

أثر مشاريع الطاقة الشمسية في إدارة البنية التحتية الذكية بالمشاعر المقدسة

أسم الطالب

أيمن محمد إسماعيل

222001379

مشروع تخرج- 1

كلية الإدارة- جامعة ميدأوشن

إشراف

د. عبدالرحيم نادر

عضو هيئة التدريس- كلية الإدارة- جامعة ميدأوشن

الاهداء

الحمد لله الذي علّم بالقلم، وهدانا إلى طريق العلم، وأعاننا على إتمام هذا العمل.
أهدي هذا البحث إلى كل من ساهم في تشكيل رحلتي العلمية والإنسانية، بقلب ممتنٍّ وروح تفيض بالامتنان:
إلى والديَّ الحبيبين اللذين زرعاً فيّ منذ الصغر بذور حُب المعرفة، وضحيًا بكل غالٍ ونفيس لئُتاح لي
فرصة التعلم ، لكما مَتَي كل الحُب والتقدير، فأنتما سرُّ نجاحي، ونورُ طريقي.
إلى إخوتي الأعزاء، رفاق الدرب وعضدي بعد الله، مصدر الفخر والسند الدائم ، إليكم أهدي ثمرة جهدي
وتعب أيامي، عرفانًا بمكانكم الكبير في حياتي وامتناني لدعمكم وتشجيعكم المستمر
وإلى من شاركني رحلتي الجامعية بكل حب وابتسامة وفرح ، أسأل الله أن يشفيك من كل داء ومكروه
والمسلمين.
إلى أصدقائي وزملائي، الذين شاركوني لحظات الجد والتعب، فكانوا رفقة درب لا تُنسى.
وإلى نفسي التي صبرت على السهر والتعب، وواجهت الشك بالإصرار، ورفضت الاستسلام ،هذا الإهداء
تذكرةً لي بأن الجهد لا يضيع، وأن كل خطوةٍ وُجهت نحو الأفضل ستثمر يوماً ما.
إن كان هذا البحث قد أضاف لبنَةً صغيرة إلى صرح العلم، ففضل ذلك يعود إلى كل من دعموني ، وأعتذر
إن قصرتُ في حق أحدٍ منكم، فالكمال لله وحده، والجهد البشري لا يخلو من نقص.
أسأل الله أن يجعل هذا العمل خالصًا لوجهه، ونافعًا لكل من يطلع عليه.

أيمن محمد مخلص إسماعيل

2025/8/21 م

جدول المحتويات

1. الفصل الأول: الإطار العام للدراسة	4
1.1. المقدمة:	5
1.2. مشكلة الدراسة	7
1.2.1. فجوات على المستوى النظري	7
1.2.2. فجوات على المستوى التطبيقي	7
1.3. أهمية الدراسة	8
1.3.1. على المستوى النظري:	8
1.3.2. على المستوى التطبيقي:	8
1.4. أسئلة الدراسة	8
1.5. أهداف الدراسة	9
1.6. فرضيات الدراسة	10
1.7. نموذج الدراسة	10
1.8. منهجية الدراسة	12
1.9. الدراسة الميدانية	13
1.10. مخطط المشروع المقترح	13
2. الفصل الثاني: الدراسات السابقة	
2.1. المقدمة:	15
2.2. المتغير المستقل	16
2.3. المتغير التابع	19
2.4. العلاقة بين المتغير المستقل والمتغير التابع	21
2.5. الخاتمة	23
قائمة المراجع	24

جدول الأشكال

- الشكل 1 (Conceptual Model) من عمل الطالب 11
- الشكل 2 البصلة البحثية من عمل الطالب 12
- الشكل 3 تزايد استخدام الطاقة الشمسية من 2017-2024 (المصدر: (IEA, 2023)) 16
- الشكل 4 منحنى الخبرة/ التعلم لتكاليف مشاريع الطاقة الشمسية (المصدر (Hass et al., 2023)) 17
- الشكل 5 نمو استخدام الطاقة الشمسية في الأسواق من 2018-2023 (المصدر: (IEA, 2023)) 18
- الشكل 6 مخطط إنتاج الطاقة المتجددة حسب التقنية من 2000-2030 (المصدر (IEA, 2023)) 18
- الشكل 7 تكلفة الوحدات للتقنيات الكهربائية والالكترونية (المصدر: (IEA, 2017)) 20
- الشكل 8 التوفير المتوقع للطاقة عند استخدام نظام الإنارة الذكي في 2040 (المصدر: (IEA, 2017)) 20

1. الفصل الأول: الإطار العام للدراسة

1.1. المقدمة:

تتزايد الضغوط على البنية التحتية التقليدية في المشاعر المقدسة، خلال موسم الحج ، مما يؤدي إلى تحديات مثل استهلاك الطاقة العالي، انبعاثات الكربون، والاحتياج المستمر لتحسين جودة الخدمات وكفاءتها. تظهر إحصاءات الحج والعمرة الصادرة عن الهيئة العامة للإحصاء السعودية تزايداً مطرداً في أعداد الحجاج، حيث وصل إجمالي الحجاج في عام 1444 هـ (2023م) إلى أكثر من 1.8 مليون حاج، مما يضع ضغطاً هائلاً على البنية التحتية القائمة (الهيئة العامة للإحصاء، 2023). تعتمد البنية التحتية الحالية بشكل كبير على مصادر الطاقة التقليدية، والتي لا تتوافق مع التوجهات العالمية نحو الاستدامة البيئية ولا تلبي الطموحات الرامية إلى تحويل المشاعر المقدسة إلى نموذج للمدن الذكية المستدامة، وفقاً للاستراتيجية الوطنية للطاقة المتجددة للمملكة (وزارة الطاقة، 2021). هذه التحديات تستدعي البحث عن حلول بديلة ومبتكرة تضمن استمرارية الخدمات وكفاءتها مع تقليل الأثر البيئي.

ظهرت العديد من الدراسات أن دمج مصادر الطاقة المتجددة، وخاصة الطاقة الشمسية، يمكن أن يساهم بشكل فعال في تعزيز استدامة وكفاءة البنية التحتية للمدن الذكية. على سبيل المثال، ناقش خان (Khan et al, 2023) في بحثه عن تطوير الطاقة المتجددة في المملكة العربية السعودية أن الطاقة الشمسية تحمل فرصاً واعدة لمعالجة تحديات الطاقة في المملكة. كما أشارت دراسات أخرى إلى أن تطبيق حلول الطاقة الشمسية في المناطق ذات الكثافة السكانية العالية يمكن أن يحسن من جودة الهواء ويقلل من البصمة الكربونية. (Abonomi et al, 2022) هذه الأدبيات تؤكد على الفوائد البيئية والاقتصادية والتشغيلية التي يمكن تحقيقها من خلال التحول إلى الطاقة المتجددة في سياق المدن الذكية، مما يوفر أساساً نظرياً لإمكانيات تطبيقها في المشاعر المقدسة.

على الرغم من الثراء المعرفي في مجال الطاقة الشمسية والبنية التحتية الذكية، إلا أن هناك فجوة واضحة في الأدبيات التي تتناول بشكل خاص تطبيق هذه التقنيات في سياق المشاعر المقدسة وتأثيرها المباشر على إدارة البنية التحتية الذكية في هذه المنطقة الفريدة. معظم الدراسات تركز على المدن الذكية بشكل عام أو مناطق ذات خصائص ديموغرافية وجغرافية مختلفة. لا يوجد تحليل معمق في الأدبيات المنشورة يركز على التحديات المحددة والفرص الفريدة التي تطرحها الكثافة السكانية الموسمية الهائلة، والحاجة الملحة للحفاظ على البيئة، والاعتبارات اللوجستية والدينية الخاصة بالمشاعر المقدسة. هذا القصور يبرز الحاجة إلى دراسة متخصصة لتحديد الأثر الحقيقي لمشاريع الطاقة الشمسية في هذا السياق الفريد وتقديم توصيات قابلة للتطبيق.

تعد هذه المشكلة ذات أهمية قصوى لعدة فئات من الجمهور. بالنسبة لحكومة المملكة العربية السعودية، تساهم هذه الدراسة في تحقيق أهداف رؤية المملكة 2030 المتعلقة بالاستدامة والتحول الرقمي وتطوير المدن الذكية، وتحسين الخدمات المقدمة لضيوف الرحمن (رؤية المملكة 2030، 2016). وللجهات الحكومية المسؤولة عن إدارة المشاعر المقدسة والخدمات اللوجستية، توفر الدراسة رؤى قيمة حول كيفية تحسين كفاءة الخدمات، خفض التكاليف التشغيلية، وتعزيز الاستدامة البيئية. أما للحجاج ، فإن تحسين البنية التحتية الذكية المدعومة بالطاقة الشمسية يعني تجربة حج وعمرة أكثر راحة وأماناً وصدقة للبيئة . وللمجتمع العلمي والباحثين، تقدم الدراسة مساهمة أصيلة في فهم كيفية تطبيق حلول الطاقة المتجددة في مناطق ذات تحديات فريدة وغير مسبقة.

يهدف هذا المشروع إلى تقييم الأثر الشامل لمشاريع الطاقة الشمسية على إدارة البنية التحتية الذكية في المشاعر المقدسة. ستبحث الدراسة في كيفية مساهمة الطاقة الشمسية في تحسين كفاءة استخدام الطاقة، تقليل الانبعاثات الكربونية، تعزيز مرونة الشبكة، وتطوير أنظمة إدارة ذكية أكثر استجابة للتقلبات الموسمية في أعداد الزوار. كما تسعى الدراسة إلى تحديد الفرص والتحديات المرتبطة بتطبيق واسع النطاق لهذه المشاريع، وتقديم توصيات عملية لصناع القرار والجهات المعنية بهدف تحقيق أقصى استفادة من هذه التقنيات لخدمة ضيوف الرحمن وتقديم نموذج رائد للمدن المستدامة.

1.2. مشكلة الدراسة

تتسم الأبحاث المتعلقة بدمج الطاقة المتجددة في البنية التحتية للمدن الذكية بتراكم معرفي واسع، إلا أن هناك فجوات نظرية وتطبيقية واضحة تبرز عند محاولة تطبيق هذه المعارف في سياق فريد كالمشاعر المقدسة. بينما توفر الأدبيات القائمة أطراً عامة ومفاهيم متعددة حول المدن الذكية وكفاءة الطاقة الشمسية، فإنها غالباً ما تفتقر إلى التناول المتعمق للجوانب النظرية والتطبيقية المتعلقة بخصائص بيئة المشاعر المقدسة ، وتم تقسيم مشكلة الدراسة إلى فجوات على المستوى النظري وفجوات على المستوى التطبيقي:

1.2.1. فجوات على المستوى النظري

- غياب دراسات تربط بشكل مباشر بين مشاريع الطاقة الشمسية والبنية التحتية الذكية في بيئات موسمية ودينية مثل المشاعر المقدسة.
- اختصار الأدبيات الحالية على مناقشة الطاقة المتجددة والمدن الذكية في سياقات حضرية عامة دون مراعاة لخصوصية المشاعر من حيث الزمان والمكان.
- محدودية الأطر النظرية التي تدمج الأبعاد البيئية، الإدارية، والاجتماعية في تحليل تأثير الطاقة الشمسية على البنية التحتية الذكية.
- ضعف التناول الأكاديمي للعلاقة بين استراتيجيات إدارة الطاقة والأنظمة الذكية في البيئات المؤقتة التي تتطلب استجابة عالية الكفاءة.

1.2.2. فجوات على المستوى التطبيقي

- محدودية التطبيقات العملية لمشاريع الطاقة الشمسية في المشاعر المقدسة، مقارنةً بمدن سعودية أخرى.
- عدم توفر دراسات تقييم دقيقة لمدى مساهمة هذه المشاريع في تحسين أداء البنية التحتية أثناء موسم الحج.
- نقص في البيانات الميدانية المنشورة حول كفاءة تشغيل أنظمة الطاقة الشمسية وربطها بالشبكات الذكية في مواقع مثل منى ومزدلفة وعرفات.
- غياب مؤشرات أداء واضحة لقياس أثر الطاقة الشمسية على الجوانب الخدمية مثل الإنارة، التبريد، النقل، وإدارة الحشود.

وإشكالية الدراسة هي: ما أثر مشاريع الطاقة الشمسية في إدارة البنية التحتية الذكية بالمشاعر المقدسة؟

1.3. أهمية الدراسة

تكتسب هذه الدراسة أهمية بالغة نظرًا لدورها في سد الفجوات المعرفية والتطبيقية المتعلقة بدمج الطاقة الشمسية في إدارة البنية التحتية الذكية، لا سيما في سياق فريد وحيوي كالمشاعر المقدسة ، وتم تقسيم أهمية الدراسة على مستويين ، النظري والتطبيقي.

1.3.1. على المستوى النظري:

تكتسب هذه الدراسة أهميتها النظرية من كونها تسد فجوة واضحة في الأدبيات المتعلقة بعلاقة الطاقة الشمسية بإدارة البنية التحتية الذكية في البيئات الموسمية والدينية، مثل المشاعر المقدسة. إذ تقدم إطارًا مفاهيميًا جديدًا يربط بين مفاهيم الطاقة المستدامة، المدن الذكية، والإدارة الموسمية للطاقة، ضمن سياق فريد يتطلب تكييفًا خاصًا للنظريات والنماذج التقليدية. كما تساهم في توسيع الفهم العلمي حول تطبيقات الطاقة المتجددة في مواقع ذات طابع مؤقت وعالي الكثافة، وهو ما لم تتناوله الدراسات السابقة بالقدر الكافي.

1.3.2. على المستوى التطبيقي:

أما على الصعيد التطبيقي، فتكمن أهمية هذه الدراسة في قدرتها على تقديم توصيات عملية للجهات المعنية، تساعد في التخطيط والتوسع في استخدام الطاقة الشمسية بطريقة تساهم في رفع كفاءة البنية التحتية الذكية في المشاعر المقدسة. ومن خلال تحليل بيانات واقعية وتقديم مؤشرات أداء واضحة، فإن نتائج الدراسة يمكن أن تدعم صناعة القرار، وتساهم في تحقيق أهداف رؤية السعودية 2030 في مجالات الطاقة والاستدامة، لا سيما فيما يتعلق بتحسين الخدمات المقدمة للحجاج وتقليل التكاليف التشغيلية والانبعاثات الكربونية خلال موسم الحج.

1.4. أسئلة الدراسة

يهدف هذا المشروع إلى الإجابة على الأسئلة البحثية التالية، والتي ستوجه عملية جمع البيانات وتحليلها لتقييم أثر مشاريع الطاقة الشمسية في إدارة البنية التحتية الذكية بالمشاعر المقدسة:

سؤال البحث الرئيسي : ما أثر مشاريع الطاقة الشمسية في إدارة البنية التحتية الذكية بالمشاعر المقدسة ؟

الأسئلة الفرعية:

- ما هو الأثر المحتمل لمشاريع الطاقة الشمسية على كفاءة استخدام الطاقة وتقليل الاعتماد على مصادر الطاقة التقليدية في إدارة البنية التحتية الذكية بالمشاعر المقدسة ؟
- ما هي التحديات التشغيلية والتقنية الرئيسية التي تواجه دمج مشاريع الطاقة الشمسية في أنظمة البنية التحتية الذكية الحالية والمستقبلية بالمشاعر المقدسة، وكيف يمكن التغلب عليها ؟
- ما هي الفرص المتاحة لتعزيز مرونة وموثوقية البنية التحتية الذكية في المشاعر المقدسة من خلال الاستفادة من حلول الطاقة الشمسية المبتكرة ؟
- ما هي التوصيات الاستراتيجية والعملية التي يمكن تقديمها للجهات المعنية لتعظيم الاستفادة من مشاريع الطاقة الشمسية في تطوير إدارة البنية التحتية الذكية بالمشاعر المقدسة ؟

1.5. أهداف الدراسة

- دراسة العلاقة بين الطاقة الشمسية والبنية التحتية الذكية، وتحديد مدى تكامل هذه المشاريع مع أنظمة الإدارة الذكية مثل الشبكات الكهربائية الذكية، وأنظمة الإنارة والتبريد.
- تقييم أثر مشاريع الطاقة الشمسية على كفاءة تشغيل المرافق الخدمية خلال موسم الحج، مثل النقل، الإنارة، والتكييف.
- قياس مدى مساهمة الطاقة الشمسية في تقليل التكاليف التشغيلية والانبعاثات الكربونية في المشاعر المقدسة.
- تقديم توصيات عملية للجهات المعنية لتوسيع استخدام الطاقة الشمسية وتعزيز الإدارة الذكية للبنية التحتية في المشاعر بما يتماشى مع أهداف الاستدامة الوطنية.

1.6. فرضيات الدراسة

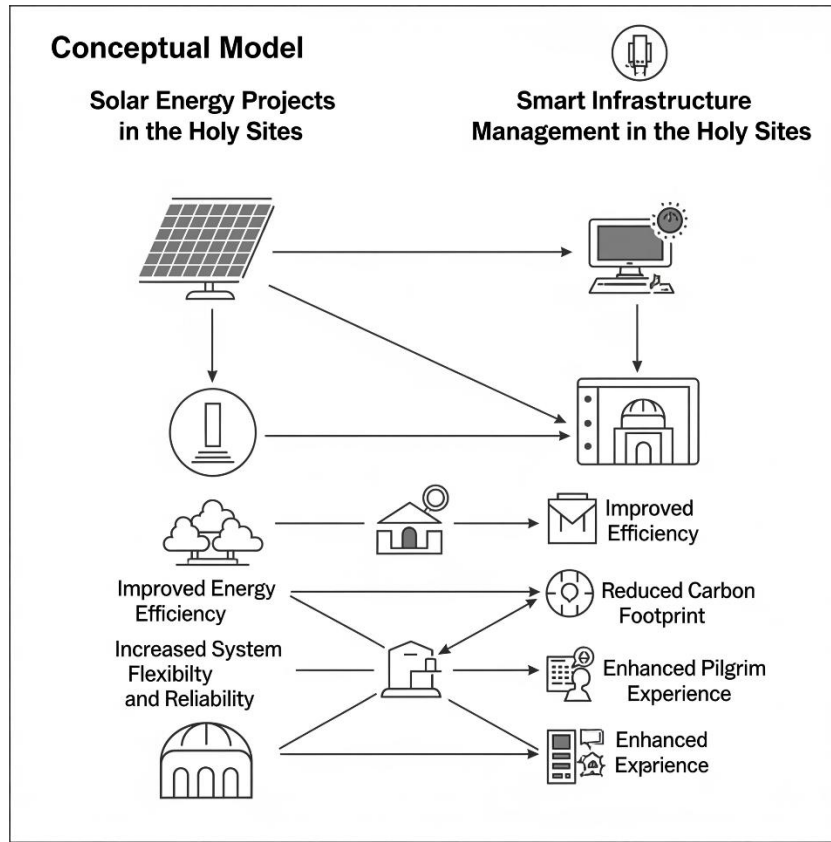
- 1- Null Hypothesis (H_0) – الفرضية الصفرية : لا توجد علاقة ذات دلالة إحصائية بين مشاريع الطاقة الشمسية وإدارة البنية التحتية الذكية في المشاعر المقدسة.
- 2- Alternative Hypothesis (H_a) – الفرضية البديلة : توجد علاقة ذات دلالة إحصائية بين مشاريع الطاقة الشمسية وإدارة البنية التحتية الذكية في المشاعر المقدسة.
- 3- Directional Hypothesis – الفرضية التوجيهية : مشاريع الطاقة الشمسية تُسهم بشكل إيجابي في تحسين كفاءة إدارة البنية التحتية الذكية في المشاعر المقدسة.
- 4- Non-directional Hypothesis – الفرضية غير التوجيهية : توجد علاقة بين مشاريع الطاقة الشمسية وإدارة البنية التحتية الذكية في المشاعر المقدسة دون تحديد اتجاه هذه العلاقة (سواء إيجابية أو سلبية).

1.7. نموذج الدراسة

- المتغير المستقل :** مشاريع الطاقة الشمسية في المشاعر المقدسة وهو المتغير الأساسي الذي يُفترض أن يؤثر على كفاءة إدارة البنية التحتية. يمثل هذا العنصر كافة الجهود والمبادرات المتعلقة بتركيب وتشغيل أنظمة الطاقة الشمسية في المشاعر المقدسة.
- المتغير التابع :** إدارة البنية التحتية الذكية في المشاعر المقدسة وهو المتغير الذي نتوقع أن يتأثر بوجود وتطبيق مشاريع الطاقة الشمسية. يشير إلى الكفاءة والفعالية التي تدار بها الخدمات والبنى التحتية المختلفة باستخدام التقنيات الذكية.
- النتائج المتوقعة :** مؤشرات كفاءة الإدارة وهي الجوانب المحددة التي تُظهر التحسن في إدارة البنية التحتية الذكية كنتيجة لمشاريع الطاقة الشمسية:
- تحسين كفاءة استخدام الطاقة: استخدام أقل للطاقة لتحقيق نفس المستوى من الخدمات.

- تقليل البصمة الكربونية: خفض انبعاثات الغازات الدفيئة، مما يعزز الاستدامة البيئية.
- زيادة مرونة وموثوقية الأنظمة: قدرة البنية التحتية على التكيف مع التغيرات وضمان استمرارية الخدمات، خاصة خلال فترات الذروة.
- تحسين تجربة ضيوف الرحمن: الهدف النهائي الذي تخدمه كل هذه التحسينات، من خلال توفير بيئة أكثر راحة وأماناً.

وفي الشكل أدناه نوضح نموذج الدراسة (Conceptual Model):



الشكل 1 (Conceptual Model) من عمل الطالب

1.8. منهجية الدراسة

فلسفة البحث : وضعية.

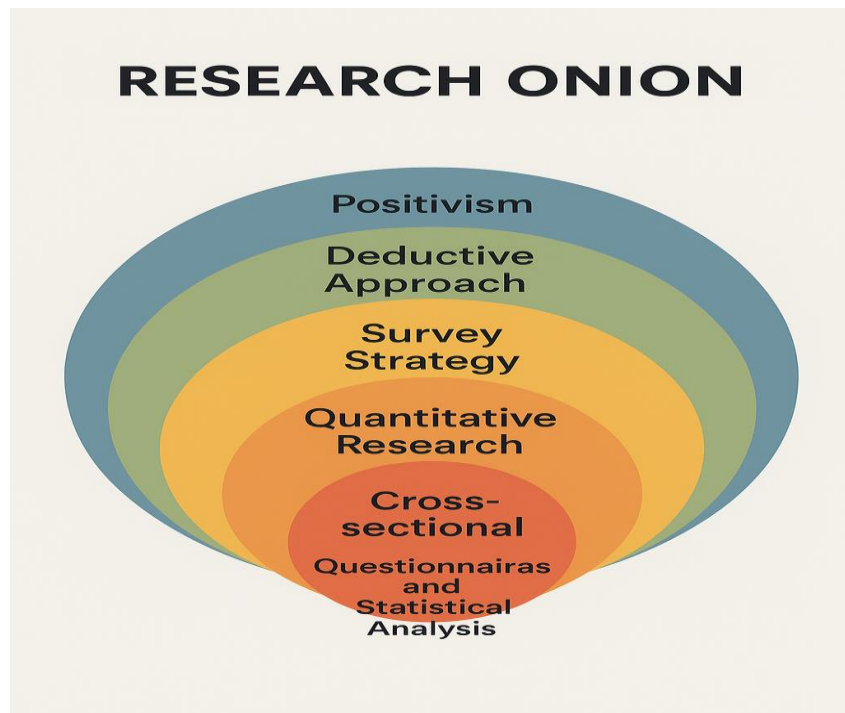
منهج البحث : استنتاجي.

استراتيجية البحث: استراتيجية المسح

نوع البحث : بحث كمي.

الأفق الزمني : مقطع العرضي.

طرق جمع وتحليل البيانات: الاستبيانات والتحليل الإحصائي.



الشكل 2 البصلة البحثية من عمل الطالب.

1.9. الدراسة الميدانية

الصلة (Relevance): تتسم الدراسة الميدانية بملاءمة عالية لهذا البحث نظرًا لطبيعة المشكلة التي تتطلب فهمًا عميقًا للواقع العملي لتطبيق مشاريع الطاقة الشمسية في المشاعر المقدسة. لتقييم الأثر الفعلي لمشاريع الطاقة الشمسية على إدارة البنية التحتية الذكية، لا يمكن الاعتماد كليًا على البيانات النظرية أو الثانوية وحدها.

الوصول (Access): يُعد الحصول على إمكانية الوصول لإجراء دراسة ميدانية في المشاعر المقدسة تحديًا يتطلب تخطيطًا دقيقًا والالتزام بالبروتوكولات المعمول بها، نظرًا لأهمية المنطقة الدينية وحساسية عمليات البنية التحتية.

الاعتبارات الأخلاقية (Ethical Considerations): يتطلب إجراء دراسة ميدانية في المشاعر المقدسة أعلى المعايير الأخلاقية، احترامًا لقدسية المكان، خصوصية الأفراد، وحساسية المعلومات التشغيلية.

التمثيل (Representativeness): يُعد ضمان تمثيلية نتائج الدراسة الميدانية أمرًا مهمًا لتعميمها ضمن سياق المشاعر المقدسة.

1.10. مخطط المشروع المقترح

الفصل الأول: الإطار العام للدراسة.

الفصل الثاني: الإطار النظري.

الفصل الثالث: منهجية البحث.

الفصل الرابع: التحليل الإحصائي.

الفصل الخامس: المناقشة والخاتمة.

2. الفصل الثاني: الدراسات السابقة

2.1. المقدمة:

يعد البحث في أثر مشاريع الطاقة الشمسية في إدارة البنية التحتية الذكية بالمشاعر المقدسة جزءاً من الجهود الأكاديمية لفهم كيفية توظيف مصادر الطاقة المتجددة في خدمة الاستدامة والذكاء الحضري. إذ تواجه المدن الكبرى، وخاصة مكة المكرمة والمشاعر المقدسة، تحديات متنامية تتعلق بزيادة الطلب على الطاقة خلال مواسم الحج والعمرة، مما يجعل البحث في البدائل النظيفة مثل الطاقة الشمسية ضرورة علمية وعملية (KAPSARC, 2024).

تهدف هذه المراجعة إلى تقديم نظرة شاملة على الأطر النظرية والمفاهيمية والدراسات التجريبية ذات الصلة بأثر مشاريع الطاقة الشمسية في إدارة البنية التحتية الذكية، لا سيما في سياق فريد مثل المشاعر المقدسة. من خلال فحص الأدبيات الموجودة، يسعى هذا الفصل إلى تحديد الفجوات البحثية الحالية ووضع الأساس النظري للبحث. إن عملية مراجعة الأدبيات ليست مجرد تلخيص للدراسات السابقة، بل هي خطوة منهجية حيوية لتحديد المعرفة المكتسبة، وتقييم المناهج المستخدمة، وتوضيح مساهمة البحث الحالي في إثراء المجال الأكاديمي والتطبيقي (Saunders et al., 2019).

تكتسب هذه المراجعة أهمية خاصة نظراً للطبيعة متعددة التخصصات للموضوع، والذي يجمع بين مفاهيم الطاقة المتجددة، المدن الذكية، وإدارة الحشود الكبرى. يتطلب ذلك فحصاً دقيقاً للدراسات التي تناولت كل جانب على حدة، بالإضافة إلى تلك التي سعت إلى دمجها. ستساعد هذه المراجعة في بناء نموذج مفاهيمي قوي يربط بين المتغيرات الأساسية للدراسة ويوجه عملية جمع وتحليل البيانات. وفي هذا السياق، تركز الدراسة على ثلاثة متغيرات رئيسية:

1- مشاريع الطاقة الشمسية : سيتم فحص الدراسات التي تناولت الجدوى الفنية والاقتصادية

لتطبيق الطاقة الشمسية في البيئات الحضرية، مع التركيز على المناطق ذات الظروف المناخية القاسية والطلب المتقلب على الطاقة، كما هو الحال في المشاعر المقدسة. سيتم تقييم أثر هذه المشاريع على كفاءة الطاقة والتحول. (Al-Ghamdi et al., 2017)

2- إدارة البنية التحتية الذكية : سيتم تحليل الأدبيات المتعلقة بتطور مفهوم المدن الذكية وتطبيقاته في إدارة المرافق العامة، بما في ذلك الأنظمة الذكية للتحكم في الإضاءة، وإدارة

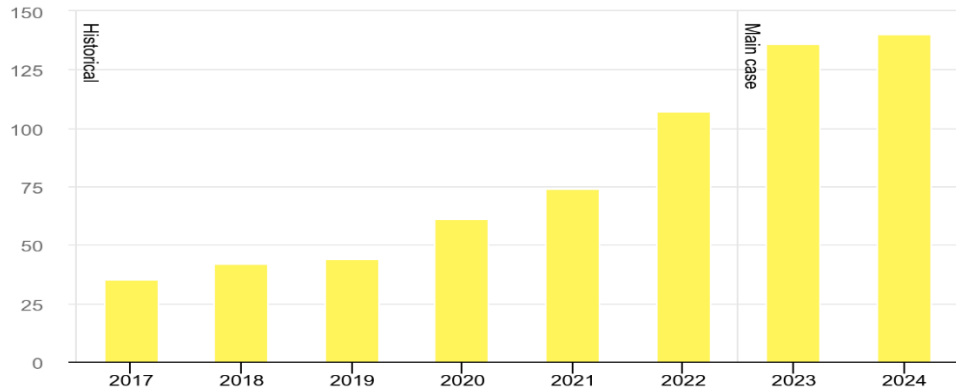
النفائات، وأنظمة النقل، وأنظمة مراقبة البيئة. سيتم التركيز على كيفية استخدام البيانات والتقنيات الذكية لتحسين الكفاءة التشغيلية.

3- تكامل الطاقة الشمسية والبنية التحتية الذكية: حيث سيتم البحث عن الدراسات التي تناولت كيفية دمج مصادر الطاقة المتجددة مع شبكات وأنظمة المدن الذكية. سيتم استكشاف التحديات والفرص المتعلقة بهذا التكامل، بما في ذلك إدارة الأحمال المتغيرة، وأنظمة تخزين الطاقة، والتحكم الذكي في تدفق الطاقة. (Qayyum et al., 2024)

2.2. المتغير المستقل (مشاريع الطاقة الشمسية)

تُعد مشاريع الطاقة الشمسية في المملكة العربية السعودية، وتحديدًا في منطقة المشاعر المقدسة، جزءاً لا يتجزأ من التزام المملكة بتحقيق أهداف رؤية 2030 لتقليل الاعتماد على النفط وتنويع مصادر الطاقة (وزارة الطاقة، 2021). تهدف هذه المشاريع إلى تسخير الإشعاع الشمسي الهائل الذي تتميز به المنطقة لتوليد الكهرباء النظيفة، مما يدعم الاستدامة البيئية والنمو الاقتصادي. تُعرف الطاقة الشمسية بأنها الطاقة المستمدة من أشعة الشمس، وتُستخدم بشكل أساسي لتوليد الكهرباء عبر الخلايا الكهروضوئية (Photovoltaic cells) أو لتوليد الحرارة. تُعتبر هذه المشاريع حلاً مثالياً للمشاعر المقدسة نظراً لتوافر أشعة الشمس على مدار العام والطلب المرتفع على الطاقة، خاصة خلال مواسم الحج والعمرة.

مشاريع الطاقة الشمسية هي مبادرات تخطيطية-تنفيذية لإنتاج الكهرباء من تقنيات الطاقة الشمسية (خصوصاً الخلايا الكهروضوئية PV وأحياناً المركز الشمسي CSP) عبر محطات كبيرة على الشبكة أو أنظمة موزعة على الأسطح والمباني، مع ما يلزمها من ربط شبكي وتخزين وتشغيل وصيانة ودورات عمرية وإعادة تدوير. تُعرف وكالة الطاقة الدولية PV كمصدر يتنامى سريعاً في شكلين متوازيين: مرافق كبيرة (Utility-scale) وأنظمة موزعة (IEA, 2023)

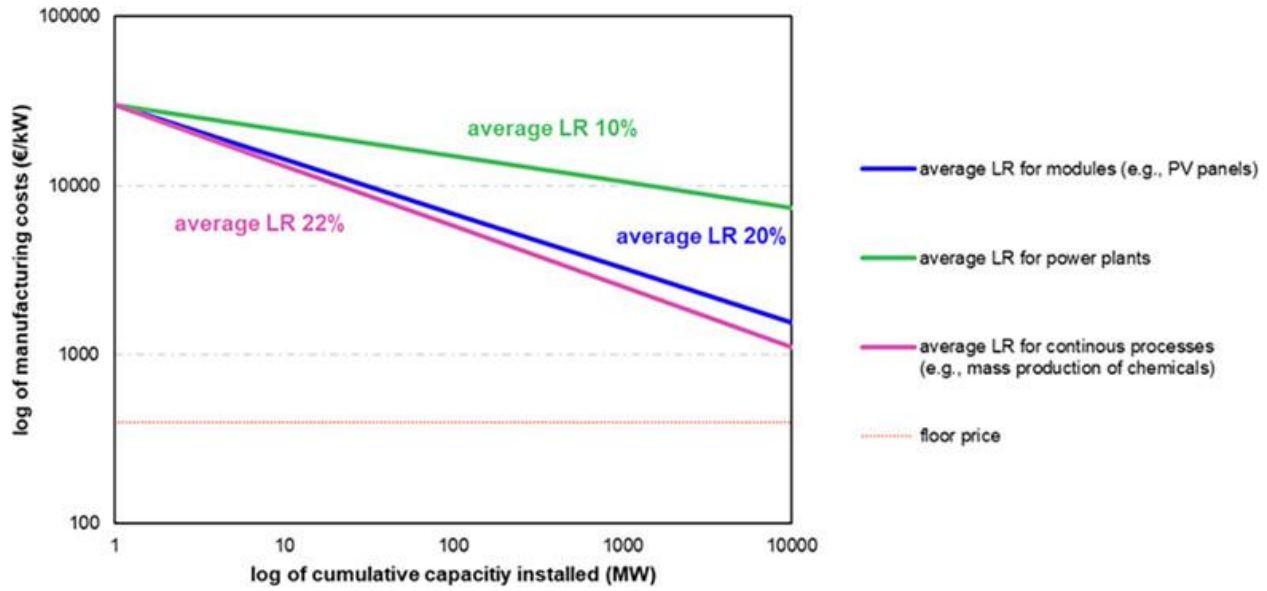


الشكل 3 تزايد استخدام الطاقة الشمسية من 2017-2024 (المصدر: (IEA, 2023))

التطور والاتجاهات والابعاد:

شهدت تقنيات الألواح الكهروضوئية تحسناً ملحوظاً في الكفاءة والمتانة، مما جعلها أكثر قدرة على تحمل الظروف البيئية القاسية في المنطقة، مثل درجات الحرارة العالية والغبار. كما تطورت أنظمة تخزين الطاقة (البطاريات) التي تضمن استمرارية إمداد الكهرباء خلال ساعات الليل أو الأيام الغائمة.

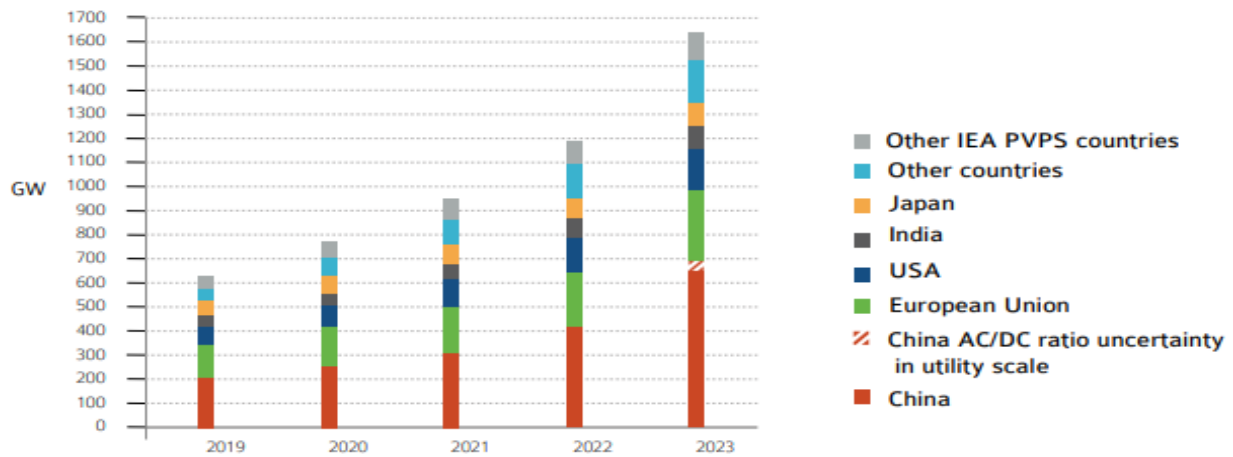
شهدت الطاقة الشمسية انخفاضاً حاداً في التكاليف بفعل “منحنى الخبرة/التعلم”، حيث ترتبط كل مضاعفة للإنتاج التراكمي بانخفاض يقارب 20-26% في أسعار المكونات، وهو ما سهّل الانتشار السريع. (Hass et al., 2023)



الشكل 4 منحنى الخبرة/ التعلم لتكاليف مشاريع الطاقة الشمسية (المصدر (Hass et al., 2023))

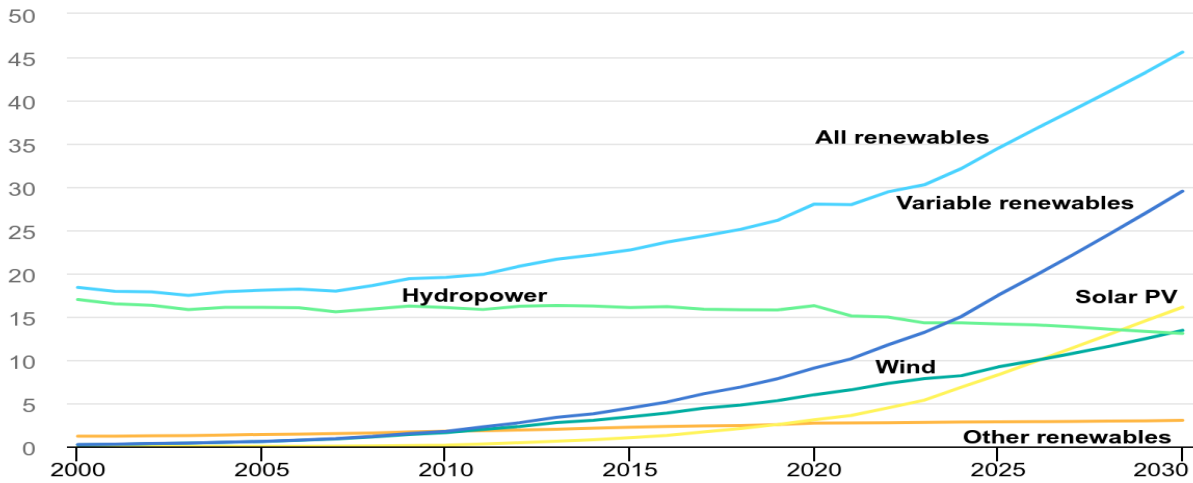
انخفضت تكلفة إنتاج الكهرباء من الطاقة الشمسية بشكل كبير، مما جعلها تنافسية مع مصادر الطاقة التقليدية. هذا التطور شجع على زيادة الاستثمار الحكومي والخاص في مشاريع الطاقة الشمسية الكبرى، مثل مشروع سكاكا ومشاريع أخرى ضمن البرنامج الوطني للطاقة المتجددة. (Khan et al, 2023)

في عام 2023 وحده، أضاف العالم رقماً قياسياً من القدرات المتجددة، وكان للطاقة الشمسية النصيب الأكبر ضمن إضافات 473-510 قيقا واط من القدرة المتجددة الجديدة، تعكس أعمار الأصول حقيقة أن مشروعات الـ PV تتعايش مع الشبكة لعقود (وسيط عمر تشغيلي 25 سنة للمحطات الكبيرة و30 سنة للموزعة) ما يستلزم تخطيطاً لدورة الحياة ونهاية العمر وإعادة التدوير. (IEA, 2023)



الشكل 5 نمو استخدام الطاقة الشمسية في الأسواق من 2018-2023 (المصدر: (IEA, 2023))

البعد البيئي لمشاريع الطاقة الشمسية تُسهم بشكل مباشر في تقليل البصمة الكربونية من خلال خفض الاعتماد على الوقود الأحفوري لتوليد الكهرباء. هذا يتماشى مع التزام المملكة بتحقيق أهداف الحياد الكربوني، ويعزز صورة المشاعر المقدسة كبيئة مستدامة وصديقة للبيئة. (وزارة الطاقة، 2021).



الشكل 6 مخطط إنتاج الطاقة المتجددة حسب التقنية من 2000-2030 (المصدر: (IEA, 2023))

2.3. المتغير التابع (إدارة البنية التحتية الذكية)

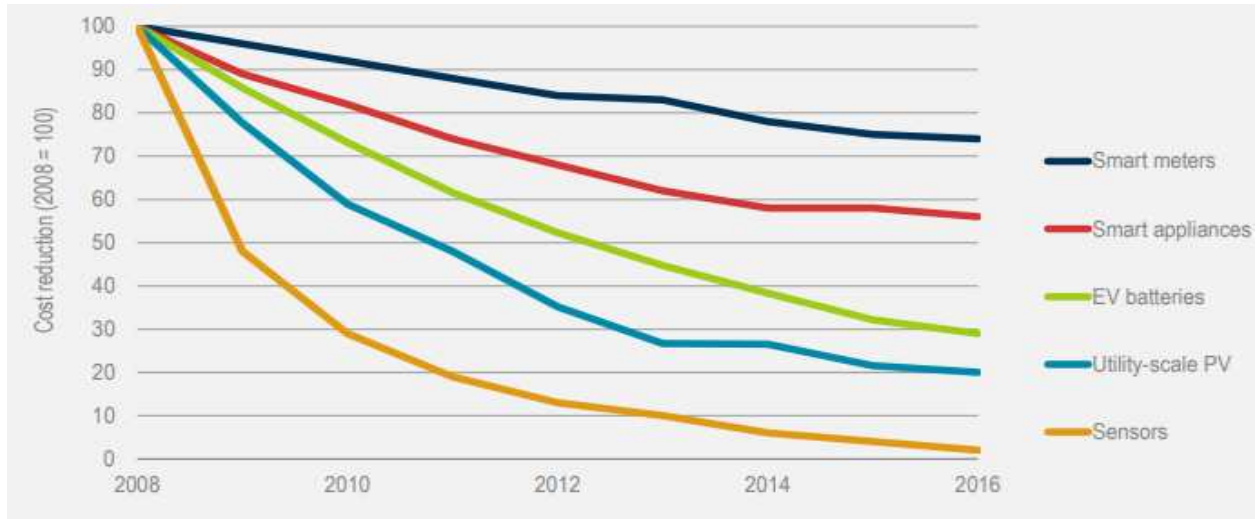
تُعرّف المدينة/البنية التحتية الذكية بأنها توظيف تقنيات الاتصالات والمعلومات (IoT)، الشبكات، المنصات الرقمية) لتحسين جودة الحياة وكفاءة تشغيل الخدمات الحضرية والبنية الأساسية، مع تعظيم الاستدامة والقدرة على الصمود. (Qayyum et al., 2024) تعتمد ITU تعريف "المدينة الذكية المستدامة" كمدينة «تستخدم تقنيات المعلومات والاتصالات ووسائل أخرى لتحسين جودة الحياة وكفاءة التشغيل والخدمات والقدرة التنافسية مع ضمان تلبية احتياجات الأجيال الحالية والقادمة».

في سياق المشاعر المقدسة، تتجاوز هذه الإدارة مجرد الجوانب التقنية لتشمل إدارة تدفقات الحشود الهائلة، وتنظيم خدمات النقل، وتحسين استهلاك الموارد مثل المياه والكهرباء. يُنظر إلى هذه الإدارة كحل استراتيجي لمواجهة التحديات اللوجستية والتشغيلية الفريدة التي يفرضها تجمع السكاني الموسمي المكثف خلال موسم الحج.

التطور والاتجاهات والابعاد:

البعد الإنساني: على الرغم من تركيزها على التكنولوجيا، إلا أن الهدف النهائي لإدارة البنية التحتية الذكية هو تحسين تجربة الإنسان. في المشاعر، يُترجم هذا إلى ضمان سلامة الحجاج، تسهيل تنقلهم، وتوفير بيئة مريحة ومستدامة، وجيه الخدمات لاحتياجات المستخدمين، الشفافية، والخصوصية/الأمن السيبراني كمتطلبات حاکمة في الرقمنة الحضرية. تُبرز IEA تلازم فوائد الرقمنة مع تحديات الخصوصية والأمن.

البعد التقني: يشمل استخدام أجهزة الاستشعار لرصد الظروف البيئية، وتدفق الحشود، واستهلاك الطاقة. كما يتضمن استخدام منصات البيانات الضخمة لتحليل المعلومات الواردة من هذه الأجهزة، ونظم الذكاء الاصطناعي لاتخاذ قرارات تشغيلية لحظية. وتُستخدم شبكات الاتصالات عالية السرعة لربط هذه الأنظمة ببعضها البعض.



الشكل 7 تكلفة الوحدات للتقنيات الكهربائية والإلكترونية (المصدر: (IEA, 2017))



الشكل 8 التوفير المتوقع للطاقة عند استخدام نظام الإنارة الذكي في 2040 (المصدر: (IEA, 2017))

البعد الإداري والتشغيلي: يتعلق بتخطيط وتنفيذ السياسات والإجراءات التي تضمن فعالية الأنظمة الذكية. يشمل ذلك إدارة الموارد البشرية والمالية، وصيانة الأنظمة، وتطوير بروتوكولات استجابة للطوارئ. تُسهم هذه الأنظمة في تبسيط العمليات وتوفير الوقت والجهد، ويمكن الاعتماد على مؤشرات ISO 37120/37122 لقياس الأداء، والتوافقية البيئية، ومنهجيات إدارة الأصول ISO 55000 لربط الأهداف المؤسسية بقيمة الأصول عبر دورة الحياة.

البعد الاقتصادي والتمويلي: تقييم التكاليف-المنافع، تحسين الإنفاق الرأسمالي والتشغيلي عبر التحليل القائم على البيانات، حيث تُظهر دراسات الصناعة مكاسب ملحوظة من اعتماد التوائم الرقمي وإدارة الأصول المبنية على المعايير. (Green et al, 2025).

2.4. العلاقة بين مشاريع الطاقة الشمسية وإدارة البنية التحتية الذكية في المشاعر المقدسة

تُظهر الأدبيات أن مشاريع الطاقة الشمسية تمثل ركيزة أساسية في تعزيز استدامة المدن الذكية، حيث تُسهم في خفض انبعاثات الكربون، وتقليل الاعتماد على مصادر الطاقة التقليدية، وتعزيز مرونة الشبكات الكهربائية (IEA, 2022). وفي المقابل، ترتبط إدارة البنية التحتية الذكية بالقدرة على دمج تقنيات إنترنت الأشياء (IoT)، والتحليلات الضخمة (Big Data)، وأنظمة التحكم الذكية لتحقيق الكفاءة التشغيلية وتوفير خدمات عالية الجودة للمجتمع (ITU, 2023).

تُظهر مراجعة الأدبيات الموجودة أن العلاقة بين مشاريع الطاقة الشمسية وإدارة البنية التحتية الذكية هي علاقة تكاملية وسببية، حيث تُعد الأولى عاملاً أساسياً لتمكين وتحسين أداء الثانية. على الرغم من أن الأدبيات تؤكد بشكل عام على هذه العلاقة الإيجابية، إلا أن هناك فجوات واضحة، لا سيما فيما يتعلق بالتقييم المباشر في السياق الفريد للمشاعر المقدسة.

عند تحليل العلاقة بين المتغيرين في سياق المشاعر المقدسة، يظهر أن الطاقة الشمسية ليست مجرد بديل للطاقة بل هي عنصر تكاملي مع البنية التحتية الذكية، إذ تسمح أنظمة التوليد الموزع (Distributed Generation) بإمداد الشبكات الذكية بالطاقة بشكل مرن ومستدام، وهو ما يسهل إدارة الطلب العالي أثناء مواسم الحج (NIST, 2018). الأدبيات تبين نمطاً متكرراً يؤكد على أن تكامل الطاقة الشمسية مع أنظمة المراقبة والتحكم في المدن الذكية يعزز الاستجابة الفورية للطوارئ ويخفض مخاطر الانقطاع الكهربائي (WEF, 2020).

تُشير الدراسات إلى أن مشاريع الطاقة الشمسية لا تعمل بمعزل عن إدارة البنية التحتية الذكية، بل هي جزء لا يتجزأ من منظومة المدينة الذكية المستدامة. ويمكن تحليل هذه العلاقة من خلال النقاط التالية:

- **الطاقة الشمسية كممكن للبنية التحتية الذكية (Solar as an Enabler):** تؤكد الأدبيات أن الأنظمة الذكية، مثل الإضاءة الذكية، وأنظمة التحكم في الحشود،

وأنظمة تبريد المناطق، تحتاج إلى مصدر طاقة مستقر وموثوق. تُوفر الطاقة الشمسية هذا المصدر.

- الإدارة الذكية كمُعزز لكفاءة الطاقة الشمسية (Smart Management as a Booster)

لا تقتصر العلاقة على اتجاه واحد. تُظهر الدراسات أن أنظمة الإدارة الذكية تُعزز من كفاءة مشاريع الطاقة الشمسية نفسها. على سبيل المثال، يمكن استخدام الأنظمة الذكية للتنبؤ بالطلب على الطاقة، وإدارة الأحمال بشكل ديناميكي، وتخزين الطاقة الفائضة في البطاريات، وتوجيهها إلى الأماكن الأكثر احتياجاً في الوقت الفعلي.

- الاستدامة كهدف مشترك: كلا المتغيرين يعملان لتحقيق هدف أكبر وهو الاستدامة

البيئية. تُركز الأدبيات بشكل كبير على كيفية مساهمة الطاقة الشمسية في خفض الانبعاثات الكربونية، بينما تُظهر إدارة البنية التحتية الذكية كيفية تحسين كفاءة استخدام الموارد، مما يؤدي إلى تقليل البصمة البيئية الإجمالية للمدن.

مع ذلك، توجد فجوات في الأدبيات تتمثل في ندرة الدراسات التي تناولت العلاقة بين مشاريع الطاقة الشمسية وإدارة البنية التحتية الذكية في المناطق ذات الكثافة البشرية الموسمية مثل المشاعر المقدسة. فبينما ركزت بعض الدراسات على التجارب في المدن الأوروبية أو الآسيوية (IEA, 2017)، إلا أن الأدبيات تكاد تخلو من دراسات تطبيقية تتناول خصوصية مكة المكرمة والمشاعر من حيث البنية التحتية المؤقتة (مثل المخيمات في منى) والضغط العالي على الموارد. كما أن هناك تضارباً في الأدبيات حول التحديات؛ فبينما تؤكد بعض الدراسات على جدوى التكامل من الناحية الاقتصادية (IEA, 2022)، يشير آخرون إلى تحديات كبيرة في تكاليف الربط الشبكي وصيانة الأنظمة الذكية (ITU, 2016).

2.5. الخاتمة

من خلال مراجعة الأدبيات المتعلقة بالمتغير الأول (مشاريع الطاقة الشمسية) والمتغير الثاني (إدارة البنية التحتية الذكية)، يتضح أن كلاهما يمثلان ركيزتين أساسيتين لتحقيق الاستدامة والتحول الذكي في المدن الحديثة. فقد بينت الدراسات أن مشاريع الطاقة الشمسية أسهمت في خفض الاعتماد على الوقود الأحفوري، وتقليل الانبعاثات الكربونية، ودعم استراتيجيات المدن الذكية عبر دمجها في الشبكات الكهربائية الذكية (IEA, 2022). وفي المقابل، ركزت الأدبيات الخاصة بإدارة البنية التحتية الذكية على دور تقنيات إنترنت الأشياء، والبيانات الضخمة، والتحكم التنبؤي في تحسين كفاءة إدارة الموارد والخدمات (ITU, 2023).

أما عند تحليل العلاقة بين المتغيرين، فقد أظهرت الأدبيات أن الطاقة الشمسية ليست فقط مصدراً بديلاً للطاقة، بل عنصرًا تكاملياً يعزز مرونة الشبكات الذكية ويُمكن من إدارة الطلب الموسمي المرتفع، كما هو الحال في المشاعر المقدسة أثناء مواسم الحج (NIST, 2018). غير أن مراجعة الدراسات كشفت فجوة معرفية واضحة، إذ تفتقر الأدبيات إلى دراسات تطبيقية تركز على البيانات ذات الطابع الموسمي والضغط البشري الهائل مثل مكة المكرمة، حيث تتطلب أنظمة الطاقة الذكية توافقاً عالياً بين الاستدامة، الكفاءة، والأمان التشغيلي.

تشير هذه النتائج إلى أن البحث المستقبلي بحاجة إلى:

- دراسات ميدانية متخصصة في البيانات ذات الكثافة السكانية الموسمية مثل المشاعر المقدسة.
- تطوير نماذج محاكاة تجمع بين مشاريع الطاقة الشمسية وتقنيات إدارة البنية التحتية الذكية لمعالجة سيناريوهات استهلاك الطاقة القصوى.
- استكشاف التحديات الاقتصادية والتنظيمية المتعلقة بربط مشاريع الطاقة الشمسية بالبنية التحتية الذكية في المملكة العربية السعودية.

من خلال هذا الاستعراض، تسعى هذه الدراسة إلى سد الفجوة البحثية من خلال تقديم إطار نظري وتطبيقي يوضح دور مشاريع الطاقة الشمسية في دعم إدارة البنية التحتية الذكية بالمشاعر المقدسة. كما تساهم في إثراء النقاش الأكاديمي حول تكامل الاستدامة مع البنى التحتية الذكية، وتوفير أساساً علمياً يمكن أن تستند إليه السياسات الحكومية والمشاريع المستقبلية في تطوير منظومة الحج بما يحقق رؤية السعودية 2030.

قائمة المراجع

المراجع العربية

- 1- رؤية المملكة العربية السعودية 2030. الموقع الرسمي لرؤية 2030، 2016 .
<https://www.vision2030.gov.sa/ar/>.
- 2- المملكة العربية السعودية. وزارة الطاقة. "الاستراتيجية الوطنية للطاقة المتجددة". وزارة الطاقة السعودية، 2021. <https://www.moenergy.gov.sa/ar/renewable-energy-2021-strategy>.
- 3- الهيئة العامة للإحصاء. "إحصاءات الحج والعمرة 1444 هـ". الهيئة العامة للإحصاء السعودية، 2023. <https://www.stats.gov.sa/ar/node/6908>.

المراجع الأجنبية

- 1- International Telecommunication Union (ITU). (2016). *United for smart sustainable cities: Implementing the new urban agenda*. ITU.
- 2- Al-Ghamdi, Sami G., et al. "The Potential of Solar Energy in Saudi Arabia: The Residential Sector." *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 82, 2017, pp. 1–11. ResearchGate, <https://www.researchgate.net/publication/323874365>.
- 3- National Institute of Standards and Technology (NIST). (2018). *NIST framework and roadmap for smart grid interoperability standards, release 3.0*. NIST.
- 4- International Energy Agency (IEA). (2017). *Digitalization & energy*. IEA. <https://www.iea.org/reports/digitalisation-and-energy>.
- 5- Saunders, M. N. K., Lewis, P., & Thornhill, A. (2019). *Research methods for business students*. Pearson Education.
- 6- World Economic Forum (WEF). (2020). *Digital twins for smarter cities: A practical guide to assessing the opportunities and challenges*. WEF.
- 7- Abonomi, Abdullah, de Lacy, Terry and Pyke, Joanne (2022) Environmental Impact of the Hajj. *International Journal of Religious Tourism and Pilgrimage*, 10 (1). pp. 133-151. ISSN 2009-7379

- 8- Shalwala, Raed. (2023). *Solar Energy Utilization Awareness for Saudi Housing: Makkah Case Study*. 21. 7250 - 7262.
10.1007/s13369-020-04369-02.
- 9- Khan, Khalid A., et al. "Smart Grid Infrastructure and Renewable Energy Deployment: A Conceptual Review of Saudi Arabia." *Energy Strategy Reviews*, vol. 50, Nov. 2023, Article 101247.
DOI:10.1016/j.esr.2023.101247.
- 10- International Energy Agency (IEA). (2023). *World energy outlook 2023*. Paris: IEA. Retrieved from <https://www.iea.org>
- 11- Haas, R., Sayer, M., Ajanović, A., & Auer, H. (2023). *Technological learning: Lessons learned on energy technologies*. *WIREs Energy and Environment*, 12(2), e463.
<https://doi.org/10.1002/wene.463>
- 12- United Nations ESCWA, and KAPSARC. *Unlocking Energy Efficiency in the GCC Built Environment*. ESCWA, 2024.
https://www.unescwa.org/sites/default/files/inline-files/Unlocking%20EE%20in%20GCC%20Built%20Environement_KAPSARC%20ESCWA%202024.pdf.
- 13- Qayyum, Faiza, Harun Jamil, and Faiyaz Ali. "A Review of Smart Energy Management in Residential Buildings for Smart Cities." *Energies*, vol. 17, no. 1, 2024, p. 83. MDPI,
<https://doi.org/10.3390/en17010083>.
- 14- Green, A., Cosmas, A., & Shenai, G., with Moore, D., & Mehta, N. (2025, July 3). *Digital twins: Boosting ROI of government infrastructure investments*. McKinsey & Company. Retrieved from McKinsey & Company website.

