمشروعات الطاقة المتجددة، والتوسع المستمر في مشاريع التحول الرقمي، بما يتوافق مع مستهدفات رؤية المملكة العربية السعودية 2030 .
- كشفت النتائج أن تحقيق أعلى مستويات كفاءة استهلاك الطاقة لا يعتمد على تطبيق الطاقة الشمسية وحدها، وإنما يتطلب تكاملها مع أنظمة إدارة الطاقة، وتحسين أنظمة التبريد، وإدارة الأحمال الكهربائية، واستخدام التقنيات الحديثة لرفع كفاءة التشغيل .
- أظهرت الدراسة وجود عدد من التحديات التي قد تؤثر في التوسع في استخدام الطاقة الشمسية داخل مراكز البيانات، ومن أبرزها ارتفاع تكاليف الاستثمار الأولية، والحاجة إلى تطوير بعض عناصر البنية التحتية، وتوفير الكفاءات البشرية المؤهلة لتصميم وتشغيل وصيانة أنظمة الطاقة الشمسية .
- بينت نتائج اختبار الفرضية الرئيسية وجود أثر إيجابي ذي دلالة إحصائية لتطبيق الطاقة الشمسية في تحسين كفاءة استهلاك الطاقة في مراكز البيانات بالمملكة العربية السعودية، مما يؤكد وجود علاقة إيجابية بين المتغير المستقل والمتغير التابع، ويدعم الفرضية الرئيسية للدراسة .
- أوضحت النتائج أن تحسين كفاءة استهلاك الطاقة يساهم في رفع موثوقية تشغيل مراكز البيانات، وتقليل الأعطال المرتبطة بالأحمال الكهربائية، وتحسين استمرارية الخدمات الرقمية، وهو ما يعزز من كفاءة الأداء التشغيلي لهذا القطاع .

- تؤكد النتائج بصورة عامة أن التوسع في تطبيق الطاقة الشمسية في مراكز البيانات يمثل خيارًا عمليًا يدعم تحقيق الاستدامة البيئية، ويحسن كفاءة استهلاك الطاقة، ويخفض تكاليف التشغيل، ويسهم في دعم التحول نحو الاقتصاد المستدام في المملكة العربية السعودية.

5.3 التوصيات

- استنادًا إلى النتائج التي توصلت إليها الدراسة، وفي ضوء ما أظهرته نتائج التحليل الإحصائي من وجود أثر إيجابي لتطبيق الطاقة الشمسية في تحسين كفاءة استهلاك الطاقة في مراكز البيانات، يوصي الباحث بما يأتي:
- التوسع في تطبيق الطاقة الشمسية في مراكز البيانات بالمملكة العربية السعودية، وإدراجها ضمن الخطط الإستراتيجية للمؤسسات الحكومية والخاصة، لما لها من دور في تحسين كفاءة استهلاك الطاقة وتقليل الاعتماد على مصادر الطاقة التقليدية .
 - تشجيع الاستثمار في مشاريع الطاقة الشمسية من خلال تقديم الحوافز والدعم المناسب للمؤسسات الراغبة في تطبيق تقنيات الطاقة المتجددة داخل مراكز البيانات .
 - تطوير البنية التحتية لمراكز البيانات بما يتوافق مع متطلبات تشغيل أنظمة الطاقة الشمسية، من خلال تحديث الأنظمة الكهربائية، وتحسين أنظمة التبريد، واستخدام المعدات والأجهزة ذات الكفاءة العالية في استهلاك الطاقة .
 - تعزيز استخدام أنظمة إدارة الطاقة الذكية التي تعتمد على تقنيات المراقبة والتحكم والتحليل المستمر، بما يسهم في تحسين توزيع الأحمال الكهربائية، وتقليل الهدر، ورفع كفاءة التشغيل .
 - تنفيذ برامج تدريبية وتأهيلية للعاملين في مراكز البيانات؛ لرفع مستوى الوعي والمعرفة بمجالات الطاقة الشمسية، وإدارة الطاقة، وتشغيل وصيانة الأنظمة المرتبطة بها .

- تعزيز التعاون بين الجامعات ومراكز الأبحاث والقطاعين الحكومي والخاص لإجراء المزيد من الدراسات التطبيقية المتعلقة بالطاقة الشمسية في مراكز البيانات، وتطوير حلول تقنية تتناسب مع البيئة المحلية في المملكة العربية السعودية .
- تطبيق مؤشرات ومعايير عالمية لقياس كفاءة استهلاك الطاقة في مراكز البيانات، مع إجراء تقييم دوري للأداء؛ لدعم عمليات التطوير واتخاذ القرارات المبنية على البيانات .
- تنفيذ مشاريع تجريبية للطاقة الشمسية في عدد من مراكز البيانات الحكومية والخاصة؛ بهدف تقييم الأداء وقياس الجدوى الاقتصادية والفنية قبل التوسع في تطبيقها على نطاق أوسع .
- دعم البحث والتطوير في تقنيات تخزين الطاقة؛ لما لها من أهمية في ضمان استمرارية تشغيل مراكز البيانات وتعزيز موثوقية الاعتماد على الطاقة الشمسية .
- تعزيز تبني مفهوم مراكز البيانات الخضراء من خلال تطبيق الممارسات البيئية المستدامة، وتقليل الانبعاثات الكربونية، وتحسين كفاءة استخدام الموارد، بما يتوافق مع مستهدفات رؤية المملكة العربية السعودية 2030 .

5.4 المقترحات للدراسات المستقبلية

- في ضوء النتائج التي توصلت إليها الدراسة، يرى الباحث أن موضوع استخدام الطاقة الشمسية في مراكز البيانات لا يزال يمثل مجالاً واعداً للبحث العلمي، ويقترح إجراء عدد من الدراسات المستقبلية التي يمكن أن تسهم في تطوير المعرفة العلمية وتعزيز التطبيقات العملية في هذا المجال، وذلك على النحو الآتي:
- إجراء دراسات مقارنة بين الطاقة الشمسية وغيرها من مصادر الطاقة المتجددة، مثل طاقة الرياح والطاقة الهيدروجينية، من حيث كفاءة التشغيل، والتكلفة الاقتصادية، والأثر البيئي في مراكز البيانات .
 - إجراء دراسات مقارنة بين مراكز البيانات الحكومية والخاصة داخل المملكة العربية السعودية؛ للتعرف على أوجه الاختلاف في تطبيق تقنيات الطاقة المتجددة وكفاءة استهلاك الطاقة .
 - دراسة أثر تقنيات الذكاء الاصطناعي والتعلم الآلي في تحسين إدارة الطاقة داخل مراكز البيانات، وقياس دورها في التنبؤ بالأحمال الكهربائية وتحسين توزيع الطاقة .

- إجراء دراسات اقتصادية لقياس الجدوى الاقتصادية طويلة المدى لتطبيق الطاقة الشمسية في مراكز البيانات، مع الأخذ في الاعتبار تكاليف الإنشاء والصيانة والعوائد الاقتصادية المتوقعة .
- دراسة أثر أنظمة تخزين الطاقة في تحسين موثوقية تشغيل مراكز البيانات، وقياس مدى إسهامها في تعزيز كفاءة الاعتماد على الطاقة الشمسية .
- إجراء دراسات تتناول أثر تطبيق معايير مراكز البيانات الخضراء ومؤشرات كفاءة الطاقة العالمية، مثل مؤشر فعالية استخدام الطاقة (PUE) ، في تحسين الأداء التشغيلي ورفع كفاءة استهلاك الطاقة .
- توسيع نطاق الدراسات المستقبلية لتشمل دول مجلس التعاون الخليجي أو إجراء مقارنات مع الدول الرائدة في استخدام الطاقة المتجددة في مراكز البيانات؛ للاستفادة من أفضل الممارسات العالمية .
- تنفيذ دراسات طويلة لمتابعة أثر تطبيق مشاريع الطاقة الشمسية على أداء مراكز البيانات خلال فترات زمنية ممتدة، وقياس الآثار الاقتصادية والبيئية بعيدة المدى.

5.5 ملخص الفصل

تناول هذا الفصل عرض النتائج النهائية التي توصلت إليها الدراسة، وربطها بأهداف الدراسة وأسئلتها وفرضيتها الرئيسية، كما استعرض أبرز التوصيات العملية والمقترحات البحثية المستندة إلى نتائج الدراسة.

وأكدت نتائج الدراسة وجود أثر إيجابي لتطبيق الطاقة الشمسية في تحسين كفاءة استهلاك الطاقة في مراكز البيانات بالمملكة العربية السعودية، وأبرزت أهمية التوسع في استخدام مصادر الطاقة المتجددة، وتطوير البنية التحتية، وتطبيق أنظمة إدارة الطاقة الحديثة، بما يسهم في رفع كفاءة التشغيل، وخفض تكاليف التشغيل، وتعزيز الاستدامة البيئية.

كما أوضحت الدراسة أن نجاح تطبيق الطاقة الشمسية في مراكز البيانات يتطلب تكامل الجوانب التقنية والإدارية والتنظيمية، من خلال تطوير البنية التحتية، وتأهيل الكوادر البشرية، وتعزيز البيئة التنظيمية الداعمة لتطبيق حلول الطاقة المتجددة، بما يحقق أفضل استفادة ممكنة من هذه التقنيات.

وتشير نتائج الدراسة إلى أن المملكة العربية السعودية تمتلك مقومات واعدة للتوسع في استخدام الطاقة الشمسية في مراكز البيانات، في ظل ما تشهده من تطور في قطاع الطاقة المتجددة والتحول الرقمي، وبما يتوافق مع مستهدفات رؤية المملكة العربية السعودية 2030.

واختتمت الدراسة بمجموعة من التوصيات والمقترحات التي يمكن أن تسهم في دعم صناع القرار والباحثين، وتعزيز تطبيقات الطاقة الشمسية في مراكز البيانات، بما يدعم كفاءة استهلاك الطاقة، ويرفع مستوى الاستدامة، ويسهم في تطوير هذا القطاع الحيوي مستقبلاً.

المراجع

6.1 الكتب

Creswell, John W.; Creswell, J. David (2023). *Research Design: Qualitative, Quantitative, and Mixed Methods Approaches* (6th ed.). USA: SAGE Publications.

Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems (Fraunhofer ISE). (2024). *Photovoltaics Report*. Fraunhofer ISE.

World Bank. (2023). *Saudi Arabia Country Climate and Development Report*. World Bank.

6.2 الدوريات

Ayyildiz, Erkan (2025). *A sustainable decision framework for renewable-energy-based data center site selection*. *Renewable Energy*, 248124935 ،

Cronbach, L. J. (1951). Coefficient alpha and the internal structure of tests. *Psychometrika*, 16(3), 297–334.

Díaz, P., González, A., & Martín, J. (2024). Integration of photovoltaic systems in data centers: Opportunities and operational challenges. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 194, 114356.

Karimi, M., et al. (2022). Energy and water consumption analysis in data centers under hot and dry climate conditions. *Energy and Buildings*, 261, 111944.

Li, X., Chen, Z., & Huang, Y. (2024). Renewable energy integration strategies for cloud data centers. *Applied Energy*, 367, 123456.

Masanet, E., Shehabi, A., Lei, N., Smith, S., & Koomey, J. (2020). Recalibrating global data center energy-use estimates. *Science*, 367(6481), 984–986.

Moroso, A., Basmadjian, R., de Meer, H., & Giuliani, G. (2024). Energy-efficient data centers: A review of technologies, strategies, and sustainability challenges. *Journal of Cleaner Production*, 435, 140560.

Shrivastav, A., Kumar, R., Singh, P., et al. (2025). Techno-economic assessment of photovoltaic and battery energy storage systems for sustainable data centers. *Results in Engineering*, 26, 104243.

Zhang, Y., Wang, H., & Liu, X. (2023). Smart energy management for sustainable data centers. *Sustainable Computing: Informatics and Systems*, 39, 100889.

Ziaei, S., Ahmadi, A., Mohammadi, M., et al. (2025). Renewable energy integration in data centers: Challenges and opportunities. *Energies*, 19(1), 236.

الشريف، م. (2022). استخدام الطاقة الشمسية في تحسين كفاءة الطاقة بالمنشآت الحكومية). يستكمل اسم المجلة أو جهة النشر حسب المصدر الأصلي.

الشريف، م. (2022). استخدام الطاقة الشمسية في تحسين كفاءة الطاقة بالمنشآت الحكومية. مجلة العلوم الإدارية والاقتصادية، 14(1)، 112-130.

6.3 المصادر الإلكترونية

International Energy Agency (2025). *Energy and AI*. Retrieved July 7, 2026, from <https://www.iea.org>

International Renewable Energy Agency (2024). *Renewable Capacity Statistics*. Retrieved July 7, 2026, from <https://www.irena.org>

Saudi Vision 2030 (2023). *Vision Realization Programs*. Retrieved July 7, 2026, from <https://www.vision2030.gov.sa>

The Green Grid (2023). *Power Usage Effectiveness (PUE): A Comprehensive Examination of the Metric*. Retrieved July 7, 2026, from <https://www.thegreengrid.org>

Uptime Institute (2024). *Global Data Center Survey*. Retrieved July 7, 2026, from <https://uptimeinstitute.com>

الملاحق

استمارة استبيان

السلام عليكم ورحمة الله وبركاته

أخي الكريم / أختي الكريمة،

تحية طيبة وبعد،

يقوم الباحث بإجراء دراسة حول قياس دور الطاقة الشمسية في تحسين كفاءة استهلاك الطاقة في مراكز البيانات بالمملكة العربية السعودية.

ونظرًا 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 آرائكم بالتأشير على الإجابة المناسبة من وجهة نظركم.

وأقدم لحضراتكم بجزيل الشكر والتقدير لمساهمتم في تعبئة هذا الاستبيان، علمًا 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

الجنس

☐ ذكر ☐ أنثى

المؤهل العلمي

☐ دبلوم ☐ بكالوريوس ☐ ماجستير ☐ دكتوراه

سنوات الخبرة

أقل من 5 سنوات ☐ من 5 إلى أقل من 10 سنوات ☐ من 10 إلى أقل من 15 سنة ☐ 15 سنة فأكثر

المسمى الوظيفي

☐ مدير ☐ مهندس ☐ فني ☐ أخصائي ☐ أخرى

جهة العمل

☐ حكومية ☐ خاصة

ثانياً: يرجى تحديد درجة موافقتك على العبارات التالية درجة التقييم

أوافق بشدة	أوافق	محايد	لا أوافق	لا أوافق بشدة
5	4	3	2	1

المحور الأول: استخدام الطاقة الشمسية في مراكز البيانات

م	العبارة	أوافق بشدة	أوافق	محايد	لا أوافق	لا أوافق بشدة
1	تتوفر في مراكز البيانات البنية التحتية المناسبة لتطبيق أنظمة الطاقة الشمسية.	☐	☐	☐	☐	☐
2	يمكن دمج أنظمة الطاقة الشمسية مع الأنظمة الحالية في مراكز البيانات بكفاءة.	☐	☐	☐	☐	☐
3	تمتلك المملكة العربية السعودية مقومات مناسبة لتوسيع استخدام الطاقة الشمسية في مراكز البيانات.	☐	☐	☐	☐	☐
4	تدعم الإدارة في مراكز البيانات التوجه نحو تطبيق أنظمة الطاقة الشمسية.	☐	☐	☐	☐	☐
5	تسهم المبادرات الحكومية في تشجيع استخدام الطاقة الشمسية في مراكز البيانات.	☐	☐	☐	☐	☐
6	تتوفر الخبرات الفنية اللازمة لتشغيل وصيانة أنظمة الطاقة الشمسية.	☐	☐	☐	☐	☐
7	تعد تكاليف تطبيق الطاقة الشمسية مناسبة مقارنة بالفوائد المتوقعة منها.	☐	☐	☐	☐	☐
8	تسهم التقنيات الحديثة في تسهيل تطبيق الطاقة الشمسية داخل مراكز البيانات.	☐	☐	☐	☐	☐
9	يمثل استخدام الطاقة الشمسية خيارًا عمليًا لتطوير مراكز البيانات.	☐	☐	☐	☐	☐
10	توجد فرص مستقبلية واعدة للتوسع في استخدام الطاقة الشمسية في مراكز البيانات بالمملكة العربية السعودية.	☐	☐	☐	☐	☐

المحور الثاني: كفاءة استهلاك الطاقة في مراكز البيانات

م	العبارة	أوافق بشدة	أوافق	محايد	لا أوافق	لا أوافق بشدة
1	يسهم استخدام الطاقة الشمسية في تحسين كفاءة استهلاك الطاقة داخل مراكز البيانات.	☐	☐	☐	☐	☐
2	يساعد استخدام الطاقة الشمسية على تقليل استهلاك الكهرباء التقليدية.	☐	☐	☐	☐	☐
3	يسهم استخدام الطاقة الشمسية في خفض تكاليف تشغيل مراكز البيانات على المدى الطويل.	☐	☐	☐	☐	☐
4	يساعد استخدام الطاقة الشمسية في تحسين إدارة الطاقة داخل مراكز البيانات.	☐	☐	☐	☐	☐
5	يسهم استخدام الطاقة الشمسية في تعزيز الاستدامة البيئية لمراكز البيانات.	☐	☐	☐	☐	☐
6	يساعد استخدام الطاقة الشمسية في رفع كفاءة الأداء التشغيلي لمراكز البيانات.	☐	☐	☐	☐	☐
7	يسهم استخدام الطاقة الشمسية في تقليل الانبعاثات الكربونية الناتجة عن تشغيل مراكز البيانات.	☐	☐	☐	☐	☐
8	يسهم استخدام الطاقة الشمسية في تعزيز موثوقية تشغيل مراكز البيانات.	☐	☐	☐	☐	☐
9	يساعد استخدام الطاقة الشمسية على الاستخدام الأمثل لموارد الطاقة داخل مراكز البيانات.	☐	☐	☐	☐	☐
10	أؤيد التوسع في استخدام الطاقة الشمسية لتحسين كفاءة استهلاك الطاقة في مراكز البيانات بالمملكة العربية السعودية.	☐	☐	☐	☐	☐

Mid-Ocean University

College of Management

Department of Business Administration



Role of Solar Energy in Improving Energy Consumption Efficiency in Data Centers in the Kingdom of Saudi Arabia: An Applied Study

Preparation:

Khaled Ibrahim Alothman

253002748

Supervision:

Dr. Al-Faisal Abdul Hamid Muhammad Hassan

Dr. Fayez Jarad

2026