IRAQI Academic Scientific Journals

University of Kirkuk Journal For Administrative and Economic Science (2026) 16 (2): 243-254

UKJAES

University of Kirkuk Journal For Administrative and Economic Science

ISSN:2222-2995 E-ISSN:3079-3521
University of Kirkuk Journal For Administrative and Economic Science

Muhammad Bware Burhan & Mohammed Saeed Aveen Mosleh. Analysis of the Impact of Solar Energy Use in Residential Units in Erbil City: An Applied Study for the Year 2025. ***University of Kirkuk Journal For Administrative and Economic Science*** **(2026) 16 (2):243-254.**

Analysis of the Impact of Solar Energy Use in Residential Units in Erbil City: An Applied Study for the Year 2025

Bware Burhan Muhammad [1], Aveen Mosleh Mohammed Saeed [2]

[1,2] *College of Administration and Economics-Salahaddin University, Erbil, Iraq*

bware.muhamad@su.edu.krd [1], aveenduhoky@yahoo.com [2]

Abstract: This study aims to analyze the use of solar energy in residential units in Erbil in 2025, in the context of the challenges related to securing traditional electrical energy supplies. The study aims to measure the impact of applying solar energy on reducing the consumption of traditional electricity and monthly costs for household, as well as exploring the challenges and barriers to adopting this technology. The study adopted a field methodology by distributing questionnaires to a random sample of household in Erbil, in addition to using a logistic regression model to analyze the relationships between variables affecting the adoption and use of solar energy systems. The results showed that the rising monthly costs of traditional energy serve as a strong motivation for household to rely on solar energy, while the challenges related to maintenance costs and the difficulty of scaling hinder the widespread use of these systems. The study also confirmed that providing government support and improving community awareness can significantly contribute to enhancing the use of solar energy, resulting in long-term economic and environmental benefits.

Keywords: Residential Units, Electricity Consumption, Renewable Energy, Logistic Regression, Environmental Sustainability.

تحليل أثر استخدام الطاقة الشمسية في الوحدات السكنية لمدينة أربيل: دراسة تطبيقية لعام ٢٠٢٥

أ.م.د. بوارى برهان محمد [١] ، د. أڤين مصلح محمد سعيد [٢]

[١،٢] *كلية الادارة والاقتصاد - جامعة صلاح الدين- أربيل، إقليم كوردستان، العراق*

bware.muhamad@su.edu.krd [1], aveenduhoky@yahoo.com [2]

المستخلص: تسعى هذه الدراسة إلى تحليل استخدام الطاقة الشمسية في الوحدات السكنية بمدينة أربيل لعام ٢٠٢٥، وذلك في سياق التحديات المتعلقة بتأمين إمدادات الطاقة الكهربائية التقليدية. وتهدف الدراسة إلى قياس تأثير تطبيق الطاقة الشمسية على تقليل استهلاك الكهرباء التقليدية والتكاليف الشهرية للأسر، فضلا عن استكشاف التحديات

والمعوقات التي تواجه تبني هذه التقنية. اعتمدت الدراسة على منهجية ميدانية من خلال توزيع استبيانات على عينة عشوائية من الأسر في مدينة أربيل، بالإضافة إلى استخدام نموذج الانحدار اللوجستي لتحليل العلاقات بين المتغيرات المؤثرة في تبني واستخدام أنظمة الطاقة الشمسية. أظهرت النتائج أن ارتفاع التكاليف الشهرية للطاقة التقليدية يشكل دافعا قويا للأسر نحو الاعتماد على الطاقة الشمسية، في حين أن التحديات المرتبطة بتكاليف الصيانة وصعوبة التوسع تعيق استخدام هذه الأنظمة بشكل واسع. كما أكدت الدراسة أن توفير الدعم الحكومي وتحسين الوعي المجتمعي يمكن أن يسهم بشكل كبير في تعزيز استخدام الطاقة الشمسية، مما يعود بفوائد اقتصادية وبيئية على المدى الطويل.

الكلمات المفتاحية: الوحدات السكنية، استهلاك الطاقة الكهربائية، الطاقة المتجددة، الانحدار اللوجستي، الاستدامة البيئية.

Corresponding Author: E-mail: bware.muhamad@su.edu.krd

المقدمة

تعد الطاقة الكهربائية من أبرز مقومات التنمية الاقتصادية والاجتماعية، إذ تلعب دوراً حيوياً في تحسين مستويات المعيشة وتعزيز الأنشطة الاقتصادية. ومع ذلك، تواجه مدينة أربيل تحديات متزايدة في تأمين احتياجاتها من الطاقة الكهربائية، حيث تعاني من انقطاع التيار الكهربائي بشكل متكرر وارتفاع تكاليف إنتاج الطاقة التقليدية، ويتزامن ذلك مع زيادة النمو السكاني والتوسع العمراني، مما زاد من الطلب على الكهرباء وأدى إلى تفاقم المشكلة.
في ظل هذه التحديات برزت استخدام الطاقة الشمسية كحل بديل ومستدام يوفر مصدراً نظيفاً ومتجدداً للطاقة. وتعتمد الطاقة الشمسية على تقنيات متطورة لتحويل أشعة الشمس إلى كهرباء يمكن استخدامها مباشرة، مما يساهم في تخفيف الضغط على الشبكة الكهربائية التقليدية. ومع ذلك، فإن انتشار هذه التقنية في مدينة أربيل لايزال محدوداً بسبب معوقات متعددة مثل التكلفة العالية للتقنيات ونقص الوعي المجتمعي.

اولاً: أهمية البحث:

يكمن أهمية هذا البحث من كونه يتناول موضوعاً حيوياً يتثمل في قياس أثر استخدام الطاقة الشمسية في الوحدات السكنية بمدينة أربيل، حيث يسهم في تقديم تحليل علمي دقيق للعلاقة بين استخدام هذه التقنية النظيفة ومستويات استهلاك الطاقة التقليدية. كما يهدف إلى تطوير نموذج قياسي يمكن استخدامه لتحديد التأثيرات الاقتصادية والبيئية للوحدات السكنية، مما يوفر قاعدة معلوماتية موثوقة تدعم متخذي القرار في تقييم سياسات الطاقة المتجددة. بالإضافة إلى ذلك، يمكن استخدام النتائج في صياغة الاستراتيجيات للتوسع في استخدام الطاقة الشمسية، مما يعزز استدامة الطاقة في المدينة.

ثانياً: مشكلة الدراسة:

تواجه مدينة أربيل تحديات متزايدة في تأمين احتياجات الطاقة الكهربائية للوحدات السكنية، حيث تعاني من انقطاع متكرر للتيار الكهربائي وارتفاع تكاليف الطاقة التقليدية. ومع استمرار النمو السكاني وزيادة الطلب على الكهرباء، أصبحت هناك حاجة ماسة لإيجاد حلول بديلة ومستدامة. برز استخدام الطاقة الشمسية كخيار واعد لكنه لم يخضع للدراسة الكافية لتقييم أثره بشكل شامل. وبناء على ذلك، تتمحور مشكلة البحث حول تحليل وتقييم الآثار المترتبة على استخدام الطاقة الشمسية في الوحدات السكنية بمدينة أربيل.

ويمكن تحديد أبعاد المشكلة من خلال التساؤلات الآتية:

١. ما هو واقع استخدام الطاقة الشمسية في الوحدات السكنية بمدينة أربيل؟
٢. كيف يؤثر استخدام الطاقة الشمسية على مستوى استهلاك الطاقة الكهربائية التقليدية في الوحدات السكنية؟
٣. ما هي التحديات والمعوقات التي تواجه أصحاب المنازل في تبني واستخدام أنظمة الطاقة الشمسية؟
٤. ما هي الفوائد الاقتصادية الناتجة عن استخدام الطاقة الشمسية؟

ثالثاً: فرضية الدراسة:

١. يوجد أثر ذو دلالة إحصائية لاستخدام الطاقة الشمسية على تقليل التكاليف الشهرية للأسر السكنية.
٢. يوجد أثر ذو دلالة إحصائية لاستخدام الطاقة الشمسية على تخفيض معدل استهلاك الطاقة الكهربائية التقليدية في الوحدات السكنية.

رابعاً: هدف الدراسة:

يتمحور الهدف الرئيسي لهذا البحث حول قياس وتحليل العلاقة بين استخدام الطاقة الشمسية في الوحدات السكنية بمدينة أربيل لعام 2025، مع التركيز على تأثيرها على استهلاك الطاقة التقليدية، التكاليف الشهرية للأسر، وأبرز التحديات التي تواجه تبني هذه التقنية. كما يسعى البحث إلى تقديم نموذج قياسي يستخدم لتقدير التأثيرات الاقتصادية والبيئية للطاقة الشمسية بما يخدم صانعي القرار في تعزيز استدامة الطاقة وتطوير سياسات داعمة للاعتماد على المصادر المتجددة.

خامساً: منهجية الدراسة:

اعتمد البحث على المنهج الوصفي التحليلي القياسي، حيث يتم الجمع بين التحليل الوصفي للظاهرة والقياس الكمي للأثر، ويتضمن المنهج ما يلي:

- **المنهج الوصفي:** لتوصيف وتشخيص واقع استخدام الطاقة الشمسية في الوحدات السكنية بمدينة أربيل.
- **المنهج التحليلي:** لتحليل البيانات باستخدام أدوات إحصائية مناسبة لتحليل العلاقات بين المتغيرات.
- **المنهج القياسي:** لقياس الأثر الكمي لاستخدام الطاقة الشمسية باستخدام النماذج القياسية والاختبارات الإحصائية.

سادساً: حدود الدراسة:

١-**الحدود المكانية:** مدينة أربيل- عينة من مستخدمي الطاقة الشمسية.

٢- **الحدود الزمانية:** تشمل عام ٢٠٢٥

المحور الأول: الإطار النظري للطاقة الشمسية

أولا: مفهوم الطاقة الشمسية وأهميتها الاقتصادية والبيئية

تمثل الطاقة الشمسية المصدر الطبيعي الأكثر وفرة واستدامة على سطح الأرض، حيث تعتمد على الأشعة التي تصل من الشمس والتي تعتبر مصدرا لا ينضب من الطاقة يمكن تحويله إلى أشكال متعددة من الاستخدامات. وتتكون الشمس من أشعة تحدث فيها تفاعلات نووية عالية الطاقة تنتج كميات هائلة من الإشعاع الكهرومغناطيسي الذي يختلط مع الغلاف الجوي ويصل إلى سطح الأرض بمستويات متفاوتة تبعا للموقع والفصل والزوايا الجوية. (Jimenez-Torres et al. 2017, 1-2)
وتتنوع مصادر الطاقة الشمسية بين الاشعاع المباشر والاشعاع المنتشر حيث يتم استقبال الاشعة الشمسية بواسطة تقنيات متعددة للاستفادة منها، تشمل مصادر الطاقة الشمسية الأساسية ذات الإشعاع المباشر الذي يمكن استثماره باستخدام أنظمة التوجيه والمركزة، والإشعاع المنتشر أو غير المباشر الذي يمكن استغلاله عبر أنظمة الألواح الشمسية الكهروضوئية وتكنولوجيات التحويل الحرارية، وتساعد هذه المصادر على تلبية الاحتياجات الطاقية وتحقيق الأمن الطاقي عبر تحويل الطاقة الشمسية إلى أشكال قابلة للاستخدام مثل الكهرباء والحرارة. وتعتمد مصادر الطاقة الشمسية على وجود الشمس، وتختلف في كفاءتها وتطبيقاتها وفقا للعوامل الجغرافية والجوية، إضافة إلى توفر تقنيات حديثة لتحسين جمعها وتحويلها، وهو ما يسهم في تعزيز قدرات الاعتماد عليها كمصدر طاقة بديل نظيف ومستدام (Guerra et al. 2018, 3-4)
وكما تسهم في توفير فرص عمل جديدة واستثمارات ضخمة مما يعزز النمو الاقتصادي ويخلق بيئة استثمار محفزة. ومن الناحية البيئية، تعد الطاقة الشمسية خيارا مستداما لأنه يقلل من الانبعاثات الضارة خاصة الغازات الدفيئة التي تساهم في ظاهرة الاحتباس الحراري وتلوث الهواء وبالتالي تحسين جودة البيئة وصحة الإنسان على المدى البعيد. بالإضافة إلى ذلك فإن توافر مصادر التمويل والدعم الفني والتقني يعزز من انتشار تقنيات استغلال الطاقة الشمسية مما ينعكس إيجابيا على استدامتها وتحقيق أهداف التنمية المستدامة، لذلك فإن الاستثمار المستدام للطاقة الشمسية يشكل خطوة حيوية نحو تحقيق التوازن بين النمو الاقتصادي وحماية البيئة. (علي، 2022، 699-698).

ثانيا: مميزات الطاقة الشمسية

١- المزايا الاقتصادية للطاقة الشمسية

تتمثل المزايا الاقتصادية للطاقة الشمسية في عدة جوانب مهمة تجعلها خيارا استراتيجيا للاستثمار طويل الأمد. أولا، تعتبر تكاليف التشغيل والصيانة منخفضة بصورة ملحوظة بالمقارنة مع مصادر الطاقة التقليدية، حيث تعتمد على موارد طبيعية لا تتطلب تكاليف مستمرة أو دفع فواتير طاقة عالية. بالإضافة إلى ذلك، فإن الحاجة إلى استثمارات أولية ضخمة يمكن أن تملكها الحكومات أو القطاع الخاص لكنها تتيح فيما بعد استرداد تلك التكاليف من خلال توليد الكهرباء بشكل مجاني تقريباً مما يحقق وفرا ملموسا على المدى الطويل. كما أن تطور التكنولوجيا أدى إلى انخفاض كبير في سعر الألواح الشمسية وهذا ما جعلها أكثر قدرة على المنافسة من ناحية التكلفة مع مصادر الطاقة الأخرى، وتوفر حلا اقتصاديا يمكن الدول من تقليل اعتمادها على الوقود الأحفوري المستورد، الأمر الذي يخفف من تقلبات السوق وأسعار العملات (Maradin, 2021, 176)
وفي سياق الأمان الاقتصادي، تساهم مشاريع الطاقة الشمسية في خلق وظائف جديدة ودعم القطاعات الصناعية ذات العلاقة، حيث تتطلب عمليات التركيب والتشغيل والصيانة كفاءات متخصصة مما يعزز النمو الاقتصادي ويحد من معدلات البطالة. ان الأرباح الناتجة عن هذه المشاريع تكون عادة ثابتة ومؤمنة من تقلبات أسواق الطاقة العالمية، كون إنتاجها يعتمد على مصدر غير محدود ومستمر هو الشمس. علاوة على ذلك، فإن الاستثمار في أنظمة الطاقة الشمسية يساهم في توازن استهلاك الطاقة ويقلل من تكاليف النقل والتوزيع، خاصة في المناطق النائية التي يصعب توصيل الشبكة الكهربائية إليها.
وفي ظل تزايد التوجه العالمي نحو الاقتصاد الأخضر والتنمية المستدامة، تبرز الطاقة الشمسية كحل اقتصادي فعال يعزز من أمن الطاقة الوطني ويقلل من التأثيرات الاقتصادية الناتجة عن ارتفاع أسعار الوقود الأحفوري. وبشكل عام، فإن الاعتماد المتزايد على الطاقة الشمسية يدعم نمو الاقتصاد الوطني ويوفر إطارا مستداما يوازن بين الحاجة إلى تلبية الطلب المتزايد على الكهرباء وبين

الالتزام بالحفاظ على الموارد الطبيعية، مما يعكس فاعليتها الاقتصادية وأهميتها كمصدر طاقة نظيف وموثوق (روايقية ,٢٠١٩، ١١١).

٢- المزايا البيئية (المستدامة)

تعتبر الطاقة الشمسية من المصادر المستدامة التي تساهم بشكل فعال في حماية البيئة وتقليل الآثار السلبية الناتجة عن استخدام الوقود الأحفوري. فهي تنتج طاقتها بشكل نظيف وخالي من الانبعاثات الضارة مما يقلل بشكل كبير من انبعاثات الغازات الدفيئة التي تسبب الاحتباس الحراري والتغير المناخي، وهذا الامر يعزز من سبل الحفاظ على توازن البيئة ويسهم في تقليل التلوث الجوي والارتفاع الحاد في مستويات وزيادة جودة الهواء، الامر الذي ينعكس إيجابيا على صحة الإنسان والكائنات الحية الأخرى. (الشاعر، 2024، 691).

كما توفر الطاقة الشمسية حلا فاعلاً للحفاظ على الموارد الطبيعية التي تتعرض للنفاذ نتيجة الاستهلاك غير المستدام، فهي تعتمد على مصدر لا ينفذ، وهو الشمس، الذي يتجدد بشكل يومي، الأمر الذي يقلل من الاعتماد على الوقود الأحفوري ويحد من استنزاف المصادر الطبيعية المحدودة كالفحم والنفط والغاز. هذا التحول يعزز من استدامة الاقتصادات الوطنية والدولية ويدعم المبادرات البيئية التي تهدف إلى الحفاظ على البيئة للأجيال القادمة.

إضافة إلى ذلك، فإن استخدام الطاقة الشمسية لا يتسبب في إحداث تلوث طبيعي أو بيئي ضار أثناء عمليات توليد الطاقة، وهو ما يعكس التزاما بيئيا وأخلاقيا نحو الحد الذي يلحق بالبيئة. كما أن تقنيات الطاقة الشمسية تتسم بالتطور المستمر الذي يسهم في تقليل البصمة الكربونية بشكل كبير وتوفير أنظمة أكثر كفاءة واستدامة والتي تتوافق مع المعايير البيئية الدولية.

وبذلك، تعد الطاقة الشمسية خيارا استراتيجيا يحقق توازنآ بين الفوائد الاقتصادية والتنموية من جهة، والحفاظ على البيئة من جهة أخرى وهو ما يعكس التزاما بأهداف التنمية المستدامة وضرورة الابتعاد عن المصادر التقليدية الملوثة والمهددة للمحيط الحيوي. (علي وإبراهيم، ٢٠٢٣، 95-94).

٣- الكفاءة التقنية وتحسين الآداء

تُعد الكفاءة التقنية من العوامل الأساسية التي تحدد مدى فاعلية أنظمة الطاقة الشمسية وتتطلب جهودًا مستمرة في تحسين الأداء والابتكار حيث يلزم تطوير تقنيات الخلايا الشمسية لتحقيق أعلى معدلات التحويل من الطاقة الضوئية إلى طاقة كهربائية، حيث أن الكفاءة العالية تعزز من إنتاجية النظام وتقلل من المساحات اللازمة للتوليد، مما يسهم في تقليل التكاليف وتحقيق استدامة أكبر. كما أن التقدم في تصميم الألواح وتحسين عمليات التصنيع من خلال استعمال مواد متطورة وأبحاث متقدمة، أدى إلى زيادة عمر الألواح وتحسين أدائها في ظروف جوية متغيرة.

من جهة أخرى، تركز على أهمية أنظمة تخزين الطاقة لزيادة موثوقية الشبكة وسهولة تلبية الطلب المستمر على الكهرباء، خاصةً عند غروب الشمس أو خلال فصول العام ذات الطقوس المتغيرة. ويعتمد ذلك على تقنيات البطاريات الحديثة التي تمكن من تخزين الفائض من الطاقة الشمسية بكفاءة عالية، مما يعزز من التكامل بين الأنظمة ويقلل الاعتماد على مصادر طاقة تقليدية. بالإضافة إلى ذلك، يتطلب تحسين الأداء التكامل الفعال مع أنظمة الشبكة الذكية والأنظمة الهجينة، حيث يتم ضبط التشغيل لتحقيق أقصى استفادة من الطاقات المتجددة وتقليل الفاقد.

وتتطور الأنظمة لتحقيق أداء أكثر مرونة وموثوقية، مع القدرة على التكيف مع التغيرات الموسمية والأحوال الجوية، مع مراعاة تقليل الخسائر في عمليات النقل والتوزيع. كل ذلك يعكس التزامًا مستمرًا نحو رفع الكفاءة وتقليل التكاليف التشغيلية، ما يعزز من جاهزية الطاقة الشمسية لتلبية الاحتياجات المستقبلية بشكل فعال ومستدام. (عزيز وآخرون، ٢٠٢٢، 339-320).

ثالثا: تحويل الطاقة الشمسية إلى أشكال قابلة للاستخدام

يعد تحويل الطاقة الشمسية إلى أشكال قابلة للاستخدام من أهم مراحل استثمارها الفعال حيث يتم ذلك من خلال تقنيات متعددة تعتمد على نوعية الاستخدام والأهداف المرجوة. ومن أحد أبرز الأساليب هو التحويل الكهروضوئي الذي يستخدم الخلايا الشمسية لتحويل ضوء الشمس مباشرة إلى طاقة كهربائية، وتعتمد هذه التقنية على ظاهرة الفز الكهروضوئي حيث يتم إطلاق الإلكترونات عند تعرض الخلايا للأشعة الشمسية مما يتيح توليد تيار كهربائي مستمر يمكن استخدامه مباشرة أو تخزينه للاستخدام المستقبلي، وتتسم خلايا الطاقة الشمسية الكهروضوئية بفعالية عالية إلى جانب قابليتها للتوسع، الأمر الذي يسهل تصميم أنظمة صغيرة للمباني السكنية وأخرى ضخمة لمحطات الطاقة الكهربائية. (Hasan, 2018, 45-50)

أما التقنية الثانية فهي تحويل الطاقة الحرارية الشمسية، والتي تتعلق باستغلال الحرارة الناتجة عن اشعة الشمس لرفع درجات حرارة السوائل أو المواد واستخدامها في توليد البخار الذي يدير التوربينات لتوليد الكهرباء. وتعتمد هذه الأنظمة عادة على مرايا مركزة تركز الأشعة الشمسية على مبدد حراري مركزي مما يزيد من كفاءة استرجاع الطاقة، بالإضافة إلى ذلك، تتوفر أنظمة التخزين الحديثة التي تسمح بتخزين الطاقة الشمسية للاستعمال خلال الفترات الغائمة أو بعد غروب الشمس، مما يعزز موثوقية وتوافر الطاقة. ومن بين أساليب التخزين الشائعة بطاريات الليثيوم وأحواض التخزين الحرارية التي تحفظ الحرارة في مواد عازلة وتعيد استخدامها عند الحاجة. وأن تفعيل هذه الأنظمة وتحسين كفاءتها يساهم بشكل كبير في تعزيز الاعتماد على الطاقة الشمسية كمصدر رئيسي للطاقة المتجددة. (Gokturk ,2018, 14-16).

١. التحويل الكهروضوئي

يعد التحويل الكهروضوئي من الأدوات الأساسية لتحويل الطاقة الشمسية إلى طاقة كهربائية بشكل فعال، حيث يعتمد على ظاهرة التأثير الكهروضوئي التي تسمح للفوتونات الساقطة على سطح المادة، خاصة أشباه الموصلات بإحداث تيار كهربائي عند تعرضها لضوء الشمس.. ويتكون نظام التحويل الكهروضوئي من مكونات رئيسية تشمل الألواح الشمسية والتي تحتوي على الخلايا الكهروضوئية والمحولات التي تعزز الجهد والتيارات الناتجة وأنظمة التوصيل التي تربط الألواح بمصدر الشبكة الكهربائية أو أنظمة التخزين. وتنتج الخلايا الكهروضوئية بشكل رئيسي من مواد السيليكون، سواء كانت من السيليكون المولي أو الموجه، وتتميز بكفاءتها العالية واستدامتها البيئية، مع تطور مستمر في تقنيات تصنيعها لتحسين الأداء وتقليل التكاليف. (Guerra **et al.,** **2018**).

يعمل المبدأ الأساسي للتحويل الكهروضوئي على مبدأ التداخل بين الفوتونات والطاقة الكهربائية، إذ عندما تسقط أشعة الشمس على الخلايا يتم إثارة الإلكترونات من حالاتها الأساسية إلى حالات عالية من الطاقة مما يؤدي إلى إنشاء تيار مستمر يمكن استغلاله في تطبيقات مختلفة. وتتسم أنظمة التحويل الكهروضوئي بأنها قابلة للتوسع والتخصيص، إذ يمكن تصميمها لتلبية احتياجات متنوعة من أنظمة صغيرة للمنازل إلى محطات طاقة كبيرة التي تعد من أحد مصادر الطاقة النظيفة والمستدامة. فضلا عن ذلك، فإن تحسين كفاءة الخلايا وموادها مثل استخدام الخلايا ذات الطبقات المتعددة أو الخلايا العضوية يسهم في زيادة إنتاجية الطاقة وتقليل الفاقد. (Abu Hamed et al., 2018, 157-158).

وعلى الرغم من المزايا المتعددة، تواجه تقنية التحويل الكهروضوئي تحديات تتعلق بالتقلبات الجوية مثل الغيوم والظلال التي تؤثر سلبا على الإنتاجية، بالإضافة إلى ارتفاع تكاليف التركيب والتطوير في بعض المناطق خاصة تلك ذات الموارد المالية المحدودة، فإن التحسين المستمر في تكنولوجيا الخلايا وتحسين استراتيجيات التصنيع إلى جانب الاعتماد على أنظمة التخزين المتطورة تفتح آفاقا واعدة لتعزيز الاعتماد على الطاقة الشمسية كمصدر رئيسي ومستدام للطاقة الكهربائية مع تقليل التأثيرات البيئية وتحقيق التنمية الاقتصادية المستدامة. (أبو زيد،2019، 4-3).

٢. تحويل الطاقة الحرارية الشمسية

يعد تحويل الطاقة الحرارية الشمسية من أهم العمليات التي تسمح باستثمار الطاقة الشمسية بطريقة فعالة ومتنوعة، حيث تعتمد على استغلال الأشعة الشمسية المباشرة لتحويلها إلى طاقة حرارية تستخدم في توليد الطاقة الكهربائية أو في تطبيقات متنوعة أخرى. ويتم ذلك عبر أنظمة متعددة تعتمد على مبدأ تجميع وتركيز الأشعة الشمسية لتحويلها إلى حرارة عالية يمكن استخدامها عبر تقنيات مختلفة. (الزهراني، 2017، 100-89).

ومن بين التقنيات الأكثر شيوعا في هذا المجال، تعتبر أنظمة الأطباق المركزية والمجمعات الشمسية المركزة من الأنظمة التي تعتمد على تقنية التركيز، حيث تستخدم عدسات أو مرايا كبيرة لتركيز الأشعة على سطح استقبال صغير مما يؤدي إلى رفع درجة الحرارة بشكل كبير ويستخدم في ذلك مركبات تعتمد على التشغيل الحراري المباشر أو على مبدأ التوصيل الحراري لاستخلاص الحرارة، وتستخدم هذه الأنظمة عادة في عمليات صناعية تحتاج إلى حرارة عالية مثل إنتاج البخار، والتقطير، والمعالجة الصناعية.

أما أنظمة Exceptions الموزعة، فهي تتضمن وحدات بسيطة تعتمد على مبدأ امتصاص الأشعة الشمسية وتسخين سائل مانح للحرارة، ليستخدم بعدها في العمليات الحرارية أو تجميع المياه الساخنة. وتعتبر هذه الأنظمة مرنة من حيث التركيب والتكلفة وتستخدم بشكل واسع في التطبيقات الحضرية والمنزلية لأغراض تسخين المياه والتدفئة.(Martorelli **et al., 2017**,130).

علاوة على ذلك، يلعب اختيار المواد المستخدمة في مكونات أنظمة التحويل دورا حاسما في كفاءة الأداء، حيث يراعي فيها خصائص الامتصاص والتوصيل الحراري والمتانة. كما ان تقنيات التتبع المتقدمة تساهم في زيادة كمية الاشعة الممتصة، وبالتالي رفع كفاءة التحويل الحراري.

وعلى الرغم من الفوائد الكبيرة التي توفرها تقنيات تحويل الطاقة الحرارية الشمسية، إلا أنها لا تخلو من تحديات تتعلق بكفاءة الأداء في ظروف جوية غير مستقرة وارتفاع تكاليف الاستثمار الأولية والحاجة إلى أنظمة تخزين فعالة لضمان استمرارية الإمدادات. لذا يتطلب تطوير المستدام لهذه التقنية مزيدا من البحث والتطوير، خاصة فيما يخص تحسين المواد وتقنيات التركيز وتحسين أنظمة التخزين الحراري(Benjumea Trigueros, 2018)

رابعاً: مكونات أنظمة الطاقة الشمسية

تتكون أنظمة الطاقة الشمسية من مكونات رئيسية تتكامل لتحقيق كفاءة عالية في استغلال الموارد الشمسية. ومن أهم هذه المكونات الألواح الشمسية الكهروضوئية التي تعد العنصر الأساسي في تحويل الإشعاع الشمسي إلى طاقة كهربائية. تتألف هذه الألواح من شرائح رقيقة من المواد النصف الموصلة مثل السليكون التي تنشئ خلية كهر وحرارية عند تعرضها للضوء، وتعتمد كفاءتها على نوع المادة المستخدمة وتصميم الخلية حيث تخضع لعمليات تحسين مستمرة لزيادة إنتاجية الطاقة.

أما محطات الطاقة الشمسية المركزة، فهي أنظمة تستخدم مرايا أو عدسات لتركيز الأشعة الشمسية على مستقبلات عالية التركيز، تحول بدورها الطاقة الشمسية إلى حرارة عالية ثم تستخدم لتوليد الكهرباء عبر محطات توليد حرارية. تتطلب هذه الأنظمة بنية تحتية متقدمة وموقعا واسعا لتوجيه وترتيب المرايا بشكل يتوافق مع حركة الشمس، مما يعزز من كفاءتها ويقلل من التكاليف على المدى الطويل. ((**Guerra et al., 2018, 3-4**)

بالإضافة إلى ذلك، تتضمن أنظمة الطاقة الشمسية عناصر التخزين والتوزيع سواء كانت أنظمة تخزين طاقة تعتمد على البطاريات أو تقنيات تخزين حرارية لضمان استمرارية التغذية الكهربائية حتى في غياب أشعة الشمس. وكل مكون من مكونات أنظمة الطاقة الشمسية يخضع لمعايير محددة لضمان الأداء الأمثل مع التركيز على مقاومة الظروف المناخية والتقنيات الحديثة التي تسهم في تحسين الكفاءة وتقليل الكلف. ويتداخل هذه المكونات وتنسيقها بشكل دقيق هو الذي يمكن هذه الأنظمة من العمل بكفاءة وموثوقية عالية مع تقليل البصمة البيئية وتحقيق الاستدامة على المدى الطويل **(Sanchez Hernandez ,2018, 5-6).**

خامساً: كفاءة الطاقة الشمسية وعوامل التأثير

تعد كفاءة استغلال الطاقة الشمسية من العوامل الأساسية التي تؤثر بشكل مباشر على جدوى ونجاح تطبيقاتها، إذ تتأثر الكفاءة بعدة عوامل منها الظروف الجوية كحدة السطوح الشمسي ودرجة الحرارة والغيوم والأمطار التي تؤدي إلى تشتت وانخفاض كمية الأشعة الساقطة على السطوح الكهروضوئية. كما تلعب العوامل الجيومترية دورا هاما، حيث يتوجب اختيار الموقع المناسب لتوجيه الألواح واستغلال الزاوية المثلى لاستقبال الأشعة الشمسية، خاصة في المناطق ذات الحركة الشمسية غير المتوازنة على مدار العام.

بالإضافة إلى ذلك، تؤثر خصائص المواد المستخدمة في تصنيع الألواح على كفاءتها حيث تسعى الأبحاث إلى تطوير مواد ذات قدرات عالية على امتصاص الأشعة وتحويلها بكفاءة أكبر. من جانب آخر، تلعب التقنيات المعتمدة دورا محوريا، فالتقنيات الحديثة مثل الألواح ذات الكفاءة العالية والطاقة الشمسية المركزة تساعد على تحسين الأداء في ظروف متنوعة، إلا أن تكلفة هذه التقنيات تعتبر تحديا ماليا أحيانا، مما يتطلب تقديم حوافز ودعم حكومي لتعزيز استخدامها (**السعيد، ٢٠٢١**, 50-62) .

وعوامل تشغيلية أخرى تشمل الصيانة الدورية ونظافة الألواح والمهارات الفنية في التركيب، حيث أن سوء الصيانة أو التركيب غير الصحيح قد يقلل بشكل كبير من الكفاءة التشغيلية. كما أن التقدم في نظم التخزين مثل البطاريات يساهم في تحسين كفاءة الاستخدام من خلال تمكين استثمار الطاقة الشمسية بشكل أكثر استدامة ومرونة خاصة أثناء انخفاض الأشعة أو اللجوء إلى الاستخدام الليلي.

بجانب ذلك، يعكس التحسين المستمر في تصميم أنظمة التوجيه والمراقبة الديناميكية التزاما بإعطاء الأداء الأمثل مع تقليل الخسائر الناجمة عن الانعكاسات والظروف المناخية، مما يعزز من مردود أنظمة الطاقة الشمسية ويزيد من فعاليتها الاقتصادية والبيئية. وبالتالي، فإن تحقيق أعلى مستويات الكفاءة يتطلب تكاملا بين اختيار المواد والتقنيات الحديثة والاستعداد الفني مع مراعاة العوامل الجغرافية والمتغيرات المناخية لضمان استفادة أكبر قدر ممكن من الطاقة الشمسية المستدامة (**المهيدب، ٢٠١٨**، ٤٥-٥٨).

الدراسات السابقة:

١. دراسة (Wu et al., 2025)

Residential solar photovoltaic adoption: An in-depth review on potential, main barriers and related incentives.

هدفت هذه الدراسة إلى تقديم مراجعة تحليلية شاملة تتعلق بتبني أنظمة الطاقة الشمسية الكهروضوئية في القطاع السكني، وقد ركزت المراجعة على تحليل الإمكانات المتاحة لتبني هذه الأنظمة، بالإضافة إلى العوائق المختلفة التي تواجه انتشارها، مثل العوائق الاقتصادية، التقنية، المؤسسية، واجتماعية، كما تناولت السياسات والحوافز الحكومية التي يمكن أن تساهم في تقليل هذه العوائق.

وتفترض الدراسة بوجود علاقة سلبية ذات دلالة إحصائية بين ارتفاع التكاليف الأولية لتركيب أو تبني أنظمة الطاقة الشمسية السكنية وبين معدل تبنيها من قبل الأسر وأيضا توجد علاقة إيجابية ذات دلالة إحصائية بين توفر الحوافز والسياسات الحكومية الداعمة (الإعانات، الخصومات، التمويل) وبين زيادة اعتماد الطاقة الشمسية في الوحدات السكنية.

أهم ما توصلت إليه الدراسة، إن التكلفة الأولية المرتفعة ونقص المعرفة التقنية تمثلان العائقين الأكثر تأثيرًا في إعاقة انتشار أنظمة الطاقة الشمسية السكنية، حتى في الدول التي تمتلك إمكانات هائلة للطاقة الشمسية وأن السياسات التحفيزية والدعم المؤسسي الواضح يشكلان دورًا رئيسيًا في تسريع عملية تبني الطاقة الشمسية، إلى جانب تأثيرات الاجتماعية والانتشار التكنولوجي بين الأسر.

٢. دراسة (AL- Mohawesh et al ,2022)

Potential of Solar Energy in Erbil City, Iraq. Renewable Energy

هدفت هذه الدراسة إلى تقييم الإمكانات التقنية والاقتصادية والجغرافية للطاقة الشمسية في مدينة أربيل باستخدام أدوات وبيانات الأقمار الصناعية لتحليل الإشعاع الشمسي ومساحات الأسطح السكنية والتجارية القابلة للتركيب. اعتمدت الدراسة على بيانات طويلة الأمد (١٩٩٤-٢٠١٨) من مصادر مثلNASA POWER ، لتقدير الإنتاج السنوي المحتمل الذي يصل إلى ٢,٥ جيجاواط ساعة من الأسطح السكنية وحدها، مع إمكانية تقليل فواتير الكهرباء بنسبة تصل إلى ٤٠٪. مع التركيز على مساحات الأسطح السكنية القابلة للتركيب، دون الخوض في سلوكيات المستخدمين وتستند الفرضية بأن مدينة أربيل تمتلك إشعاعًا شمسيًا مرتفعًا يكفي لتغطية نسبة كبيرة من الطلب السكني، ويساهم تركيب الألواح على الأسطح في خفض التكاليف وتخفيف الضغط على الشبكة الكهربائية

وقدرت الدراسة الإمكانية السنوية للطاقة الشمسية في أربيل بحوالي ٤,٢ جيجاواط ساعة، مع تركيز خاص على القطاع السكني الذي يشكل (٦٠٪ من الإنتاج المحتمل).

ووجدت الدراسة أن الاعتماد على الطاقة الشمسية يساهم في تقليل الضغط على الشبكة الكهربائية وتحقيق توفير اقتصادي طويل الأمد.
وتتميز عن دراستنا بأنها تعتمد على تقديرات كمية باستخدام بيانات تاريخية، دون الأخذ بعين الاعتبار البيانات الميدانية من مستخدمين حقيقيين، بينما دراستنا الحالية بعنوان (تحليل أثر استخدام الطاقة الشمسية في الوحدات السكنية لمدينة أربيل: دراسة تطبيقية لعام 2025 تهدف إلى سد هذه الفجوة من خلال استخدام استبيانات محلية تعكس التأثيرات الفعلية للمستخدمين في عام 2025، مما يوفر رؤى تطبيقية مباشرة.

٣. دراسة (Vaziri, 2024)

Solar Energy in Kurdistan, Iraq: A Comprehensive Review of Economic and Environmental Implications, Policies, and Advancements

تهدف الدراسة إلى تقديم تقييم شامل لانتشار الطاقة الشمسية في إقليم كردستان العراق، من خلال تحليل المصادر التجريبية والأدبيات المتاحة. تركز الدراسة على السياسات الحكومية والإمكانات الشمسية الطبيعية في الإقليم، مع الإشارة إلى قدرة الطاقة الشمسية على تقليل الاعتماد على الوقود الأحفوري، بالإضافة إلى التطبيقات المحتملة في القطاع السكني، ويشكل توافر الإشعاع الشمسي المرتفع في إقليم كردستان قاعدة اقتصادية ملائمة لتوسيع استخدام الطاقة الشمسية. ويحد غياب السياسات التحفيزية الكافية من الانتشار الواسع للطاقة الشمسية عبر القطاعات المختلفة. إذ توصلت الدراسه بأن إقليم كردستان العراق تمتلك إمكانات شمسية كبيرة غير مستغلة، حيث يصل المتوسط إلى ٤,٩٤ كيلوواط ساعة/م²/يوم، مع وجود ما يصل إلى ٨,١٦ ساعة شمس يوميًا.
ويمكن للطاقة الشمسية أن تخفض تكاليف الكهرباء والانبعاثات البيئية على المدى المتوسط والطويل، مما يعزز الأمن الطاقي والنمو الاقتصادي مع تقليل الاعتماد على النفط والغاز. رغم هذه الإمكانات، تبقى القدرة الشمسية المثبتة في الإقليم ضئيلة، حيث تبلغ حوالي ٥٠٠ كيلوواط من المبادرات الخاصة، بسبب أولويات القائمة على الوقود الأحفوري والقيود المالية.
وتتميز هذه الدراسة عن دراستنا بأنها تقدم مراجعة عامة على مستوى إقليم كوردستان بشكل كامل، على عكس الدراسات التطبيقية المركزة على الوحدات السكنية في أربيل التي تحلل الآثار الاقتصادية والاجتماعية المباشرة لاستخدام الطاقة الشمسية في تلك المنطقة.

٤. دراسة (عزيز، 2017)

استثمار الطاقة الشمسية في العراق: تشخيص المقومات والمعوقات

تناولت هذه الدراسة استثمار الطاقة الشمسية في العراق، بهدف تشخيص المقومات المتاحة والمعوقات التي تحد من توسع هذا القطاع، في ظل التحديات بالطاقة التقليدية والطلب المتزايد على مصادر طاقة مستدامة. اعتمدت الدراسة على المنهج التحليلي الوصفي، مدعومًا ببيانات قطاع الطاقة، وتحليل البنية التحتية، بالإضافة إلى المؤشرات الاقتصادية والبيئية، مع التركيز على الإشعاع الشمسي مقابل العوائق التنظيمية والمالية والتقنية. كما ناقشت الدراسة العوامل الاقتصادية والتنظيمية في القطاع السكني.
وتتوفر مقومات طبيعية كافية للاستثمار الواسع في الطاقة الشمسية، و تعيق المعوقات الاقتصادية والتنظيمية الانتشار الواسع للطاقة الشمسية.
وتؤكد الدراسة على الإمكانات الطبيعية الكبيرة للعراق في مجال اللطاقة الشمسية، ولكنها أشارت إلى أن ضعف السياسات والإطار التشريعي، بالإضافة إلى نقص التمويل والوعي الاستثماري، يقف حائلاً أمام التقدم في هذا المجال، وأوصت الدراسة بسياسات حكومية واضحة لتحسين البيئة الاستثمارية، وتفعيل دور القطاع الخاص في تطوير هذا القطاع.

٥. دراسة (Barzanchi et al. 2020)

Solar Power for households in Iraq

تهدف هذه الدراسة إلى تقييم إمكانية استخدام الطاقة الشمسية في الوحدات السكنية العراقية، في ظل محدودية الإنتاج الكهربائي الحالي. كما تهدف إلى توفير إطار مرجعي للمقارنة مع الدراسات التطبيقية الأخرى، ودعم الجانب النظري من خلال تحليل الفجوة البحثية. واعتمدت الدراسة على المنهج الوصفي التحليلي، حيث تم جمع البيانات حول استهلاك الكهرباء المنزلي والإشعاع الشمسي، وتحليل الإمكانيات الفنية والبيئية للألواح الشمسية، مع تقييم أثر استخدامها على تقليل الاعتماد على الشبكة الكهربائية التقليدية وتقليل الانبعاثات البيئية فالاعتماد على الطاقة الشمسية يحد من الانبعاثات البيئية الضارة.
وأظهرت الدراسة أن الطاقة الشمسية تمثل خيارًا عمليًا وقابلاً للتطبيق لتوليد الكهرباء في المنازل العراقية، خاصة في المناطق التي تعاني من نقص الإمداد الكهربائي.
وأكدت الدراسة أن الاعتماد على الطاقة الشمسية يعزز الاستدامة البيئية ويحسن كفاءة استهلاك الطاقة من خلال تقليل الانبعاثات الناتجة عن الوقود الأحفوري.

المحور الثاني: قياس وتحليل أثر استخدام الطاقة الشمسية في الوحدات السكنية لمدينة أربيل

يهدف هذا المحور إلى قياس وتحليل أثر استخدام الطاقة الشمسية في الوحدات السكنية بمدينة أربيل لعام (٢٠٢٥). ولتحقيق هذا الهدف، اعتمدت الدراسة على منهجية ميدانية تمثلت في استخدام استمارة استبيان جرى توزيعها على عينة عشوائية مكونة من (٢٢٧) أسرة من سكان مدينة اربيل.

وقد تم تحليل البيانات باستخدام نموذج الانحدار اللوجستي (Logistic Regression Model)، وذلك لتقدير مجموعة من المتغيرات المستقلة في احتمالية تبني واستخدام أنظمة الطاقة الشمسية في الوحدات السكنية. كما تم تقسيم هذا المحور إلى عدة فقرات أساسية لتناول الجوانب المختلفة لموضوع الدراسة، وذلك على النحو الآتي.

أولاً: الصياغة القياسية للنموذج المقدر

يمكن صياغة النموذج القياسي للدراسة على النحو الآتي:

$$Y_i = B_0 + B_1 X_{1_i} - B_2 X_{2_i} + B_3 X_{3_i} + B_4 X_{4_i} + B_5 X_{5_i} - B_6 X_{6_i} + U_i \ldots\ldots$$

حيث ان:

Y= يمثل المتغير التابع، والذي يأخذ قيمة (٠) للأسر التي لا تستخدم الطاقة الشمسية، ويأخذ القيمة (١) للأسر التي تستخدم الطاقة الشمسية.

X_1= الانفاق الشهري على المولدة، مقاساً بالدينار العراقي.

X_2= الانفاق على صيانة نظام الطاقة الشمسية، مقاساً بالدينار العراقي.

X_3= قدرة انتاج الطاقة الشمسية، مقاسة بالامبير.

X_4 = التغير في الانفاق ضمن قائمة الكهرباء الشهرية.

X_5 = تاثير استخدام الطاقة الشمسية على مستوى الراحة داخل المنزل.

X_6 = المشكلات التي تواجه استخدام أنظمة الطاقة الشمسية.

i = عدد المشاهدات (الأسر المشمولة في العينة).

U_i = يمثل حد الخطأ العشوائي في النموذج المقدر.

ثانياً: تقدير وتفسير النموذج

توجد العديد من النماذج التي يمكن استخدامها لتحليل البيانات المقطعية، بما في ذلك البيانات المستخلصة من استمارة الاستبيان، مثل نماذج (OLS , Extreme Value , Logit)، وقد تم اختيار نموذج **(Logit)**، نظراً لما يقدمه من نتائج أفضل من حيث الاختبارات الاقتصادية والإحصائية والقياسية. وقد وردت النتائج كما هو موضح في الجدول (١).

جدول (١): النتائج المقدرة للنموذج اللوجستي ثنائي الاستجابة

Variable المتغيرات التوضيحية	B	S.E.	Wald	Df	Sig.	VIF
Constant	13.439	4.212	10.181	1	0.001	
X_1	3.904	3.783	5.618	1	0.041	1.154
X_2	-2.785	2.081	7.704	1	0.005	1.522
X_3	0.041	0.042	0.968	1	0.325	1.414
X_4	1.486	0.637	5.554	1	0.020	1.062
X_5	2.733	0.944	8.378	1	0.003	1.130
X_6	-1.910	0.982	3.776	1	.050٠	1.723
McFadden R-squared			0.4009			
LR statistic			44.299			
Prob (LR statistic)			0.0000			

المصدر: تم اعداد الجدول بالاعتماد على البيانات الاولية للدراسة وباستخدام برنامجي (SPSS 19) و (12 EViews).

تفسير قيم معملات المتغيرات التوضيحية المقدرة

- **الانفاق الشهري على المولدة (X_1) :** تشير النتائج الواردة في الجدول (١) إلى وجود أثر إيجابي ومعنوي للإنفاق الشهري على المولدة في زيادة احتمالية استخدام الطاقة الشمسية. إذ تظهر القيمة البالغة نحو (3.904). أن كل زيادة وحدة واحدة في الانفاق الشهري على المولدة إلى زيادة احتمال الأسر على الطاقة الشمسية بما يقارب أربع مرات. ويشير هذا الأثر على أن الارتفاع المستمر في كلفة الكهرباء التقليدية، ولاسيما الاعتماد على المولدات الأهلية، بالإضافة إلى نظام الكهرباء المستمر لـ (٢٤) ساعة، يشكل دافعاً اقتصادياً رئيسياً للأسر في مدينة اربيل للتوجه نحو مصادر طاقة بديلة وأكثر استدامة. كما تشير هذه النتيجة إلى أن الطاقة الشمسية تنظر إليها كخيار استثماري طويل الأجل حيث يساهم في تقليل النفقات الشهرية، ويحد من تقلبات أسعار الكهرباء غير المستقرة، فضلاً عن تحسين موثوقية الحصول على الطاقة الكهربائية.

- **الانفاق على صيانة الطاقة الشمسية (X_2) :** تظهر النتائج الواردة في الجدول (١) أن الإنفاق على صيانة أنظمة الطاقة الشمسية له أثر سلبي على احتمالية استخدامها. إذ يشير هذا الأثر العكسي إلى أن ارتفاع تكاليف الصيانة يقلل من ميل الأسر إلى اعتماد الطاقة الشمسية، الأمر الذي يعكس حساسية المستهلكين في مدينة اربيل تجاه التكاليف التشغيلية المستمرة. وعلى الرغم من المزايا الاقتصادية طويلة الاجل للطاقة الشمسية، فإن الأعباء المالية المرتبطة بالصيانة الدورية، مثل استبدال البطاريات أو إصلاح الألواح والملحقات، قد تعد عاملاً مثبطاً لقرار التبني، لا سيما لدى الأسر ذات الدخل المحدود. وتدل هذه النتيجة على أن نجاح سياسات التوسع في استخدام الطاقة الشمسية لا يعتمد فقط على تقليل كلفة التركيب الأولية، بل يتطلب أيضاً توفير خدمات صيانة ميسورة التكلفة، وضمانات فنية، ودعم حكومي أو مؤسسي يخفف من الأعباء التشغيلية على المستخدمين.
- **قدرة انتاج الطاقة الشمسية (X_3) :** تشير النتائج الواردة في الجدول (١) إلى وجود علاقة طردية بين قدرة إنتاج الطاقة الشمسية واحتمالية استخدمها، إلا أن هذه العلاقة غير معنوية إحصائياً. ويعكس ذلك أن زيادة القدرة الإنتاجية للأنظمة الشمسية لا تمثل عاملاً حاسماً في قرار تبني الطاقة الشمسية لدى المستجيبين في مدينة اربيل. ويمكن تفسير هذه النتيجة بأن غالبية الأنظمة الشمسية المستخدمة تتمتع بقدرات إنتاجية متقاربة نسبياً، الأمر الذي يقلل من تأثير هذا المتغير في التمييز بين المستخدمين وغير المستخدمين. كما يحتمل أن يركز الأفراد عند اتخاذ قرار الاستخدام على الجوانب الاقتصادية والعملية، مثل كلفة التركيب والتشغيل وسهولة الاستخدام واستقرار التجهيز الكهربائي، أكثر من تركيزهم على الخصائص الفنية البحتة للنظام. وتشير هذه النتيجة إلى وجود فجوة معرفية محتملة لدى المستهلكين حول أهمية القدرة الانتاجية ودورها في تلبية الاحتياجات الكهربائية المستقبلية، مما يستدعي تعزيز الوعي الفني عند الترويج لأنظمة الطاقة الشمسية.
- **تغير الانفاق في قائمة الكهرباء الشهرية (X_4):** وفقاً للنتائج المتحصل عليها في الجدول (١)، يتضح أن لتغير الإنفاق في قائمة الكهرباء الشهرية أثراً إيجابياً في احتمالية استخدام الطاقة الشمسية، إذ كلما ازداد الانخفاض في القائمة، ارتفعت احتمالية استخدام الأسر للطاقة الشمسية. ويعكس هذا الأثر إدراك المستجيبين للجدوى الاقتصادية المباشرة التي تحققها أنظمة الطاقة الشمسية من خلال تقليل النفقات الشهرية المستمرة على الكهرباء. كما تشير هذه النتيجة إلى أن قرار تبني الطاقة الشمسية في مدينة اربيل يبنى بدرجة كبيرة على العوائد المالية الملموسة قصيرة ومتوسطة الأجل، وليس فقط على الاعتبارات البيئية أو الفنية. وتؤكد هذه النتيجة أن تحقيق وفر مالي واضح في فواتير الكهرباء يعد من أهم المحفزات التي تشجع الأسر على التحول نحو الطاقة الشمسية، مما يعزز دورها كبديل اقتصادي فعال للكهرباء التقليدية.
- **تاثير الطاقة الشمسية على الراحة بالمنزل (X_5):** تشير النتائج الواردة في الجدول (١) إلى أن لتأثير الطاقة الشمسية على مستوى الراحة في المنزل أثراً إيجابياً في احتمالية استخدامها. إذ ان ارتفاع الاحساس بالراحة المنزلية يؤدي إلى زيادة ميلها لاعتماد الطاقة الشمسية كمصدر رئيسي أو مكمل للكهرباء. ويعزى ذلك إلى ما توفره أنظمة الطاقة الشمسية من استمرارية في التيار الكهربائي، وتقليل الاعتماد على المولدات الأهلية، وما يصاحبها من ضوضاء وانبعاثات مزعجة. كما تعكس هذه النتيجة أهمية العوامل الاجتماعية والنفسية، إلى جانب العوامل الاقتصادية، في تفسير سلوك الأسر تجاه تبني الطاقة الشمسية في مدينة اربيل. ويعد تحسن جودة الحياة داخل المنزل، من حيث الهدوء والاستقرار الكهربائي، من أبرز المحفزات غير المادية التي تشجع على التوسع في استخدام الطاقة الشمسية.
- **المشاكل التي تواجه الطاقة الشمسية (X_6):** يتضح من النتائج الواردة في الجدول (١) أن للمشاكل التي تواجه أنظمة الطاقة الشمسية أثراً سلبياً في احتمالية استخدامها. فكلما ازدادت المشكلات التقنية أو التشغيلية، مثل الأعطال الفنية، أو ضعف كفاءة بعض المكونات، أو صعوبة الصيانة، انخفضت رغبة الأسر في اعتماد الطاقة الشمسية. وتشير هذه النتيجة على أن وجود تحديات عملية مستمرة تشكل عائقاً حقيقياً أمام انتشار هذه التقنية في مدينة اربيل، وضمانات موثوقة، باعتبارها عوامل أساسية لتعزيز ثقة المستهلكين وتشجيعهم على استخدام الطاقة الشمسية على المدى الطويل. وتشير هذه النتيجة إلى أن نجاح مشاريع الطاقة الشمسية لا يعتمد فقط على توفر التكنولوجيا، بل يرتبط أيضاً بجودة البنية التحتية الخدمية الداعمة لها.

ثالثاً: تقييم النموذج المقدر وفقاً للمعايير الإحصائية

١- معايير جودة التوفيق للنموذج المقدر (McFadden)

لتقييم جودة التوفيق للنموذج المقدر، يمكن الاعتماد على مؤشر (McFadden) أي (McF)، والذي يعرف أيضاً بـ (R_L^2). يتضح من الجدول (١) أن قيمة هذا المؤشر بلغت (٠,٤٠٠٩)، مما يشير إلى أن حوالي (٤٠%) من التغيرات في المتغير التابع يمكن تفسيرها بالتغيرات الحاصلة في المتغيرات التوضيحية المدرجة في النموذج، بينما تعود بقية التغيرات في المتغير التابع إلى مجموعة من العوامل غير المدرجة في النموذج المقدر.

٢- اختبار (LR statistic)

يقابل هذا الاختبار اختبار (F) في نموذج الإنحدار الخطي، ويستخدم اختبار (LR) لمعرفة المعنوية الإحصائية للنموذج اللوجستي المقدر حيث يتم خلاله اختبار فرضية العدم (H_0)، التي تنص على أن جميع معلمات المتغيرات التوضيحية تساوي صفراً، مقابل الفرضية البديلة (H_1)، التي تنص على أن قيمة أحد المعاملات تختلف عن الصفر.

يتضح من الجدول (١) أن قيمة إحصاءة (LR) بلغت (٤٤,٢٩٩) عند مستوى معنوية (1%)، وهو ما يتضح بدلالة قيمة P.value والبالغة (٠,٠٠٠٠) وهي أقل من (٠,٠١)، وبناءً عليه، يتم رفض فرضية العدم التي تنص على أن جميع معلمات المتغيرات التوضيحية تساوي صفراً، أي أنه لا تأثير لهذه المتغيرات على المتغير التابع (Y)، ويقبل الفرضية البديلة التي تشير إلى أن على الأقل إحدى معلمات المتغيرات التوضيحية مختلفة عن الصفر ولها تاثير معنوي على (Y).

٣- اختبار هوسمر وليمشو (Hosmer and Lemeshow Test)

يتضح من الجدول (٢) أن قيمة مربع كاي لاختبار هوسمر وليمشو بلغت (٨,٦٨١) عند درجة حرية (٨) ومستوى معنوية (٠,٣٦٩)، ويشير هذا إلى قبول فرضية العدم (H_0)، التي تنص على أن النموذج المقدر متوافق مع البيانات المشاهدة، ورفض الفرضية البديلة (H_1)، التي تنص على أن النموذج غير مطابق للبيانات. ونظراً لان مستوى المعنوية أكبر من (٠,٠٥)، يمكن الاستنتاج بأن النموذج اللوجستي المقدر يتوافق مع البيانات المشاهدة.

جدول (٢): اختبار هوسمر- ليمشو لجودة التوفيق

Chi-Square	Df	Prob.
8.691	8	.369

المصدر: تم اعداد الجدول بالاعتماد على البيانات الاولية للدراسة وباستخدام البرنامج (SPSS 19) .

٤- اختبار معنوية تأثير المتغيرات التوضيحية (اختبار Wald)

تم إجراء اختبار (Wald) لمعاملات المتغيرات المدرجة في النموذج المقدر، كما هو موضح في الجدول (١). وأظهرت النتائج أن جميع المتغيرات التوضيحية لها تأثير معنوي عند مستوى (5%)، باستثناء المتغير (X_3)، الذي لم يظهر تأثيراً معنوياً على المتغير التابع.

ويجدر بالذكر ان إشارة معامل (X_3) تتوافق مع النظرية الاقتصادية، مما يشير إلى أن العلاقة المتوقعة بين هذا المتغير والمتغير التابع صحيحة من الناحية النظرية، رغم عدم تحقيقها دلالة إحصائية له تأثير معنوي في قيم المتغير التابع، ولكن إشارة معامله متوافقة مع النظرية الاقتصادية.

رابعاً: الاختبارات القياسية

نظراً لأن النموذج المقدر هو النموذج اللوجستي ويقدر باستخدام طريقة الإمكان الأعظم (*Maximum Likelihood - ML*)، فإن هذه الطريقة لا تفترض تجانس تباين القيم العشوائية، وهو ما يتوافق مع طبيعة البيانات الفعلية التي غالباً ما تكون غير متجانسة. لذلك لا يلزم إجراء اختبار للتحقق من عدم تجانس التباين (*Heteroscedasticity*) في قيم حد الخطأ للنموذج.

كما أن النماذج اللوجستية لا تتطلب اختبار الارتباط الذاتي (*Autocorrelation*) لقيم حد الخطأ، لأن فرضية عدم وجود ارتباط ذاتي ليست من ضمن الفرضيات الأساسية لنموذج الانحدار اللوجستي.

بالنسبة لاختبار الارتباط الخطي المتعدد (*Multicollinearity*)، فقد تم استخدام مؤشر عامل التضخم التباييني (VIF)، وأظهرت النتائج ان أدنى قيمة وأعلى قيمة للمؤشر لجميع المتغيرات التوضيحية المدرجة في النموذج تتراوح بين (١,٠-١,٧)، مما يشير إلى أن النموذج لا يعاني من مشكلة الارتباط الخطي المتعدد بين المتغيرات التوضيحية.

أولاً: الاستنتاجات

١- أظهرت نتائج الدراسة أن ارتفاع الإنفاق الشهري على الكهرباء التقليدية (المولدات الاهلية والحكومية) يعد من أهم العوامل الدافعة لاعتماد الطاقة الشمسية، مما يؤكد ان العبء المالي للكهرباء التقليدية يشكل حافزاً اقتصادياً قوياً للأسر للبحث عن بدائل أكثر كفاءة وأقل كلفة.

٢- بينت النتائج أن تكاليف صيانة أنظمة الطاقة الشمسية تؤثر سلباً في قرار استخدامها، الأمر الذي يدل على أن التكاليف التشغيلية المستمرة تمثل عائقاً حقيقياً أمام التوسع في تبني هذه التقنية، خصوصاً لدى الأسر ذات الدخل المحدود.

٣- أظهرت الدراسة أن قدرة إنتاج الطاقة الشمسية، رغم علاقتها الطردية باستخدامها، لم تكن ذات دلالة إحصائية، مما يشير إلى أن المستهلكين لا يعطون أهمية كبيرة للجوانب الفنية عند اتخاذ قرار الاستخدام، ويركزون بدرجة أكبر على الجوانب الاقتصادية والعملية.

٤- أكدت النتائج أن الانخفاض في قائمة الكهرباء الشهرية يعد من أبرز العوامل المشجعة على استخدام الطاقة الشمسية، إذ يدرك المستجيبون الجدوى الاقتصادية المباشرة الناتجة عن تقليل الانفاق الشهري على الكهرباء التقليدية.

٥- أظهرت الدراسة ان تحسن مستوى الراحة المنزلية من حيث استمرارية التيار الكهربائي وتقليل الضوضاء، يسهم بشكل ايجابي في زيادة احتمالية استخدام الطاقة الشمسية، مما يعكس أهمية العوامل الاجتماعية والنفسية في قرارات تبني مصادر الطاقة البديلة المستدامة.

٦- بينت النتائج ان المشاكل التقنية والتشغيلية المرتبطة بأنظمة الطاقة الشمسية تؤثر سلباً في استخدامها، مما يؤكد من احتمالية نقص الدعم الفني وخدمات ما بعد البيع يقلل من ثقة المستهلكين ويحد من انتشار هذه الانظمة.

ثانياً: المقترحات

١- ضرورة قيام الجهات الحكومية والمختصة في مدينة اربيل بوضع سياسات داعمة لتشجيع استخدام الطاقة الشمسية، من خلال حوافز مالية، أو تسهيلات في إجراءات التركيب.
٢- العمل على دعم خدمات الصيانة الفنية لأنظمة الطاقة الشمسية، سواء عبر تدريب كوادر محلية متخصصة او توفير مراكز صيانة معتمدة، بما يسهم في تقليل التكاليف التشغيلية على المستخدمين.
٣- تعزيز الوعي المجتمعي حول الفوائد الاقتصادية طويلة الاجل للطاقة الشمسية، مع التركيز على توضيح كلفة دورة الحياة الكاملة للنظام وليس فقط كلفة التركيب الاولية.
٤- تشجيع شركات وموردي انظمة الطاقة الشمسية على تقديم ضمانات اطول وخدمات ما بعد البيع موثوقة بما يعزز ثقة المستهلكين ويحد من المخاوف المتعلقة بالمشاكل التقنية.
٥- ادراج البعد الاجتماعي وجودة الحياة، مثل تحسين الراحة المنزلية وتقليل الضوضاء، ضمن حملات الترويج للطاقة الشمسية، إلى جانب التركيز التقليدي على الجوانب الاقتصادية.
٦- اقتراح اجراء دراسات مستقبلية تتناول متغيرات اخرى اضافية، واستخدام عينات اكبر لتعميم النتائج على نطاق اوسع.

المصادر

اولاً: المصادر العربية

١- أبو زيد، م.أ. (2019). تحديات الطاقة الشمسية في الدول النامية. مجلة البحوث والدراسات الأفريقية، جامعة القاهرة، 3 (1)
٢- روايقية، زهرة. (2019). تحسين كفاءة استخدام الطاقة من أجل التنمية المستدامة في الاقتصاديات العربية، أطروحة دكتوراه (غير منشورة)، جامعة 8 ماي 1945 قالمة، كلية العلوم الاقتصادية والتجارية وعلوم التسيير.
٣- الزهراني، ط. (2017). تحديات الطاقة الشمسية الحرارية في البلدان العربية. مجلة الدراسات البيئية 9 (1).
٤- السعيد، أ. (٢٠٢١) *تطوير* المواد المستخدمة في الألواح الشمسية لزيادة كفاءة التحويل .مجلة الأبحاث العلمية، ٢٢(٣)، 22(3), 45-68. (11.4.1, 1.4.4).
٥- الشاعر، ر.ح.ع.(2024) الطاقة المتجددة كإستراتيجية لتحقيق التنمية المستدامة في المملكة الأردنية الهاشمية. مجلة العلوم الإنسانية والطبيعية، 5 (7)، 477-501.
٦- عثمان زكي مبارك علي، (٢٠٢٢). تحسين عمل الخلايا الشمسية السيلكونية .مجلة العلوم الإنسانية والطبيعية، الإمارات، مكتب العين.
٧- عزيز، ط. أ. (2017). استثمار الطاقة الشمسية في العراق، المقومات والمعوقات، رسالة ماجستير (غير منشورة)، كلية الإدارة والاقتصاد، جامعة القادسية، الديوانية، العراق.
٨- عزيز، ع.س.، وحسين، ن.ع.، وعلي، أ.ح. (2022). تقويم تنفيذ إدارة الطاقة في شركة مصافي الوسط/ مصفى الدورة/ هيئة إنتاج الدهون وفق المواصفة ISO 50001:2018. مجلة الإدارة والاقتصاد، جامعة المستنصرية، 45(134), 112-130. (1.4.1, 1.1.2).
٩- علي، هـ.م.س.، وإبراهيم، ف.إ.ع. (٢٠٢٣). أثر استخدام الطاقة الجديدة والمتجددة في التحول إلى الاقتصاد الأخضر بالتطبيق على مصر. مجلة كلية الاقتصاد والعلوم السياسية، 24 (1)، 89-122.
١٠-المهيدب، س. (٢٠١٨) .تشغيل وصيانة أنظمة الطاقة الشمسية: التحديات والحلول .مجلة الطاقة المتجددة، ١٤(٢)، 115-138. (1.4.8, 1.4.1).

ثانياً: المصادر العربية مترجمة

1- Abu Zaid, M. A. (2019). Challenges of solar energy in developing countries. *Journal of African Research and Studies, Cairo University, 3*(1).
2- Ali, H. M. S., & Ibrahim, F. I. A. (2023). The impact of using new and renewable energy in the transition toward a green economy: An application to Egypt. *Journal of the Faculty of Economics and Political Science, 24*(1), 89–122.
3- Al-Muhaidib, S. (2018). Operation and maintenance of solar energy systems: Challenges and solutions. *Renewable Energy Journal, 14*(2), 115–138.
4- Al-Saeed, A. (2021). Development of materials used in solar panels to increase conversion efficiency. *Journal of Scientific Research, 22*(3), 45–68.
5- Al-Shaer, R. H. A. (2024). Renewable energy as a strategy for achieving sustainable development in the Hashemite Kingdom of Jordan. *Journal of Humanities and Natural Sciences, 5*(7), 477–501.
6- Al-Zahrani, T. (2017). Challenges of solar thermal energy in Arab countries. *Journal of Environmental Studies, 9*(1).
7- Aziz, A. S., Hussein, N. A., & Ali, A. H. (2022). Evaluation of the implementation of energy management in Midland Refineries Company / Dora Refinery / Fat Production Authority according to ISO 50001:2018. *Journal of Administration and Economics, Al-Mustansiriya University, 45*(134), 112–130.
8- Aziz, T. A. (2017). *Investment in solar energy in Iraq: Potentials and obstacles* (Unpublished master's thesis, College of Administration and Economics, University of Al-Qadisiyah, Diwaniyah, Iraq).
9- Othman Zaki Mubarak Ali. (2022). Improving the performance of silicon solar cells. *Journal of Humanities and Natural Sciences*. Al Ain Office, United Arab Emirates.
10- Rwaigiya, Z. (2019). *Improving energy efficiency for sustainable development in Arab economies* (Unpublished doctoral dissertation, University of 8 May 1945 Guelma, Faculty of Economic, Commercial and Management Sciences).

ثالثاً: المصادر الاجنبية

1- Abu Hamed, T., Adamovic, N., Aeberhard, U., Alonso-Alvarez, D., Amin-Akhlaghi, Z., Auf der Maur, M., and others. (2018). Multiscale in modelling and validation for solar photovoltaics.
2- AI-Saba, T., Zhang, L., &Wang, Y. (2025). Performance evaluation and economic analysis of rooftop photovoltaic systems in residential buildings: A global review. Energy and Buildings, 339, 115766.
3- Al-Mohawesh, O., AI-Aali, O., AI-Smairan, M., AI-Fugara, A., &AI-Ghzawi, M. (2022). Potential of Solar Energy in Erbil City, Iraq. Renewable Energy, 185, 120-135. Elsevier, Amsterdam, Netherlands.
4- **Benjumea Trigueros, F.J (2018).** Simulation de un sistema de energía solar térmica para la producción de vapor en un proceso industrial (Bachelor's thesis, Universidad de Sevilla).
5- Gokturk, A. O. (2018). Energy Storage Technologies in Photovoltaics Systems. In Progress in Solar Energy Technologies and Applications.
6- Guerra, N., Guevara, M., Palacios, C., & Crupi, F. (2018). Operation and physics of photovoltaic solar cells: An overview**. Revista de+D Tecnologico, 14**(2).
7- Guerra**, N., Guevara, M., Palacios, C., & Crupi, F. (2018).** Operation and physics of photovoltaic solar cells: An overview. Revista de i+D Technologico, 14(2).
8- **Guerra, N., Guevara, M., Palacios, C., & Crupi, F. (2018).** Operation and physics of photovoltaic solar cells: an overview. Revista de i+D Tecnologico, 14(2).
9- **Hasan, S. U. H. (2018).** Implementation of wireless monitoring system on the performance of 48V DC-DC boost converter in photovoltaic solar energy **[Master's thesis, Universiti Tun Hussein Onn Malaysia].**
10- Jimenez-Torres, M., Rus-Casas, C., Lemus-Zuniga, L G., and Hontoria, L. (2017). The Importance of accurate solar data for designing Solar Photovoltaic Systems- Case Studies in Spain. Sustainability, 9(2), 260.
11- Maradin, D. (2021). Advantages and Disadvantages of Renewable Energy Sources Utilization. International Journal of Energy Economics and Police, 11(3), University of Rijeka, Faculty of Economics and Business, Rijeka, Croatia.
12- Martorelli**, L., Panaroni, D., Álvarez Martini, C., Corujo, L., Abal Matos, M., Mujica, M., & Cervini, F. (2017).** Energía solar turcica de concentrations, technology efficient, substantiable y gestionable en la República Argentina. Informes Cientificos Tecnicos-UNPA, 9(3).
13- **Sánchez Hernández, R. (2018).** Application y dimensionamiento de equips de un-Sistema BESS en una central térmica. (Bachelor's thesis, Universidad de Sevilla).
14- Schulte, E., Scheller, F., Sloot, D., & Bruchner, T. (2022). Residential solar photovoltaic adoption: An in-depth review on potential, main barriers and related incentives. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 154, 111762.
15- Vaziri, R. (2024). Solar Energy in Kurdistan, Iraq: A Comprehensive Review of Economic and Environmental Implications, Policies, and Advancements. International Journal of Kurdish Studies, 10(1).
16- Wu, J., Zhang, Y., Zhu, L., &Li, H. (2025). Optimization of energy management strategies for integrated solar-storage systems. Journal of Cleaner Production,412.
17- Yasien Barzanchi, A. A., Kareem, S. A., &Bayati, N. M. H. (2020). Solar Power for Households in Iraq. Eurasian Journal of Science & Engineering, 6(2), 31.