

أثر استخدام الطاقة الشمسية في تحسين كفاءة وخفض تكاليف
الإنتاج الزراعي
دراسة حالة البنك الزراعي السوداني بمحلية المتمة

إعداد د. طارق محمد احمد سعد

البنك الزراعي السوداني - قسم الاستثمار ولاية نهر النيل - محافظة المتمة

المستخلص:

هدفت هذه الدراسة إلى تحليل " أثر استخدام الطاقة الشمسية في تحسين كفاءة وخفض تكاليف الإنتاج الزراعي - دراسة حالة (البنك الزراعي السوداني بمحلية المتمة)"، وذلك بالتركيز على دور البنك الزراعي السوداني في تمويل ودعم تبني هذه التقنية المستدامة. وانطلقت الدراسة من مشكلة تتمثل في التحديات التي يواجهها المزارعون في خفض التكاليف التشغيلية، وتحسين كفاءة الإنتاج، وتحقيق الاستدامة الزراعية، في ظل الاعتماد الكبير على مصادر الطاقة التقليدية. اعتمدت الدراسة المنهج الوصفي التحليلي، وتم جمع البيانات باستخدام استبانة وُزعت على عينة قوامها (100) مفردة من المزارعين المستفيدين من التمويل الزراعي، وموظفي البنك الزراعي، ومديري المشروعات الزراعية بمحلية المتمة. تم تحليل البيانات إحصائياً باستخدام برنامج (SPSS) لاختبار الفرضيات وقياس دلالة العلاقات بين المتغيرات. أظهرت نتائج الدراسة وجود أثر إيجابي ذي دلالة إحصائية لاستخدام الطاقة الشمسية في خفض تكاليف الوقود والصيانة وتحسين الإنتاجية الزراعية، كما بينت الدور المحوري للبنك الزراعي السوداني في دعم تبني هذه التقنية عبر توفير برامج تمويل مرنة وخدمات دعم فني، رغم التحديات المالية والفنية والتنظيمية. كذلك أسهم استخدام الطاقة الشمسية في تعزيز الاستدامة الاقتصادية والبيئية من خلال تقليل الانبعاثات والحفاظ على الموارد الطبيعية. أوصت الدراسة بضرورة التوسع في استخدام الطاقة الشمسية في الأنشطة الزراعية، وتطوير برامج تمويل متخصصة، وتنفيذ برامج تدريب وتأهيل فني للمزارعين، ودمج الطاقة الشمسية ضمن استراتيجيات التنمية الزراعية المستدامة.

الكلمات المفتاحية:

الطاقة الشمسية، التكاليف التشغيلية، الإنتاجية الزراعية، البنك الزراعي السوداني، الاستدامة الزراعية.

Abstract

This study examines the impact of solar energy use on agricultural productivity in Al-Matamma locality, with particular emphasis on the role of the Sudanese Agricultural Bank in financing and supporting the adoption of this sustainable technology. The research problem arises from the challenges farmers face in reducing operating costs, improving production efficiency, and ensuring agricultural sustainability amid heavy reliance on conventional energy sources. A descriptive-analytical approach was employed. Data were collected through a questionnaire administered to a sample of 100 respondents, including farmers benefiting from agricultural financing, employees of the Sudanese Agricultural Bank, and managers of agricultural projects in Al-Matamma. The data were analyzed using SPSS to test the study hypotheses and assess the significance of relationships between variables. The findings indicate a statistically significant positive effect of solar energy on reducing fuel and maintenance costs and improving agricultural productivity. The results also demonstrate the pivotal role of the Sudanese Agricultural Bank in promoting solar energy adoption through flexible financing schemes and technical support, despite financial, technical, and regulatory challenges. Moreover, the use of solar energy contributes to economic and environmental sustainability by reducing emissions and conserving natural resources.

Keywords: Solar Energy, Agricultural Production, Operational Costs, Sustainability Agricultural Bank of Sudan, Al-Matammah locality.

المقدمة:

يشهد القطاع الزراعي تحولاً متزايداً نحو استخدام مصادر الطاقة المتجددة، نظراً لارتفاع تكاليف التشغيل المرتبطة بالوقود التقليدي، وتزايد الحاجة الى تحسين كفاءة الإنتاج وضمان استدامة الموارد. وتبرز أهمية الطاقة الشمسية كأحد اهم البدائل التي يمكن الاعتماد عليها في تشغيل أنظمة الري ورفع الكفاءة الإنتاجية مع خفض التكاليف التشغيلية. في ولاية نهر النيل وبخاصة في محلية المتمة، يعتمد قطاع الزراعة بدرجة كبيرة على مضخات الري، وهو ما يجعل الطاقة الشمسية خياراً استراتيجياً للمزارعين في ظل التحديات الاقتصادية والبيئية الراهنة.

يلعب البنك الزراعي السوداني دوراً محورياً في تمويل المشروعات الزراعية وتسهيل تبني التقنيات الحديثة، إلا أن مدى فاعلية هذا الدور في دعم استخدام الطاقة الشمسية يحتاج الى دراسة ميدانية تحليلية كما أن تبني الطاقة الشمسية يواجه عدداً من التحديات، مثل التكلفة الأولية المرتفعة، ونقص الخبرة الفنية، وضعف الوعي بفوائد التكنولوجيا الشمسية، إضافة الى محدودية خدمات الصيانة والمتابعة. وانطلاقاً من ذلك، تهدف هذه الدراسة الى تحليل أثر استخدام الطاقة الشمسية في تحسين كفاءة تكاليف الإنتاج والإنتاجية الزراعية بمحلية المتمة، مع تسليط الضوء على دور البنك الزراعي السوداني في دعم هذا التوجه، وبيان التحديات التي تحد من انتشاره، وصولاً الى تقديم توصيات عملية وعلمية تسهم في دعم السياسات الزراعية والتمويلية وتعزيز التنمية المستدامة في القطاع الزراعي.

مشكلة الدراسة:

الرغم من توفر اشعة الشمس وتحول العالم نحو الطاقة الشمسية، باعتباره أحد الحلول المستدامة لمواجهة ارتفاع تكاليف الطاقة التقليدية، وعدم استقرار الامداد الكهربائي، وزيادة الاعباء التشغيلية التي يتحملها المزارعون. وعلى الرغم من تزايد الاهتمام بالطاقة الشمسية إلا أن تبني الطاقة الشمسية في القطاع الزراعي بمحلية المتمة لا زال محدوداً. ويعاني المزارعون من ارتفاع تكاليف الوقود وصعوبة استمرارية الري، إضافة الى تحديات التمويل وضعف الارشاد الفني. في ظل جهود البنك الزراعي السوداني لدعم التقنيات الحديثة، تظل الحاجة قائمة لتقييم

_____ أثر استخدام الطاقة الشمسية في تحسين كفاءة وخفض تكاليف الإنتاج الزراعي _____

أثر الطاقة الشمسية على خفض التكاليف وتحسين الكفاءة وزيادة العائد الاقتصادي، ومدى ارتباط ذلك بتحقيق التنمية المستدامة.

ويطرح السؤال الرئيس:

(ما أثر استخدام الطاقة الشمسية في تحسين كفاءة وتكاليف الانتاج بمحلية المتمة، وتحقيق الاستدامة وزيادة العائد الاقتصادي، وما دور البنك الزراعي السوداني في تمويل ودعم تبنيتها، وانعكاسات ذلك على تحقيق الاستدامة الزراعية؟)

ويتفرع عن هذا التساؤل عدد من الاسئلة الفرعية: وذلك من خلال الإجابة عن التساؤلات الآتية:

1. ما مستوى استخدام الطاقة الشمسية في الأنشطة الزراعية بمحلية المتمة؟
2. ما مدى تأثير الطاقة الشمسية في خفض التكاليف التشغيلية والانتاجية للمزارعين؟
3. ما الدور الذي يؤديه البنك الزراعي السوداني في تمويل ودعم تبنى الطاقة الشمسية الزراعية؟
4. ما التحديات الفنية والمالية والتنظيمية التي تحد من التوسع في استخدام الطاقة الشمسية في القطاع بمحلية المتمة؟
5. ما مدى تأثير الطاقة الشمسية في تعزيز التنمية المستدامة وزيادة العائد الاقتصادي للمزارعين؟

انطلاقاً من مشكلة الدراسة وأسئلتها البحثية، تم صياغة الفرضيات على النحو الآتي:

فرضيات الدراسة:

لتحقيق أهداف الدراسة تم صياغة مجموعة من الفرضيات التي تعبر عن العلاقات المتوقعة بين متغيرات البحث وذلك على النحو الآتي:

الفرضيات الفرعية:

1. **الفرضية الاولى:** توجد علاقة ذات دلالة احصائية بين استخدام الطاقة الشمسية وخفض تكاليف الإنتاج الزراعي بمحلية المتمة.
2. **الفرضية الثانية:** توجد علاقة ذات دلالة احصائية بين نظم الضخ بالطاقة الشمسية وتحسين الكفاءة التشغيلية والإنتاجية للمزارعين.
3. **الفرضية الثالثة:** توجد علاقة ذات دلالة احصائية بين دعم البنك الزراعي السوداني ومستوى تبني مشروعات المزارعين لتقنيات الطاقة الشمسية الزراعية.
4. **الفرضية الرابعة:** توجد علاقة ذات دلالة إحصائية بين التحديات التي تواجه المزارعين ومعدل
5. انتشار استخدام الطاقة الشمسية في المشروعات الزراعية.
6. **الفرضية الخامسة:** توجد علاقة احصائية بين استخدام الطاقة الشمسية وتعزيز التنمية المستدامة وزيادة العائد للمزارعين.

أهداف الدراسة:

تهدف هذه الدراسة الى تحليل أثر استخدام الطاقة الشمسية في تحسين كفاءة التكاليف التشغيلية والانتاجية الزراعية وتعزز التنمية المستدامة وزيادة العائد الاقتصادي للمزارعين بمحلية المتمة، مع التركيز على دور البنك الزراعي السوداني في دعم تمويل هذا التوجه.

تهدف الدراسة الى تحقيق الاهداف الرئيسية التالية :

1. قياس مستوى استخدام تقنيات الطاقة الشمسية في الانشطة الزراعية بمحلية المتمة، وتحديد مجالات تطبيقاتها المختلفة.
2. تحليل أثر استخدام الطاقة الشمسية على خفض التكاليف التشغيلية وتحسين الانتاجية الزراعية لدى المزارعين.

أثر استخدام الطاقة الشمسية في تحسين كفاءة وخفض تكاليف الإنتاج الزراعي

3. تقييم دور البنك الزراعي السوداني في تمويل ودعم تبني تقنيات الطاقة الشمسية الزراعية، من حيث السياسات التمويلية، وآليات الدعم.
4. دراسة العلاقة بين نظم الضخ بالطاقة الشمسية وتحسين الكفاءة التشغيلية والانتاجية الزراعية.
5. تحديد التحديات الفنية والمالية والتنظيمية التي تواجه المزارعين في استخدام الطاقة الشمسية، وقياس أثرها على مستوى انتشارها.
6. تحليل أثر استخدام الطاقة الشمسية في تعزيز التنمية الزراعية المستدامة وزيادة العائد الاقتصادي للمزارعين بمحليه المتمة.
7. تقديم توصيات علمية وعملية مبنية على نتائج الدراسة تسهم في دعم السياسات الزراعية والتمويلية المتعلقة بالطاقة الشمسية.

أهمية الدراسة:

الأهمية العلمية (الأكاديمية):

1. تساهم الدراسة في سد الفجوة معرفية تتعلق بربط الطاقة الشمسية بتخفيض تكاليف الانتاج في بيئة سودانية محلية.
2. تعد من الدراسات النادرة التي تجمع بين البعد الفني للطاقة الشمسية والدعم المؤسسي للبنوك الزراعية.
3. توفر إطارا نظريا وتطبيقيا يمكن الاستناد عليه في دراسات مستقبلية حول الاستدامة الزراعية والطاقة المتجددة.

الأهمية التطبيقية (العملية) :

1. تساعد المزارعين على معرفة جدوى استخدام الطاقة الشمسية في خفض تكلفة التشغيل.

2. تمكن صناع القرار والبنك الزراعي من تطوير سياسات تمويل فعالة لمشروعات الطاقة الشمسية.

3. تقدم مؤشرات عملية لتحسين كفاءة الإنتاج الزراعي في ظل ارتفاع اسعار الوقود.

حدود الدراسة:

الحدود الموضوعية:

ركزت الدراسة على الطاقة الشمسية في الزراعة (الضخ، التشغيل، الري، الإضاءة).

الحدود المكانية: اقتصرت الدراسة على محلية المتمة، بولاية نهر النيل، السودان. وهي من المناطق التي تعد نموذجاً مميزاً لاعتماد تقنيات الطاقة الشمسية في الزراعة الحديثة.

الحدود الزمانية: في الفترة من 2023م-2025م.

الحدود البشرية: اقتصرت عينة الدراسة على عينة قوامها (100) مفردة شملت المزارعين المستخدمين للطاقة الشمسية بمحلية المتمة، وموظفي البنك الزراعي، ومديري المشروعات الزراعية تعتمد على الطاقة الشمسية وقد روعي في اختيار العينة تمثيل الفئات الأكثر ارتباطاً بموضوع الدراسة، بما يضمن الحصول على بيانات تعكس واقع استخدام الطاقة ودور التمويل الزراعي في دعمها.

المصطلحات الإجرائية:

الطاقة الشمسية: الطاقة الناتجة عن الاشعاع الشمسي والمستخدم في تشغيل مضخات واليات الري عبر أنظمة كهروضوئية للمزارعين بمحلية المتمة.

التكاليف التشغيلية: مجموع النفقات التشغيلية بما في ذلك الوقود والصيانة والعمالة.

الانتاجية الزراعية: كفاءة وكمية الانتاج الزراعي المحققة بعد استخدام الطاقة الشمسية.

أثر استخدام الطاقة الشمسية في تحسين كفاءة وخفض تكاليف الإنتاج الزراعي

البنك الزراعي السوداني: المؤسسة التمويلية الرسمية التي تقدم قروضا وخدمات دعم للمزارعين وتشمل تمويل أنظمة الطاقة الشمسية.

الاستدامة الزراعية: القدرة على استمرار الانتاج بكفاءة عالية مع تقليل الاعتماد على مصادر الطاقة الشمسية.

مجتمع الدراسة :

يتكون من مجتمع الدراسة من جميع المزارعين واصحاب المشاريع الزراعية في محلية المتمة، ممن يستخدمون او لديهم معرفة بأنظمة الطاقة الشمسية في عمليات الري والانتاج الزراعي، كما يشمل المجتمع عددا من موظفي البنك الزراعي السوداني العاملين في مجال التمويل الزراعي بمحلية المتمة، وقد تم اختيار هذا المجتمع لكونه الاكثر ارتباطا بموضوع الدراسة، اذ يعكس واقع استخدام الطاقة الشمسية، ودور البنك الزراعي في التمويل والدعم الفني، بالإضافة الى التحديات العملية التي تواجه المزارعين في تبني هذه التقنية.

الدراسات السابقة:

الدراسات العربية:

1. دراسة نور. (2018م):

تناولت الدراسة تحليل واقع استخدام الطاقة الشمسية في القطاع الزراعي السوداني، وظهرت النتائج ان توفر اشعاع شمسي العالي يمثل فرصة كبيرة لتبني الطاقة الشمسية، الا ان ارتفاع التكلفة الابتدائية وضعف الدعم المؤسسي حدا من انتشارها. وتلتقي هذه الدراسة مع الدراسة الحالية في التركيز على السياق السوداني، بينما تختلف عنها في ان الدراسة الحالية تربط بين الطاقة الشمسية وخفض التكاليف والانتاجية ودور البنك الزراعي السوداني.

2. دراسة على وعثمان. (2020):

توصلت الدراسة الى ان التمويل يعد عاملا حاسما في تبني التقنيات الحديثة، وأكدت ان البنك الزراعي السوداني يسهم في تحسين الانتاج الزراعي عبر التمويل الميسر. وتتفق هذه النتائج مع الدراسة الحالية في إبراز الدور المؤسسي للبنك الزراعي، الا ان الدراسة الحالية توسع التحليل ليشمل تمويل الطاقة الشمسية تحديداً.

3. دراسة الحسن ويوسف. (2021):

تناولت الدراسة أثر استخدام الطاقة الشمسية في نظم الري على انتاجية المحاصيل، وخلصت الى ان اعتماد على الضخ الشمسي ادى الى تحسين كفاءة الري وتقليل الاعطال. وتدعم هذه النتائج فرضيات الدراسة الحالية المتعلقة بكفاءة الانتاج وخفض التكاليف.

4. دراسة حسن ونور. (2021):

تناولت الدراسة دور البنك الزراعي السوداني في دعم مشاريع الطاقة المتجددة باستخدام منهج ميداني وصفي شمل مراجعة برامج التمويل وتقييم مستوى استفادة المزارعين، اشارت النتائج الى ان البنك قدم برامج تمويل جيدة الا انها مازال محدودة مقارنة بحجم الطلب الفعلي. كما اكدت الدراسة ضرورة تطوير آليات التمويل وتعزيز الارشاد الفني للمزارعين.

5. المغتبة ورحمه. (2022):

في دراسة حديثة، توصل الى ان نقص الكوادر الفنية وضعف خدمات الصيانة يمثلان من أبرز التحديات التي تواجه استدامة انظمة الطاقة الشمسية في المناطق الريفية. وتتقاطع هذه النتائج مع محور التحديات في الدراسة الحالية.

6. دراسة احمد. (2022):

أثر استخدام الطاقة الشمسية في تحسين كفاءة وخفض تكاليف الإنتاج الزراعي

توصلت الدراسة الى ان التحول الى الطاقة الشمسية ساهم في زيادة المساحات المزروعة وتحسين دخل المزارعين، نتيجة لانخفاض التكاليف التشغيلية. وتؤكد هذه النتائج البعد الاقتصادي للدراسة الحالية.

7. دراسة ابو القاسم. (2024):

اوضحت الدراسة ان الطاقة الشمسية تمثل حلاً لمشكلات الطاقة في القطاع الزراعي العربي، واسهم استخدامها في خفض تكاليف الانتاج وزيادة كفاءة الري، خاصة في البيئات ذات الاشعاع العالي.

8. المنظمة العربية للتنمية الزراعية. (2025):

كما اشارت تقارير المنظمة العربية للتنمية الزراعية الى ان دمج الطاقة المتجددة في الزراعة يسهم في تعزيز الاستدامة الزراعية، شريطة توفير برامج تمويل ميسره وبناء قدرات فنية للمزارعين.

الدراسات الاجنبية:

1. (2021): UNDP

2. استعرض برنامج الامم المتحدة الانمائي (UNDP). دور الطاقة الشمسية في تعزيز

اهداف التنمية المستدامة، مبينا اسهام الطاقة الشمسية في دعم الهدف السابع (الطاقة النظيفة) والثاني (الامن الغذائي) واكدت الدراسة دور الطاقة الشمسية في تحسين العائد الاقتصادي للمزارعين وتقليل الانبعاثات. صلة الدراسة الحالية: تقوى محوري العائد الاقتصادي والاستدامة البيئية.

3. Al-Omari & Al-Zu'bi. (2019):

اجريت الدراسة مقارنة تجريبية بين مضخات الديزل ومضخات الطاقة الشمسية في نظم الري، وخلصت الى تفوق الانظمة الشمسية في نظم الري، كما بينت الدراسة قدرتها على

تشغيل انظمة ري حديثة بكفاءة اعلي. صلة الدراسة الحالية: تدعم فرضية وجود علاقة ايجابية بين استخدام الطاقة الشمسية وكفاءة الانتاج الزراعي.

4. منظمة الاغذية والزراعة. (FAO,2019)

استعرضت منظمة الأغذية والزراعة (FAO) في هذه الدراسة نظم الري بالطاقة الشمسية في الزراعة الحديثة، معتمدة النهج التحليلي الوثائقي. كشفت النتائج عن ان استخدام الطاقة الشمسية يسهم في تعزيز الطاقة الشمسية يسهم كفاءة الري، وخفض تكاليف التشغيل، والحد من الانبعاثات الضارة، مما يجعلها خياراً مثالياً في الدول النامية. تدعم الدراسة الحالية: محاور الكفاءة التشغيلية وخفض التكاليف، والاستدامة البيئية.

5. (IRENA,2020):

قدمت الوكالة الدولية للطاقة المتجددة تحليلاً عالمياً حول انتشار استخدام الطاقة الشمسية في القطاع الزراعي، مبينة انخفاض تكاليف الانظمة الشمسية بشكل كبير عالمياً وزيادة الاعتماد عليها في الضخ الزراعي. واطهرت النتائج قدرة الطاقة الشمسية على توفير طاقة مستقرة دون الحاجة للوقود الأحفوري. صلة الدراسة الحالية: تدعم محور خفض تكاليف التشغيل والتحول للطاقة النظيفة.

6. GIZ.(2020):

حللت الدراسة الجدوى الاقتصادية لاستخدام الطاقة الشمسية في الزراعة باستخدام منهج اقتصادي تحليلي، وتوصلت الى ان الانظمة الشمسية تتميز بانخفاض كبير في تكاليف الصيانة والتشغيل مقارنة بالديزل، اضافة الى تحقيق وفورات مالية ملموسة للمزارعين. هذه الدراسة تدعم محور خفض التكاليف الزراعية وتعزيز الربحية.

7. IRENA. (2023):

أشارت التقارير الى ان الطاقة الشمسية الزراعية اصبحت من اسرع تقنيات الطاقة المتجددة نمواً في الدول النامية، مع التأكيد على ضرورة توفير سياسات داعمة وتمويل ميسر. وتتقاطع هذه النتائج مع محور التحديات والدور المؤسسي في البحث الحالي.

8. World Bank. (2024):

كما خلاص تقرير البنك الدولي الى ان التمويل الزراعي الخضر يمثل اداة فعالة في تسريع تبني الطاقة الشمسية وتحقيق الامن الغذائي، وهو ما يدعم فرضيات الدراسة الحالية المتعلقة بدور البنك الزراعي السوداني.

9. Mohamed and Elasha. (2023)

وفي دراسة حديثة، اشار الى ان استخدام الطاقة الشمسي يقلل من مخاطر المالية المرتبطة بتقلب اسعار الوقود، ويعزز استقرار العائد الزراعي، وهو ما يتفق مع نتائج الدراسة الحالية وحول الاستدامة الاقتصادية

10. IRENA. (2023)

في دراسة أحدث، توصلت الى ان الطاقة الشمسية الزراعية تلعب دورا محورا في تحقيق اهداف التنمية المستدامة ولاسيما فيما تعلق بالأمن الغذائي وخفض الانبعاثات الكربونية، مع التأكيد على اهمية الدعم المؤسسي والتمويلي لزيادة معدلات التبني.

المقارنة بين الدراسات السابقة والدراسة الحالية:

ركزت دراسة الحسن ويوسف (2021) على استخدام مضخات الطاقة الشمسية في الري الزراعي، وظهرت ان الانظمة الشمسية ادت الى زيادة المساحات المزروعة وتحسين انتظام الري وخفض التكاليف التشغيلية. وهي نتائج تتقاطع مباشرة مع ما تستهدفه الدراسة الحالية من تحليل دور الطاقة الشمسية في رفع كفاءة الانتاج وتقليل تكاليف التشغيل لدى المزارعين في محلية المتمة.

اما دراسة احمد (2022) أثر الطاقة الشمسية على انتاجية البصل والبطاطس. وظهرت وجود زيادة واضحة في الانتاجية والعائد الاقتصادي بفضل انتظام الري وخفض التكلفة. وتتوافق هذه النتائج بصورة مباشرة مع الدراسة الحالية التي بحث في دور الطاقة الشمسية في تحسين انتاجية نفس المحاصيل

(البصل والبطاطس) في سياق مختلف مشابه من حيث الظروف الزراعية.

ركزت دراسة على وعثمان (2020) على دور التمويل الزراعي في تبني الطاقة المتجددة، واثبتت وجود علاقة قوية بين توفير التمويل الميسر وقدرة المزارعين على اعتماد الانظمة الشمسية. وهذا ينسجم بشكل مباشر مع الدراسة الحالية التي تفحص دور البنك الزراعي السوداني في تمويل مشروعات الطاقة الشمسية وتأثير ذلك على تبنيها في محلية المتمة. أما الدراسة الحالية تركز على محلية المتمة كحالة دراسية محددة، مع ربط استخدام الطاقة الشمسية بكفاءة الانتاج الزراعي، خفض التكاليف، ودور البنك الزراعي السوداني في التمويل والدعم الفني. وتعتمد الدراسة على محاصيل استراتيجية (البصل والبطاطس) وعينة متنوعة تمثل المزارعين وموظفي البنك الزراعي ومديري المشاريع، مما يعزز شمولية ودقة النتائج. كما تربط الدراسة بين الطاقة الشمسية واهداف التنمية المستدامة، مع ادوات قياس مصممة خصيصا لتناسب الخصوصية المحلية، ما يجعلها إضافة حديثة وموثوقة للمعرفة الاكاديمية مقارنة بالدراسات السابقة.

وبوجه عام تشير الدراسات السابقة الى ان استخدام الطاقة الشمسية في الري الزراعي يؤدي الى رفع كفاءة الإنتاج، خفض التكاليف، وزيادة العائد الاقتصادي، مع التأكيد على اهمية التمويل ودور المؤسسات المصرفية. وتتقاطع الدراسة الحالية مع هذه الدراسة الحالية مع هذه النتائج، لكنها تضيف بعدا محليا محددا (محلية المتمة) وربطها متكاملًا بين الكفاءة، التكلفة، مع ابراز الدور المحوري البنك الزراعي السوداني كفاعل تمويلي وتنظيمي في دعم هذا التحول، إضافة الى التركيز على محاصيل استراتيجية وعينة متنوعة. كما توسع الدراسة الحالية نطاق الفهم ليشمل الاستدامة واهداف التنمية المستدامة. ما جعلها إضافة حديثة وشاملة للمعرفة القائمة.

اولا: الإطار النظري للدراسة:

مفهوم الطاقة الشمسية وتطبيقاتها في الزراعة:

أثر استخدام الطاقة الشمسية في تحسين كفاءة وخفض تكاليف الإنتاج الزراعي

تعد الطاقة الشمسية من أهم مصادر الطاقة المتجددة المستدامة، حيث توفر حلاً علمياً لمشكلة انقطاع الكهرباء وارتفاع تكاليف الوقود في القطاع الكهربائي، خصوصاً في البلدان ذات الإشعاع الشمسي العالي، مثل السودان (Nour,2018) كما توصلت دراسة أبو القاسم إلى أبو القاسم، (2024). نتائج مماثلة.

وتشير الدراسات إلى أن التطبيقات الزراعية للطاقة الشمسية تشمل ضخ المياه للري، وتخفيف المحاصيل، والتبريد والتخزين الزراعي، وتشغيل المعدات الكهربائية داخل المزارع، الأمر الذي يجعلها بديلاً متكاملًا للطاقة التقليدية المعتمدة على الوقود الأحفوري (IRNEA,2022) كما توصلت دراسة حسين، (2024) إلى نتائج مماثلة.

وتشير الدراسات إلى أن الاعتماد على الطاقة الشمسية في القطاع الزراعي بدأ يتوسع بشكل ملحوظ نتيجة توفر التقانات وانخفاض تكلفتها العالمية خلال العقد الأخير (IRENA,2020).

وقد حظيت الطاقة الشمسية باهتمام متزايد في الأدبيات الحديثة باعتبارها أداة استراتيجية لتحقيق التحول نحو نظم إنتاج زراعي أكثر كفاءة واستدامة خاصة المناطق الريفية البعيدة عن شبكات الكهرباء الوطنية. (FAO, 2022)

كما تؤكد البحوث الفنية أن هذه التطبيقات تساهم في تقليل الانقطاعات التشغيلية وتحسين استمرارية العمليات الزراعية مقارنة بمولدات الديزل (Abdelhadi & Elamin, 2021).

وتبين الدراسات الخاصة بالسياق السوداني أن تقنيات الطاقة الشمسية تتلاءم بدرجة كبيرة مع طبيعة المشروعات الزراعية، نظراً لبساطة تشغيلها وانخفاض متطلبات الصيانة وعدم اعتمادها على الإمداد المستمر بالوقود (Yousif, Elhassan & . 2021)

كما خلصت تحليلات حديثة الى ان إدماج الطاقة الشمسية في الزراعة يسهم في تقليل الانبعاثات الكربونية وتحقيق أبعاد الاستدامة البيئية والاقتصادية معا (GIZ,2021; IEA,2024).

وتتميز هذه الطاقة بأنها صدقة للبيئة، لا تنبعث منها غازات دفيئة، مما يجعلها بديلا مناسباً للوقود الأحفوري في الأنشطة الزراعية (Said & Elsamni,2023). وتشير الأدبيات العربية الى ان نظم الطاقة الشمسية في السودان متوافقة مع طبيعة المشروعات الزراعية لسهولة تشغيلها وعدم حاجتها لشبكات كهرباء واسعة (Solarabic ,2025).

وبناء على ذلك، يعتبر فهم مفهوم الطاقة الشمسية وتطبيقاتها في السياق الزراعي امرا اساسيا لتقييم أثرها على كفاءة الانتاج وتكاليفه، خاصة في الدول ذات الموارد المحدودة والطاقة غير المستقرة مثل السودان. ويبرز ذلك بوضوح في الدراسات التي تؤكد ان الجمع بين مصادر الطاقة المتجددة والتقنيات الذكية يمكن ان تسهم في تحقيق فوائد بيئية واقتصادية واجتماعية في آن واحد (Zhu&Zhang,2024).

ثانيا: الطاقة وكفاءة الانتاج الزراعي:

وتشير الأدبيات ان استخدام نظم الري بالطاقة الشمسية يسهم بشكل مباشرة في تحسين الكفاءة التشغيلية للأنشطة الزراعية من استقرار امدادات الطاقة وتقليل الأعطال الفنية المتكرر (FAO, 2019;2021)(Osman & Abdalla). . ويؤدي هذا الاستقرار إلى انتظام عمليات الري الأمر الذي ينعكس ايجابا على نمو المحاصيل وزيادة الانتاجية. وقد بنيت دراسات تطبيقية أن انتظام الري الناتج عن الطاقة الشمسية يعد عاملا حاسما في تحسين إنتاجية المحاصيل الحساسة لتوقيت وكميات المياه، مثل الخضروات المحاصيل البستانية(Ahmed,2022;World Bank) (2022).

أثر استخدام الطاقة الشمسية في تحسين كفاءة وخفض تكاليف الإنتاج الزراعي

كما اوضحت بحوث مقارنة بالطاقة الشمسية تقليل من الهدر وتزيد من فعالة نظم الري الحديثة مقارنة بمولدات الديزل، (Elhassan& Yousif,2021) كما توصلت دراسة ابو القاسم (2024) الى نتائج مماثلة.

وتشير مراجعات علمية إلى أن استخدام الطاقة الشمسية يقلل من الزمن الكلي اللازم لعمليات الري عبر توفير طاقة مستقرة دون انقطاع، مما يزيد من فاعلية الإنتاجية (AI Omeri& AI-Zu'bi,2019; IRENA, 2023).

الإنتاجية أحد أهم دوافع المزارعين لاعتماد أنظمة الطاقة الشمسية، إذ تشير نتائج الدراسات إلى أن استخدام الطاقة الشمسية في الري يمكن أن يرفع الإنتاجية المحاصيل بسبب انتظام أمداد المياه وتوقيت الري المناسب. (Elhassan& Yousif,2021).

كما اظهرت دراسات مقارنة ان الطاقة الشمسية تسهم في تحسين جودة الري بالتنقيط بسبب قدرتها على تشغيل المضخات بكفاءة ثابتة، الامر الذي يعزز نمو النباتات ويحسن من جودة المحصول النهائي (FAO, Abu- Eishah & AI-Said, 2019; 2020).

كما بينت الابحاث الزراعية ان توفر الطاقة المستمرة يشجع المزارعين علي تبني نظم ري حديثة أكثر كفاءة أكثر كفاءة مقارنة بالطرق التقليدية. (AI- Ab-Elshah & Saidi, 2020).

يرى الباحثون ان الجمع بين الطاقة الشمسية وتقنيات المراقبة الذكية يزيد من كفاءة استخدام المياه ويقلل من الهدر، وهو ما ساعد في رفع الانتاجية الاجمالية للمزارع (Wang et., 2023).

وافادت تقرير حديث ان المزارعين الذين اعتمدوا نظم الطاقة الشمسية في المشاريع الممولة قد حققوا تحسينا في كفاءة العمليات يصل الى مستويات اعلى من المتوسط الوطني، مما يعزز الجدوى الاقتصادية لاستخدام هذه التقنية . (IRENA,2022)

ثالثا: أثر الطاقة الشمسية في خفض التكاليف الزراعية:

تظهر الدراسات الاقتصادية إلى أن التحول الى استخدام الطاقة الشمسية في الزراعة يؤدي انفاض ملحوظ في التكاليف التشغيلية، نتيجة لانعدام نفقات الوقود بعد تركيب النظام الشمسي . (Elmogtaba & Rahama, (IEA,2022;2024)

وقد بينت بحوث مالية أن المزارع التي اعتمدت على الطاقة الشمسية حققت وفورات تتراوح بين 40% و 70% من المصروفات التشغيل السنوية مقارنة بالمزارع التي تعتمد على الديزل . (AI-Omar &, AIi Zu'bi: 2021 ;2019)

كما تشير الادبيات ان تكلفة ان تكلفة الصيانة في انظمة الطاقة الشمسية منخفضة نسبيا مقارنة بمولدات الديزل التي تحتاج صيانة دورية ذات تكلفة مرتفعة .(GIZ,2020)

وتوضح البحوث ان انخفاض التكاليف الصناعية يساهم في رفع هامش الربح لدى المزارعين، خصوصا في المناطق التي ترتفع فيها اسعار الوقود او يصعب توفره .(FAO, 2019)

كما اظهرت نتائج دراسات في البيئات الريفية ان انخفاض التكلفة ادى الى زيادة المساحة المزروعة لدى زيادة المساحة المزروعة لدى المزارعين الذين تحولوا الطاقة الشمسية .(Ahmed,2022).

وتشير الادبيات الى ان استخدام الطاقة الشمسية يقلل من المخاطر المالية المرتبطة بتذبذب اسعار

الطاقة العالمية، مما يعزز الاستقرار الاقتصادي للمزارعين على المدى المتوسط والطويل .(Mohamed & Elasa,2023).

أثر استخدام الطاقة الشمسية في تحسين كفاءة وخفض تكاليف الإنتاج الزراعي

ووضح الباحثون ان انخفاض التكلفة التشغيلية للطاقة الشمسية يعزز القدرة التنافسية للمزارع في الاسواق الاقليمية، ما يساعد في تحسين الربحية. (Said & Elsami, 2023) وتؤكد الدراسات العربية ان تكلفة الصيانة في انظمة الطاقة الشمسية منخفضة نسبيا، وهو ما يرفع هامش الربح لدى المزارعين ويقلل المخاطر الاقتصادية المرتبطة بتقلب اسعار الوقود (Solarabic,2025) كما توصلت دراسة (برامج الامم المتحدة الإنمائي, 2025) النتائج مماثلة.

رابعا: دور البنك الزراعي في دعم تبني الطاقة الشمسية:

يلعب البنك الزراعي السوداني دورا أساسيا في تمويل مشروعات الطاقة الشمسية، ويعد من أبرز الجهات الداعمة لانتشار التقنيات الحديثة في الإنتاج الزراعي (Ali& Osman, 2020).

كما أوضحت البحوث أن البنك الزراعي يقدم دعما فنيا عبر خبراء متخصصين لتقم جدوى المشروعات الشمسية قبل تمويلها (Elhassan& Nour,2021).

كما اوضحت البحوث ان البنك الزراعي يقدم دعما فنيا عبر خبراء مختصين لتقييم جدوى المشروعات الشمسية قبل تمويلها (Mohamed & Elasha,2023).

وتشير الادبيات الى ان المؤسسات المالية تلعب دورا في رفع الوعي بالتقنيات الحديثة، وهو ما ينطبق على البنك الزراعي الذي ينظم برامج تدريبية وورش عمل للمزارعين (UNDP, 2021).

كما تشير الادلة الاقتصادية الى ان مشاركة البنك الزراعي تساهم في تقليل أخطار الاستثمار في الطاقة الشمسية بالنسبة للمزارعين عبر توفير آليات سداد مرنة (Ali & Osman,2020).

كما ذكر الباحثون ان برامج التمويل المرتبطة بالطاقة الشمسية التي يقدمها البنك تساعد في خلق سلسلة قيمة أكثر استدامة، عبر ربط التمويل بالتأهيل الفني والتسويق (Abu-Eisheh&Al-Saidi,2024)

وخلصت دراسات حديثة الى أن دور التمويل الزراعي يعد عاملا حاسما في زيادة انتشار الطاقة الشمسية في المشروعات الزراعية بالسودان (Hassan & Nour.2021).

وخلصت دراسات حديثة ان دور البنك الزراعي يعد عاملا مؤسسيا حاسما في تسريع انتشار الطاقة الشمسية وتحقيق التحول نحو نظم زراعية أكثر كفاءة واستدامة في السودان (Elhassn&Yousif,2021;WorldBank,)(2024).

خامسا: التحديات التقنية والمالية والتنظيمية امام استخدام الطاقة الشمسية:

على الرغم من المزايا المتعددة للطاقة الشمسية، تشير الدراسات الى ان التكلفة الابتدائية المرتفعة لشراء انظمة الطاقة الشمسية تعد من أبرز العوائق التي تحد من تبنيها، خاصة بين صغار (IRENA, 2020; Abu-Eisheh & AI-Saidi, 2023).

وتؤكد الادبيات ان ضعف البنية التحتية لقطع الغيار وعدم توفر مراكز خمة في المناطق الريفية يحد من استدامة تشغيل الانظمة الشمسية على المدى الطويل (Nour,2018;giz,)(2021).

ومن ناحية تنظيمية، تشير تقارير دولية الى ان غياب حوافز حكومية او اعفاءات جمركية يؤخر توسع استخدام الطاقة الشمسية في الدول النامية. (UNDP,2021;IEA,)(2024). كما يواجه المزارعون تحديات تشغيله مثل تراكم الغبار على الألواح الشمسية، يؤدي الى انخفاض كفاءة التوليد الذي قد تصل الى 25% في حال غياب الصيانة الدورية (IRENA, 2020).

ويضاف الى ذلك ضعف الوعي الاقتصادي لدى بعض المزارعين بمردود الاستثمار في الطاقة الشمسية، الامر الذي يتطلب تعزيز دور الارشاد الزراعي والمالي (FAO, 2022).

أثر استخدام الطاقة الشمسية في تحسين كفاءة وخفض تكاليف الإنتاج الزراعي

وتوضح الدراسات العربية ان هذه التحديات لا تمنع تبني الطاقة الشمسية، لكنها تتطلب دعم مؤسسي مستمر وبرامج تدريبية مكثفة (ابو قاسم, 2024).

سادسا: الطاقة الشمسية والتنمية المستدامة وزيادة العائد الاقتصادي للمزارعين:

تعد الطاقة الشمسية من الأدوات الرئيسة لتحقيق التنمية المستدامة في القطاع الزراعي، لما لها من دور في تقليل الانبعاثات الكربونية والحد من التلوث البيئي الناتج عن استخدام الوقود الاحفوري (IRENA, 2023).

كما تشير الادبيات الى ان التحول نحو الطاقة الشمسية يدعم اهداف التنمية المستدامة وخاصة الهدف السابع المتعلق بالطاقة النظيفة والميسورة.(UNDP,2021)

قد بينت دراسات تطبيقية حديثة ان استخدام الطاقة الشمسية ادى الى زيادة دخل المزارعين نتيجة انخفاض التكاليف التشغيلية وتحسن الانتاجية الزراعية Elhassn & Yousif,) (World Bank, 2021;2023).

كما تشير الدراسات الى ان الاعتماد على الطاقة الشمسية يعزز قدرة المزارعين على التوسع في المشاريع الزراعية وزيادة المساحات المزروعة، مما ينعكس إيجابا على الأمن الغذائي (Ahmed,2022).

وتؤكد الادلة الاقتصادية ان الاعتماد على الطاقة الشمسية يقلل المخاطر المالية ويزيد من استقرار العائد الزراعي السنوي (Mohamed & Elasha,2023).

كما ثبت ان دمج الطاقة المتجددة في الزراعة يعزز الامن الغذائي على المدى الطويل عبر ضمان استمرارية عمليات الري والانتاج (FAO, 2019).

وتبين الدراسات ان الطاقة الشمسية تفتح آفاق جديدة نحو التصنيع الزراعي الخفيف، عبر استخدام الكهرباء الشمسية في تجهيز المحاصيل وتخزينها، مما يزيد من القيمة المضافة ويعزز الدخل الاقتصادي للمزارعين (Zhu & Zhang,2024).

كما اظهرت الدراسات العربية ان اعتماد المزارعين على الطاقة الشمسية يتيح لهم التوسع في المساحات المزروعة وزيادة العائد الاقتصادي، مع تقليل المخاطر المالية الناتجة عن تقلب اسعار

الوقود (حسين، 2023) و. (Solarabic, 2025).

كما اشارت تقارير المنظمة العربية للتنمية الزراعية (2025) الى ان دمج الطاقة المتجددة في الزراعة يسهم في تعزيز الاستدامة الزراعية، شريطة توفير برامج تمويل ميسر وبناء قدرات فنية للمزارعين.

سابعاً: نبذة عن البنك الزراعي السوداني ودوره في تمويل الطاقة الشمسية بمحلية الممتة:

يعد البنك الزراعي السوداني من اهم المؤسسات المالية المتخصصة في دعم وتطوير القطاع الزراعي في السودان، وقد تأسس عام 1957 بهدف تمويل الانشطة الزراعية بشقيها النباتي والحيواني.

يلعب البنك الزراعي دوراً محورياً في تحقيق التنمية الزراعية المستدامة من خلال تقديم القروض النقدية والعينية، وتوفير مدخلات الانتاج، وتمويل المشروعات الزراعية الكبرى والصغرى.

وفي السنوات الاخيرة، تبنى البنك الزراعي سياسة تشجيع استخدام الطاقة الشمسية في الزراعة، عبر تقديم تمويلات ميسرة لتركيب المضخات الشمسية في مشاريع الري، خاصة في ولايات نهر النيل والشمالية والجزيرة.

وقد شهدت محلية الممتة تطبيقاً فعلياً لهذه السياسة وحيث مول البنك عدداً من المشاريع الزراعية لتركب انظمة ري بالطاقة الشمسية، مما ساهم في تقليل تكلفة الوقود وتحسين استقرار الانتاج.

كم أطلقت الادارة العامة للبنك في ولاية نهر النيل برامج توعوية لتشجيع المزارعين على التحول نحو الطاقة المتجددة، وتدريب كوادر فنية على الصيانة وتشغيل الانظمة الشمسية،

أثر استخدام الطاقة الشمسية في تحسين كفاءة وخفض تكاليف الإنتاج الزراعي

وذلك في إطار دعم توجهات الدولة نحو الاقتصاد الأخضر وتعزيز كفاءة استخدام الموارد الطبيعية (البنك الزراعي، السوداني التقرير السنوي 2024).

يتضح من الأدبيات الحديثة ان الطاقة الشمسية تمثل تقنية رئيسية لتحسين كفاءة الانتاج الزراعي وخفض التكاليف التشغيلية، وان دور المؤسسات المالية مثل البنك الزراعي السوداني يعد عاملا محفزا لتبني هذه التقنيات ومع ذلك يجب مراعات التحديات المالية والتقنية والتنظيمية التي تحول دون انتشارها الكامل للطاقة الشمسية، بما يستدعي سياسات داعمة وتدريباً موسعاً للمزارعين.

ثامنا: الدراسة الميدانية:

مجتمع البحث:

يقصد بمجتمع البحث المجموعة الكلية من العناصر والتي يسعى الباحث أن يعمم عليها النتائج ذات العلاقة بالمشكلة المدروسة ومن أجل تحقيق هدف الباحث قام الباحث بتوزيع الاستبانة لجمع البيانات والمعلومات التي لها علاقة بموضوع البحث ويتمثل مجتمع هذه الدراسة في أثر استخدام الطاقة الشمسية في تحسين كفاءة وخفض تكاليف الإنتاج الزراعي دراسة حالة (البنك الزراعي السوداني محلية الممتة).

عينة الدراسة:

تم اختيارها بطريقة عشوائية من مجتمع الدراسة وتم توزيع الاستبانة عليهم عدد (100) استبانة واسترجاع عدد (100) استبيان بنسبة (100%).

جدول رقم (1/1) يوضح الاستبيانات الموزعة والمستلمة

الاستبيانات الموزعة	الاستبيانات المسترجعة	الاستبيانات المفقودة	نسبة الاستبيانات المسترجعة
100	100	0	100%

يوضح الجدول رقم (1/1) عدد الاستبانات الموزعة والمستلمة التي أجري عليها التحليل وبلغت نسبة الاستجابة 100% وهذا يدل على أن جميع الاستبانات التي وزعت تم استلامها، هذه النسبة كافية لإجراء الاختبارات الإحصائية والحصول على نتائج تعمم على مجتمع الدراسة المعني.

الأساليب المستخدمة في تحليل البيانات:

تم تحليل البيانات الإحصائية بواسطة الحاسب الآلي وذلك باستخدام برنامج الحزمة الإحصائية للعلوم الاجتماعية Statistical Package for Social Sciences (SPSS) لمعالجة البيانات احصائيا والأساليب الإحصائية المستخدمة هي:

النسب والتكرارات والاشكال البيانية: تم استخدامها لوصف المتغيرات الديموغرافية (خصائص أفراد العينة).

المتوسطات الحسابية والانحرافات المعيارية: تم استخدام هذه المقاييس للإجابة عن تساؤلات الدراسة والتي تجيب عنها فقرات ابعاد الدراسة، وكذلك معرفة درجات الموافقة عليها وفقاً لمعيار ليكرت الخماسي.

معامل تحليل التباين الأحادي: ANOVA يتم عن طريق هذا التحليل معرفة تأثير المتغيرات الديموغرافية التي تنقسم إلى ثلاث مجموعات فأكثر، حيث يتم مقارنة قيمة مستوى الدلالة الاحصائي لاختبار (F) مع (0.05) بحيث إذا كانت أقل منها تعتبر العلاقة دالة، والعكس إذا كانت أكبر منها تعتبر غير دالة.

اختبار (t) للعينات المستقلة: Intendent sample t-test لمعرفة تأثير المتغيرات التي تنقسم إلى مجموعتين فقط.

تاسعا: التحليل الوصفي لبيانات الدراسة الميدانية:

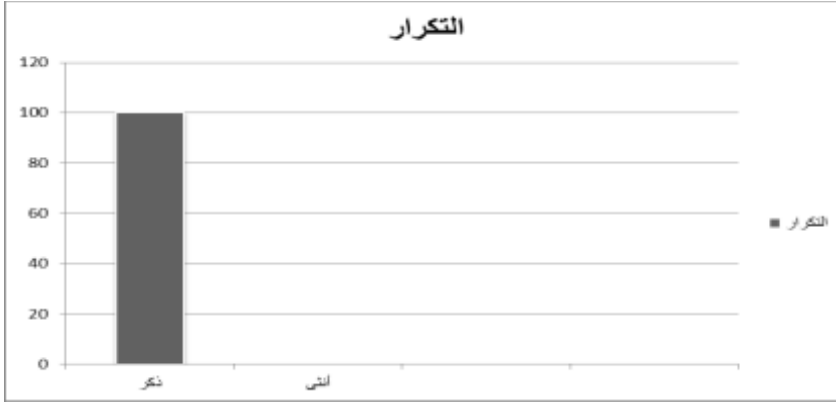
التحليل الوصفي للبيانات الشخصية:

1. النوع:

جدول (1/2) التوزيع التكراري لأفراد عينة الدراسة حسب النوع

النوع	التكرار	النسبة المئوية %
ذكر	100	100%
أنثى	صفر	صفر %
الإجمالي	100	100%

المصدر: إعداد الباحث، بالاعتماد على بيانات الاستبانة، بمحلية المتممة، 2025م
الشكل رقم (1/1) رسم بياني لأفراد المبحوثين حسب النوع.



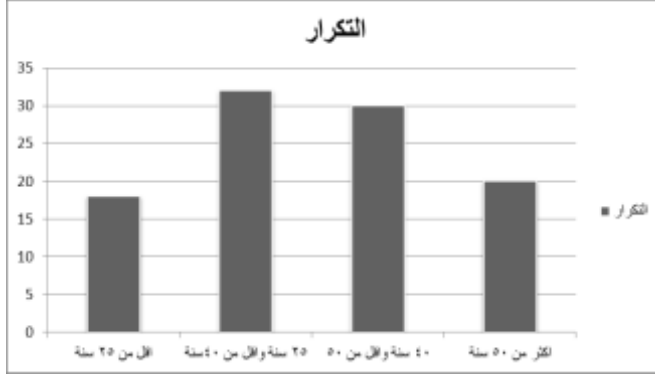
المصدر: إعداد الباحث، بالاعتماد على بيانات الاستبانة، 2025م
يتضح من الجدول رقم (1/2) والشكل رقم (1/1) ان أغلب أفراد العينة من الذكور بتكرار بلغ (100) فرداً ونسبة 100% نظرا لطبيعة العمل الزراعي في المنطقة.
2. العمر:

جدول رقم (1/3) التوزيع التكراري للمبحوثين حسب الفئة العمر

العمر	التكرار	النسبة المئوية %
اقل من 25 سنة	18	18%
25 سنة واقل من 40 سنة	32	32%

30%	30	40 سنة واقل من 50
20%	20	اكثر من 50 سنة
100%	100	المجموع

المصدر: إعداد الباحث، بالاعتماد على بيانات الاستبانة، بمحلية المتمة، 2025م
الشكل رقم (1/2) رسم بياني لأفراد المبحوثين حسب العمر



المصدر: إعداد الباحث، بالاعتماد على بيانات الاستبانة، 2025م
يتضح من الجدول رقم (1/3) والشكل رقم (1/2) أن أغلب أفراد العينة من الفئات الاكثر نشاطا في مجال الزراعة تقع ضمن الفئة العمرية (30- 50 سنة) بنسبة (62%) الامر الذي يزيد من موثوقية

تقييمهم لتأثيرها على كفاءة الانتاج وخفض التكاليف.

3. المؤهل العلمي:

جدول رقم (1/4) التوزيع التكراري للمبحوثين حسب المؤهل العلمي

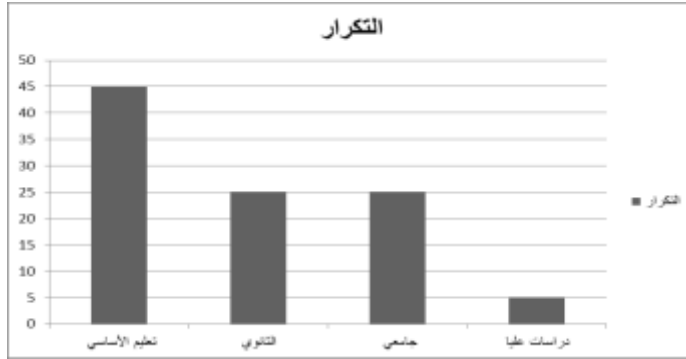
المؤهل العلمي	التكرار	النسبة المئوية
تعليم الاساسي	45	45%
الثانوي	25	35%
جامعي	25	25%

أثر استخدام الطاقة الشمسية في تحسين كفاءة وخفض تكاليف الإنتاج الزراعي

دراسات عليا	5	5%
المجموع	100	100%

المصدر: إعداد الباحث، بيانات الدراسة الميدانية، بمحلية المتمة، 2025م.

شكل (3/7) المؤهل العلمي



المصدر: إعداد الباحث، بالاعتماد على بيانات الاستبانة، بمحلية المتمة، 2025م

من الجدول رقم (1/4) والشكل رقم (1/3) من أفراد العينة من تعليم اساس و ثانوي و(70%) تظهر النتائج ان غالبية المزارعين من ذوي التعليم الأساس او الثانوي، مما يعكسان الدراسة تستند راي الفئة المستهدفة الاساسية. الموظفون ومديرو المشاريع (30%) يحملون مؤهلات جامعية أو عليا، مما يعكس الجانب الفني والإداري للبنك الزراع والمشروعات، ويساعد على تقييم دور الدعم المؤسسي والتقني بشكل دقيق.

3. سنوات الخبرة في مجال الزراعة:

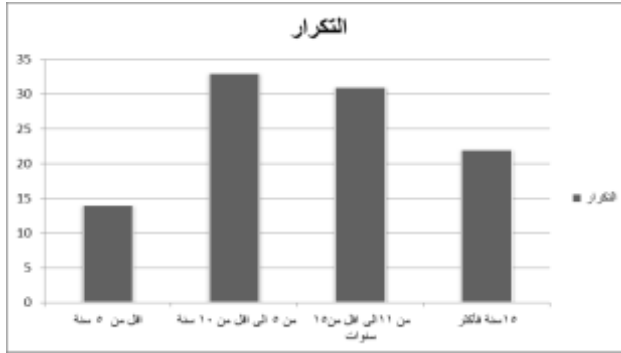
جدول رقم (1/5) التوزيع التكراري للمبحوثين حسب متغير سنوات الخبرة في مجال الزراعة.

النسبة المئوية%	التكرار	سنوات الخبرة في مجال الزراعة
14%	14	اقل من 5 سنة

33%	33	من 5 الى اقل من 10 سنة
31%	31	من 11 الى اقل من 15 سنوات
22%	22	15 سنة فأكثر
100%	100	المجموع

المصدر: إعداد الباحث، بالاعتماد على بيانات الاستبانة، محلية المتمة، 2025م

الشكل رقم (1/4) رسم بياني لأفراد المبحوثين حسب سنوات الخبرة



المصدر: إعداد الباحث، بالاعتماد على بيانات الاستبانة، بمحلية المتمة، 2025م

يتضح من الجدول رقم (1/5) والشكل رقم (1/4) أن أغلب أفراد العينة من لديهم خبرة من 5 سنوات فما فوق (86%) مما يعكس لديهم القدرة على تقييم أثر الطاقة الشمسية على كفاءة الانشطة الزراعية وخفض تكاليف الانتاج بدقة.

4. جهة العمل:

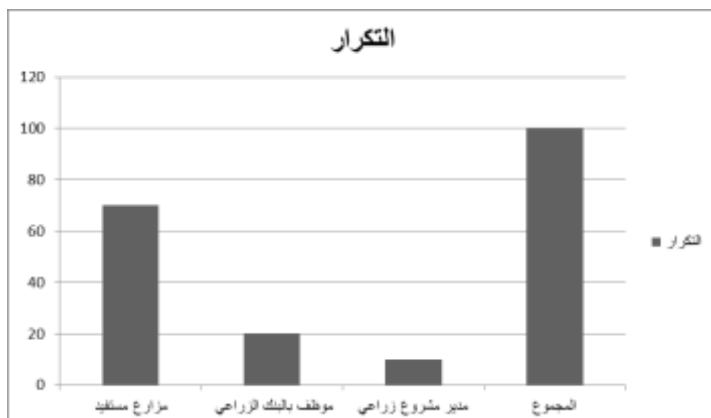
جدول رقم (1/6) التوزيع التكراري للمبحوثين حسب متغير المسمى جهة العمل.

النسبة المئوية%	التكرار	جهة العمل
70%	70	مزارع مستفيد
20%	20	موظف بالبنك الزراعي
10%	10	مدير مشروع زراعي
100%	100	المجموع

أثر استخدام الطاقة الشمسية في تحسين كفاءة وخفض تكاليف الإنتاج الزراعي

المصدر: إعداد الباحث، بالاعتماد على بيانات الاستبانة، بمحلية المتمة، 2025م

الشكل رقم (1/5) رسم بياني لأفراد المبحوثين حسب المسمى جهة العمل



المصدر: إعداد الباحث، بالاعتماد على بيانات الاستبانة، بمحلية المتمة، 2025م

يتضح من الجدول رقم (1/6) والشكل رقم (1/5) اغلب افراد العينة المزارعون المستفيدون (70%) بينما يمثل الموظفون ومديرو المشاريع الجانب المؤسسي والداعم، مما يتيح تحليل تأثير التمويل والدعم الفني علي تبنى الطاقة الشمسية بشكل متوازن.

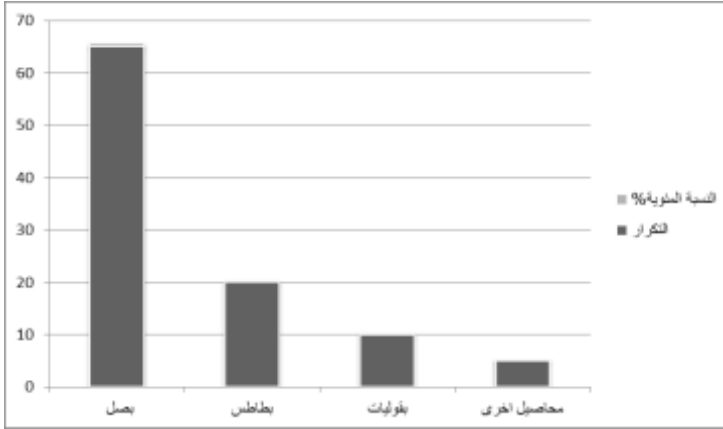
5. المحصول الرئيسي للمستجيبين.:

جدول رقم (1/7) التوزيع التكراري للمبحوثين حسب متغير المسمى المحصول الرئيسي للمستجيبين.

النسبة المئوية %	التكرار	المحصول الرئيسي
65%	65	بصل

20%	20	بطاطس
10%	10	بقوليات
5%	5	محاصيل اخرى
100%	100	المجموع

المصدر: إعداد الباحث، بالاعتماد على بيانات الاستبانة، بمحلية المتمة، 2025م
الشكل رقم (1/6) رسم بياني لأفراد المبحوثين حسب نوع المحصول الرئيسي للمستجيبين.



المصدر: إعداد الباحث، بالاعتماد على بيانات الاستبانة، بمحلية المتمة، 2025م
يتضح من الجدول رقم (1/7) والشكل رقم (1/6) يلاحظ ان يعكس هذا التوزيع واقع محلية المتمة التي تشتهر بزراعة البصل كمحصول رئيسي، وهو المحصول الأكثر استهلاكاً للطاقة في الري، مما يجعل تطبيق الطاقة الشمسية ذا أثر واضح على تكاليف الانتاج. كما ان وجود محاصيل متنوعة يدعم شمول الدراسة.

عاشرا: تحليل عبارات الدراسة واختبار اتجاهات المشاركين:
قياس معامل الثبات:

تم حساب ثبات المقياس بطريقة الفا كرو نباخ (Cronach alpha) ويُعد هذا المعامل من أكثر الطرق شيوعاً لقياس ثبات الاستبانة، ويعتمد على حساب متوسط التباين

أثر استخدام الطاقة الشمسية في تحسين كفاءة وخفض تكاليف الإنتاج الزراعي

بين درجات كل فقرة من فقرات الاستبانة وقد قام الباحث بحساب معامل الفا لكل المحاور المستخدمة في الدراسة وذلك بهدف اختبار ثبات المقياس وتتراوح قيمة معامل الفا بين 0 و 1 وكلما اقتربت من الواحد دلت على وجود ثبات عالي وكلما اقتربت من الصفر دلت على عدم وجود ثبات.

وبيين الجدول (1/8) معاملات الثبات لمحاور الدراسة

جدول رقم (1/8) يبين معاملات الثبات

المتغيرات (المحاور)	عدد العبارات	معامل الفا
تأثير الطاقة على الأنشطة الزراعية	5	0.89
خفض التكاليف التشغيلية والإنتاجية	4	0.91
دور البنك الزراعي السوداني	4	0.84
التحديات الفنية والمالية والتنظيمية	4	0.82
تعزيز الاستدامة وزيادة العائد الاقتصادي	4	0.88
الإجمالي	21	0.93

المصدر برنامج التحليل SPSS

احتساب المتوسطات الحسابية الخاصة بمقياس لكرات الخماسي:

بما أن المتغير الذي يعبر عن الخيارات (موافق بشدة، موافق، محايد، لا أوافق، لا أوافق بشدة) مقياس ترتيبي، والأرقام التي تدخل في البرنامج تعبر عن الأوزان وهي (موافق بشدة = 1، موافق = 2، محايد = 3، لا أوافق = 4، لا أوافق بشدة = 5) فيمكننا احتساب المتوسطات الحسابية الخاصة بمقياس ليكرت الخماسي عن طريق:

1/ احتساب المدى أولاً وهو رقم في مقياس لكرات الخماسي ناقص أصغر رقم فتصبح النتيجة كالتالي:

$$5 - 1 = 4.$$

2/ وبعد ذلك يتم حساب طول الفئة من خلال تقسيم المدى على عدد الفئات (الخيارات) أي $0.80 = 5/4$ ، فتكون الفئة الأولى لقيم المتوسط الحسابي هي: من 1 الى $0.8 + 1$ وهكذا

بالنسبة الى بقية المتوسطات الحسابية، فيكون الجدول التالي الذي يبين طريقة تفسير قيم المتوسطات الحسابية:

جدول رقم (1/9) يوضح قيم المتوسطات الحسابية الخاصة بمقياس لكارث الخماسي

الإجابة	الرمز(الوزن)	المتوسط المرجح	درجة الموافقة
موافق بشدة	1	من 1 الى 1.80	كبيرة جدا
موافق	2	من 1.81 الى 2.60	كبيرة
محايد	3	من 2.61 الى 3.40	متوسطة
غير موافق	4	من 3.41 الى 4.20	ضعيفة
غير موافق بشدة	5	من 4.21 الى 5	ضعيفة جدا

المصدر: إعداد الباحث من نتائج الدّراسة الميدانية

يتم حساب المتوسط الحسابي لكل فقرة من فقرات أداة الدّراسة بغرض الاجابة عن التساؤلات التي وضعها الباحث ثم حساب المتوسط العام لكل محور ومن ثم يتم مقارنته مع المدى الذي يقع بداخله، فيعطي درجة الموافقة.

الاجابة عن تساؤلات أداة الدّراسة:

للإجابة على تساؤلات الدّراسة تم استخدام النسب والتكرارات والمتوسطات الحسابية والانحرافات المعيارية لكل محور من محاور أداة الدّراسة وفقاً للآتي:

العبارات:

1/ مدى تأثير الطاقة الشمسية على الانشطة الزراعية.

أثر استخدام الطاقة الشمسية في تحسين كفاءة وخفض تكاليف الإنتاج الزراعي

جدول رقم (1/10) التوزيع التكراري والنسبة المئوية والوسط الحسابي والانحراف المعياري لأفراد عينة الدراسة حسب العبارة (1).

الإجابة	التكرار	النسبة %	الوسط الحسابي	الانحراف المعياري	الموافقة
أوافق بشدة	86	58%	4.86	0.35	موافقة كبيرة جدا
أوافق	14	14%			
محايد	0	0%			
لا أوافق	0	0%			
لا أوافق بشدة	0	0%			
المجموع	100	100%			

المصدر: إعداد الباحث من نتائج الدراسة الميدانية.

يتضح من الجدول رقم (1/10) أن (86) فرداً من افراد العينة يوافقون بشدة على صحة العبارة الاولى، تلتها الافراد الذين اجابوا بالموافقة وكان عددهم (14) أفراد، بينما بلغ الوسط الحسابي (4.86) والانحراف المعياري (0.35).

2/ مدى تأثير الطاقة الشمسية في خفض التكاليف التشغيلية والانتاجية.

جدول رقم (1/11) التوزيع التكراري والنسبة المئوية والوسط الحسابي والانحراف المعياري لأفراد عينة الدراسة حسب العبارة (2)

الإجابة	التكرار	النسبة %	الوسط الحسابي	الانحراف المعياري	الموافقة
أوافق بشدة	87	87%	4.86	0.38	موافقة كبيرة جدا
أوافق	12	12%			
محايد	1	1%			
لا أوافق	0	0%			
لا أوافق بشدة	0	0%			
المجموع	100	100%			

المصدر: إعداد الباحث من نتائج الدراسة الميدانية.

يتضح من الجدول رقم (1/11) أن (87) من أفراد العينة يوافقون بشدة على صحة العبارة الثانية، وبلغ عدد الذين اجابوا بالموافقة (12) فرداً وعدد الذين أجابوا بالمحايدة (1) أفراد، بينما بلغ الوسط الحسابي (4.86) والانحراف المعياري (0.38).

3/ الدور الذي يؤديه البنك الزراعي.

جدول رقم (1/12) التوزيع التكراري والنسبة المئوية والوسط الحسابي والانحراف المعياري لأفراد عينة الدراسة حسب العبارة (3)

الاجابة	التكرار	النسبة %	الوسط الحسابي	الانحراف المعياري	الموافقة
أوافق بشدة	87	87%	4.86	0.38	موافقة كبيرة جدا
أوافق	12	12%			
محايد	1	1%			
لا أوافق	0	0%			
لا أوافق بشدة	0	0%			
المجموع	100	100%			

المصدر: إعداد الباحث من نتائج الدراسة الميدانية.

يتضح من الجدول رقم (1/12) أن (87) فرداً من أفراد العينة يوافقون بشدة على صحة العبارة الثالثة، تلتها الافراد الذين اجابوا بالموافقة وكان عددهم (12) أفراد، أخيراً تلتها الافراد الذين اجابوا بالمحايدة وعددهم (1) أفراد، بينما بلغ الوسط الحسابي (4.86) والانحراف المعياري (0.38).

4/ التحديات الفنية والمالية والتنظيمية التي تحد من التوسع في استخدام الطاقة الشمسية الممتة.

أثر استخدام الطاقة الشمسية في تحسين كفاءة وخفض تكاليف الإنتاج الزراعي

جدول رقم (1/12) التوزيع التكراري والنسبة المئوية والوسط الحسابي والانحراف المعياري لأفراد عينة الدراسة حسب العبارة (4)

الاجابة	التكرار	النسبة %	الوسط الحسابي	الانحراف المعياري	الموافقة
أوافق بشدة	70	70%	4.65	0.55	موافقة كبيرة
أوافق	25	25%			
محايد	5	5%			
لا أوافق	0	0%			
لا أوافق بشدة	0	0%			
المجموع	100	100%			

المصدر: إعداد الباحث من نتائج الدراسة الميدانية

يتضح من الجدول رقم (1/12) أن (70) فرداً من أفراد العينة يوافقون بشدة على صحة العبارة الرابعة، والذين اجابوا بالموافقة بلغ عددهم (25) أفراد، اخيراً تلتها الافراد الذين اجابوا بالمحايدة وعددهم (5) أفراد، بينما بلغ الوسط الحسابي (4.65) والانحراف المعياري (0.55).

5/ مدى تأثير الطاقة الشمسية في تعزيز الاستدامة وزيادة العائد الاقتصادي.

جدول رقم (1/13) التوزيع التكراري والنسبة المئوية والوسط الحسابي والانحراف المعياري لأفراد عينة الدراسة حسب العبارة (5)

الإجابة	التكرار	النسبة %	الوسط الحسابي	الانحراف المعياري	الموافقة
أوافق بشدة	85	85%			
أوافق	15	15%			

موافقة كبيرة جداً	036	4.85	0%	0	محايد
			0%	0	لا أوافق
			0%	0	لا أوافق بشدة
			100%	100	المجموع

المصدر: إعداد الباحث من نتائج الدراسة الميدانية

يتضح من الجدول رقم (1/13) أن (85) فرداً من افراد العينة يوافقون بشدة على صحة العبارة الرابعة، والذين اجابوا بالموافقة بلغ عددهم (15) أفراد، بينما بلغ الوسط الحسابي (4.85) والانحراف المعياري (0.36).

النتائج والتوصيات

أولاً: النتائج:

1. اظهرت نتائج ان غالبية افراد العينة يبدون موافقة مرتفعة على الطاقة الشمسية اثرا ايجابيا في الانشطة الزراعية، حيث بلغت نسبة (موافق بشدة + موافق) (86%) بمتوسط حسابي مرتفع قدره (4.86%)، وهو ما يشير الى درجة اتفاق قوية بين المبحوثين. كما عكست قيمة الانحراف المعياري المنخفضة (0.35%)، درجة عالية من التجانس في آرائهم، مما يعزز صدق الفرضية الاولى التي وجود أثر للطاقة الشمسية في الانشطة الزراعية.

2. بينت النتائج ان للطاقة الشمسية تسهم بفاعلية في خفض التكاليف التشغيلية والانتاجية، اذ بلغت نسبة الموافقة (99%) بمتوسط حسابي مرتفع قدرة (4.86%). وانحراف معياري منخفض (0.38%)، مما يدل على تجانس مرتفع بين اجابات العينة، ويؤكد صحة الفرضية الثانية المتعلقة بالأثر الاقتصادي للطاقة الشمسية في تقليل التكاليف التشغيلية والانتاجية الزراعية.

أثر استخدام الطاقة الشمسية في تحسين كفاءة وخفض تكاليف الإنتاج الزراعي

3. اوضحت النتائج أن غالبية افراد العينة يقرون بالدور الإيجابي الذي يؤدي البنك الزراعي في دعم المزارعين لتبنى تقنيات الطاقة الشمسية، حيث بلغت نسبة الموافقة (99%) بمتوسط حسابي مرتفع (4.86%)، وانحراف معياري منخفض (0.38%) ويظهر هذا التجانس العالي بين مبحوثين، أهمية الدعم التمويلي في تعزيز تبني الطاقة الشمسية وتوسع نطاق استخدامها في القطاع الزراعي، مما يدعم صحة الفرضية الثالثة.

4. تشير النتائج الى ان نسبة الموافقة على وجود تحديات امام استخدام الطاقة الشمسية بلغت (95%)، بمتوسط حسابي بلغ (4.65%)، هو ما يعكس درجة اتفاق مرتفعة، ورغم وجود هذه التحديات، الا ان المبحوثين أكدوا ان أثرها لا يتعارض مع النتائج الايجابية السابقة، بل يمكن تجاوزها من خلال تهيئة بيئة تمويلية وتشريعية داعمة للابتكار في مجال الطاقة الزراعية.

5. اظهرت النتائج ان غالبية المبحوثين يتفقون بشدة على ان استخدام الطاقة الشمسية يسهم في تعزيز الاستدامة البيئية والاقتصادية، وزيادة دخل المزارعين على المدى الطويل، حيث بلغت نسبة الموافقة الكلية (100%) بمتوسط حسابي مرتفع (4.80%)، وانحراف المعياري منخفض (0.41)، ويؤكد ذلك ان أثر الطاقة لا يقتصر على تحسين الجوانب التشغيلي، بل يمتد ليشمل تحقيق اهداف التنمية المستدامة ورفع الكفاءة الاقتصادية والانتاجية للقطاع الزراعي.

ثانياً: التوصيات:

توصيات للمزارعين والمشروعات الزراعية:

1. التوسع في تبني نظم الضخ بالطاقة الشمسية لما أظهرته النتائج من ارتفاع مستوى الموافقة على فعاليتها في تحسين عمليات الري وتقليل فترات التوقف.

2. التحول الى نظم الري الحديثة مثل الري بالتنقيط والرش، كون الطاقة الشمسية توفر طاقة ثابتة تحسن كفاءة تشغيلها.
3. الالتزام بعمليات الصيانة الدورية للألواح لضمان رفع كفاءة التوليد وتقليل الفاقد الناتج عن تراكم الغبار.
4. التوسع في المساحات المزروعة خاصة بعد انخفاض التكاليف التشغيلية وزيادة القدرة على ادارة الري بصورة مستقرة.

● توصيات للبنك الزراعي السوداني:

1. زيادة التمويل المخصص للطاقة الشمسية نظرا لارتفاع مستوى تأييد العينة لدور البنك الزراعي في دعم تبنى التقنية.
2. تبنى سياسات تمويل مرنة تشمل فترات سداد اطول وفوائد اقل، تشجيعا لصغار المزارعين على التحول للطاقة الشمسية.
3. تعزيز الدعم الفني من خلال توفير فرق فنية متخصصة لتقييم المشاريع وتركيب الانظمة ومتابعة عملها.
4. تنظيم برامج تدريبية وورش عمل لرفع الوعي بفوائد الطاقة الشمسية وتطبيقاتها الزراعية.
5. التنسيق مع الجهات الحكومية لتوفير إعفاءات جمركية أو تسهيلات، استيراد ما يسهم في تخفيض التكلفة الاولية للأنظمة.

● توصيات للحكومة والجهات التنظيمية:

1. اقرار حوافز وتشريعات مشجعة مثل إعفاءات ضريبية ودعم مباشر لمنظومات الطاقة المتجددة للمزارعين.
2. توسيع البنية التحتية لقطع الغار ومراكز الصيانة في الولايات الزراعية، مما يضمن استمرارية عمل الانظمة ويقلل تكاليف الصيانة..

أثر استخدام الطاقة الشمسية في تحسين كفاءة وخفض تكاليف الإنتاج الزراعي

3. وضع سياسات وطنية واضحة للطاقة الشمسية في الزراعة ضمن إطار التنمية المستدامة.

4. دعم مشروعات البحث العلمي لإنتاج حلول محلية منخفضة التكلفة في مجال الطاقة المتجددة.

الخلاصة:

خلصت هذه الدراسة الى استخدام الطاقة الشمسية في القطاع الزراعي يمثل خيارا عمليا وفعالا لتحسين كفاءة الأنشطة الزراعية وخفض التكاليف التشغيلية والانتاجية، بما ينعكس ايجابا على استدامة الانتاج الزراعي وزيادة دخل المزارعين. وقد اظهرت النتائج وجود اتفاق مرتفع بين افراد العينة حول الاثر الإيجابي للطاقة الشمسية. الامر الذي يعزز موثوقية النتائج ويدعم الفرضيات التي انطلقت منها الدراسة كما بينت الدراسة ان الدعم المؤسسي، ولاسيما دور البنك الزراعي، اهمية واضحة في تشجيع تبني تقنيات الطاقة الشمسية في الأنشطة الزراعية، في حين تظل بعض التحديات الفنية والمالية والتنظيمية قائمة، الا انها لا تضعف الجدوى العامة لاستخدام الطاقة الشمسية وانما تؤكد الحاجة الى سياسات تمويلية وتنظيمية داعمة ومعالجة متكاملة لهذه التحديات.

وتؤكد الدراسة ان الطاقة الشمسية تعد أحد تحقيق الاستدامة الاقتصادية والبيئية في القطاع الزراعي، ودعم جهود التنمية الزراعية المستدامة في السودان. وبناء على ذلك، تبرز اهمية ادماج استخدام الطاقة الشمسية ضمن الخطط والاستراتيجيات الزراعية، وتعزيز الشراكة بين الجهات المعنية، بما يسهم في تطوير القطاع الزراعي وتحسين كفاءته على المدى المتوسط والطويل.

قائمة المصادر والمراجع:

المراجع العربية:

1. أبو القاسم، م. (2024). استخدام الطاقة الشمسية يعزز التنمية المستدامة ويزيد العائد الاقتصادي للمزارعين من خلال تقليل تكاليف الإنتاج وزيادة الإنتاجية. الخرطوم، السودان: مركز البحوث الزراعية.
2. أحمد، ج. (2020). جدوى استخدام الطاقة الشمسية في تعزيز الإنتاجية وخفض التكلفة التشغيلية (رسالة ماجستير). جامعة الخرطوم، كلية الزراعة، الخرطوم، السودان.
3. أحمد، ج. (2022). جدوى استخدام أنظمة الطاقة الشمسية في تعزيز الإنتاجية وخفض التكلفة التشغيلية (رسالة ماجستير). جامعة الخرطوم، كلية الإنتاج الزراعي، الخرطوم، السودان.
4. الحسن، و. (2021). أثر الطاقة الشمسية في تحسين كفاءة عمليات الري وتقليل التكاليف التشغيلية في السودان (رسالة ماجستير). جامعة السودان للعلوم والتكنولوجيا، كلية الدراسات الزراعية، الخرطوم، السودان.
5. المنظمة العربية للتنمية الزراعية. (2025). الطاقة المتجددة ودورها في تحقيق الاستدامة في خفض تكاليف الإنتاج الزراعي في الوطن العربي. الخرطوم، السودان: المنظمة العربية للتنمية الزراعية.
6. حسن، و.، ونور، أ. (2021). التحديات الفنية والمالية والتنظيمية التي تواجه استخدام الطاقة الشمسية في الري الزراعي السوداني (رسالة ماجستير). جامعة الخرطوم، كلية الاقتصاد والعلوم الإدارية، الخرطوم، السودان.
7. علي، م.، وعثمان، ج. (2020). أثر التمويل البنكي الزراعي في تبني تقنيات الطاقة المتجددة في المشروعات الزراعية. الخرطوم، السودان: مركز البحوث الزراعية.

مجالات عربية:

1. أبو القاسم، ض. ع. (2024). الطاقة الشمسية والتطبيقات التكنولوجية لاستخدامها في الزراعة. المجلة الدولية للعلوم والتكنولوجيا والتنمية , 99-88, (2).

2. <https://doi.org/10.21608/ijsetd.2024.360832>
3. البرنامج العربي للأمم المتحدة الإنمائي. (2025). إطلاق أول مختبر للطاقة الشمسية بالسودان.
4. <https://solarabic.com>
5. المهدي، م. (2019). كفاءة استخدام الطاقة في المشاريع الزراعية في السودان. مجلة الاقتصاد والتنمية، 112-129، (1).
6. أحمد، ع. (2022). تطبيقات الطاقة الشمسية في تحسين الانتاج الزراعي في السودان. مجلة العلوم الزراعية، 23-35، (2).
7. الحسن، ك.، ويوسف، أ. (2021). الطاقة المتجددة ودورها في تطوير الزراعة الريفية بالسودان. مجلة الزراعة المتجددة، 15-28، (1).
8. حسن، ف. أ. (2021). التمويل الزراعي واعتماد الطاقة الشمسية في المشروعات الصغيرة والمتوسطة. مجلة الاقتصاد السوداني، 40-55، (1).
9. علي، م.، وعثمان، ج. (2020). دور البنوك الزراعية في تمويل المشروعات المستدامة للطاقة الشمسية. المجلة الأفريقية للتمويل، 55-68، (1).

المراجع الأجنبية:

1. **FAO, R. (2019). Solar- powered irrigation Systems: Technical and Economic Assessment in developing regions.** Food and Agricultural Organization of United Nations.
2. Al-Omar, R., & Zu'bi, G. (2019). Economic Returns of Solar-powered Irrigation Systems in Arab Countries. Journal of Renewable Energy Studies.
3. GIZ (2020). Challenges and Opportunities of Solar Energy in Agricultural irrigation in the Middle East Deutsche Gesell's Gesellschaft four International Zusammenarbeit (GIZ).
4. IRENA. (2020). Renewable Energy Solutions Agricultural Economic Benefits for Solar irrigation International Renewable Energy Agency.
5. UNDP. (2021). Solar Energy for Productivity in Developing

Countries United Nations Development Programmed.

6. Ahmed, M. (2022). Solar irrigation and crop yield improvement.
7. Agricultural Water Management, 256,107-120
8. IRENA. (2023). Renewable energy and sustainable food systems.
9. World Bank (2024). Renewable energy for agricultural development in Africa. World Bank.
10. IRENA. (2025). Renewable energy solutions for rural agriculture. International Renewable Energy Agency.
11. GIZ. (2025). Sustainable Energy for foot: powering Agricultural (project report). Deutsche Gesellschaft fur International Zusammen