OPEN ACCESS
Received: 20/07/2025
Accepted: 13/09/2025

مجلة الآداب

The Use of Solar Energy in Agricultural Activities in Dhamar Governorate: A Geographical Study

Dr. Moqbel Mohammed Ali Al-Hayyasi *

mokbel2@gmail.com

Abstract

This study examines the role of solar energy in supporting agricultural activities in Dhamar Governorate, where the high cost of conventional energy sources such as oil and electricity has hindered production and limited progress toward sustainable agricultural development. Using a descriptive analytical approach, the research investigates the extent of solar energy adoption, the factors influencing its spread, and its impact on agriculture. Findings reveal that the region benefits from an average of nine hours of sunshine daily and a solar radiation rate of 6 kW/m², highlighting its strong potential for solar applications. This potential is reflected in the widespread use of solar-powered irrigation pumps, particularly after the 2015 fuel and electricity crisis. The study concludes by proposing solutions to further promote solar energy use in agriculture, enhance sustainability, and safeguard groundwater resources.

Keywords: Solar Energy, Agricultural Development, Food Security, Solar Technologies, G Groundwater.

* Assistant Professor of Economic Geography, Department of Geography and Geographic Information Systems, Faculty of Arts, Dhamar University, Republic of Yemen.

Cite this article as: Al-Hayyasi, M. M. A. (2025). The Use of Solar Energy in Agricultural Activities in Dhamar Governorate: A Geographical Study, *Journal of Arts, 13*(4), 547 -573. https://doi.org/10.35696/joa.v13i4.2930

© This material is published under the license of Attribution 4.0 International (CC BY 4.0), which allows the user to copy and redistribute the material in any medium or format. It also allows adapting, transforming or adding to the material for any purpose, even commercially, as long as such modifications are highlighted and the material is credited to its author.

OPEN ACCESS
تاريخ الاستلام: 20/ 07/ 2025
تاريخ القبول:13/ 09/ 2025

مجلة الآداب

استخدام الأنشطة الزراعية للطاقة الشمسية في محافظة ذمار: دراسة جغرافية

د. مقبل محمد علي الحياسي*
mokbel2@gmail.com

الملخص:

يناقش البحث استخدام الأنشطة الزراعية للطاقة الشمسية في محافظة ذمار، التي تعاني من ارتفاع أسعار الطاقة التقليدية مثل النفط والكهرباء، الأمر الذي يؤثر سلبًا على الإنتاج الزراعي كمًّا ونوعًا، ويحد من الوصول إلى تنمية زراعية مستدامة تسد احتياجات السكان من الغذاء وتوسيع الرقعة المزروعة، ويهدف البحث إلى معرفة مدى استخدامات الطاقة الشمسية في التنمية الزراعية، والعوامل المؤثرة في انتشار استخدام التقنيات الشمسية، كما يسعى إلى تقييم آثارها الزراعية، وذلك باستخدام المنهج الوصفي التحليلي في جمع وتحليل البيانات، وخلص البحث إلى عدد من النتائج، أهمها: أن منطقة الدراسة تحظى بسطوع فعلي 9ساعات معدلًا سنويًا، وبمعدل إشعاع شمسي يبلغ 6 ك و/ م2، وهذا مؤشر قوي على القدرة الكبيرة لاستخدام الطاقة الشمسية في سد احتياج القطاع الزراعي من الطاقة، وقد أكد ذلك الانتشار الواسع لمضخات الري العاملة بالطاقة الشمسية في منطقة الدراسة، خاصة بعد أزمة الوقود والكهرباء عام 2015م، بالإضافة إلى اقتراح بعض المعالجات التي من شأنها تعزيز الاستفادة من الطاقة الشمسية في التنمية الزراعية المستدامة بالمحافظة، وعدم استنزاف المياه الجوفية.

الكلمات المفتاحية: الطاقة الشمسية، التنمية الزراعية، الأمن الغذائي، التقنيات الشمسية، المياه الجوفية.

* أستاذ الجغرافيا الاقتصادية المساعد، قسم الجغرافيا ونظم المعلومات الجغرافية، كلية الآداب، جامعة ذمار، الجمهورية اليمنية.

للاقتباس: الحياسي، م. م. ع. (2025). استخدام الأنشطة الزراعية للطاقة الشمسية في محافظة ذمار: دراسة جغرافية، *مجلة الآداب*، *13* (4)، 547- 573 https://doi.org/10.35696/joa.v13i4.2930

© نُشر هذا البحث وفقًا لشروط الرخصة Attribution 4.0 International (CC BY 4.0)، التي تسمح بنسخ البحث وتوزيعه ونقله بأي شكل من الأشكال، كما تسمح بتكييف البحث أو تحويله أو الإضافة إليه لأي غرض كان، بما في ذلك الأغراض التجارية، شريطة نسبة العمل إلى صاحبه مع بيان أي تعديلات أُجريت عليه.

المقدمة:

تشكل الطاقة إحدى الركائز التي تقوم عليها التنمية الاقتصادية والاجتماعية في أي بلد، فهي ركيزة أساسية من ركائز عجلة التنمية، فالتقدم الصناعي والزراعي والخدمي وغيرها تؤثر في زيادة الطلب على الطاقة، خصوصًا في ظل النمو السكاني المرتفع (إبراهيم، 2025، ص 65)، ذلك أن معيار ما يستهلكه الفرد من الطاقة يعد مقياسًا لمستوى التنمية في أي بلد، وعلى ذلك فقد حققت البلدان المتقدمة خلال القرن الماضي تنمية كبيرة، صاحبها ارتفاع كبير في نسبة التلوث بثاني أكسيد الكربون والكبريت وغيرهما، اللذين يعدان عنصرين فاعلين في وجود ظاهرة الانحباس الحراري؛ حين ارتكز استخدامها على المصادر الأحفورية وخاصة الفحم، لذا سعت كثير من البلدان للاستفادة من الطاقة المتجددة لسد جزء من متطلباتها من الطاقة مع الحفاظ على البيئة من التلوث، مثل: ألمانيا التي تعد أحد البلدان الرائدة في الاستفادة من الطاقة الشمسية، حيث غطت 20% من احتياجها من الطاقة عام 2018م، وتسعى إلى الوصول إلى تغطية (50%) من احتياجها من الطاقة عام 2050م (مسعودة، 2019، ص 1).

كما تحظى الأنشطة الزراعية بأهمية كبيرة في تلبية متطلبات المجتمع البشري من الغذاء إلا أنها تعاني من تأثرها بمصادر الطاقة المتوفرة خصوصًا الأحفورية مرتفعة التكاليف، ولذلك أصبح مورد الطاقة الشمسية في منطقة الدراسة موردا كامنا يمكن استغلاله اقتصاديًا خاصة في الأنشطة الزراعية ليسهم في تنميتها وتعدد فوائدها. حيث تتسم منطقة الدراسة باتساع وتنوع الأنشطة الزراعية فيها وتشغيل أكثر من نصف القوى العاملة لسكانها؛ خاصة مع بروز نمو ملحوظ لها في السنوات الأخيرة من خلال ارتفاع نسبة استغلالها للطاقة الشمسية كونها شبه مجانية فضلا عن التطور التقني لها. وقد عاودت الأنشطة الزراعية النمو بشكل ملحوظ خلال الخمس السنوات الماضية؛ نظرًا لتوجه المزارعين نحو الطاقة الشمسية؛ بسبب غياب أو ارتفاع تكاليف النفط والكهرباء التي تشغل الآلات الزراعية؛ نتيجة للعدوان على اليمن (الملصي، 2024، ص1)، وقد أدت التطورات التكنولوجية وانخفاض تكاليف الألواح الشمسية إلى زيادة جدوى الاستخدامات الزراعية للطاقة الشمسية التي لم تعد مجرد بديل بل أصبحت أداة إستراتيجية ساهمت في تحسن الإنتاج الزراعي بشكل ملموس.

كما ترتبط الأنشطة الزراعية والطاقة الشمسية في منطقة الدراسة بعلاقة تكامل متفاعلة نشطة متباينة نسبيا حسب حركة زمن فصول السنة والفصول الزراعية، ساعية لتحقيق أهداف تنموية غذائية زراعية متنوعة المحاصيل من حبوب وخضر وفواكه ومواشٍ حيوانية ودواجن ونحل وغيرها. وهي علاقة ذات روابط متعددة تتعدى الأنشطة الأخرى كالاقتصادية التجارية والخدمية؛ نتيجة لما تتمتع به منطقة الدراسة من مقومات زراعية متميزة وإشعاع شمسي مرتفع يصل إلى (6كيلوات /م2) تُمكن الأنشطة المذكورة من استغلالها بكفاءة عالية لتعزيز كفاءة الري، وتحسين إنتاجية المحاصيل، كما تخفض التكاليف المرتبطة بنظم الري التقليدية مع الحفاظ على الموارد الطبيعية، فالطاقة الشمسية هي البديل الأوفر اقتصاديًا والأكثر أمانًا في الحفاظ على البيئة.

أهمية البحث:

يعد استخدام الأنشطة الزراعية للطاقة الشمسية في الزراعة نهجًا علميًا متطورًا لفهم العلاقات بين الموارد الطبيعية والأنشطة البشرية، فهو يمثل تقاطعًا بين جغرافية الزراعة وجغرافية الطاقة، حيث يدرس العوامل المكانية المؤثرة في انتشار واستخدام التقنيات الشمسية في القطاع الزراعي، ويقيّم الآثار المترتبة على ذلك من النواحي الاقتصادية والبيئية والاجتماعية، كما حظي البحث بأهمية كبيرة؛ كونه يتناول موضوعين مترابطين أحدهما هو موضوع الطاقة الشمسية، باعتباره أحد أبرز مصادر الطاقة المتجددة التي يتزايد استخدامها بشكل تدريجي، أما الموضوع الآخر فهو التنمية الزراعية، بوصفها المصدر الرئيسي لغذاء معظم الكائنات الحية، والمتمثل في المحاصيل الزراعية، إضافة إلى قلة الأبحاث والدراسات العلمية المتخصصة حول هذا الموضوع في منطقة الدراسة.

مشكلة البحث:

تتمثل مشكلة البحث في الارتفاع المستمر للوقود التقليدي (النفط والكهرباء) في منطقة الدراسة، وما يترتب على ذلك من انعكاسات سلبية على القطاع الزراعي بمختلف منتجاته كمًا ونوعًا، ومن هنا تبرز الحاجة الملحة لمعرفة دور الطاقة الشمسية في الوصول إلى تنمية زراعية مستدامة، ولتحقيق ذلك يسعى البحث للإجابة على التساؤلات الآتية:

1- ما مدى استخدام الأنشطة الزراعية للطاقة الشمسية في منطقة الدراسة؟

2- هل الخصائص الجغرافية لمنطقة الدراسة تمكن الأنشطة الزراعية من استخدام الطاقة الشمسية المتوفرة فيها بنسبة مفيدة ترفع من تنميتها؟

3- ما هي معوقات استخدام الأنشطة الزراعية للطاقة الشمسية وسبل معالجتها في منطقة الدراسة؟

أهدف البحث:

يهدف البحث إلى التعرف على إمكانات استخدام الطاقة الشمسية في تحقيق التنمية الزراعية بمنطقة الدراسة، من خلال تناول المقومات الجغرافية المؤثرة في الطاقة الشمسية واستخدامها في الأنشطة الزراعية واستعراض أبرز استخدامات الطاقة الشمسية في الأنشطة الزراعية، مع توضيح أهم التحديات التي تحد من انتشارها، بغرض الوصول إلى نتائج يمكن من خلالها وضع المعالجات اللازمة التي تسهم في تعزيز دور الطاقة الشمسية كخيار إستراتيجي لتحقيق تنمية زراعية مستدامة، وضمان استمرارية الإنتاج الزراعي بكفاءة، وبتكلفة أقل.

منهجية البحث:

اعتمد البحث المنهج الوصفي التحليلي القائم على جمع البيانات الجغرافية عن الطاقة الشمسية، واستخدامها في الزراعة، وتحليلها، وتحديد أهم العوامل المؤثرة فيها؛ بهدف الوصول إلى مقترحات من شأنها أن تعالج معوقات التنمية الزراعية من خلال المعلومات والمراجع العلمية ذات الصلة.

حدود منطقة الدراسة:

1- الموقع الجغرافي: تقع محافظة ذمار وسط اليمن تقريبًا، وتتكون من (12) مديرية. انظر الخريطة (1)، ويحدها شمالًا محافظة صنعاء، وجنوبًا محافظة إب، وشرقًا محافظة البيضاء، ومن الغرب محافظتا الحديدة وريمة.

2- الموقع الفلكي: تقع منطقة الدراسة بين درجتي عرض (´5 ،°14- °15) شمالًا، وبين خطي طول (´30، ° 43- ´50، °44) شرقًا، انظر الخريطة (1).

3- الحدود الزمانية للدراسة: تم تحديد الفترة الزمنية لدراسة الطاقة الشمسية واستخداماتها الزراعية بالأعوام من 2015 حتى 2025م.

مفاهيم البحث ومصطلحاته:

1- مفهوم التنمية الزراعية المستدامة ومقوماتها:

هي نظام يهدف إلى إيجاد تنمية زراعية تلبي منتجاتها احتياجات الغذاء والتغذية للمجتمع الحالي دون استنزاف الموارد الطبيعية أو المساس بقدرة الأجيال القادمة على حساب ما تلبيه احتياجاتها الخاصة، وترتكز على التوازن بين الكفاءة الاقتصادية، والحفاظ على البيئة، من خلال ممارسات تُحسِّن الإنتاج الزراعي وتحافظ على الموارد الطبيعية مثل التربة والمياه، مع تحسين أساليب العملية الزراعية التي تدعم سبل رفع مستوى عيش المزارعين والمجتمعات الريفية على المدى الطويل (بومدين ويوسف، 2024، ص 146- 158).

2- مقومات الزراعة المستدامة:

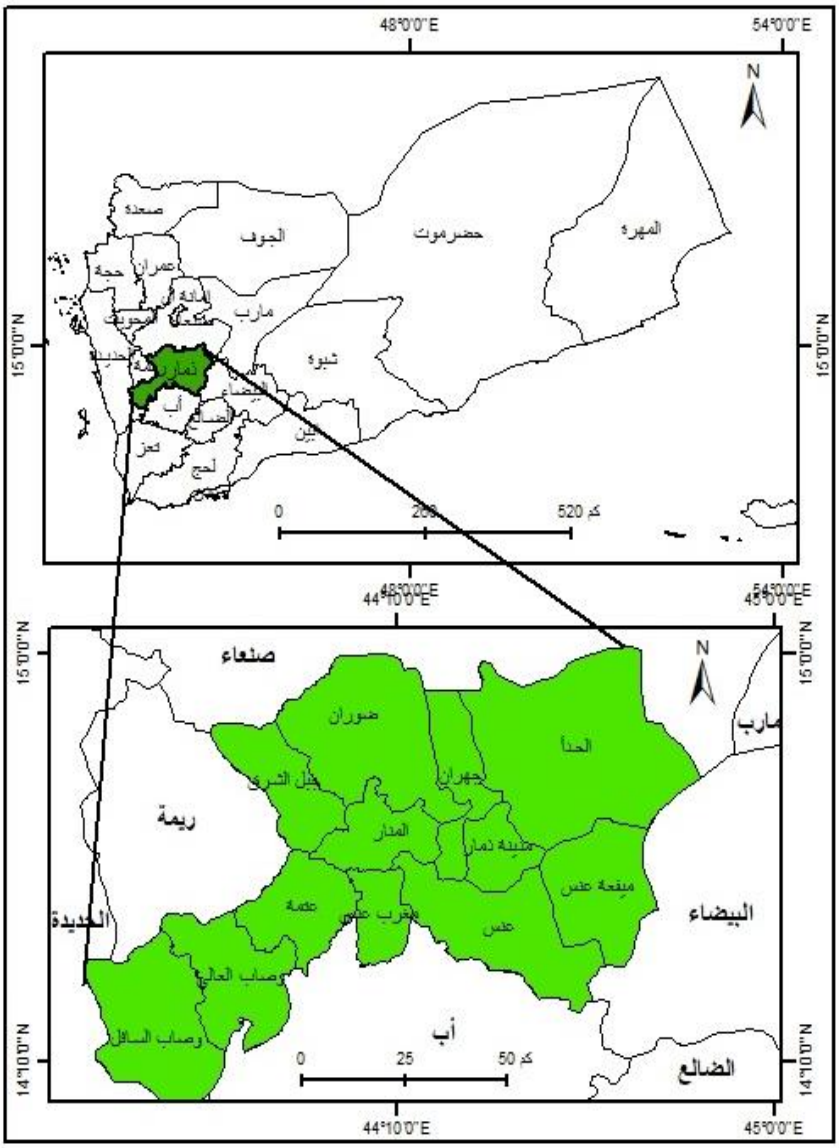
تتمحور ممارسات الزراعة المستدامة حول عدة عناصر رئيسية أهمها (باهي، 2024، ص401-423):

أ- **المياه:** الماء مورد طبيعي بالغ الأهمية يستخدم في الإنتاج الزراعي، ومنطقة الدراسة تعاني من الجفاف كغيرها من المناطق اليمنية حيث وصل عمق الآبار في كثير من المناطق الى أكثر من 700متر، ويمكن أن تؤدي محدودية إمدادات المياه السطحية، والإفراط في سحب المياه الجوفية إلى جفاف كثير من الآبار الزراعية.

ب- **التربة:** تحتوي التربة على العناصر الغذائية اللازمة لنمو المحاصيل بشكل جيد، وزيادة إنتاجيتها، ويمكن أن يؤدي سوء استخدام التربة والإفراط في الحراثة وزيادة كمية المبيدات والأسمدة بغرض الحفاظ على الإنتاجية المثلى، إلى أن تصبح الأرض غير صالحة للاستخدام مستقبلا.

خريطة (1)

الموقع الجغرافي لمنطقة الدراسة في الجمهورية اليمنية.



المصدر: الباحث اعتمادًا على خريطة التقسيم الإداري للجمهورية اليمنية، الجهاز المركزي للإحصاء، عام 2022م، ص26، باستخدام برنامج نظم المعلومات الجغرافية (arc gis 10.4.1).

ج- **الطاقة:** تستخدم الطاقة في الزراعة الحديثة بمختلف أنواعها ومراحلها كآلات الحرث، وآلات تجهيز الأغذية ووسائل النقل والتخزين، وتعتمد الزراعة الصناعية بشكل عام على الطاقة المعتمدة على النفط، وتقلل أنظمة الزراعة

المستدامة التي تستخدم الطاقة المتجددة من الاعتماد على مصادر الطاقة غير المتجددة مثل: الطاقة الشمسية، أو طاقة الرياح (باهي، 2024، ص 401-423).

3- شروط التنمية الزراعية المستدامة

لكي يكون النظام الزراعي مستدامًا، لا بد أن يتصف بمجموعة من الشروط الضرورية التي يمكن تلخيصها في الآتي (مسعودة، 2019، ص52- 55):

أ- المحافظة على البيئة، والحد من فقدان العناصر الغذائية.

ب- تحقيق المزارعين الاكتفاء الذاتي، إلى جانب قدر مناسب من الأرباح.

ج- ضمان سد المتطلبات الأساسية لكل أفراد المجتمع.

د- القدرة على التكيف مع التغيرات المؤثرة على القطاع الزراعي.

4- أهداف التنمية الزراعية المستدامة:

يمكن حصر أهم هذه الأهداف فيما يأتي (بومدين ويوسف، 2024، ص 146- 158):

أ- توفير فرص عمل مستمرة.

ب- حفظ وصيانة القدرات الإنتاجية لقاعدة الموارد الطبيعية والموارد المتجددة.

ج- تحقيق الأمن الغذائي بكل أبعاده بتكلفة مناسبة.

د- المساهمة في التنمية الاقتصادية.

هـ- توفير العملة الصعبة، والتخلص من التبعية.

و- التخطيط المستقبلي لتلبية احتياجات السكان الحالية والمستقبلية.

5- مفهوم الطاقة لغةً: إن كلمة طاقة التي تقابلها في الإنجليزية Energy تعود إلى أصل يوناني وهي كلمة Energos التي تتكون من مقطعين هما En وتعني في، وErgos وتعني شغل، وبذلك يصبح المعنى التركيبي لها القدرة على أداء عمل (بدران، 1986، ص15).

6- الطاقة المتجددة: هي عبارة عن طاقة تتجدد طبيعيًا بصورة تلقائية سواء كانت محدودة أو غير محدودة، وتتميز مصادر الطاقة المتجددة بقابلية استغلالها المستمر دون أن يؤدي ذلك إلى استنفاد منبعها، فنحصل عليها من خلال تيارات الطاقة التي يتكرر وجودها في الطبيعة على نحو تلقائي ودوري (طالبي، 2008، ص208).

7- الطاقة الشمسية: هي الطاقة التي تنتجها الشمس وتتلقاها الأرض على هيئة إشعاع شمسي، والطاقة الشمسية الكهروضوئية هي الطاقة التي يتم تحويلها بصورة مباشرة إلى كهرباء من ضوء الشمس عن طريق الألواح الشمسية (السمين، 2025، ص19-44).

الخصائص الجغرافية ودورها في استخدام الأنشطة الزراعية للطاقة الشمسية في منطقة الدراسة

تمثل منطقة الدراسة نموذجًا متميزًا للمناطق اليمنية التي تمتلك مقومات طبيعية وبشرية مؤهلة لاستغلال مصادر الطاقة المتجددة، وعلى وجه الخصوص الطاقة الشمسية في تنمية الأنشطة الزراعية، وذلك بحسن استغلالها نظرا لما تتميز به من توفر أشعة شمسية عالية الكثافة والحرارة على مدار السنة، تمد بها الأنشطة الزراعية بطاقة متجدده دائمة شبه مجانية تسد نسبة كبيرة من متطلباتها المتنوعة للطاقة وسيؤكد البحث ذلك من خلال دراسة هذه الخصائص وهي:

1- الخصائص الطبيعية: تؤثر الخصائص الطبيعية في تحديد أنماط استهلاك الطاقة وآفاق استغلالها في المجال الزراعي. وفي منطقة الدراسة، يمكن إبراز أهم العناصر المؤثرة فيما يلي:

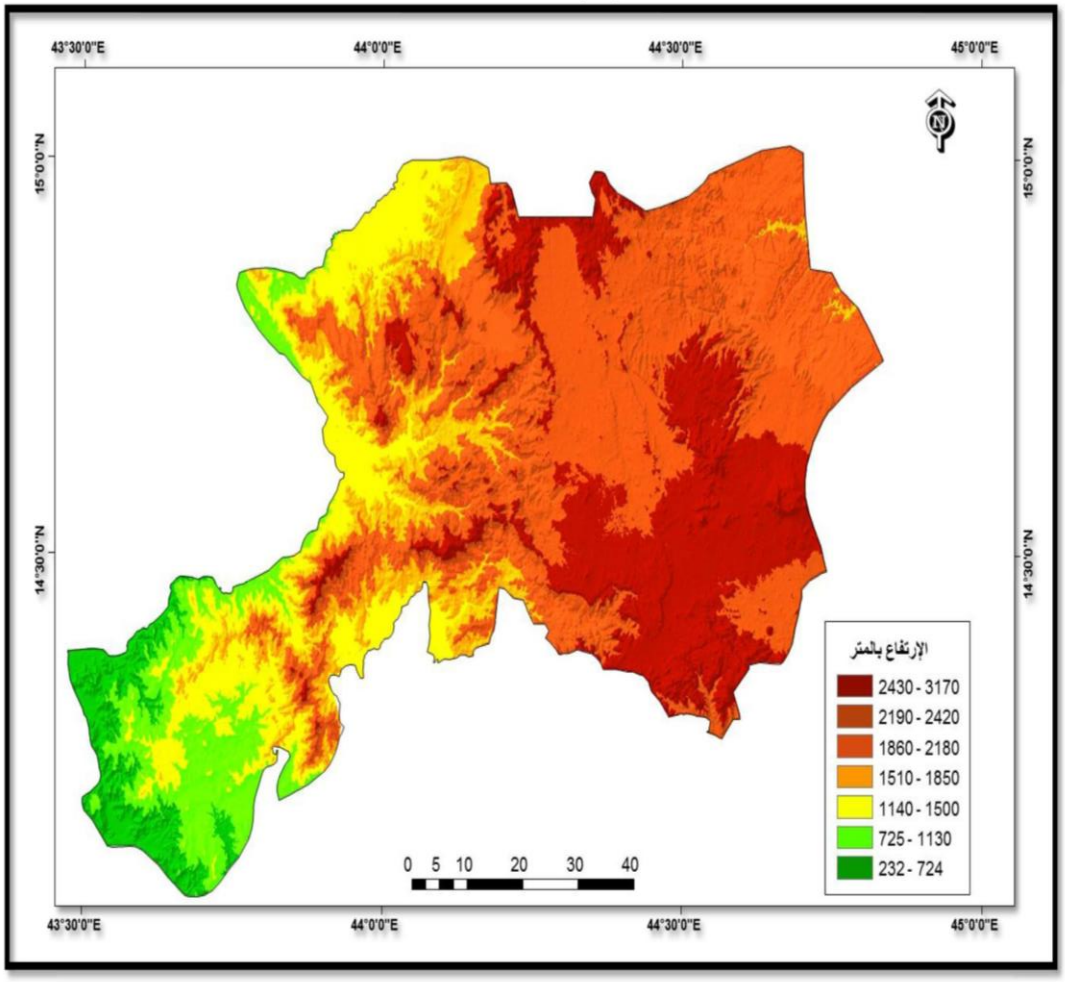
أ- **الموقع الجغرافي:** تقع منطقة الدراسة في وسط الجمهورية اليمنية، على بُعد نحو (100 كم) جنوب العاصمة صنعاء، ويبلغ عدد سكانها نحو (2,221,000 نسمة) وفقا لإحصاءات عام (2023م)، أي ما نسبته (6,8%) من إجمالي سكان الجمهورية، بمعدل نمو سنوي يقدّر بـ (3,02%). وتبلغ المساحة الكلية للمحافظة (7,586 كم2)، مع كثافة سكانية تصل إلى (293) نسمة/كم2 (الجهاز المركزي للإحصاء، 2025، ص70)، وتعد مدينة ذمار المركز الإداري للمحافظة، وتحد منطقة الدراسة من الشمال محافظة صنعاء، ومن الجنوب محافظتا إب والبيضاء، ومن الشرق محافظة البيضاء، ومن الغرب محافظتا الحديدة وريمة (انظر الخريطة 1)، ويمنح هذا الموقع للمحافظة الدراسة أهمية إستراتيجية، باعتبارها حلقة وصل بين شمال وجنوب البلاد، كما يسهل وصول تقنيات الطاقة الشمسية إلى التجمعات السكانية الريفية والحضرية على حد سواء. علاوة على ذلك، فإن موقعها القاري البعيد عن تأثيرات السواحل يمنحها استقرارًا مناخيًا نسبيًا، ما يعزز من فعالية استقبال واستخدام الإشعاع الشمسي في استمرارية تنمية الإنتاج الزراعي وتنوع محاصيله بحسن استخدام ما تتوفر من مصادر طاقة مستقرة ومتجددة شبه مجانية.

ب- مظاهر السطح: تتميز محافظة ذمار بتنوع تضاريسي كبير، إذ يتراوح ارتفاعها بين (800) متر في مديرية وصاب السافل، ويصل إلى (3,000) متر عند قمم الجبال العالية شمال مديرية ضوران، فيما يبلغ ارتفاع جبل إسبيل في مدينة ذمار بمديرية عنس (3,200) متر. ويمكن تقسيم مظاهر السطح في منطقة الدراسة إلى ثلاثة أقسام رئيسية (بغزة، 2018، ص162):

- المرتفعات الشمالية الغربية: تبدأ من مديرية وصاب السافل وتمتد لأجزاء من وصاب العالي وعتمة ويصل ارتفاعها إلى 400–800 متر.
- المرتفعات الجنوبية الغربية: تشمل أجزاء واسعة من شمال وصاب العالي وشمال مديرية عتمة وجنوب غرب مديرية عنس، وتمتد على مساحات كبيرة كما هو موضح في الخريطة (2).
- المناطق الوسطى والشرقية: تشمل المناطق الوسطى لمديريتي ضوران وعنس، بارتفاع يصل إلى (1,800) متر، وتتخللها بعض المجاري المائية والأودية مثل وادي رماع الجاري طول العام والممتد من ينابيعه من جنوب وغرب مديرية مدينة ذمار وحمام علي في آنس، وضوران، ويصب في البحر الأحمر ووادي زبيد. أما المرتفعات الشرقية فتصل إلى أكثر من (2,000) متر فوق سطح البحر وتشمل مديريات الحداء وميفعة عنس ووسط مديرية جهران، ورغم ارتفاعها الكبير، إلا أن انبساطها النسبي يسهل ممارسة النشاط الزراعي فيها (الثجري، 2005، ص30).

وتحتوي منطقة الدراسة على قيعان ذات أراضٍ مستوية وخصبة، تتركز شمال وجنوب المحافظة، مثل قاع جهران في مديرية جهران، وقاع بكيل وقاع مرح في مديرية ضوران، وقيعان: شرعة وبفع وبلسان في مديرية عنس، والتي تمتاز بخصوبة تربتها وقدرتها على إنتاج كميات كبيرة من المحاصيل الزراعية على مدار العام، وتلعب الطبوغرافيا دورًا محوريًا في استخدام الطاقة الشمسية، إذ تتطلب الألواح الشمسية أسطحًا مستوية أو ذات انحدار بسيط لتجنب الظل الذي قد يحجب أشعة الشمس ويقلل من كفاءة النظام. كما تؤثر التضاريس على كمية الإشعاع الشمسي الساقط عليها من خلال توزيع درجات الحرارة والنطاقات الطولية، حيث تتوافق هذه النطاقات مع حدود المظاهر التضاريسية الرئيسة. على سبيل المثال، تواجه السفوح الجنوبية في السلاسل الجبلية الممتدة من الشرق إلى الغرب أشعة الشمس لفترات أطول من السفوح الشمالية، مما يجعلها أكثر استفادة من

خريطة (2) مظاهر السطح بمنطقة الدراسة



المصدر: الباحث اعتماداً على نموذج الارتفاعات الرقمية DEM للجمهورية اليمنية باستخدام برنامج arc gis 10.4.1

الإشعاع الشمسي. ويمكن استغلال أسطح مباني القرى الزراعية في المناطق الجبلية لإنشاء محطات شمسية صغيرة موزعة، بما يضمن تحسين كفاءة إنتاج الطاقة.

ج- المناخ: يتسم مناخ المحافظة بالاعتدال صيفًا والبرودة شتاءً، إذ يتراوح متوسط درجة الحرارة السنوي بين (10–22°) مئوية صيفًا وما بين (8- درجتين تحت الصفر) مئوية شتاءً، وتشتهر المحافظة بزراعة البن في آنس وغرب عنس وعتمة، وتتميز مديريتا عتمة ووصاب السافل بمناخ مناسب لزراعة الذرة بأنواعها والدخن والقمح والبقوليات، بالإضافة إلى زراعة البرتقال والمانجو والفرسك والموز والرمان وغيرها من المحاصيل الزراعية، وتشتهر بقية المديريات بزراعة الحبوب والخضراوات والفواكه بمختلف أنواعها (بغزة، 2018، ص164)، وتسهم الأمطار خلال فصول الربيع والصيف والخريف القائمة عليه الزراعة المطرية في مختلف المديريات في تغذية المياه الجوفية والسدود والحواجز، ما يعزز القدرة على الاستدامة الزراعية وإمكانية وجود تنمية زراعية، ويزيد من جدوى تطبيقات الطاقة الشمسية في الري وتطوير الإنتاج.

*** الإشعاع الشمسي:** يعد العامل الأكثر تأثيرًا في جدوى المشاريع الشمسية الزراعية، حيث يختلف توزيعه جغرافيا تبعًا لخطوط العرض والظروف المناخية المحلية. وتظهر الدراسات أن المناطق الواقعة بين خطي عرض 35° شمالًا و35° جنوبًا تتمتع بأعلى معدلات الإشعاع الشمسي في العالم، مما يجعل منطقة الدراسة مثالية للتطبيقات الزراعية الشمسية، فتكون الأشعة الشمسية أكثر قوةً إذا كانت زاوية سقوطها عمودية، وذلك لتركزها على مساحة أصغر، وقصر المسافة التي تقطعها؛ مما يجعلها أقل عرضة لعمليات التبديد الجوي (الامتصاص- الانعكاس – الانتشار)، ويظهر أثر زاوية سقوط الإشعاع بشكل واضح على كمية الطاقة المستقبلة ودرجة الحرارة المترتبة عليها، ففي منطقة الدراسة يبلغ أدنى ميل للأشعة الشمسية 50.25 درجة في ديسمبر، فيما يصل إلى 90 درجة في شهري مايو ويوليو (الحياسي، 2020، ص24).

ومن ثم، فإن الاستغلال العلمي للطاقة الشمسية في المنطقة قادر على توفير كمية كبيرة من الطاقة التي ستلبي نسبة كبيرة من احتياج الزراعة الحالية ومشاريع تنميتها مستقبلا. والتي تتناسب مع تطور استخدم تقنياتها وحسن استغلالها بل قد يؤدي إلى فائض يمكن تخزينه لتلبية الطلب خلال فترات الذروة.

*** صفاء السماء:** يقصد بصفاء السماء خلو الجو من السحب وقلة محتواه من الشوائب (عبده، 2000، ص167)، ويُعد هذا العامل أحد المحددات الرئيسة لزيادة كمية الأشعة الشمسية التي تصل إلى سطح الأرض. إذ إن الغلاف الجوي ليس شفافًا تمامًا للإشعاع الشمسي، حيث تقوم مكوناته أو مركباته المختلفة بإعاقة جزء من الإشعاع عبر عمليات الامتصاص والانعكاس، والانتشار (موسى، 1994، ص25-26).

ومن الخصائص المناخية لليمن ومنطقة الدراسة أن 70% من مساحتها تتميز بانخفاض الرطوبة النسبية، ما يقلل نسبة التغيم إلى أقل من 30% (السهمي، 2004، ص41). وتتباين نسبة الصفاء داخل منطقة الدراسة، إذ تتبدد السحب سريعًا لتعود السماء إلى صفائها، ويبلغ المعدل السنوي لصفاء السماء 50% في يوليو نتيجة الأمطار الموسمية، بينما يصل إلى 91% في شهر أكتوبر (انظر الجدول 1 والشكل 1). ومن خلالهما نلاحظ أن تباين صفاء السماء يؤثر من وقت لآخر على ساعات السطوع الشمسي؛ فيؤثر هذا التباين في صفاء السماء مباشرة على ساعات السطوع الشمسي، حيث يبلغ الفارق بين السطوع النظري والفعلي حوالي ثلاث ساعات يوميًا؛ مما ينعكس على كمية الإشعاع المستقبلة. ومع ذلك، تظل منطقة الدراسة غنية بفرص استخدام واستثمار الطاقة الشمسية، إذ يبلغ متوسط ساعات السطوع الفعلية 8.9 ساعة/يوم، ما يدل على توفر جدوى اقتصادية كبيرة متفاعلة في استخدام واستثمار الطاقة الشمسية الزراعية والصناعية والخدمية بصورة دائمة طوال العام، وهي جدوى تمكّن المزارع خاصة من إيجاد تنمية لمختلف أنواع الإنتاج والأنشطة الزراعية.

جدول (1)

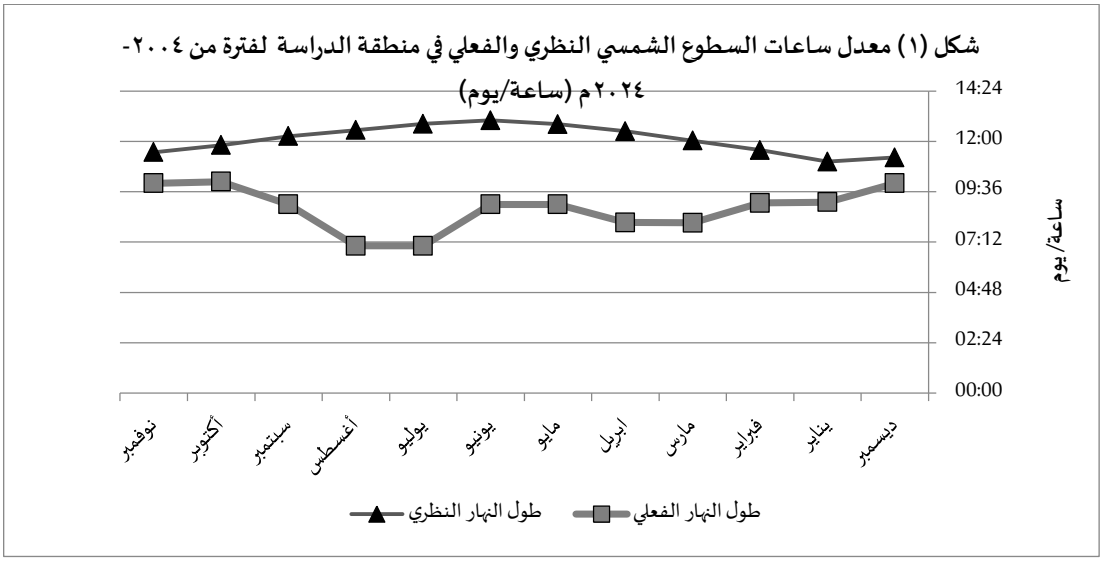
معدل ساعات السطوع الشمسي النظري والفعلي الفصلية في منطقة الدراسة للفترة من 2004- 2024 (ساعة/يوم)

صفاء السماء	فصل الشتاء			فصل الربيع			فصل الصيف			فصل الخريف			المعدل السنوي
	ديسمبر	يناير	فبراير	مارس	أبريل	مايو	يونيو	يوليو	أغسطس	سبتمبر	أكتوبر	نوفمبر	
طول النهار النظري	11:14	11:25	11:35	12:29	12:29	12:49	13:00	12:50	12:32	12:15	11:49	11:29	11:56
طول النهار الفعلي	10:00	9:60	9:40	8:70	8:80	9:00	9:00	7:10	7:10	9:00	10:50	10:00	8:9
النسبة المئوية	90	86	83	71	72	72	69	50	58	74	91	89	75

المصدر: الباحث اعتمادًا على:

1- الهيئة العامة للطيران المدني والأرصاد، إدارة المناخ، صنعاء، بيانات غير منشورة للفترة من2003- 2007م.

2- الهيئة العامة للبحوث والإرشاد الزراعي، مركز بحوث الموارد الطبيعية المتجددة، وحدة بحوث المناخ الزراعي، ذمار، بيانات غير منشورة للفترة من 2010- 2024م.



المصدر: الجدول (1)

* **طول ساعات النهار:** يقصد به المدة الزمنية التي يكون فيها قرص الشمس ظاهرًا في السماء، مع التمييز بين السطوع النظري والفعلي. فالساعات النظرية تحسب بين شروق الشمس وغروبها، في حين تقل ساعات السطوع الفعلية بسبب احتجاب أشعة الشمس بالسحب والأتربة، وتتوافق مع النظرية عند صفاء الجو تمامًا (موسى، 1994، ص25). وبحسب موقع منطقة الدراسة بالنسبة لدوائر العرض، يتراوح طول النهار النظري بين 12 و13 ساعة/يوم (انظر الجدول 2)، ما يدل على جو مشمس على مدار السنة.

جدول (2)

التوزيع الجغرافي لطول ساعات النهار عند دوائر العرض المختلفة (ساعة/يوم)

دائرة العرض	**0**	**17**	**41**	**49**	**63**	**66.30**	**67.20**	**90**
طول النهار صيفا	**12**	**13**	**15**	**16**	**20**	**24**	**شهر**	**6 شهور**

المصدر:(الراوي، والبياتي، 1990م، ص 52)

وتشير بيانات الجدول (3) إلى أن عدد ساعات السطوع الفعلية يبلغ متوسطه 9 ساعات/يوم، مع أعلى معدل في نوفمبر حيث يصل إلى 10.1 ساعة/يوم نتيجة صفاء السماء خلال هذا الشهر.

جدول (3)

معدل ساعات السطوع الشمسي في منطقة الدراسة (ساعة/يوم) للأعوام 2004- 2024م

السطوع	فصل الشتاء			فصل الربيع			فصل الصيف			فصل الخريف			المعدل السنوي
	ديسمبر	يناير	فبراير	مارس	أبريل	مايو	يونيو	يوليو	أغسطس	سبتمبر	أكتوبر	نوفمبر	
المعدل الشهري	9.6	9.7	9.3	8.7	8.8	9.2	7	7.5	8.5	9.9	10.1	9.6	9
المعدل الفصلي	9,5			9			7,6			9,9			

المصدر: اعتمادا على:

- الهيئة العامة للطيران المدني والأرصاد، إدارة المناخ، صنعاء، بيانات غير منشورة للفترة من2003- 2007م.
- الهيئة العامة للبحوث والإرشاد الزراعي، مركز بحوث الموارد الطبيعية المتجددة، وحدة بحوث المناخ الزراعي، ذمار، بيانات غير منشورة للفترة من 2000- 2024م.

ويختلف معدل السطوع الشمسي بحسب الفصول المناخية، إذ يبلغ في الشتاء 9.6 ساعة/يوم ويعتبر أكثرها إشراقًا، بينما يسجل 9 ساعات/يوم في الربيع، و7 ساعات/يوم في الصيف، نتيجة لكثرة التغيم والتهطال بهذا الفصل، و9.5 ساعات/يوم في الخريف. ويؤدي هذا التباين إلى اختلاف كمية الإشعاع الشمسي المستقبلة، خاصة خلال الفترة التي تكون فيها الأرض أقرب إلى الشمس أثناء دورانها حولها، مما يزيد من تركيز الأشعة الشمسية وكمية الطاقة المتاحة للاستغلال. الأمر الذي ينعكس على زيادة الإنتاج الزراعي لتوفر مصدر طاقة شبه مجاني يساعد المزارعين على توسيع المساحات المزروعة بالمحاصيل الزراعية من حبوب وخضراوات وفواكه وغيرها.

كما يُظهِر التوزيع الشهري للإشعاع الشمسي في منطقة الدراسة وجود تباين موسمي واضح، فنجد أن معدل الإشعاع الشمسي يتراوح بين 5,2 كيلو وات ساعة/م2/يوم في شهر ديسمبر كأدنى قيمة مسجلة، وبين 6,3 كيلو وات ساعة/م2/يوم في شهر مايو كأعلى قيمة خلال العام، كما يتضح في جدول (4)، ويبلغ المعدل السنوي للإشعاع الشمسي 5,8 كيلو وات ساعة/م2/يوم، ورغم هذا فهو يعد معدلا مرتفعا نسبيًا يعكس الإمكانات الكبيرة التي تتمتع بها المنطقة في مجال توظيف الطاقة الشمسية في تحسين الإنتاج في مختلف الأنشطة الزراعية.

جدول (4)

التوزيع الجغرافي لمعدلات الإشعاع الشمسي في منطقة الدراسة (كيلو وات ساعة/م2/يوم)

الإشعاع الشمسي	فصل الشتاء			فصل الربيع			فصل الصيف			فصل الخريف			المعدل السنوي
	ديسمبر	يناير	فبراير	مارس	أبريل	مايو	يونيو	يوليو	أغسطس	سبتمبر	أكتوبر	نوفمبر	
المعدل الشهري	5,2	5,4	5,9	6,1	6,3	6,3	6,2	5,5	5,7	5,9	5,9	5,4	
المعدل الفصلي		5,5			6,2			5,8			5,7		9

المصدر: الحياسي، 2020، ص122.

وبناءً على أن كفاءة لوح الخلايا 17% سيتم حساب كمية الطاقة الكهربائية الممكن إنتاجها بناء على المعادلة الآتية (الذبحاني، 23/9/ 2024م):

كمية الطاقة الكهربائية الناتجة عن المتر المربع من الألواح الشمسية = معدل الإشعاع الشمسي(وات)× 17% (كفاءة اللوح) × 90% في المناطق المعتدلة الباردة

وبتطبيق هذه المعادلة على منطقة الدراسة التي تتميز بمناخ معتدل صيفًا وبارد شتاءً، والذي يتيح للخلايا الشمسية العمل بكفاءة أعلى مقارنة بالمناطق الحارة، نجد أن معدل الإنتاج اليومي لفصل الشتاء يبلغ 842وات/م2/يوم، وفي الربيع 901وات/م2/يوم، وفي الصيف 838وات/م2/يوم، وفي الخريف 877وات/م2/يوم، بينما نجد معدل الطاقة الشهري يتراوح بين 795وات/م2/يوم في شهر يوليو وبين 910وات/م2/يوم في شهري أبريل ومايو، وعليه يبلغ المعدل السنوي لها 864وات/م2/يوم، وعليه نخلص إلى أن التباين في معدلات توفير الطاقة على كل المستويات السنوية والفصلية واليومية هي إيجابية ومرتفعة وقابلة لتوفير طاقة لتحقيق تنمية مستدامة في منطقة الدراسة، وتحظى بجدوى اقتصادية كبيرة لاستخدام الطاقة الشمسية بمختلف الأنشطة الزراعية والصناعية والخدمية؛ بما يسهم في تحسين إنتاجية المحاصيل وتخفيض تكاليف الطاقة التشغيلية.

د- التربة: تتمتع منطقة الدراسة بوجود التربة الخصبة في السهول والأودية، كالقيعان الزراعية سابقة الذكر في المحافظة. والتربة هي أساس النشاط الزراعي، مما جعل الزراعة تعد النشاط الاقتصادي الأول ومصدر الغذاء الأساسي للسكان. كما ينتشر الغطاء النباتي الطبيعي في مختلف مظاهر السطح في صورة أشجار وشجيرات تلبي بعض متطلبات البناء والوقود،كما تنتشر المراعي الموسمية والأعشاب الرعوية التي تعتمد عليها الثروة الحيوانية بنسبة كبيرة، كونها مصدرا للعمل، والغذاء المهم والمكمل للسكان (الراعي، 2004، ص22).

وتُعد التربة وخصوبتها ذات علاقة طردية وإيجابية قوية متفاعلة مع السكان، وأنشطتهم الزراعية التي تعتمد على مختلف مصادر الطاقة، خاصة الشمسية، ويزيد الطلب عليها طرديا بتطور التنمية عامة والزراعية بمختلف أنواع الاستخدام والإنتاج، مثل عملية الحراثة والحصاد وتشغيل مضخات الري والبيوت المحمية، إضافة إلى خدمات ما بعد الحصاد مثل تبريد المنتجات الزراعية والحيوانية، بما يشمل الخضروات والفواكه ومشتقات الألبان. علاوة على ذلك، فإن المناطق ذات التربة الأقل انحدارًا تسهل تركيب المنظومات الشمسية في المواقع المناسبة لدعم الإنتاج الزراعي، مقارنة بالمناطق الجبلية الأكثر انحدارا، مما يعزز الجدوى الاقتصادية والفنية لهذه التقنية في المحافظة.

هـ- الموارد المائية: تعتمد منطقة الدراسة بشكل رئيسي على مياه الأمطار، التي يتراوح معدل هطولها السنوي بين 200 و800 ملم، مع تباين ملحوظ من عام لآخر، ما يجعل توزيع المياه غير منتظم. وإلى جانب الأمطار، تشكل المياه الجوفية المتوفرة في القيعان والآبار المورد المائي الأساسي، إلى جانب السدود مثل سد أضرعة شرق مدينة ذمار والغيول المنتشرة في مديرية جبل الشرق وغيرها، والتي ساهمت بدورها في دعم الزراعة المحلية وتوفير المحاصيل الغذائية للسكان (بغزة، 2018، ص166)، فيعتمد معظم المزارعين على الري بواسطة الآبار الجوفية، حيث يتراوح عمقها بين 80 و600 متر. ومع الارتفاع الكبير في تكلفة استخراج المياه عبر الوقود التقليدي، فقد بلغ استهلاك المضخات 150 لترا من الديزل لتشغيلها لمدة 11 ساعة يوميًا، ما يعادل تكلفة سنوية تصل إلى 21,935,000 ريال. وفي هذا السياق، برزت الطاقة الشمسية كبديل اقتصادي وبيئي مستدام، إذ تتيح تقليص تكلفة التشغيل بنسبة 50 % مقارنة باستخدام الديزل (الدراسة الميدانية، 2025/9/2م).

ويعد نوع المصدر المائي وعمق المياه عاملين حاسمين في تصميم النظام الشمسي الزراعي الأنسب. ففي حالة الآبار العميقة، التي يتراوح عمقها بين 600–1000 متر كما هو الحال في مديرية جهران، تصبح الأنظمة الشمسية البسيطة غير كافية، ويتطلب ذلك تركيب منظومات متكاملة تشمل 112–150 لوحًا شمسيًا بقدرة 700 فولط، ومضخة غاطسة بقدرة 75–110 كيلووات، ومحوّل (إنفرتر) بقدرة 75 كيلووات فما فوق (شرغة، 2025) لضمان رفع المياه الجوفية بكفاءة إلى الأراضي الزراعية.

2- الخصائص البشرية: إلى جانب الخصائص الطبيعية، تلعب الخصائص البشرية دورًا محوريًا في تحديد أنماط استهلاك الطاقة وآفاق استغلالها في المجال الزراعي. وفي منطقة الدراسة، يمكن إبراز أهم العناصر المؤثرة فيما يلي:

أ- **التوزيع الجغرافي للسكان:** تتركز الغالبية العظمى من السكان في المناطق الريفية، ويبلغ إجمالي عدد السكان 2,221,000 نسمة، وتشكل القرى والمناطق الريفية أكثر من 70% من هذا الإجمالي (كتاب الإحصاء السنوي لعام 2023، ص70). تنتشر هذه التجمعات السكانية في الأودية والسهول الزراعية الخصبة، مثل وادي رماع، ووادي الحار، وقاع جهران، وقاع الحقل، وقاع بلسان، حيث تمثل الزراعة النشاط الاقتصادي الأساسي، ويترتب على هذا النمط من الاستقرار الريفي اعتماد متزايد على مصادر الطاقة لتشغيل مضخات المياه، والبيوت المحمية، ومزارع الدواجن، ومرافق التخزين الزراعي. وبالنظر إلى محدودية خدمات الكهرباء الحكومية في هذه المناطق، فإن أنظمة الطاقة الشمسية اللامركزية تمثل الخيار الأمثل لتلبية احتياجات الطاقة، لما تتميز به من مرونة وسهولة في التركيب والتشغيل في المواقع المعزولة دون الحاجة إلى شبكات كهرباء مركزية واسعة. ومن ثم، يسهم التوزيع الجغرافي للسكان في تعزيز جدوى مشروعات الطاقة الشمسية وربطها بشكل مباشر بالتنمية الزراعية المستدامة.

ب- **الحيازة الزراعية:** تتسم الحيازات الزراعية في منطقة الدراسة بصغر حجمها وتجزئتها بين عدد كبير من المزارعين، حيث تسود الملكية الفردية أو العائلية الصغيرة. ويبلغ عدد الحائزين الزراعيين 111,969 حائزًا، بينما تصل المساحة المزروعة بالمحاصيل إلى 125,916 هكتارًا، يعتمد منها 33,997 حائزا على مضخات الري من الآبار (كتاب الإحصاء

السنوي لعام 2013، ص125). ويؤدي هذا النمط من الحيازة إلى تحديات اقتصادية تتعلق بارتفاع تكاليف الإنتاج وضعف القدرة على الاستثمار في مدخلات الطاقة التقليدية مثل الديزل. ومع ذلك، تتيح هذه الخصوصية الفرصة للطاقة الشمسية لتكون خيارًا تنمويًا ملائمًا، لكونها قابلة للتجزئة والتكيف وفق حجم الحيازة الزراعية. إذ يمكن تصميم أنظمة شمسية صغيرة لتتناسب مع المزارع المحدودة، أو تشارك عدة مزارعين في شراء منظومة ري شمسية لتغطية مساحات أكبر. وبذلك، تسهم الطاقة الشمسية في تقليص التكاليف التشغيلية، وزيادة استقرار الإنتاج الزراعي، وتحسين مستويات الدخل الريفي، كما تحد من تقلبات الأسعار المرتبطة بالوقود الأحفوري، ما يعزز الاستدامة الاقتصادية والبيئية للقطاع الزراعي في المحافظة.

ج- **السياسة الزراعية:** تلعب السياسات الزراعية سواء الحكومية أو غير الحكومية دورًا محوريًا في تحديد مدى انتشار وتبني الطاقة الشمسية في منطقة الدراسة. ففي ظل التحديات الاقتصادية وارتفاع أسعار الوقود الأحفوري، وغياب الدعم الكافي لمدخلات الطاقة التقليدية، اتجهت السياسات الزراعية ضمنيًا نحو تشجيع البدائل المستدامة، وعلى رأسها الطاقة الشمسية. كما أسهمت المبادرات التي تقوم بها المنظمات الدولية والإقليمية في دعم تركيب أنظمة شمسية للمزارعين، خاصة لتشغيل مضخات المياه وأنظمة الري الحديثة. ويُعد هذا التوجه انسجامًا مع أهداف التنمية الزراعية المستدامة الرامية إلى تحقيق الأمن الغذائي، وخفض انبعاثات الكربون، وترشيد استهلاك الموارد المائية. ويكشف الواقع الزراعي في المحافظة أن تبني الطاقة الشمسية لم يعد مجرد خيار تقني، بل أصبح جزءًا من التوجهات والسياسات الزراعية الرامية إلى التقليل من التبعية للوقود المستورد، وتعزيز قدرة المزارعين على الاستمرار والإنتاج في ظروف اقتصادية صعبة، وتوفير بيئة مناسبة لتحسين معيشة السكان الريفيين.

تطور استخدام الطاقة الشمسية حسب الأنشطة الزراعية في منطقة الدراسة

شهدت الاستخدامات الزراعية للطاقة الشمسية تطورًا ملحوظًا في السنوات الأخيرة، حيث انتقلت من الاستخدامات البسيطة إلى أنظمة متكاملة تعزز الكفاءة الإنتاجية وتدعم الاستدامة البيئية، ويعد مَدُّ القطاعات الإنتاجية الزراعية بالطاقة الشمسية أبرزَ أهداف الطاقة الشمسية في منطقة الدراسة، حيث يرجع أول استخدام لها بمختلف الأدوات والأجهزة إلى فترة ما بعد انقطاع الطاقة الكهربائية في العام 2015م؛ لذا اتجه كثير من السكان إلى استخدام الطاقة الشمسية؛ للحفاظ على مستوى التنمية الموجود، عن طريق استخدامها كبديل لتشغيل مضخات الري، وإنارة وتدفئة مزارع الدجاج وأماكن الحراسة، وبعض الأنشطة الأخرى، وفيما يأتي توضيح لأهم استخداماتها:

1- **مضخات الري باستخدام الطاقة الشمسية:** تُعد مضخات الري العاملة بالطاقة الشمسية من أبرز التقنيات الزراعية المستدامة التي شهدتها منطقة الدراسة خلال السنوات الأخيرة، خاصة في المناطق الريفية والنائية التي لا تصلها شبكات الكهرباء العامة. وتعتمد هذه التقنية على تحويل الإشعاع الشمسي الوفير إلى طاقة كهربائية تُستخدم في تشغيل مضخات المياه، لتشكل بديلًا فعالًا واقتصاديًا عن مضخات الديزل التقليدية، التي لا تقتصر تحدياتها على ارتفاع تكاليف الوقود والصيانة فحسب، بل تمتد أيضًا إلى آثارها السلبية على البيئة. وقد أسهم الاعتماد على هذه المضخات في إحداث نقلة نوعية في الأنشطة الزراعية بالمحافظة، إذ ساعد ذلك على رفع كفاءة نظم الري، وزيادة إنتاجية المحاصيل وجودتها، وشهد استخدام الطاقة الشمسية في الأنشطة الزراعية تطورًا ملحوظًا منذ العام 2015م ليغطي خلال خمس سنوات حوالي (40%) من مضخات الري العاملة في منطقة الدراسة مع تباين بين مديريات المحافظة، حيث كان أعلاها مديرية جهران (65%) عام 2020م، وأدناها مديرية وصاب السافل أقل من (1%)، ثم تطور استخدام الطاقة الشمسية في الأنشطة الزراعية ليغطي حتى الآن، أي في العام (2025م) (70%) من

مضخات الري بالمحافظة، وتفاوتت هذه النسبة بين مديريات الدراسة فبلغت أعلاها (85%) في مديرية جهران ودأناها في وصاب السافل(0,5%) نتيجة لطبيعة الأرض الصخرية وشحة المياه(انظر لوحة 1).

لوحة (1)

استخدام الطاقة الشمسية في ري المحاصيل الزراعية بمنطقة الدراسة قرية واسطة مديرية جهران

المصدر: الزيارة الميدانية (2025/9/2م)

ويتباين التوزيع الجغرافي لاستخدام الطاقة الشمسية في تشغيل مضخات الري ونسبة توزيعها في المديريات من إجمالي الآبار العاملة بالطاقة الشمسية في المحافظة (انظر الجدول (5) والخريطة (3))، فيلاحظ أن مديرية جهران جاءت في المرتبة الأولى، إذ بلغ عدد الآبار العاملة بالطاقة الشمسية نحو (1,020) بئرا وبنسبة (18%) من إجمالي مضخات الري الشمسية في المحافظة، وجاءت مديرية الحداء في المرتبة الثانية بنسبة (15%) من إجمالي مضخات الري العاملة بالديزل البالغ عددها (850 بئرا) خلال نفس الفترة، ويرجع سبب انخفاض النسبة إلى قرب مستوى المياه الجوفية من سطح الأرض (حوالي 80 مترًا) مما يقلل من استهلاك الديزل بهذه المزارع، إضافة إلى ارتفاع تكاليف منظومات الري الشمسية، في حين سجلت مديرية ضوران نسبة (11%) وبعدد (657 بئرا)، تلتها مديرية عتمة بنسبة (10%) من إجمالي مضخات الري (550بئرا)، ثم مغرب عنس بنسبة (9%)، ومديرية عنس (8%) من إجمالي مضخات الري (430بئرا)، في حين بلغت النسبة في كل من مديريتي المنار وجبل الشرق نحو (6%) لكل منهما، أما مديرية ميفعة عنس فبلغت نسبتها (7%) من إجمالي مضخات الري (402بئرا)، كما لم يغطِ الري بالطاقة الشمسية في مديرية مدينة ذمار سوى (5%) من إجمالي مضخات الري (300 بئر) وفي مديرية وصاب السافل ظل استخدام هذه التقنية محدودًا جدًا نتيجة شح المياه الجوفية وشدة التضرس الصخري بها.

ويعزى التباين في نسب استخدام منظومات الري بالطاقة الشمسية بين المديريات إلى عدد من العوامل الجغرافية والاقتصادية، أبرزها عمق المياه الجوفية، وقدرة المزارعين على تحمل تكاليف أنظمة الطاقة الشمسية، كما أظهرت الزيارة الميدانية (2025/9/2م) تفاوتًا واضحًا في مكونات أسعار المنظومات الشمسية المستخدمة، إذ تراوحت بين منظومات الحد

الأدنى وتضم 85 لوحًا شمسيًا بقدرة 300 فولت، ومحوّل بقدرة 45 كيلووات، وغطاس 30 كيلووات، ومروحة 40 فتحة 17، وكيبل نوكيا 50 بتكلفة بلغت 71 ألف ريال سعودي، بما يساوي بالريال اليمني (9,729,000) وبين منظومات الحد الأعلى التي تتضمن 126 لوحًا شمسيًا بقدرة 700 فولت، ومحوّل بقدرة 95 كيلووات، وغطاس بقدرة 110 كيلووات، ومروحة 73 فتحة 30، وكيبل نوكيا 110 بتكلفة إجمالية بلغت 107 آلاف ريال سعودي، وبالريال اليمني(14,659,000) (الزيارة الميدانية، 2025/9/2م).

وتكتسب هذه المنظومات أهمية متزايدة في منطقة الدراسة نظرًا لارتفاع تكاليف الطاقة الأحفورية، إذ وفرت بديلًا مستدامًا يضمن استمرار النشاط الزراعي دون انقطاع، ويسهم في تعزيز الأمن الغذائي المحلي ودعم التوجهات الوطنية نحو التنمية الزراعية المستدامة، كما يعكس انتشار هذه التقنية في عدد من مديريات الدراسة ارتفاع وعي المزارعين بجدواها الاقتصادية والبيئية، ما يجعلها نموذجًا رائدًا في توظيف مصادر الطاقة المتجددة لمواجهة التحديات التنموية والبيئية على حد سواء في المحافظة.

2- استخدام الطاقة الشمسية في تجفيف المحاصيل: يُعد تجفيف المحاصيل مرحلة حيوية في العملية الزراعية بمنطقة الدراسة، غير أن الأساليب التقليدية المعتمدة على تعريض المنتجات لأشعة الشمس في الهواء الطلق أظهرت محدودية واضحة. فهذه الطرق، على الرغم من مجانيتها، تتسم بطول فترة التجفيف، وتعرض المحاصيل للتلوث بالعوامل البيئية مثل الأتربة والحشرات، إضافة إلى فقدان جزء من خصائصها الغذائية والمادية نتيجة عدم القدرة على ضبط درجات الحرارة والرطوبة بشكل دقيق، في المقابل، شكل إدخال أنظمة التجفيف بالطاقة الشمسية نقلة نوعية في هذا المجال، حيث توظف تقنيات البيوت الزجاجية والمجففات الشمسية الحديثة لتوفير بيئة محكومة ومستقرة لعمليات التجفيف. ويتيح هذا التحكم الدقيق في مستويات الحرارة والرطوبة تسريع عملية التجفيف، وتقليل الفاقد، والحفاظ على القيمة الغذائية وجودة المنتج. كما يعزز هذا الأسلوب القدرة على تجفيف محاصيل ذات متطلبات خاصة لا تلائم طرق التجفيف التقليدية، ويمكّن من استمرار العملية الإنتاجية على مدار العام، بما ينعكس إيجابًا على الكفاءة الاقتصادية ويحد من الهدر الزراعي.

دخلت تقنية التجفيف المدعوم بالطاقة الشمسية إلى منطقة الدراسة منذ العام 2015م، واقتصر تطبيقها في البداية على البيوت الزجاجية لسهولة التركيب وكفاءتها العالية، وتطور استخدامها تدريجيًا حتى بلغ عدد البيوت الزجاجية المستخدمة في الإنتاج الزراعي والتجفيف نحو 300 بيت زجاجي عام 2025م. انظر الجدول (5) والخريطة (3). وقد جاءت مديرية جهران في المرتبة الأولى من حيث عدد البيوت الزجاجية العاملة بهذه التقنية، حيث بلغ عددها 47 بيتًا زجاجيًا بنسبة (16%) من إجمالي استخدامها في هذا المجال على مستوى المحافظة، تلتها الحداء وعنس بـ 42 و39 بيتًا وبنسبة (14% و13%) على الترتيب، ثم مغرب عنس بواقع 30 بيتًا وبنسبة (10%) من إجمالي استخدم الطاقة الشمسية في تجفيف المحاصيل الزراعية، فيما سجلت مديرية وصاب السافل أدنى استخدام لهذه التقنية في تجفيف المحاصيل الزراعية بواقع 5 بيوت زجاجية بنسبة (2%) من إجمالي الاستخدام (الزيارة الميدانية، 2025/9/2م)، وعليه، يمكن القول إن الانتقال من التجفيف التقليدي إلى التجفيف الحديث المدعوم بالطاقة الشمسية يمثل تحولًا إستراتيجيا نحو أنظمة إنتاج أكثر استدامة وكفاءة، تسهم في تعزيز الأمن الغذائي ورفع القيمة المضافة للمنتجات الزراعية في منطقة الدراسة، لا سيما مع دعم السياسات الحكومية التي تشجع المزارعين على تبني هذه التقنية لضمان تجفيف المنتجات مع الحفاظ على جودتها في الوقت نفسه.

جدول (5)

التوزيع الجغرافي لاستخدام الطاقة الشمسية في الأنشطة الزراعية بمنطقة الدراسة 2024م

المديرية	جهران	الحداء	ضوران	عتمة	وصاب السافل	وصاب العالي	مغرب عنس	عنس	ميفعة عنس	المنار	جبل الشرق	مدينة ذمار	الإجمالي
مضخات ري	1020	850	657	550	50	215	490	430	402	350	370	300	5684
نسبتها	%18	%15	%11	%10	%1	%4	%9	%8	%7	%6	%6	%5	%100
تجفيف محاصيل	47	42	37	20	5	9	15	39	30	15	21	20	300
نسبتها	%16	%14	%12	%7	%2	%3	%5	%13	%10	%5	%7	%6	%100
بيوت زجاجية	100	70	60	27	8	21	41	70	34	25	20	24	500
نسبتها	%20	%14	%12	%5	%2	%4	%8	%14	%7	%5	%4	%5	%100
مزارع الدجاج	6	3	5	3	0	3	2	4	2	3	4	15	50
نسبتها	%12	%6	%10	%6	%0	%6	%4	%8	%4	%6	%8	%30	%10
حظائر ماشية	150	200	123	100	20	75	67	67	71	61	62	50	1045
نسبتها	%14	%19	%12	%10	%2	%7	%6	%6	%7	%6	%6	%5	%100
حفظ منتجات	20	1	3	2	2	4	3	2	4	3	4	21	69
نسبتها	%29	%2	%4	%3	%3	%6	%4	%3	%6	%4	%6	%30	%100

المصدر: الزيارة الميدانية (2025/9/3)

3- البيوت الزجاجية المدعومة بالطاقة الشمسية: يُعَدّ إدخال الطاقة الشمسية في تشغيل البيوت الزجاجية بمحافظة ذمار نقلة نوعية في مسار التنمية الزراعية، إذ أسهم في مواجهة التحديات المناخية المتزايدة والضغوط المستمرة على الأمن الغذائي. فقد شكّلت هذه التقنية بديلًا إستراتيجيًا عن الزراعة المكشوفة التي باتت أكثر هشاشة أمام موجات الجفاف، وتذبذب الأمطار، وارتفاع درجات الحرارة.

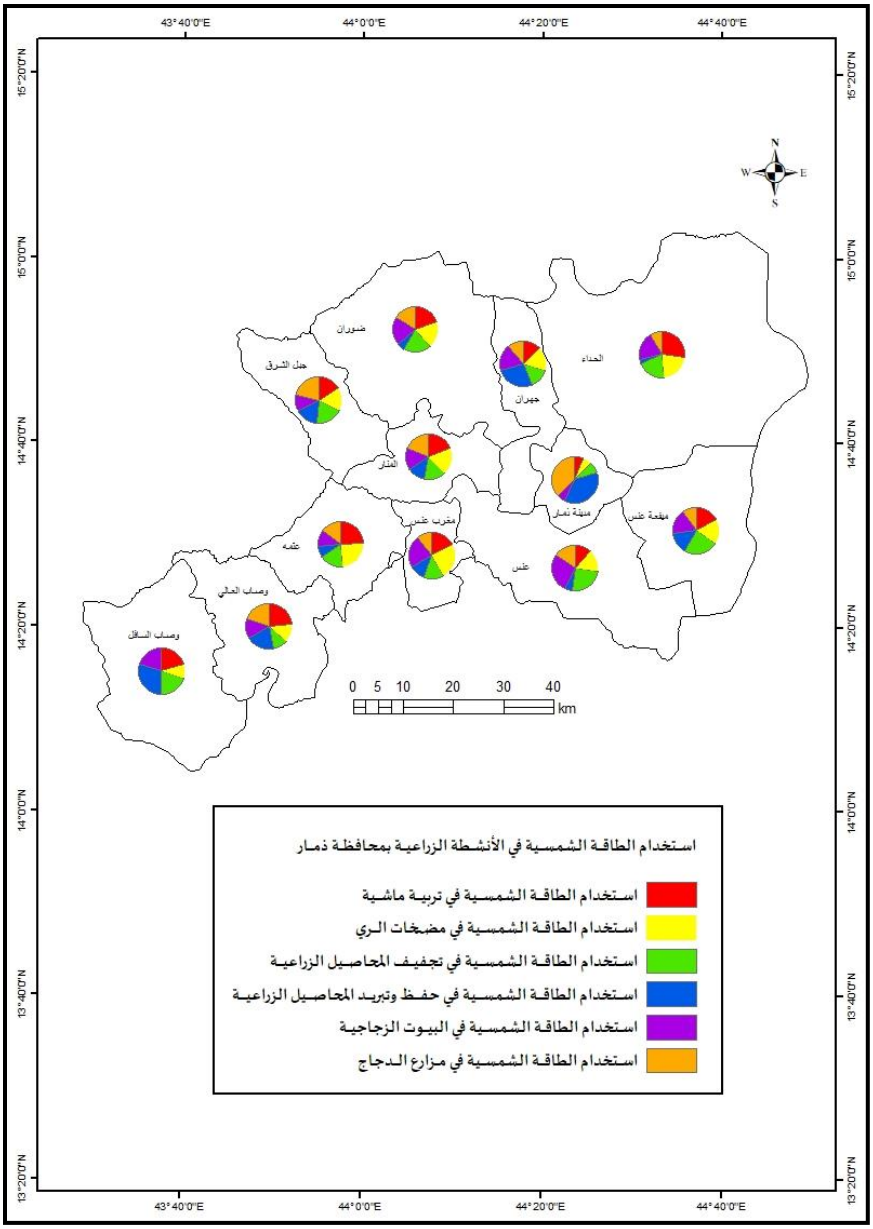
ومن خلال التحكم الدقيق في عناصر المناخ الزراعي الداخلي، مثل الحرارة والرطوبة والإضاءة، أتاح هذا النمط الزراعي إمكانية الاستمرار في الإنتاج على مدار العام، الأمر الذي ساعد المزارعين على إدخال محاصيل ذات قيمة اقتصادية مرتفعة، تحتاج إلى ظروف بيئية خاصة لا توفرها الطبيعة المحلية للمنطقة، انظر اللوحة (2)، وتشير البيانات الميدانية إلى أن نسبة استخدام البيوت الزجاجية في عام 2015م لم تتجاوز 1%، غير أن هذه النسبة شهدت توسعًا ملحوظًا حتى عام 2025م. انظر الجدول (5) والخريطة (3)، حيث يتضح من خلالهما أن إجمالي عدد البيوت الزجاجية بلغ نحو 500 بيت. من بينها حوالي 300 بيت مخصص للإنتاج الزراعي والتجفيف، و200 بيت موجّه للإنتاج الزراعي وإنتاج الشتلات فقط.

وتحتل مديرية جهران المرتبة الأولى بما يزيد عن 100 بيت زجاجي وبنسبة 20% من إجمالي المحافظة، تليها مديريتا عنس والحداء بنحو 70 بيتًا وبنسبة (14%) لكل منهما، ثم مديرية ضوران التي تضم حوالي60 بيتًا زجاجيًا مخصصة لإنتاج المحاصيل الزراعية وبنسبة (12%)، في حين جاءت وصاب السافل بالمرتبة الأخيرة من حيث استخدام الطاقة الشمسية في

البيوت الزجاجية وبنسبة (2%)، وقد انعكس هذا التوسع إيجابيًا على الإنتاجية والجودة معًا، حيث ارتفع حجم المعروض في الأسواق المحلية، وانخفضت معدلات الفاقد، الأمر الذي أسهم في تضييق الفجوة الغذائية والحد من الاعتماد على الواردات.

خريطة (3)

التوزيع الجغرافي لنسب استخدام الطاقة الشمسية في الأنشطة الزراعية بمنطقة الدراسة لعام 2025م



المصدر: الباحث اعتمادًا على الجدول (5)

لوحة (2)

استخدام الطاقة الشمسية في الإنتاج الزراعي في البيوت الزجاجية بمنطقة الدراسة

المصدر: الزيارة الميدانية (2025/9/3)

كما عززت هذه البيوت المحمية مرونة النظام الزراعي من خلال رفع الجدوى الاقتصادية للمزارع وتقليص تكاليف الطاقة مقارنة بالاعتماد على الوقود الأحفوري، أما على المستوى البيئي، فقد مثّلت البيوت الزجاجية المعتمدة على الطاقة الشمسية خطوة متقدمة نحو تقليل البصمة الكربونية للقطاع الزراعي، عبر استبدال مصادر الطاقة الملوّثة بمورد نظيف ومتجدد. وهو ما ينسجم مع توجهات التحول نحو الزراعة المستدامة. وبذلك، لا يُعَدّ هذا النمط الزراعي مجرد تقنية إنتاجية فقط، بل يمثل ركيزة تكيفية إستراتيجية تربط بين استقرار الإنتاج، وكفاءة استخدام الموارد، وحماية البيئة، وتعزيز الأمن الغذائي في ظل التغيرات المناخية المتسارعة.

5- استخدام الطاقة الشمسية في حظائر المواشي: إن استخدام الطاقة الشمسية في مزارع تربية المواشي بمنطقة الدراسة ما يزال محدودًا ويشهد نموًا تدريجيًا، بخلاف ما هو حاصل في مزارع الدواجن أو الأنشطة الزراعية الأخرى. ويعود ذلك إلى اقتصار معظم المستخدمين على تركيب منظومات شمسية صغيرة الحجم تُخصص غالبًا لإنارة المنازل أو تلبية بعض الاحتياجات الأساسية مثل تزويدها بمياه الري، أو التهوية، دون القدرة على تشغيل الحظائر من حيث الإضاءة والتهوية ومضخات المياه. كما أن ارتفاع تكاليف الاستثمار الأولية وغياب الوعي بجدوى هذه التقنية على المدى البعيد أسهما في بطء تبنيها.

ويتباين استخدام الطاقة الشمسية في مزارع المواشي بين مديريات منطقة الدراسة (الجدول (5) والخريطة (3))، حيث تظهر البيانات أن مديرية الحداء في المرتبة الأولى بعدد 200 حظيرة منارة بالطاقة الشمسية بنسبة (19%) من إجمالي الحظائر المزودة بهذه التقنية على مستوى المحافظة، تلتها مديرية جهران بـ 150 حظيرة بنسبة (14%)، وضوران بـ 123 حظيرة

وبنسبة (12%)، بينما سجلت مدينة ذمار 50 حظيرة بنسبة 5% من الإجمالي، أما مديرية وصاب السافل فجاءت في المرتبة الأخيرة بواقع 20 حظيرة بنسبة 2% فقط من إجمالي المحافظة (الزيارة الميدانية، 2025/9/2م). ويلاحظ أن محدودية الاعتماد على الطاقة الشمسية في هذا القطاع ما تزال تشكل عائقًا أمام الاستفادة من الفوائد المتعددة لهذه التقنية، التي من أبرزها تحسين الظروف البيئية داخل الحظائر بما ينعكس إيجابًا على صحة المواشي ونموها، وخفض التكاليف التشغيلية، وتعزيز الإنتاج الحيواني، مما يؤثر في مساهمة هذا النشاط في الأمن الغذائي المحلي. وبناءً عليه، تظهر الحاجة الماسة إلى سياسات مؤسسية محفزة، إلى جانب جهود توعوية وإرشادية، لتوسيع نطاق استخدام الطاقة الشمسية في مزارع المواشي، بما يضمن استدامة القطاع وزيادة كفاءة الإنتاج.

6- أنظمة التبريد والتخزين بالطاقة الشمسية: يُعَدّ إدماج الطاقة الشمسية في تشغيل أنظمة التبريد والتخزين الزراعي بمنطقة الدراسة تحولًا نوعيًا في إدارة ما بعد الحصاد، إذ أسهم في الحد من الفاقد الكبير الذي كانت تعانيه المحاصيل الطازجة نتيجة غياب وسائل التبريد المستدامة وارتفاع تكاليف الوقود الأحفوري. ومن خلال الاعتماد على مصدر طاقة متجدد ومستقر، أتاح هذا التحول للمزارعين القدرة على حفظ منتجاتهم الزراعية لفترات أطول مع المحافظة على خصائصها الغذائية وجودتها التسويقية، الأمر الذي انعكس إيجابًا على القيمة السوقية للمنتجات المحلية وزاد من قدرتها التنافسية أمام الواردات.

إلى جانب ذلك، أسهم التبريد بالطاقة الشمسية في تخفيف الأعباء المالية عن المزارعين، ولا سيما صغار المنتجين الذين كانوا يواجهون صعوبة في تغطية نفقات التشغيل المرتفعة الناتجة عن الاعتماد على المولدات والوقود التقليدي. وهذا ما ساعد على استقرار عوائدهم الزراعية، وتقليص المخاطر المرتبطة بخسائر ما بعد الحصاد، ومن ثم تعزيز قدرتهم على الاستمرار في النشاط الزراعي وعدم التخلي عنه. كما كان لهذا التوجه بُعدًا اجتماعيًا مهمًا، حيث أسهم في تقليل الضغوط الاقتصادية التي تدفع كثيرًا من الأسر الريفية إلى الهجرة نحو المدن، مما يعزز استقرار المجتمعات المحلية ويحافظ على دور الزراعة كركيزة أساسية لاقتصاد المحافظة.

وقد شهد استخدام الطاقة الشمسية في هذا النشاط تطورًا ملحوظًا خلال العقد الأخير حيث توسع نطاقه ليغطي جزءًا كبيرًا من احتياجات السكان في الفترات اللاحقة لموسم الحصاد (انظر الجدول (5) والخريطة (3smsaidi@uqu.edu.sa))، حيث يتضح من خلالهما أن مديرية ذمار جاءت في المرتبة الأولى من حيث عدد الثلاجات الكبيرة العاملة بالطاقة الشمسية، إذ بلغ عددها 21 ثلاجة لحفظ المنتجات الزراعية كالخضروات والفواكه، وتشكل نحو 30% من إجمالي استخدم الطاقة الشمسية في هذا النشاط على مستوى المحافظة، وتوزعت في مختلف الأحياء والشوارع في المدينة نتيجة الكثافة السكانية العالية وارتفاع الطلب عليها، تلتها مديرية جهران بواقع 20ثلاجة بنسبة 29% من إجمالي المحافظة، وجاءت مديريات كل من وصاب العالي وميفعة عنس وجبل الشرق بواقع 4 ثلاجات بنسبة (6%) لكل منها من إجمالي المحافظة، أما مديريات الحداء وعتمة وعنس فبلغت عدد الثلاجات العاملة فيها ثلاجتين فقط بنسبة (3%)من إجمالي المحافظة.

ويلاحظ أن هذا التوزيع المكاني يعكس تركز النشاط في المناطق ذات الكثافة السكانية العالية، وخاصة في مدينة ذمار، حيث يرتفع الطلب على المنتجات الزراعية الطازجة، بسبب توافر الخدمات اللوجستية الداعمة للتخزين والنقل، وبذلك لا يُعد استخدام الطاقة الشمسية في التبريد والتخزين مجرد بديل تقني، بل يُمثل إطارًا متكاملًا يجمع بين الكفاءة الاقتصادية والاستدامة البيئية والدعم الاجتماعي للمزارعين، مما يعزز مناعة القطاع الزراعي في منطقة الدراسة وقدرته على مواجهة تحديات التغير المناخي والضغوط الاقتصادية المتصاعدة.

الآثار الإيجابية والسلبية لاستثمار الطاقة الشمسية في الأنشطة الزراعية بمنطقة الدراسة

إن عملية استخدام الأنشطة الزراعية للطاقة الشمسية بمنطقة الدراسة تعد تحولًا نوعيًا في أساليب الإنتاج والتنمية الزراعية من خلال تعدد المنتجات الزراعية وزيادة كميتها مع تقليل الجهد للعمالة البشرية، كما وفرت عائدا ماليا كبيرا؛ نتيجة فارق تكلفة استخدام الطاقة الشمسية بدلًا عن الطاقة التقليدية، وتحول هذا الفارق إلى دعم للمزارعين في الجوانب الأخرى، كشراء الأسمدة والبذور المحسنة لزيادة الإنتاج الأفقي والرأسي للمحاصيل، فضلًا عن تعدد نوعية المنتج لتحقيق تنمية مستدامة، رافقها وجود آثار إيجابية وسلبية تتضح من خلال الآتي:

1- الآثار الإيجابية لاستثمار الطاقة الشمسية في الأنشطة الزراعية بمنطقة الدراسة:

أ- الآثار الاقتصادية: يعد استخدام الأنشطة الزراعية للطاقة الشمسية بمنطقة الدراسة خيارًا إستراتيجيًا لتعزيز الجدوى الاقتصادية للقطاع الزراعي، وذلك من خلال خفض تكاليف الإنتاج التي ارتفعت بصورة ملحوظة نتيجة الزيادة المستمرة في أسعار الوقود التقليدي. فقد ارتفع سعر لتر الديزل من 195 ريالًا عام 2014م إلى 475 ريالًا عام 2025م، وهو ما انعكس سلبًا على ارتفاع تكاليف تشغيل مضخات الري المعتمدة على الوقود الأحفوري. وفي المقابل، توفر منظومات الطاقة الشمسية . رغم ارتفاع تكلفتها الأولية . مصدرًا مستدامًا ومجانيًا للطاقة بعد التركيب، مما يتيح للمزارعين توسيع الرقعة المزروعة وزيادة إنتاجية المحاصيل، وبالتالي تحسين العائد الاقتصادي على المدى الطويل. وتشير الدراسات إلى أن أنظمة الزراعة الكهروضوئية تسهم في رفع إنتاجية المحاصيل بنسبة تتراوح بين 3% و20% تبعًا لنوع المحصول والظروف المناخية، وهو ما يعزز الأمن الغذائي ويقلل الاعتماد على الاستيراد. وإضافة إلى ذلك، فإن انتشار هذه المنظومات يفتح مجالات عمل جديدة في أنشطة الزراعة، وكذلك في بيع وتركيب وصيانة أنظمة الطاقة الشمسية.

ب- الآثار الاجتماعية: يسهم انتشار استخدام أنظمة الطاقة الشمسية بمنطقة الدراسة في تحسين الظروف المعيشية للمجتمعات الريفية من خلال توفير فرص عمل جديدة وتحسين الدخل الزراعي (مسعودة، 2019، ص 70). كما أسهم هذا التحول في تعزيز استقرار السكان والحد من معدلات الهجرة نحو المراكز الحضرية، وهي ظاهرة تفاقمت في أعقاب الصراعات السياسية وما نتج عنها من موجات نزوح من المحافظات الأخرى إليها، فضلًا عن انتقال بعض سكان الريف إلى المدن بحثًا عن مصادر طاقة تلبي احتياجاتهم الأساسية.

وقد تزامن ذلك مع الارتفاع الكبير في أسعار المشتقات النفطية، حيث وصل سعر 20 لترًا من الديزل إلى ما بين (12–20 ألف ريال) عام 2018م، الأمر الذي أدى إلى تراجع الإنتاج الزراعي بشكل ملحوظ. في هذا السياق، شكّل الاعتماد على الطاقة الشمسية بديلًا عمليًا ومستدامًا لدعم الأنشطة الزراعية وغير الزراعية، بما يحسن مستوى المعيشة ويعزز الأمن الطاقي والغذائي على المديين المتوسط والطويل، وهو ما يتطلب صياغة سياسات تنموية أكثر شمولًا لضمان استدامة التنمية الزراعية.

ج- الآثار البيئية: أسهم التوسع في استخدام الطاقة الشمسية في الأنشطة الزراعية بمنطقة الدراسة في تقليل الانبعاثات الكربونية الناتجة عن الاستهلاك المكثف لوقود الديزل في تشغيل الآلات الزراعية، لكن استخدام الطاقة الشمسية كبديل نظيف انعكس إيجابا على الحد من التلوث البيئي، ويمكن أن تسهم محطة طاقة شمسية بقدرة 25 ميجا وات في توفير طاقة نظيفة لمشروع زراعي خالٍ من انبعاثات الكربون على مساحة 6 كم2، وهذا يساعد على منع توسع ظاهرة الاحتباس الحراري فالانبعاثات الناتجة عن حرق1لتر ديزل تبلغ 2,6 كجم من ثاني أكسيد الكربون (القزويني وآخرون، 2013، ص 1705-1721)، وعليه فإن استهلاك 100 لتر ديزل ينتج عنه كمية تبلغ 265كجم من الكربون و1,5كجم من أكاسيد النيتروجين، وهي غازات ضارة يرتبط وجودها بانتشار أمراض الجهاز التنفسي والعيون، إضافة إلى مساهمتها في تكوين الأمطار

الحمضية. انظر اللوحة (3)، بالإضافة إلى ذلك توفر الألواح الشمسية ظلًا جزئيًا يقلل من معدلات تبخر المياه من التربة، الأمر الذي يسهم في تحسين الموازنة المائية خصوصًا في المناطق الجافة وشبه الجافة، ويدعم استدامة الأنشطة الزراعية.

لوحة (3)

التلوث البيئي نتيجة لاستهلاك الديزل بمضخات الري بمنطقة الدراسة قرية يكار مديرية الحداء

المصدر: الزيارة الميدانية (2025/9/2م)

2- الآثار السلبية لاستخدام واستثمار الطاقة الشمسية في الأنشطة الزراعية بمنطقة الدراسة:

أ- **التكاليف المرتفعة:** تُعد التكلفة الأولية لتركيب أنظمة استخدام الطاقة الشمسية (الألواح - البطاريات، _المحولات، والمضخات) من أبرز العوائق أمام صغار المزارعين. إذ تتباين التكلفة وفقًا لعمق البئر وجودة النظام المستخدم؛ حيث يتراوح سعر منظومة ري تعمل بالطاقة الشمسية لعمق (200 متر) بين 10,000,000 ريال يمني للأنظمة منخفضة الجودة، و14,000,000 ريال يمني للأنظمة ذات الجودة العالية (الدراسة الميدانية، 2025/9/2م). ويؤدي ذلك إلى حرمان كثير من المزارعين محدودي الدخل من الاستفادة من هذه التقنية. كما أن تكاليف الصيانة والإصلاح الدوري قد تشكل عبئًا إضافيًا في حال غياب الخبرات الفنية المحلية، الأمر الذي يحد من التوسع في استخدامها. ويُلاحظ أن المزارعين الذين ظلوا يعتمدون على الوقود الأحفوري لم يتمكنوا من تحمل أعباء التشغيل المرتفعة، مما أدى إلى تقليص المساحات المزروعة، على عكس المزارعين الذين تبنوا أنظمة الري بالطاقة الشمسية فشهدوا تحسنًا ملحوظًا في إنتاجهم الزراعي.

ب- **تدني الوعي المجتمعي:** يُعد نقص الوعي لدى المزارعين في منطقة الدراسة أحد أبرز العوائق أمام الاستثمار الأمثل في استخدام الطاقة الشمسية الزراعية. فكثير منهم ما يزال يفتقر إلى المعرفة الكافية بآلية عمل هذه الأنظمة ومكوناتها ومتطلبات صيانتها، الأمر الذي ينعكس في ترددهم في الإقدام على استخدامها رغم ما تحققه من عوائد اقتصادية وبيئية واجتماعية. ويؤدي غياب التثقيف المؤسسي والإعلامي إلى تكريس هذا الوضع، إذ لم تُستثمر وسائل الإعلام ووسائل الإرشاد الزراعي على نحو كافٍ لنشر الوعي بأهمية هذه التقنية. كما أسهم انتشار مفاهيم مغلوطة بين المزارعين، مثل الاعتقاد بقصر العمر التشغيلي للأنظمة الشمسية أو ارتفاع تكاليف صيانتها، في تعزيز حالة التردد.

والواقع أن العمر الافتراضي لهذه الأنظمة يمتد إلى ما يقارب (25–30 عامًا)، مع انخفاض تكاليف التشغيل مقارنة بالوقود التقليدي، غير أن غياب الوعي يحرم المزارعين من استثمار هذه المزايا. إن استمرار هذا الوضع من شأنه أن يبطئ من وتيرة التحول الطاقي في الريف، ويجعل الاستفادة من الطاقة الشمسية حكرًا على المزارعين الأكثر قدرة مالية أو وعيًا تقنيًا، في حين تبقى الفئات محدودة الموارد أكثر عرضة للتهميش الاقتصادي والاجتماعي.

ج- **الاستنزاف الجائر للمياه الجوفية:** على الرغم من دور الطاقة الشمسية في تقليل تكاليف تشغيل مضخات الري، إلا أنها أفرزت آثارًا بيئية مقلقة ترتبط بالاستنزاف المفرط للمياه الجوفية. فقد شجع توفر الطاقة المجانية المزارعين على تشغيل المضخات لفترات طويلة دون ضوابط، وهو ما أدى إلى سحب كميات من المياه تفوق قدرة المخزون الجوفي على التجدد الطبيعي. وتعتمد منطقة الدراسة بصورة أساسية على المياه الجوفية، في حين أن معدلات الأمطار السنوية محدودة وتتراوح بين (200–800 ملم)، فضلًا عن تذبذبها الواضح من عام لآخر، الأمر الذي يجعل اعتماد الزراعة على هذه المياه أمرًا محفوفًا بالمخاطر.

وقد أدى الاستخدام غير المنظم إلى جفاف العديد من الآبار الضحلة، مما دفع المزارعين إلى حفر آبار أعمق وأكثر تكلفة، وهو ما خلق منافسة غير متوازنة على المياه. هذا الوضع لا يقتصر أثره على ارتفاع تكاليف الإنتاج، بل يمتد إلى تدهور البيئة الزراعية من خلال انخفاض مستوى المياه الجوفية وتملح التربة وفقدان خصوبتها. ومع غياب سياسات واضحة لإدارة المياه وتنظيم استخدام الطاقة الشمسية في الري، تزداد خطورة هذه الظاهرة التي تهدد الأمن المائي، بل وتمثل خطرًا إستراتيجيًا على المخزون الجوفي للمنطقة على المدى المتوسط والطويل.

طرق التغلب على التحديات التي تواجه عملية استخدام الأنشطة الزراعية للطاقة الشمسية بمنطقة الدراسة:

للتغلب على تلك التحديات ينبغي الآتي (ستيتي، 2025، ص20-21):

1- توفير الدعم المالي أو القروض الميسرة؛ لشراء مختلف المعدات والأجهزة التي تعمل بالطاقة الشمسية بمختلف الأنشطة الزراعية من قبل الدولة أو المنظمات الداعمة لهذا المجال؛ مما يسهل على المزارعين بالمنطقة الحصول على تلك الأنظمة.

2- تعزيز تقنيات التخزين للطاقة الشمسية من خلال استخدام بطاريات عالية الكفاءة والتخزين أو تطوير أنظمة هجينة تجمع بين الطاقة الشمسية ومصادر أخرى، مثل مولدات الديزل؛ لضمان استمرارية التشغيل في الظروف الجوية غير الملائمة؛ لتلبي احتياجات المحاصيل الزراعية من الماء.

3- بناء القدرات المحلية، وذلك بتوفير كوادر مؤهلة تعمل على تدريب المستخدمين المحليين على حسن استخدامها وكيفية إتقان صيانة الأنظمة وتنظيف ألواح الطاقة من الغبار والأتربة؛ حيث يمكن أن تُساعد برامج التدريب المحلي على تعزيز المعرفة حول الصيانة والتقليل من الإهمال والاعتماد على الفنيين الخارجيين، كما يجب استخدام مكونات ذات جودة عالية؛ لضمان إطالة عُمر الأنظمة لفترة أطول.

4- تنفيذ برامج توعية مجتمعية واسعة تستفيد منها كل شرائح المجتمع الزراعي، كالتي تنفذها المؤسسات الحكومية أو منظمات المجتمع المدني؛ لتثقيف المواطنين حول فوائد الطاقة الشمسية الزراعية الآمنة والرخيصة وآليات استخدامها على الوجه الأمثل، من خلال الورش، والندوات، والأنشطة التطبيقية.

5- تبنّي إستراتيجيات وطنية طويلة المدى لتحقيق التنمية الزراعية المستدامة، بتوفير البذور المحسنة، ومنظومات طاقة شمسية متطورة؛ والزيادة في تنوع المحاصيل الزراعية النقدية الموسمية مع إدخال صناعة زراعية تحافظ على سعر

المنتج وتطيل عمر المنتج الملبي للطلب، وتقلل من الاستيراد؛ ليتم تحقيق الاكتفاء في سد احتياجات السكان من الغذاء، وتوفير عائدات مالية تحسِّن مستوى معيشتهم.

6- معالجة مشكلة استنزاف المياه الجوفية عن طريق استخدام شبكات الري الحديثة التي تحسن استخدام المياه مع الحفاظ عليها من الإسراف والاستنزاف وعمل توعية للمزارعين ليساهموا في الحفاظ على الموارد المائية التي تعود عليهم بالنفع على المدى الزمني الطويل.

7- تشجيع زراعة المحاصيل المخصصة للتصدير، مع الترويج لها في الدول الجوار، نتيجة لما تتميز به المحاصيل اليمنية عن غيرها من منتجات العالم بجودتها العالية.

النتائج:

توصل البحث إلى عدد من النتائج أهمهما:

1- تحظى المنطقة بسطوع فعلي قدره 9 ساعات كمعدل سنوي، وكمية إشعاع شمسي بمعدل 6 ك و/م2/يوم، وهذا مؤشر على توفر القدرة الكبيرة للطاقة الشمسية، بما يمكنها من أن تسد معظم متطلبات الأنشطة الزراعية بمختلف أنوع الطاقة.

2- أن منطقة الدراسة تتمتع بعدد من العوامل الجغرافية الطبيعية والبشرية التي ميزتها عن كثير من مناطق العالم، ومنها توفر مورد الطاقة الشمسية من حيث زاوية سقوط الإشعاع، وطول النهار، وصفاء السماء، وتعد منطقة الدراسة من أفضل مناطق العالم امتلاكًا للطاقة الشمسية، كونها تقع ضمن منطقة الحزام الشمسي (30 شمالا وجنوبا) التي تعد أعلى منطقة إشعاع شمسي في العالم.

3- حققت الأنشطة الزراعية باستخدامها للطاقة الشمسية أثرًا تنمويًا إيجابيًا عاليًا، ويؤكد ذلك اعتماد مختلف المشاريع الزراعية على الطاقة الشمسية بنسبة 70% من مختلف مصادر الطاقة منذ بداية الصراع السياسي وانقطاع الكهرباء عام 2015م حتى الوقت الحاضر (2025م) لتغطي أكثر من 70% في بعض مديريات منطقة الدراسة، مما ساهم في توفير الغذاء المحلي للسكان والتقليل من الاعتماد على الاستيراد الخارجي.

4- نظرًا للخبرة التي اكتسبها المزارعون، وتنامي سوق استخدام الطاقة الشمسية في منطقة الدراسة التي شهدت تحولًا سريعًا في استخدام أنظمة الري بالطاقة الشمسية وغيرها، فقد تزايد استخدام الطاقة الشمسية المركبة مع الوقت، قافزة من 0% عام 2012؛ لتصل إلى 90% تقريبًا في بعض مناطق مديرية جهران بنهاية 2025م، مما ساهم في توفير الغذاء المحلي للسكان والتقليل من الاعتماد على الاستيراد من الخارج.

5- تفتقد مشاريع الأنشطة الزراعية في عملية استغلال الطاقة الشمسية إلى إصدار قوانين تنظم حسن استغلال المياه الجوفية والحفاظ عليها من الاستنزاف، مع تحديد وتنظيم الكميات التي تسد احتياج المحاصيل الزراعية بمختلف أنواعها عبر عدادات خاصة، وفرض عقوبات مناسبة على من يخالف ذلك.

6- تسهم عملية تبريد وتخزين المحاصيل الزراعية باستخدام الطاقة الشمسية في تقليل الفاقد منها بعد الحصاد.

7- أسهم استخدام الطاقة الشمسية بشكل إيجابي في إنقاذ القطاع الزراعي من الانهيار، وساهم في تحقيق تنمية زراعية، وحسّن من دخل المزارعين، أما الأثر السلبي فقد تمثل في مساهمتها في تشكيل كارثة بيئية نسبية خلال الفترة القادمة،

تتمثل في عملية سحب كميات كبير ة من المياه الجوفية التي يهبط منسوبها بشكل كبير، والتي تعد أساس الحياة والزراعة في المحافظة.

التوصيات:

خلص البحث إلى عدد من التوصيات أهمها:

1- اقتراح إنشاء صندوق يدعم مشاريع الطاقة الشمسية بمشاركة المجتمع المدني باستثماراتهم في تكنولوجيا هذه الطاقة؛ للتغلب على معوقات التمويل، وتشجيع المزارعين على استخدامها وتحفيز أصحاب المصانع لتصنيعها محليًا؛ لزيادة الفوائد العائدة منها محليًا.

2- إعفاء مكونات نظم الطاقة الشمسية من الرسوم الجمركية، تشجيعًا للمستثمرين في هذا المجال.

3- تأهيل الكوادر الفنية؛ لتشغيل وصيانة مختلف وسائل الطاقة الشمسية.

المراجع

إبراهيم، م. (2025). *الاستثمار في الطاقات المتجددة كآلية للقضاء على التبعية لقطاع المحروقات* [رسالة ماجستير غير منشورة]. جامعة عين تموشنت، الجزائر.

باهي، ي .(2024). *الفلاحة الصحراوية ودورها في تحقيق الأمن الغذائي :ولاية الوادي أنموذجًا*. جامعة إب، والمركز الديمقراطي العربي للدراسات الإستراتيجية والسياسية والاقتصادية.

بغزة، خ.(2018). *التباين المكاني للقوى العاملة النسائية في محافظة ذمار :دراسة تحليلية في جغرافية السكان*[أطروحة دكتوراه غير منشورة غير منشورة].جامعة ذمار.

بومدين، ر .وبشنى، ي .(2024). *التنمية الزراعية كآلية لتحقيق الأمن الغذائي العربي*. جامعة إب، والمركز الديمقراطي العربي للدراسات الإستراتيجية والسياسية والاقتصادية.

الثجري، أ.(2005) . *محافظة ذمار :دراسة في الجغرافيا الإقليمية* [رسالة ماجستير غير منشورة]. جامعة ذمار.

الجمهورية اليمنية، الجهاز المركزي للإحصاء .(2013) .*كتاب الإحصاء السنوي*.صنعاء.

الجمهورية اليمنية، الجهاز المركزي للإحصاء .(2014) .*كتاب الإحصاء السنوي* .صنعاء.

الجمهورية اليمنية، الجهاز المركزي للإحصاء .(2025) .*كتاب الإحصاء السنوي* .عدن.

الحياسي، م .(2011) .*الإشعاع الشمسي والرياح ودورهما في إنتاج الطاقة في الجمهورية اليمنية :دراسة في الجغرافيا الاقتصادية* [رسالة ماجستير غير منشورة]. جامعة ذمار.

الحياسي، م .(2020) .*التحليل الجغرافي للطاقة الشمسية والكهربائية وآثارهما التنموية في محافظة ذمار :دراسة في الجغرافيا الاقتصادية* [أطروحة دكتوراه غير منشورة غير منشورة]. جامعة صنعاء.

الراعي، ع .م .(2004) .*المناخ وعلاقته بزراعة محصول البطاطس في محافظة ذمار*[رسالة ماجستير غير منشورة]. جامعة ذمار.

الراوي، ص. والبياتي، ع. ()1990).*أسس علم المناخ*. دار الكتب للطباعة والنشر، الموصل، العراق.

السهمي، ن. (2004).*أثر المناخ على إنتاجية البن في اليمن*[رسالة ماجستير غير منشورة]. جامعة صنعاء.

ستيتي، س .(2025) .*الطاقات المتجددة كآلية لتعزيز التنمية المستدامة في الجزائر :دراسة حالة الجزائر*[رسالة ماجستير غير منشورة]. جامعة 8 ماي.

شرغة، ص. (20 مايو 2025م). *تاجر منظومات شمسية* (مقابلة شخصية). معبر، ذمار.

عبده، ط. وجاد الله، ح.(2000). *الجغرافيا الطبيعية*. دار المعرفة الجامعية.

القزويني، ر. والقزويني، س. والسعدي، أ. (2013). دراسة التلوث البيئي لتأثير المولدات الكهربائية على البيئة المحيطة- حالة الدراسة :المولدات المنزلية. *مجلة جامعة للعلوم الهندسية*. *21*(5)، 1705- 1721.

مسعودة، س .(2019) .*الاستثمار في الطاقات المتجددة كخيار إستراتيجي لتحقيق التنمية المستدامة :تجارب دولية رائدة*[رسالة ماجستير غير منشورة]. معهد العلوم الاقتصادية والتجارية وعلوم التسيير.

الملصي، أ. (2024). *خطة إستراتيجية لوصول اليمن إلى الاكتفاء الذاتي*. إصدارات جامعة إب، والمركز الديمقراطي العربي للدراسات الإستراتيجية والسياسية والاقتصادية.

موسى، ع. (1994). أساسيات علم المناخ. دار الفكر المعاصر.

الموسى، ف. (2025). *الطاقة المتجددة. المركز الديمقراطي العربي للدراسات الإستراتيجية والسياسية والاقتصادية*.

الهيئة العامة للبحوث والإرشاد الزراعي، وحدة بحوث المناخ الزراعي(2024) .. *بيانات غير منشورة*. ذمار.

الهيئة العامة للطيران المدني والأرصاد، إدارة المناخ .(2007) .*بيانات غير منشورة*، صنعاء.

References

Ibrāhīm, M. (2025). *Investing in renewable energy as a mechanism to eliminate dependence on the hydrocarbons sector* [Unpublished master's thesis]. University of Ain Temouchent, Algeria.

Bāhī, Y. (2024). *Desert agriculture and its role in achieving food security: A case study of Al-Wadī Governorate*. University of Ibb & Arab Democratic Center for Strategic, Political, and Economic Studies.

Bughzah, Kh. (2018). *Spatial variation of female labor force in Dhamar Governorate: An analytical study in population geography* [Unpublished doctoral dissertation]. University of Dhamar.

Būmdīn, R., & Bashnā, Y. (2024). *Agricultural development as a mechanism for achieving Arab food security*. University of Ibb & Arab Democratic Center for Strategic, Political, and Economic Studies.

Al-Thijrī, A. (2005). *Dhamar Governorate: A study in regional geography* [Unpublished master's thesis]. University of Dhamar.

Republic of Yemen, Central Statistical Organization. (2013). *Statistical yearbook*. Sana'a.

Republic of Yemen, Central Statistical Organization. (2014). *Statistical yearbook*. Sana'a.

Republic of Yemen, Central Statistical Organization. (2025). *Statistical yearbook*. Aden.

Al-Ḥayyāsī, M. (2011). *Solar radiation and wind and their role in energy production in the Republic of Yemen: A study in economic geography* [Unpublished master's thesis]. University of Dhamar.

Al-Ḥayyāsī, M. (2020). *Geographical analysis of solar and electric energy and their developmental effects in Dhamar Governorate: A study in economic geography* [Unpublished doctoral dissertation]. University of Sana'a.

Al-Rāʿī, A. M. (2004). *Climate and its relation to potato cultivation in Dhamar Governorate* [Unpublished master's thesis]. University of Dhamar.

Al-Rāwī, Ṣ., & Al-Bayātī, ʿA. (1990). *Fundamentals of climatology*. University Press for Printing and Publishing, Mosul, Iraq.

Al-Sahmī, N. (2004). *The effect of climate on coffee productivity in Yemen* [Unpublished master's thesis]. University of Sana'a.

Sittitī, S. (2025). *Renewable energy as a mechanism to promote sustainable development in Algeria: Case study of Algeria* [Unpublished master's thesis]. University of 8 May.

Sharghah, Ṣ. (May 20, 2025). *Solar systems trader* [Personal interview]. Maʿbar, Dhamar.

ʿAbduh, Ṭ., & Jād Allāh, Ḥ. (2000). *Physical geography*. University Knowledge House.

Al-Qazwīnī, R., Al-Qazwīnī, S., & Al-Saʿdī, A. (2013). Environmental pollution study on the effects of electric generators on the surrounding environment: Case study of household generators. *Journal of University for Engineering Sciences*, 21(5), 1705–1721.

Masʿūdah, S. (2019). *Investing in renewable energy as a strategic option for achieving sustainable development: Leading international experiences* [Unpublished master's thesis]. Institute of Economic, Commercial, and Management Sciences.

Al-Mulṣī, A. (2024). *A strategic plan for Yemen to achieve self-sufficiency*. University of Ibb & Arab Democratic Center for Strategic, Political, and Economic Studies.

Mūsā, ʿA. (1994). *Fundamentals of climatology*. Dār al-Fikr al-Muʿāṣir.

Al-Mūsā, F. (2025). *Renewable energy*. Arab Democratic Center for Strategic, Political, and Economic Studies.

General Authority for Agricultural Research and Extension, Agricultural Climate Research Unit. (2024). *Unpublished data*. Dhamar.

General Authority of Civil Aviation and Meteorology, Climate Department. (2007). *Unpublished data*. Sana'a.