



بسم الله الرحمن الرحيم

دراسة وتصميم محطة طاقة شمسية لمشروع

الزبداب الزراعي

بحث تكميلي لنيل درجة البكالوريوس مرتبة الشرف

في الهندسة الكهربائية (قدرة)

إعداد الطلاب:

إبراهيم عباس إبراهيم عبدالله

عادل سليمان الطريفي محمد

موسى التوم موسى إبراهيم

إشراف:

د/ عثمان عابدين

كلية الهندسة

جامعة الشيخ عبدالله البدرى

أبريل - 2026

الآية الكريمة

قال تعالى :

(هُوَ الَّذِي جَعَلَ الشَّمْسُ ضِيَاءً ۖ وَالْقَمَرَ

نُورًا وَقَدَّرَهُ مَنَازِلَ لِتَعْلَمُوا عَدَدَ السِّنِينَ

وَالْحِسَابَ مَا خَلَقَ اللَّهُ ذَٰلِكَ إِلَّا بِالْحَقِّ

يُفَصِّلُ الْآيَاتِ لِقَوْمٍ يَعْلَمُونَ)

صدق الله العظيم

الإهداء

إلى من كان لهم الفضل الاول في مسيرتي التعليمية، إلى من غمروني بالحب والدعم دون

مقابل، إلى والدي العزيزين، حفظهما الله.

إلى إخوتي وأخواتي، سندي ومصدر قوتي، الذين شاركوني الفرح وتفهموا انشغالي، وهم من

شجعني على مواصلة الطريق.

إلى اساتذتي الكرام في جميع مراحلتي التعليمية، الذين أناروا لنا دروب العلم والمعرفة، ولم

يبدخلوا عليّ بالنصح والإرشاد.

وإلى اصدقائي وزملائي الذين شاركوني لحظات التعب والنجاح، كانوا خير رفيق في هذه

الرحلة، فمعهم خفت الصعاب وازدادت المتعة.

إلى كل من ساهم من قريب أو بعيد في إنجاز هذا العمل، أهدي ثمرة جهدي المتواضع.

وأخيراً، إلى وطني الحبيب، أرجو أن يكون هذا الجهد المتواضع لبنة في بنائه وتقدمه.

شكر وعرفان

لا يسعنا في عملنا المتواضع هذا إلا أن نتقدم بجزيل الحمد والشكر لله عزّ وجل الذي وفّقنا لأداء هذا العمل ونسأله تعالى المعونة والتوفيق دائماً.

الحمد لله أولاً وآخراً، الذي بنعمته تتم الصالحات.

أتقدم بجزيل الشكر وعظيم الامتنان إلى جميع أساتذتي الكرام في كلية الهندسة - قسم الهندسة الكهربائية - لما قدموه لنا من علم نافع وتوجيهات قيمة كان لها الأثر الكبير في إنجاح هذا المشروع.

ونحن نضع أقدامنا على عتبة الحياة العملية لا يسعنا إلا أن نتقدم بأسمى آيات الشكر والامتنان الى كل من أثار لنا طريق العلم، والى كل من غرس نبتة في حقلنا، والى كل من سقى وردة في بستاننا فالشكر كل الشكر لأساتذتنا الكرام نبراس العلم والعطاء، وإلى كل من ساهم معنا في إنجاز هذا المشروع.

ونخص بالشكر:

الدكتور المهندس: عثمان عابدين

على رعايته وتوجيهه الكريمين

وفي الختام، نسأل الله أن يجعل هذا العمل خالصاً لوجهه الكريم، وأن ينفع به.

المستخلص:

يهدف هذا البحث إلى تصميم وتحليل منظومة طاقة شمسية كهروضوئية لتغذية مشروع الزيداب الزراعي بولاية نهر النيل كحل مستدام لمشكلة الاعتماد على مصادر الطاقة التقليدية مرتفعة التكلفة وغير المستقرة.

يتناول البحث في البداية مقدمة عامة عن أهمية الطاقة ومصادرها وأنواعها، مسلطاً الضوء على مميزات الطاقة المتجددة. بالإضافة إلى تصنيف أنواع الأنظمة المختلفة.

يقدم البحث منهجية مفصلة لتصميم منظومة الطاقة الشمسية، بدءاً من دراسة الموقع وتقدير الأحمال الكهربائية بدقة، مروراً بحسابات اختيار وتحديد أحجام الألواح الشمسية، قدرة العاكس. كما يتطرق إلى الجوانب الهندسية لتصميم التوصيلات الكهربائية، أخيراً، يقدم البحث دراسة شاملة للتكلفة والجوى الاقتصادية، والفوائد البيئية والاجتماعية غير المباشرة.

يلخص البحث إلى أن تصميم منظومات الطاقة الشمسية يمثل استثماراً استراتيجياً يوفر حلاً مستداماً واقتصادياً لاحتياجات الطاقة.

يوصي البحث بضرورة دعم السياسات والتشريعات، تعزيز البنية التحتية، الاستثمار في البحث والتطوير، وبناء القدرات البشرية لتحقيق أقصى استفادة من هذه التقنية الواعدة.

وخلصت الدراسة إلى أن استخدام الطاقة الشمسية في المشاريع الزراعية يعد خياراً فعالاً ومستداماً، يسهم في تقليل التكاليف التشغيلية ودعم التنمية الزراعية، مع التوصية بالتوسع في هذه الانظمة في السودان.

Abstract:

This research aims to design and analyze a photovoltaic solar energy system to power the AL-Zaidab Agricultural project in the River Nile State as a sustainable solution to the problem of dependence on expensive and unstable traditional energy sources.

The research begins with a general introduction to the importance of energy, its sources, and types, highlighting the advantages of renewable energy and classifying different types of systems.

The research present a detailed methodology for designing the solar energy system, starting with a site study and accurate estimation of electrical loads, followed by calculations for selecting and determining the sizes of solar panels and inversion capacity. It also addresses the engineering aspects of designing electrical connections, finally, the presents a comprehensive study of the cost, economic feasibility, and indirect environmental and social benefits.

The research recommends the necessity of supporting policies and legislation, strengthening infrastructure, investing in research and development, and building human capacity to achieve maximum benefit from this promising technology>

The study concluded that using solar energy in agricultural projects is an effective and sustainable option that contributes to reducing costs and supporting agricultural development, recommending the expansion of these systems in Sudan.

الفهرس

الرقم	المحتويات	الصفحة
1	الآية	i
2	الاهداء	ii
3	الشكر والعرفان	iii
4	المستخلص	iv
5	الفهرس	v
	الفصل الاول	
1-1	مقدمة البحث	2
2-1	مشكلة البحث	3
3-1	أهداف البحث	3
4-1	أهمية البحث	3
5-1	منهجية البحث	4
6-1	بنية البحث	4
	الفصل الثاني	

6	أنظمة الطاقة الشمسية	1-2
7	الطاقة الكهروضوئية	2-2
17	الطاقة الشمسية الحرارية	3-2
	الفصل الثالث	
20	مقدمة عن المشروع	1-3
21	حصر وتحديد الاحمال	2-3
22	تصميم المنظومة	3-3
30	التحليل الكهربى والفنى للمنظومة	4-3
34	الجدوى الاقتصادية والفنية	5-3
36	مدة الاسترجاع	6-3
	الفصل الرابع	
40	الخلاصة	1-4
41	التوصيات	2-4
45	المراجع	3-4

فهرس الجداول

الرقم	المحتويات	رقم الصفحة
1-3	حصر وتحديد الاحمال الكهربائية في المشروع	21
2-3	تكلفة الطاقة الشمسية	36

فهرس الاشكال

رقم الشكل	المحتويات	رقم الصفحة
1-2	لوحة احادي البلورة	9
2-2	لوحة متعدد البلورة	9
3-2	لو ذو الاغشية الرقيقة	10
4-2	العاكس	11
5-2	منظم شحن	13
6-2	بطارية	14
7-2	كوابل توصيل	15
8-2	قواطع التيار	16
9-2	صندوق توصيل	17
1-3	ادارة الاتجاهات وتحديد زاوية الميلان	23
2-3	التباين السنوي للاشعاع الشمسي	24
3-3	خصائص الألواح الشمسية	26
4-3	خصائص الانفرترات	27

31	عوامل الانتاج والفقد المعيارية	5-3
32	طاقة السقوط المرجعية في مستوى المجمع	6-3
33	نسبة الاداء	7-3
34	مخطط الفقد	8-3

الفصل الاول

المقدمة

الفصل الأول

1-1 مقدمة البحث:

تُعتبر الطاقة الشمسية من أهم مصادر الطاقة المتجددة والتي تحظى باهتمام عالمي متزايد بسبب نظافتها واستدامتها، [4][11] وبدون الاعتماد على الوقود الاحفوري الذي يسبب تلوثاً بيئياً. تعتمد الطاقة الشمسية على الاشعاعات المنبعثة من الشمس نتيجة التفاعلات النووية في نواتها، والتي تصل إلى الارض على شكل ضوء وحرارة توفر طاقة مجانية ومتجددة.

تاريخياً، تعود الاستفادة من الطاقة الشمسية الى العصور القديمة، حيث استخدم الانسان ضوء الشمس في التدفئة والتجفيف، إلا أن الاستخدام العلمي بدأ عام 1839م عندما اكتشف الفيزيائي الفرنسي ألكسندر بيكريل ظاهرة التأثير الكهروضوئي، والتي مهدت الطريق الى تطوير الخلايا الشمسية.

في عام 1954م تم تصنيع أول خلية شمسية من السيليكون في مختبرات "بيل" بكفاءة بلغت نحو 6%. ومنذ ذلك الحين، تطورت تقنيات الطاقة الشمسية بشكل كبير من حيث الكفاءة والتكلفة، [2] وأصبحت تستخدم في تطبيقات متعددة مثل الأقمار الصناعية، والمباني، والمشاريع الزراعية، وخاصة في المناطق النائية التي تعاني من ضعف في شبكات الكهرباء.

تعد الطاقة الشمسية من أهم مصادر الطاقة المتجددة التي حظيت باهتمام متزايد في العقود الاخيرة، نظراً لدورها المحوري في العقد العشرين وما بعده، حتى أصبحت اليوم من أسرع مصادر الطاقة نمواً في العالم. [15][10]

تتبع اهمية الطاقة الشمسية من كونها مصدراً نظيفاً وآمناً وعملياً، وتساعد على تقليل الاعتماد على الوقود الاحفوري وما يصاحبه من انبعاثات ضارة بالبيئة. كما تعد خياراً استراتيجياً للدول التي تسعى الى تحقيق التنمية المستدامة وتوفير طاقة كهربائية موثوقة بتكلفة اقل مع المدى البعيد.

بناءً على ذلك أصبح التوجه العالمي نحو الاستثمار في تقنيات الطاقة الشمسية ضرورة ملحة، خاصة في الدول التي تتمتع بسطوع شمسي مرتفع مثل الدول العربية.

في المجال الزراعي، تلعب الطاقة الشمسية دوراً محورياً في تحسين عمليات الري والتشغيل الكهربائي للمزارع خاصة في المناطق النائية. أظهرت الدراسات الحديثة امكانية استخدام نظم الري بالطاقة الشمسية لتلبية احتياجات المزارع الصغيرة في مناطق عدة، مما يساهم في رفع انتاجيتها وتقليل تكاليف التشغيل. اضافة الى ذلك يتيح استخدام هذه النظم تقليل الاثر البيئي وزيادة استدامة الموارد في القطاع الزراعي.

1-2 مشكلة البحث:

تواجه المشاريع الزراعية في المناطق الريفية تحديات كبيرة في تأمين مصادر طاقة مستدامة لتشغيل مضخات المياه وانظمة الري، حيث تعتمد بشكل كبير على الوقود الاحفوري والمصادر الكهربائية التقليدية ذات التكلفة العالية والتأثير البيئي السلبي، يبرز هذا البحث الحاجة الى تصميم نظام طاقة شمسية متكامل يتناسب مع متطلبات المشاريع الزراعية ، ويتضمن استمرارية التشغيل والكفاءة، مع مراعاة الظروف المناخية والبيئية الخاصة بالواقع. [5][9]

1-3 اهداف البحث:

1. دراسة خصائص الطاقة الشمسية وطرق استقلالها في نظم الري الزراعي.
2. تحليل تأثير استخدام الطاقة الشمسية على تحسين كفاءة المشروع الزراعي .
3. تصميم نظام طاقة شمسية متكامل لمشروع الزيداب الزراعي.
4. تقييم الجدوى الفنية والاقتصادية للنظام المقترح.

1-4 اهمية البحث:

تتمثل اهمية هذا البحث في تقديم حلول طاقة مستدامة تدعم المشاريع الزراعية في المناطق الريفية، خاصة تلك التي تقتقر الى شبكة كهرباء مستقرة، مما يساهم في تحسين الانتاجية الزراعية وتقليل التكاليف

الاقتصادية والبيئية المرتبطة باستخدام مصادر الطاقة التقليدية.[2] كما يساهم البحث في تعزيز التنمية المستدامة من خلال الاعتماد على مصادر الطاقة المتجددة .

1-5 منهجية البحث:

يعتمد البحث على المنهج الوصفي التحليلي، وذلك من خلال مراجعة الدراسات الحديثة والنظرية المتعلقة بالطاقة الشمسية واستخداماتها في المجال الزراعي. كما تم جمع البيانات المناخية ومتطلبات الطاقة للمشروع الزراعي المستهدف. بناءً على ذلك، يتم تصميم النظام الشمسي وتحليل جدواه الفنية والتحليل الكهربائي باستخدام برنامج PVSyst وتحليل جدواه الاقتصادية وتستخدم أدوات تقييم الاداء وتحليل التكلفة لمقارنة النظام المقترح بالأنظمة التقليدية.

1-6 بنية البحث:

قُسِّم هذا البحث إلى أربعة فصول رئيسية: يتناول الفصل الأول مقدمة البحث ومشكلته وأهدافه وأهميته ومنهجيته. ويستعرض الفصل الثاني الإطار النظري لأنظمة الطاقة الشمسية بنوعيتها الكهروضوئية والحرارية. ويتناول الفصل الثالث الجانب التطبيقي للدراسة، بدءاً من مقدمة عن المشروع، مروراً بحصر وتحديد الأحمال الكهربائية، وتصميم المنظومة، والتحليل الكهربائي والفني لها، وصولاً إلى دراسة الجدوى الاقتصادية ومدة استرجاع رأس المال. أما الفصل الرابع فيعرض خلاصة نتائج البحث وأهم التوصيات، إلى جانب قائمة المراجع والمصادر المعتمدة.

الفصل الثاني

الطاقة الكهروضوئية

الفصل الثاني

2-1 أنظمة الطاقة الشمسية:

تعد الطاقة الشمسية من أهم مصادر الطاقة المتجددة، وقد شهدت تطوراً كبيراً في السنوات الأخيرة، مما جعلها خياراً رئيسياً لتوليد الكهرباء والحرارة في مختلف المجالات، خاصة في المشاريع الزراعية التي تتطلب مصادر طاقة نظيفة ومستدامة.

تنقسم أنظمة الطاقة الشمسية إلى نوعين أساسيين: [2]

1. أنظمة الطاقة الشمسية الكهروضوئية (Solar Thermal Systems).

2. أنظمة الطاقة الشمسية الحرارية (Photovoltaic Systems).

1. مميزات أنظمة الطاقة الشمسية:

1- لا تنتج انبعاثات ضارة أثناء التشغيل، مما يجعلها صديقة للبيئة.

2- الشمس مصدر طاقة لا ينضب ومتاح في معظم أنحاء العالم، خاصة في المناطق المشمسة مثل

السودان.

3- اللامركزية يمكن تركيب أنظمة الطاقة الشمسية على نطاق واسع أو صغير، مما يسمح بتوليد الكهرباء

في المواقع البعيدة عن الشبكة المركزية.

4- انخفاض تكاليف التشغيل والصيانة بمجرد التركيب تكون تكاليف التشغيل قليلة جداً.

2. عيوب أنظمة الطاقة الشمسية:

1- التقطع والتذبذب، تتأثر بتغيرات الطقس (غيوم وليل) ومواسم السنة، مما يتطلب أنظمة تخزين (بطاريات)

أو الاتصال بالشبكة لضمان استمرارية الإمداد.

2- التكلفة الأولية: لا تزال تكلفة التركيب الأولية مرتفعة نسبياً مقارنة ببعض المصادر الأخرى، وإن كانت في انخفاض مستمر.

3- المساحة المطلوبة: تحتاج إلى مساحات كبيرة نسبياً لتركيب الألواح الشمسية خاصة للمشاريع الكبيرة.

4- كفاءة التحويل: كفاءة تحويل الطاقة الشمسية إلى كهرباء لا تزال محدودة مقارنة ببعض المصنفات الأخرى.

2-2 الطاقة الكهروضوئية (Photovoltaic-PV):

2-2-1 تعريفها:

الأنظمة الكهروضوئية تعتمد على تحويل ضوء الشمس مباشرة إلى كهرباء باستخدام خلايا شمسية تعتمد على مواد شبه موصلة مثل السيليكون. [1][2] وتستخدم هذه الأنظمة في تطبيقات متعددة مثل مضخات المياه، إنارة المزارع، وتشغيل الأجهزة في المناطق النائية.

2-2-2 مبدأ عملها:

تعمل الخلايا الكهروضوئية على أساس "التأثير الكهروضوئي"، حيث تسقط الفوتونات الضوئية على سطح الخلية، مما يؤدي إلى تحفيز الإلكترونات داخل المادة شبه الموصلة وتوليد تيار كهربائي مستمر (DC).

2-2-3 أنواع الأنظمة الكهروضوئية:

1- الأنظمة المستقلة المتصلة بالشبكة (Off-Grid Systems):

تستخدم هذه الأنظمة في المناطق المعزولة التي لا تصلها شبكة الكهرباء. تحتوي على بطاريات لتخزين الطاقة المولدة خلال النهار لاستخدامها ليلاً.

2- الانظمة المرتبطة بالشبكة (On-Grid Systems):

ترتبط بشبكة الكهرباء العامة وتقوم بتصدير الفائض من الكهرباء اليها. يعد هذا النظام مناسباً للمناطق
المخدومة بالكهرباء ويسمح بتقليل فواتير الكهرباء. [3][5]

3- الانظمة الهجينة (Hybrid Systems):

يجمع بين الطاقة الشمسية ومصدر طاقة آخر (مولد ديزل او شبكة كهرباء)، ويستخدم لضمان الاستمرارية في
التزويد بالطاقة.

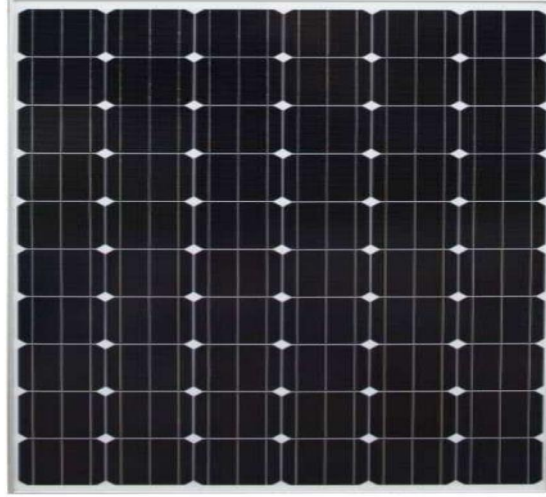
2-2-4 مكونات النظام الكهروضوئي:

1- الخلايا الشمسية (Solar Cells): تصنع عادة من السيليكون وتجمع في وحدات تعرف بالالواح
الشمسية.

انواع الخلايا الشمسية:

1- احادية البلورة (Monocrystalline pv): كفاءتها عالية تصل الى 20-22%، عمر طويل، لكنها اغلى
ثمناً.

- تصنع من بلورة سيليكون واحدة نقية، وتتميز بكفاءة تحويل عالية او اكثر من الخلايا التجارية
ومظهر موحد داكن وتعد الاعلى ثمن وتتطلب عملية تصنيع معقدة. [1][11]



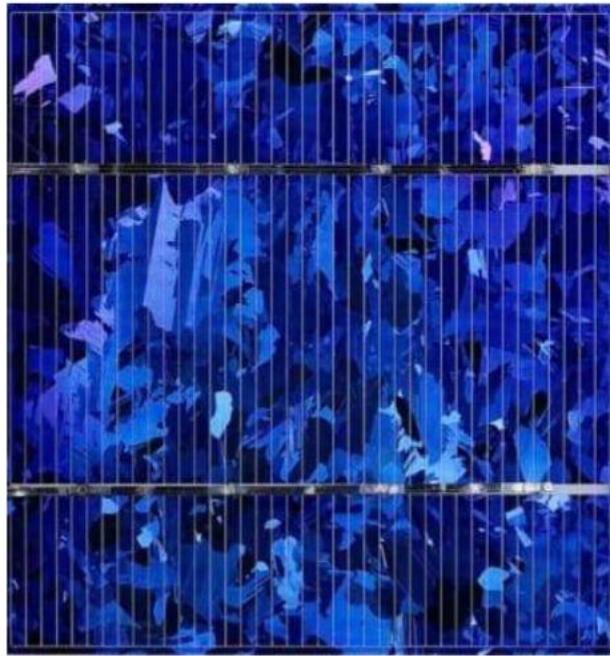
الأعلى ثمناً وتتطلب عمليات تصنيع معقدة.

الشكل (2-1): لوح احادي البلورة

2- متعدد البلورات (Polycrystalline): اقل كفاءة وسعراً من الاحادية، لكنها شائعة الاستخدام.

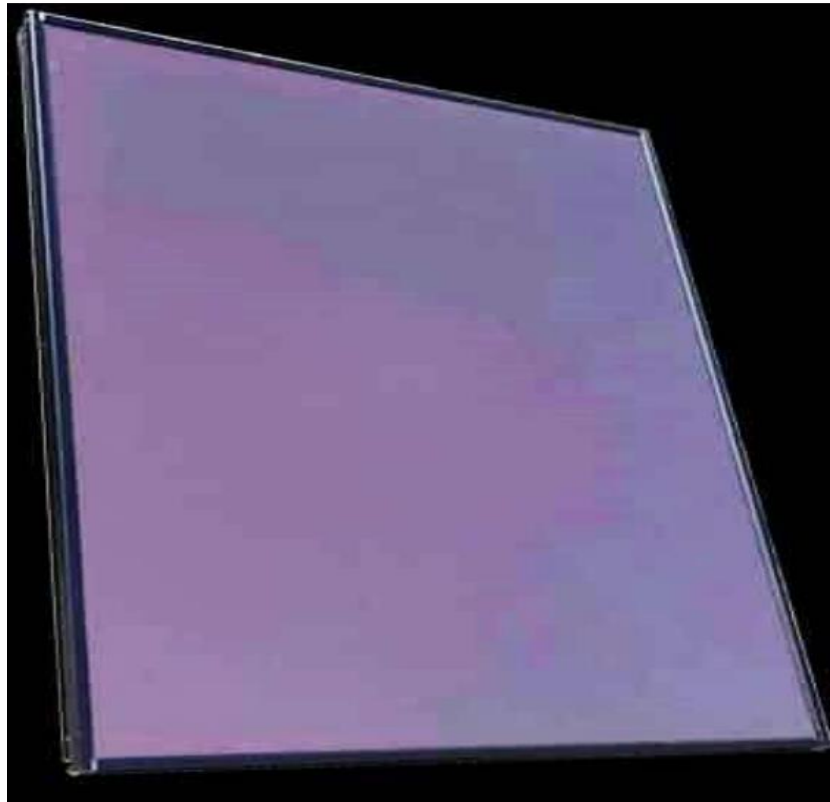
- تصنع من عدة بلورات سيليكون، وتتميز بلونها الازرق ومظهرها المتفاوت. وكفاءتها اقل قليلاً من

الاحادية (15-18%)، ولكنها اقل تكلفة في التصنيع وتعد خياراً اقتصادياً شائعاً. [3]



الشكل (2-2): لوح متعدد البلورة

3- الاغشية الرقيقة (Thin-Film): مرنة واقل وزناً، وكفاءتها اقل نسبياً. تصنع بترسيب طبقات رقيقة جداً من مادة شبه موصلة (مثل الكالسيوم غير - متبلور، تيلورايد الكاديوم، او سيلينيد انديم نحاس غاليوم)، تتميز بمرونتها، خفة وزنها، واداءها الجيد في ظروف الاضاءة المنخفضة، لكن كفاءتها اقل (10-14%) وتتطلب مساحة اكبر لنفس القدرة. [4]



الشكل (2-3): لوح ذو الاغشية الرقيقة

المميزات:

1- طاقة نظيفة و متجددة.

2- صيانة منخفضة.

3- إمكانية التركيب في مناطق نائية.

العيوب:

1- تكلفة أولية مرتفعة.

2- تأثير الأداء بالطقس أو الغبار

3- انخفاض الكفاءة ليلاً مع غياب الشمس.

2- العاكس الكهربائي (Inverter): يحول التيار المستمر الناتج من الألواح إلى تيار متردد لتشغيل

الأجهزة. [5]



الشكل (2-4): العاكس

3- منظم الشحن (Charge Controller): يحمي البطاريات من الشحن الزائد أو التفريغ العميق.
وظائفها:

- 1- حماية البطاريات من الشحن الزائد (Overcharge).
- 2- حماية البطاريات من التفريغ العميق (Deep Discharge).
- 3- قطع التيار عند الضرورة للحفاظ على صحة البطاريات.
- 4- تحسين كفاءة الشحن.

انواعها:

- 1- منظمات (PWM) (Pulse Width Modulation): تعمل على تنظيم الجهد والتيار بقطع وصل من الدائرة بشكل سريع. تعد اقل تكلفة ومناسبة للأنظمة الصغيرة، ولكنها اقل كفاءة في استغلال الطاقة القصوى من الألواح.
- 2- منظمات (MPPT) (Maximum Point Tracking): تعد اكثر تطورا وكفاءة. تقوم بتتبع نقطة القدرة القصوى للألواح الشمسية باستمرار لضمان استخراج اقصى قدر ممكن من الطاقة منها، خاصة في ظروف الاضاءة المتغيرة. تفضل للأنظمة الكبيرة والمتوسطة.



الشكل (2-5): منظمات شحن

4- البطاريات (Batteries): تخزن الطاقة الزائدة لاستخدامها لاحقاً، خاصة في الأنظمة المستقلة.

تعتبر البطاريات عنصراً أساسياً في الأنظمة المستقلة (Off-Grid) والأنظمة الهجينة.



الشكل (2-6): بطارية

انواعها:

- 1- بطاريات الرصاص الحمضية، الأكثر شيوعاً والأقل تكلفة، وتتوفر بنوعين:
- 2- السائلة (Flooded): تتطلب بعض انواعها صيانة دورية (مثل اضافة الماء المقطر).
- 3- بطاريات الرصاص الحمضية (Lead-Acid Batteries): هي النوع الجافة (Gel): لا تقبل الصيانة.

- 4- بطاريات ليثيوم أيون (Lithium-ion Batteries): اصبحت اكثر انتشاراً بفضل كثافة طاقتها العالية، عمرها الافتراضي الطويل، وكفاءتها العالية في الشحن والتفريغ، وكونها لا تتطلب صيانة. لكنها اعلى تكلفة اولية.

سعتها: تقاس سعة البطارية بالأمبير ساعة، وتحديد كمية الطاقة التي يمكنها تخزينها.

دورها في انظمة التخزين: تضمن البطاريات استمرارية توفر الطاقة الكهربائية حتى في غياب الاشعاع الشمسي، مما يوفر استقلالية عن الشبكة الكهربائية.

5- هياكل التركيب (Mounting Structures): تستخدم لتثبيت الألواح في الاتجاه والزوايا المناسبة لأقصى كفاءة.

6- كابلات التوصيل، قواطع التيار، صناديق التوصيل:

1- كابلات التوصيل (PWM (pulse Width Modulation): تستخدم لتوصيل جميع مكونات المنظومة

ببعضها البعض. يجب ان تكون ذات جودة عالية ومقاطع عرضية مناسبة لتحمل التيار الكهربائي الفائد

في الجهد.



الشكل (2-7): كوابل التوصيل

2- قواطع التيار (Circuit Breakers/Fuses): تعد مكونات حماية اساسية تستخدم لفصل الدائرة تلقائياً في حالة حدوث تيار زائد او قصر في الدائرة لحماية المكونات من التلف ومنع مخاطر الحرائق.



الشكل (2-8): قاطع التيار

3- صناديق التوصيل (Junction Boxes/Combiner Boxes): تستخدم لتجميع توصيلات الالواح الشمسية وتوفير حماية اضافية للاسلاك والقواطع من الظروف الجوية.



الشكل (2-9): صندوق التوصيل

2-3 الطاقة الشمسية الحرارية (Solar Thermal):

تستخدم أنظمة الطاقة الشمسية الحرارية في تجميع حرارة الشمس واستخدامها في تسخين المياه أو إنتاج البخار لتوليد الطاقة الكهربائية أو استخدامها في العمليات الصناعية.

2-3-1 مبدأ العمل:

تعتمد هذه الأنظمة على امتصاص أشعة الشمس وتحويلها إلى حرارة ، تستخدم هذه الحرارة إما مباشرة أو بعد تحويلها إلى طاقة ميكانيكية ثم كهربائية.

2-3-2 أنواع الأنظمة الحرارية:

1. المجمعات المسطحة (Flat Plate Collectors): تستخدم لتسخين الماء في التطبيقات السكنية والزراعية. تعد الأكثر شيوعاً وبسيطة التصميم.

2. الانابيب المفرغة (Evacuated Tube Collectors): اكثر كفاءة في التقاط الحرارة، خاصة في البيئات الباردة او قليلة الاشعاع.

3. الانظمة المركزة (Concentrated Solar Power-CSP): تستخدم مرايا لتركيز ضوء الشمس على نقطة واحدة لإنتاج حرارة عالية تستخدم لتوليد بخار يشغل التوربينات الكهربائية.

4. التطبيقات:

1- تسخين المياه في المنازل او المنشآت الزراعية.

2- تشغيل أنظمة التدفئة او التبريد.

3- تجفيف المحاصيل.

4- توليد الكهرباء من خلال محطات الطاقة الشمسية المركزة.

الفصل الثالث

تصميم منظومة الطاقة الشمسية

الفصل الثالث

تصميم منظومة طاقة شمسية

لمشروع الزيداب الزراعي بولاية نهر النيل - محلية الدامر

3-1 مقدمة عن المشروع :

يُعد القطاع الزراعي من أهم القطاعات الاقتصادية في السودان، لما له من دور كبير في تحقيق الأمن الغذائي ودعم الاقتصاد الوطني. ويأتي مشروع الزيداب الزراعي كأحد أعرق المشاريع الزراعية في السودان، إذ يمثل نموذجاً مبكراً للزراعة المروية باستخدام الطلمبات، وكان له إسهام واضح في تاريخ الزراعة والإنتاج الزراعي بالبلاد.

يحتوي المشروع على خمس (5) بيارات متباعدة لري المساحة الكلية، ويعتمد على أطول شبكة ري يبلغ طولها حوالي 162 كيلومتراً، وتحتاج هذه الشبكة إلى تطهير ثلاث مرات في السنة لضمان كفاءة الري واستمرارية الإنتاج.

يقع مشروع الزيداب الزراعي في ولاية نهر النيل - محلية الدامر، ويُعد من أول المشاريع الزراعية في السودان ويروى بالطلمبات تنتوع المحاصيل الزراعية التي تُزرع في مشروع الزيداب، ومن أهمها:

1- القمح

2- الذرة

3- الفول المصري

4- البصل

5- البرسيم العلفي

كما اشتهر المشروع بالبستنة، خاصة زراعة الموالح بأنواعها، في مساحة تقدر بحوالي 8,000 فدان.

2-3 حصر وتحديد الأحمال الكهربائية المراد تغذيتها :

تشمل هذه المرحلة حصر جميع الأجهزة الكهربائية المراد تغذيتها بواسطة المنظومة الشمسية، مع تحديد القدرة الكهربائية لكل جهاز وعدد ساعات التشغيل اليومية، وذلك بهدف حساب الحمل الكلي المطلوب وتحديد السعة المناسبة لمكونات النظام. كما موضح في الجدول:

نوع الجهاز	العدد	القدرة المطلوبة للجهاز الواحد	عدد ساعات التشغيل	القدرة المطلوبة لكل العدد
طرمبة كبيرة	4	350 kw	6	1400Kw
طرمبة متوسطة	1	185 kw	6	185 kw
طرمبة صغيرة	1	55 kw	6	55 kw
شفاط	2	15 kw	2	30 kw
المجموع	8			1670 kw

جدول (3-1): حصر الأحمال الكهربائية في المشروع

3-3 تصميم المنظومة :

يعد تصميم منظومة الطاقة الشمسية عملية هندسية متعددة الخطوات تتطلب فهماً عميقاً للاحتياجات الكهربائية للموقع، والظروف المناخية المحلية، وتوافر الموارد، بهدف تحقيق أقصى كفاءة وموثوقية للمنظومة بأقل تكلفة ممكنة. وتُطبق هذه المبادئ سواء كانت المنظومة صغيرة الحجم لتلبية احتياجات منزل فردي، أو كبيرة لمشروع صناعي أو زراعي أو محطة توليد كهرباء.

3-3-1 دراسة الموقع وتحديد الحمل:

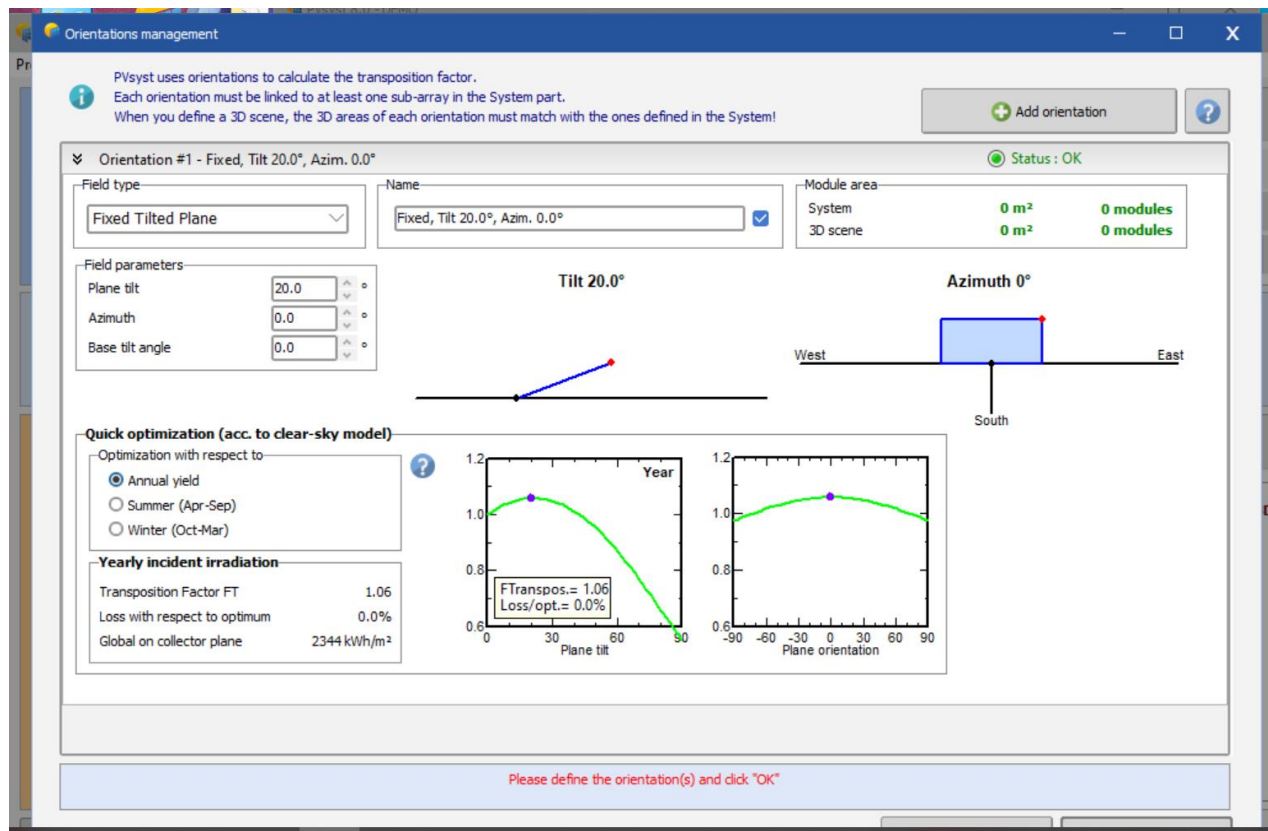
تعد هذه الخطوة نقطة البداية لأي عملية تصميم، حيث تحدد الأساس الذي تُبنى عليه جميع الحسابات اللاحقة.

3-3-2 تحديد الموقع الجغرافي للمنظومة:

تُعد معرفة الإحداثيات الجغرافية الدقيقة للموقع (خط الطول وخط العرض) أمراً بالغ الأهمية لتحديد زاوية ميل الألواح الشمسية واتجاهها، بما يضمن الحصول على أقصى قدر ممكن من الإشعاع الشمسي على مدار العام. ويقع السودان ضمن نطاق جغرافي يتميز بوفرة الإشعاع الشمسي، وتحديداً ولاية نهر النيل منطقة الديداب ، حيث تتمثل الإحداثيات في الآتي:

خط العرض: $18^{\circ}55'19$ شمالاً

خط الطول: $30.5'30$ شرقاً



الشكل (3-1): إدارة الاتجاهات وتحديد زاوية الميلان.

3-3-3 تحليل بيانات الإشعاع الشمسي للموقع:

يُعد الإشعاع الشمسي متاح في الموقع العامل الأكثر أهمية في تحديد حجم منظومة الطاقة الشمسية. وتُستخدم بيانات الإشعاع الشمسي التاريخية للمنطقة، والتي تُقاس عادة بوحدة ($\text{kWh/m}^2/\text{day}$) أو ($\text{Wh/m}^2/\text{day}$)، سواء على السطح الأفقي أو السطح المائل بزاوية مثالية.

ويمكن الحصول على هذه البيانات من قواعد بيانات عالمية مثل PVGIS و NASA SSE [7][8] أو من محطات قياس محلية. كما يجب مراعاة متوسط الإشعاع الشمسي في أسوأ شهر خلال العام (غالباً فصل الشتاء أو مواسم الغبار الكثيف في بعض المناطق)، وذلك لضمان استمرارية أداء النظام على مدار العام.

وتشير البيانات في السودان إلى متوسط إشعاع شمسي يومي مرتفع يتجاوز 5.5 kWh/m²/day في معظم المناطق، مما يجعل البلاد بيئة مثالية لتطبيقات الطاقة الشمسية المختلفة. [12][13]

Geographical Coordinates Monthly weather data Interactive Map						
Site	El Zedab (Sudan)					
Data source	El Zedab_MN82.SIT -- Meteororm 8.2 (1998-2000), Sat=100%					
	Global horizontal irradiation	Horizontal diffuse irradiation	Temperature	Wind Velocity	Linke turbidity	Relative humidity
	kWh/m ² /mth	kWh/m ² /mth	°C	m/s	[-]	%
January	166.5	36.5	22.6	3.29	4.218	39.7
February	168.0	44.1	24.7	3.50	4.930	32.1
March	201.0	68.6	28.4	3.29	5.781	24.1
April	218.9	65.0	32.1	2.89	6.799	21.9
May	215.0	86.1	35.3	2.69	7.646	20.8
June	200.0	92.0	35.8	2.19	8.712	21.2
July	193.2	94.5	35.2	2.70	9.322	29.1
August	185.8	102.6	34.5	2.90	9.372	37.7
September	177.2	83.7	34.6	2.39	8.417	31.2
October	173.3	72.2	33.1	2.40	6.440	29.6
November	159.1	48.9	28.0	2.70	4.886	37.2
December	153.6	42.3	24.1	3.19	4.339	41.6
Year	2211.6	836.5	30.7	2.8	6.738	30.5
Global horizontal irradiation year-to-year variability 3.1%						

Required Data

☒ Global horizontal irradiation

☒ Average Ext. Temperature

Extra data

☒ Horizontal diffuse irradiation

☒ Wind velocity

☒ Linke turbidity

☒ Relative humidity

Irradiation units

☐ kWh/m²/day

☒ kWh/m²/mth

☐ MJ/m²/day

☐ MJ/m²/mth

☐ W/m²

☐ Clearness Index Kt

الشكل (3-2): التباين السنوي للإشعاع الشمسي.

3-3-4 حساب عدد الألواح المطلوبة:

تُعد هذه الخطوة من الخطوات الأساسية في تصميم المنظومة الكهروضوئية، حيث يتم من خلالها تحديد القدرة الكلية للألواح الشمسية اللازمة لتغطية الحمل المطلوب.

ويتم الاعتماد في ذلك على الحمل اليومي المطلوب والطاقة الشمسية المتاحة، باستخدام مفهوم ساعات الذروة الشمسية (Peak Sun Hours)، أو ما يُعرف بمتوسط الإشعاع الشمسي المكافئ يومياً. وتمثل

ساعات الذروة الشمسية عدد الساعات التي لو سقط خلالها الإشعاع الشمسي بشدة 1000 W/m^2 (وهي ظروف الاختبار القياسية)، لأنتجت نفس كمية الطاقة الكلية التي تسقط فعلياً على الموقع خلال اليوم الكامل.

1- تم اختيار اللوح من شركة "Jinko sola"

2- قدرة اللوح الواحد (550w)

3- القدرة الكلية للمنظومة 1980kw

4- يمكن حساب عدد الألواح المطلوبة من المعادلة :

$$N = \frac{p_{total}}{p_{module}}$$

$$N = \frac{1980kw}{0.55kw} = 3600 \text{ لوح}$$

$P_{total} \equiv$ تمثل القدرة الكلية للمنظومة.

$p_{module} \equiv$ تمثل قدرة اللوح الواحد.

1- عدد الألواح الشمسية = 3600 لوح

2- توزيع الألواح على السلاسل:

3- 144 سلسلة $\times$ 25 لوح على التوالي

4- عدد السلاسل (strings) 144 موصلة على التوازي

5- عدد الألواح في السلسلة الواحدة 25 لوح موصلة على التوالي

6- توزيعها على الإنفرترات Inverter لكل string $\frac{144}{6} = 24$

5- خصائص الألواح موضحة في الشكل (3-3)

الشكل (3-3): خصائص الألواح الشمسية

3-3-5 اختيار الإنفرترات:

1- قدرة الإنفرتتر الواحد 320 KW

2- تم اختيار الإنفرتتر من شركة (Jinko solar)،

3- عدد الإنفرترات يساوي 6 إنفرتتر.

القدرة الكلية لها تساوي:

$$6 \times 320 = 1920 \text{KW}$$

عدد MPPT = 12 لكل إنفرتر

نطاق جهد التشغيل للتيار المستمر (DC): من 480 – 1500V

نسبة القدرة الاسمية DC إلى AC: 1.13

خصائص الانفراتر موضحة في الشكل رقم (3-4)

definition, Variant VCD: "New simulation variant"

Grid inverter definition

Main parameters | Efficiency curve | Additional parameters | Output parameters | Sizes and Technology | Commercial data

Model: 320 kWac inverter, 12 MPPT
Manufacturer: Generic
File name: Generic_320kW.OND
Data source: Generic device
Prod. Since: 2025

Input side (DC PV field)

Minimum MPP Voltage: 500 V
Min. Voltage for PNom: N/A V
Maximum current per MPPT: N/A A
Nominal MPP Voltage: N/A V
Maximum MPP Voltage: 1500 V
Absolute max. PV Voltage: 1500 V
Power Threshold: 1750 W
Contractual specifications, without real physical meaning: Required

Output side (AC grid)

Monophased
Triphased
Biphased

Frequency: 50 Hz, 60 Hz

Grid voltage: 800 V
Nominal AC Power: 320 kVA
Maximum AC Power: 320 kVA
Nominal AC current: 231 A
Maximum AC current: N/A A

Efficiency

Maximum efficiency: 98.50%
EURO efficiency: 98.00%
Efficiency defined for 3 voltages: []

Copy to table | Print | Cancel | OK

الشكل (3-4): خصائص الانفرتر

3-3-6 اختيار الكوابل:

1- كوابل السلاسل (DC String Cables):

1- الوظيفة نقل التيار المستمر من الألواح داخل كل String إلى صندوق التجميع

2- عدد الألواح 25 في السلسلة

3- تيار اللوح الواحد 13 A (مع معامل الامان 15A)

4- نوع الكابل : PV1-F solar Cable

5- الجهد المقنن : DC 1500V

6- مساحة المقطع : 6 mm^2

7- عدد الكوابل لكل : String كابل موجب وكابل سالب

8- $DC(6\text{mm}^2)$ كابل $144 \times 2 = 288$

2 - كوابل الإنفرترات (من صندوق التجميع إلى الانفتر DC)

1- التيار الكلي عند نقطة القدرة العظمى :

$$=1872 \text{ A}$$

$$I_{mpp}$$

2- التيار لكل انفتر

$$I_{inv} = \frac{1872}{6} \approx 312 \text{ A}$$

3- نوع الكوابل : *DC Power Cable – XLPE*

4- مساحة المقطع : 6 mm^2

5- عدد الكوابل لكل إنفرتتر: كابل موجب وكابل سالب.

6- اجمالي كوابل :

$$6 \times 24 = 144 \text{ كابل } DC (6 \text{ mm}^2)$$

3- كوابل الخرج *AC* من الانفترترات الى الاحمال أو الشبكة

قدرة الانفترتر الواحد 320 KW

الجهد 400 V

معامل القدرة 0.99

تيار الخرج لكل انفترتر :

$$I = \frac{320000}{\sqrt{3} \times 400 \times 0.99} \approx 513 \text{ A}$$

نوع الكابل : *XLPE Copper Cable*

الجهد المقنن : $0.6/1 \text{ KV}$

مساحة المقطع : 120 mm^2

عدد الكوابل لكل انفترتر (6 فازات ± 1 نيوترال = 7 كابل)

الاجمالي الكوابل لكل الانفترتات

$$6 \times 7 = 42 \text{ كابل } \text{Ac}120\text{mm}^2$$

4 - كوابل التأريض (*Earthing*)

نوع الكوابل : *Earthing*

لتأريض الهياكل والألواح وصناديق الانفيرتر

الشبكة الارضية: 50mm^2 (نحاس عاري).

الهياكل: 16mm^2

صندوق التجميع: 16mm^2

الانفترتات: 35mm^2

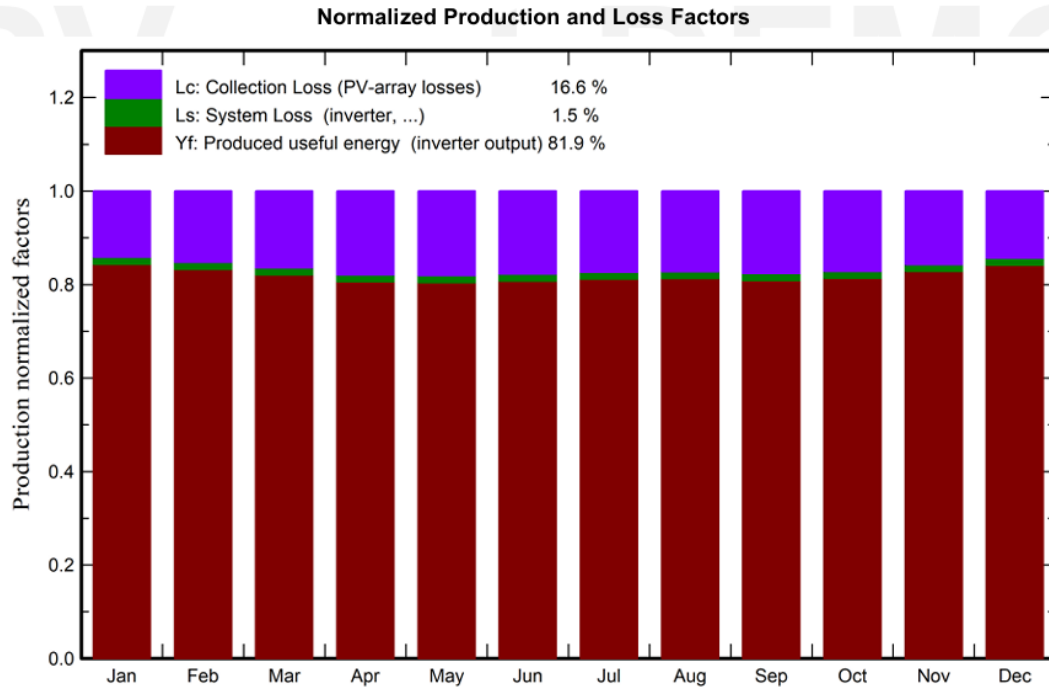
4-3 التحليل الكهربى والفنى للمنظومة:

1- الطاقة المتجددة:

القدرة الاسمية للمنظومة 1980KW

القدرة النوعية 1914KW

الطاقة المنتجة سنوياً 3790MW الشكل التالى يوضح اداء المنظومة خلال السنة وخلال كل شهر .



الشكل (3-5): عوامل الإنتاج والفقد المعيارية.

1- اللون الاحمر: يمثل الطاقة الصافية التي تم إنتاجها وحققها بالفعل في الشبكة الكهربائية.

يبلغ المتوسط السنوي لهذا الانتاج 5.25 كيلو واط ساعة لكل كيلو واط ذروة في اليوم

2- اللون البنفسجي: يمثل الفواقد التي تحدث في جانب التيار المستمر قبل وصول الكهرباء الى العواكس.

3- اللون الاخضر: يمثل الفواقد التي تحدث في جانب التيار المتردد.

2- بيانات الاشعاع الشمسي:

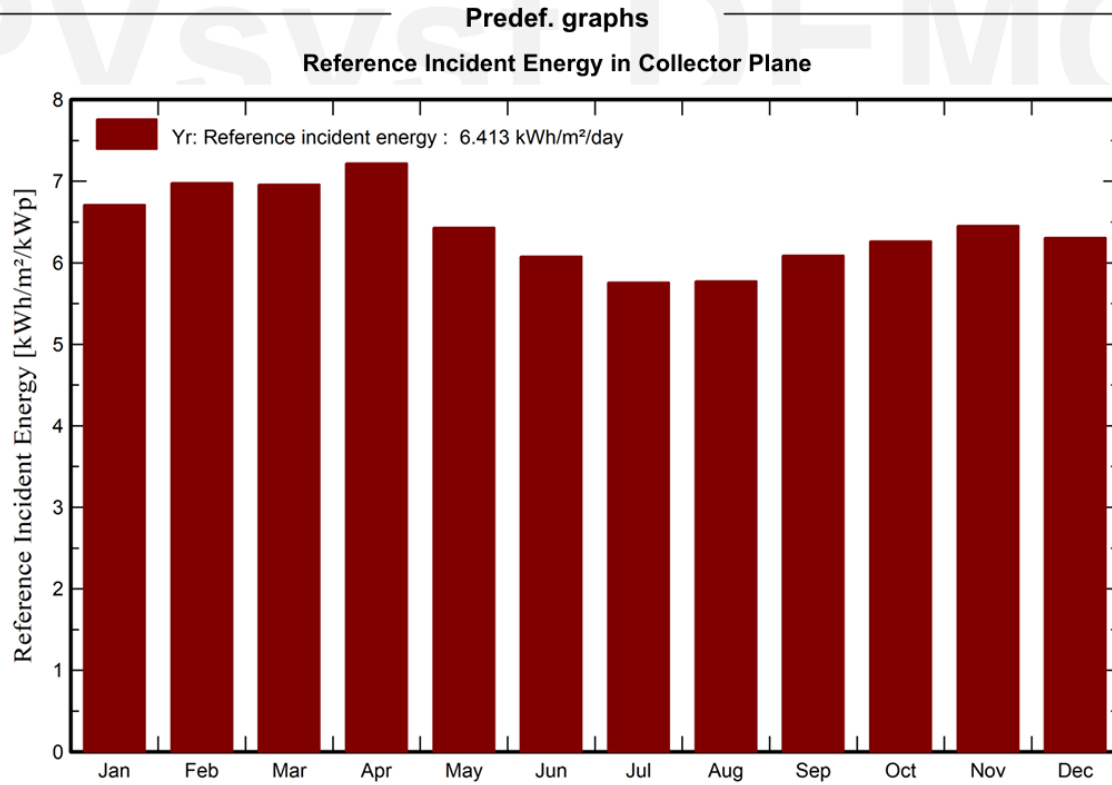
التحليل الاشعاعي يعتمد بشكل اساسي على البيانات المناخية لموقع الزيداب الجغرافي:

1- يبلغ الاشعاع الافقي الكلي 2216.2 كيلوواط /متر مربع.

2- الاشعاع على مستوى الالواح المائلة بزاوية (20 درجة) يبلغ 2340.6 كيلوواط/متر مربع.

3- متوسط الاشعاع اليومي على الالواح 6.41 كيلوواط/متر مربع.

الشكل رقم (3-6) يوضح بيانات الاشعاع الشمسي الواقع على الالواح:



الشكل (3-6): طاقة السقوط المرجعية في مستوى المُجمّع.

3- معامل الاداء :

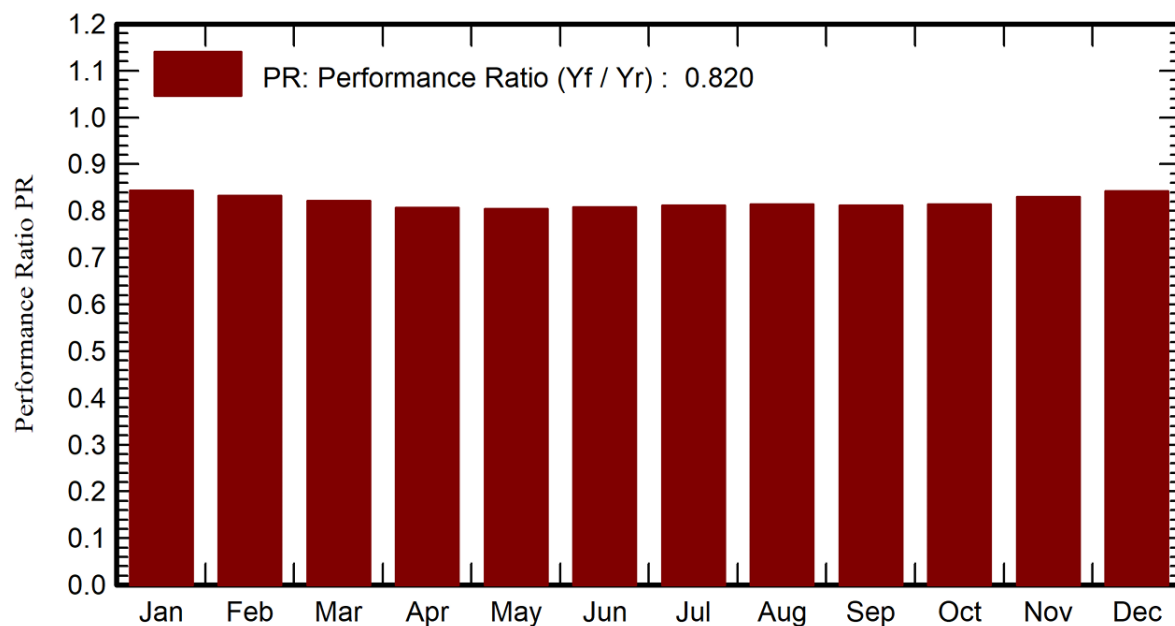
1- متوسط معامل الاداء السنوي 81.9%.

2- اعلی قيمة في شهر (ديسمبر) 84.2%

3- اقل قيمة في شهر (ابريل) 80.6%.

بيانات معامل الاداء موضحة في الشكل (3-7):

Performance Ratio PR



الشكل (3-7): نسبة الاداء.

4- الفقدوات في الطاقة:

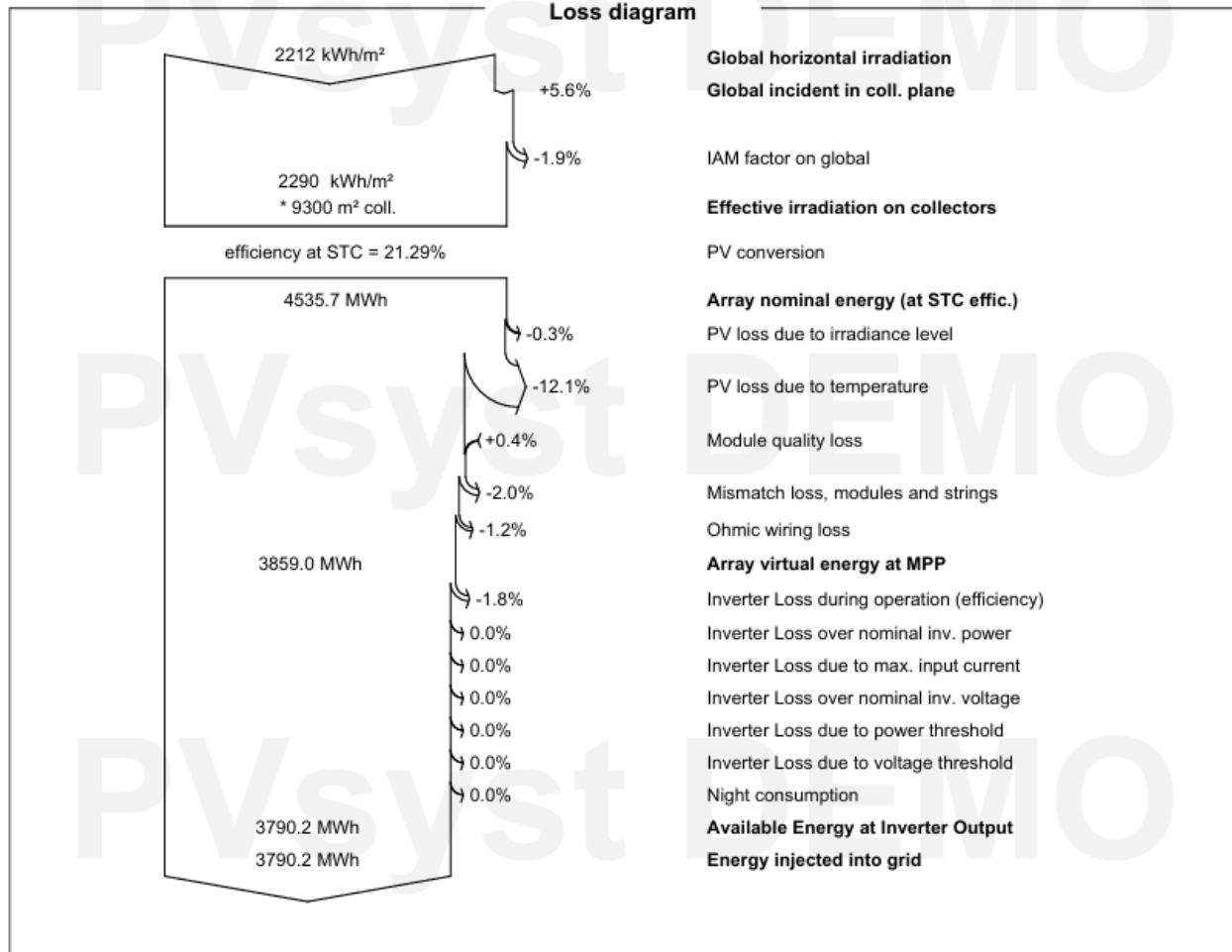
1- الفقد في الالواح 2.0%.

2- الفقد في التوصيلات والكوابل 1.5%.

3- الفقد في الانفرتتر 1.8%.

4- الفقد الحراري 12.1% (اعلى قيمة في الفقدوات).

الشكل رقم (3-8) يوضح جميع الفقدوات في الطاقة:



الشكل (3-8): مخطط الفقد.

5-3 الجدوى الاقتصادية والفنية:

دراسة التكلفة والجدوى الاقتصادية:

يُعد الجانب الاقتصادي حاسماً في قرار تبني أو استثمار في منظومة الطاقة الشمسية.

فبغض النظر عن المزايا البيئية والفنية، يجب أن تكون المنظومة مجدية اقتصادياً لتشجيع الافراد والمؤسسات على الاستثمار فيها.

تتضمن دراسة التكلفة والجدوى الاقتصادية تقدير التكاليف الاولية والتشغيلية، وتحليل العائد على الاستثمار،

بالإضافة إلى مراعاة المحفزات الحكومية.[4][11]

الاجهزة	المواصفات	العدد	سعر الوحدة (جنيه سوداني)	التكلفة الكلية (جنيه سوداني)	التكلفة الكلية (دولار امريكي)
الالواح	550W	3600	400,000	1,440,000,000	\$480,000
انفرتر	3.2KW	6	650,000	3,900,000	\$1,300
صندوق تجميع	-	6	30,000	180,000	\$60
كابل DC	6mm ²	288	6,000	1728,000	\$576
كابل AC	3.5Mm ²	42	25,000	1,050,000	\$350
لوحة توزيع	-	6	150,000	900,000	\$300
وصلات MC4	-	3600	2,500	9,000,000	\$3,000
قاطع DC	-	144	20,000	2,880,000	\$960
هياكل لتثبيت	-	144	95,000	13,680,000	\$4,560
كوابل التاريض	-	144	40,000	75,000,000	\$25,000

\$150	450,000	-	-	-	مانعة صواعق
\$16,666	50,000,000	-	-	-	العمالة
\$528,518	1,598,768,000	المجموع			

جدول (3-2): يوضح تكلفة الطاقة الشمسية.

التكلفة الإنشائية الكلية للمنظومة:

التكلفة الإنشائية الكلية للمنظومة هي: 1,598,768,000 جنيه سوداني (الاسعار قابلة للتغيير).

العمر الافتراضي لمنظومة الطاقة الشمسية هو: 25 سنة.

3-6 مدة الاسترداد:

3-6-1 المشروع يعمل بالكهرباء العامة:

سعر ال 100 كيلوواط ساعة: 10,000 جنيه سوداني.

سعر الكيلوواط ساعة الواحد (تقريباً): $10,000 \div 100 = 100$ جنيه سوداني.

الاستهلاك اليومي للمشروع: 1670 كيلوواط $\times 12$ ساعة = 20,040 كيلوواط ساعة.

تكلفة الكهرباء العامة يومياً:

$20,040 \times 100$ جنيه = 2,004,000 جنيه سوداني في اليوم.

التوفير السنوي المحقق (عند استخدام الطاقة الشمسية):

2,004,000 جنيه $\times 365$ يوم = 731,460,000 جنيه في السنة.

مدة استرداد التكلفة = التكلفة الكلية ÷ التوفير السنوي

$$= 1,598,678,000 \div 731,460,000 = 2.2 \text{ سنة تقريباً}$$

بناءً على سعر الكهرباء العامة (الاسعار غير ثابتة) ستمكن المنظومة من استرداد كامل تكاليفها الانشائية في خلال سنتين وثلاثة اشهر تقريباً.

3-6-1 المشروع يعمل بمولد ديزل:

القدرة الكلية للأحمال = 1670 كيلوواط

ساعات التشغيل = 12 ساعة يومياً

الاستهلاك اليومي للطاقة: $1670 \times 12 = 20,040$ كيلوواط ساعة.

افتراض استهلاك الديزل:

في المولدات الكبيرة:

كل 1 لتر ديزل (تقريباً) = 3 كيلوواط ساعة

استهلاك الديزل اليومي: $20,040 \div 3 = 6,680$

إذا افترضنا تكلفة واحد لتر من الديزل 590 جنيه سوداني.

التكلفة اليومية: $6,680 \times 590 = 3,941,200$ جنيه.

سنوياً: $3,941,200 \times 365 = 1,438,538,000$ جنيه.

مدة الاسترداد = التكلفة الكلية ÷ التكلفة السنوية:

$$= 1,598,7689,000 \div 1,438,538,000 = 1.1 \text{ سنة تقريباً.}$$

بناءً على سعر الديزل ومقارنته مع تكلفة المنظومة الكلية نجد أن زمن استرداد التكلفة الكلية للمنظومة

تقريباً (نسبة لعدم ثبات الاسعار)، سنة واحدة وشهران (حوالي 13 شهراً)

الفصل الرابع

الخلاصة والتوصيات

الفصل الرابع

الخلاصة والتوصيات

1-4 الخلاصة

من خلال هذه الدراسة تم تصميم وتحليل منظومة طاقة شمسية متكاملة لتغذية مشروع الريداب الزراعي بولاية نهر النيل - محلية الدامر ، كحل مستدام للتحديات التي تواجه المشروع الزراعي في توفير طاقة موثوقة ونظيفة . وتم الاعتماد على دراسة الأحمال الكهربائية والبيانات المناخية للموقع ، بالإضافة إلي استخدام برنامج PVSyst لإجراء التحليل الفني والكهربائي للمنظومة . أظهرت النتائج أن المشروع المستهدف تبلغ قيمة تشغيل الطرملات ومضخات المياه 1670 كيلوواط ، وبناءً على ذلك تم تصميم منظومة بقدرة بلغت حوالي 1980 كيلوواط وهي قدرة كافية لتغطية احتياجات المشروع الزراعي من الطاقة الكهربائية خاصة في تشغيل مضخات المياه وأنظمة الري. كما بينت نتائج المحاكاة أن الطاقة السنوية المنتجة تقدر بحوالي 3790 ميغاواط ساعة ، مع متوسط إنتاج يومي يبلغ 5.25 كيلوواط مما يعكس وفرة المورد الشمسي في المنطقة وكفاءة استغلاله . كما أوضحت الدراسة أن معامل الأداء السنوي للمنظومة بلغ حوالي 81.9% وهو مؤشر جيد يدل على كفاءة تشغيل النظام واستقراره . وقد تبين أن الفوائد في النظام تقع ضمن الحدود المقبولة ، حيث كان الفقد الحراري

هو الأعلى مقارنة ببقية الفواقد ، في حين كانت الفواقد الناتجة عن الكوابل والانفترقات محدودة ، مما يؤكد جودة التصميم واختيار المكونات المناسبة . وبناءً على النتائج المتحصل عليها ، يمكن الاستنتاج أن استخدام أنظمة الطاقة الشمسية في المشاريع الزراعية يعد حلاً فعالاً ومستداماً ، خاصة في المناطق التي تعاني من ضعف أو انعدام مصادر الطاقة التقليدية . كما يساهم هذا النظام في تقليل التكاليف التشغيلية على المدى الطويل والحد من التأثيرات البيئية الناتجة عن استخدام الوقود الأحفوري .

وعليه ، فإن تطبيق هذا النظام في مشروع الزيداب الزراعي يمثل نموذجاً عملياً ناجحاً يمكن تعميمه في مشاريع زراعية أخرى داخل السودان ، لما يتمتع به من جدوى فنية واقتصادية ، وقدرته على دعم التنمية الزراعية المستدامة .

4-2 التوصيات :

بناءً على النتائج التي توصل إليها هذا البحث ، يوصى بما يلي :

- 1- اعتماد التصميم المقترح للمنظومة الشمسية في مشروع الزيداب الزراعي ، مع الأخذ بعين الاعتبار استخدام أنظمة تتبع الشمس (Solar Trackers) أن أمكن لزيادة الإنتاجية بنسبة تصل إلى 25.
- 2- تنفيذ برنامج صيانة دورية صارم يشمل تنظيف الألواح الشمسية بانتظام (خاصة في منطقة الدراسة التي تتعرض للغبار والأتربة) لضمان الحفاظ على أعلى كفاءة ممكنة ، وفحص التوصيلات والانفترقات دورياً .

3- التوسع في استخدام أنظمة الري بالطاقة الشمسية في المناطق الريفية والمشاريع الزراعية المماثلة في السودان ، نظراً لوفرة الاشعاع الشمسي ولخفض الاعتماد على الوقود المستورد وتقليل التكلفة على المدى الطويل .

4- دمج نظام تخزين بالبطاريات (Batteries) مع المنظومة المستقلة المقترحة ، خاصة بطاريات الليثيوم أيون عالية الكفاءة لضمان استمرارية تشغيل مضخات المياه والأحمال الحيوية أثناء الليل أو في الأيام ذات الغطاء السحابي الكثيف مع عمل اضافة جدوى دراسية لتحديد السعة المناسبة .

5- تشجيع الجهات الحكومية والجهات المانحة على تقديم حوافز مالية (قروض ميسرة ، وإعفاءات جمركية) ودعم فني للمزارعين لتشجيع التحول إلى أنظمة الطاقة الشمسية .

6- الاستثمار في البحث التطوير وتوطين الصناعة .

7- تشجيع التصنيع المحلي : العمل على توطین صناعة بعض مكونات الطاقة الشمسية (مثل الهياكل المعدنية والكابلات ، وربما تجميع الألواح والعواكس على المدى الطويل) .

8- بناء القدرات وتنمية الموارد البشرية .

9- تضمين التعليم والتدريب : دمج مناهج الطاقة الشمسية في التعليم الجامعي والفني ، وتوفير برامج تدريب مهني متخصصة لتأهيل فنيين ومهندسين ذو كفاءة عالية في التصميم والتركيب وصيانة منظومات الطاقة الشمسية .

10- نقل التكنولوجيا والمعرفة : جذب الشركات العالمية المتخصصة في الطاقة الشمسية للاستثمار في السودان ، مع التركيز على نقل الخبرات إلى الكوادر المحلية .

11-التوعية المجتمعية والحفاظ على البيئة : تكون من خلال عمل حملات توعية عامة حول فوائد الطاقة الشمسية ، و وضع خطط لإدارة ومعالجة مخلفات مكونات الطاقة الشمسية مثل (عمل مراكز إعادة تدوير) .

المراجع والمصادر

3-4 المراجع والمصادر:

- [1] M. E. Zein, "Prospects of Renewable Energy in Sudan: Current Status and Future Potential," Global Journal of Engineering Sciences, vol. 4, no. 2, pp. 1–12, Jan. 2024.
- [2] UNDP Sudan, "Empowering Sudan: Renewable Energy Addressing Poverty & Development," United Nations Development Programme, Khartoum, Sudan, Report, Sep. 2020.
- [3] A. Ahmed and S. Osman, "Techno–Economic Modeling of Stand–Alone Solar Photovoltaic Systems for Rural Irrigation: A Case Scenario from the Nile Basin," Journal of Renewable Energy and Environment, vol. 11, no. 3, pp. 45–58, 2024.
- [4] M. Hassan et al., "FAWEN–based agrivoltaic integration framework for climate–resilient development in Sudan," Nature Sustainability Research, vol. 7, no. 1, pp. 89–104, Mar.

[5] IEEE, "IEEE Recommended Practice for Sizing of Stand-Alone Photovoltaic (PV) Systems," IEEE Std P1562-2021 (Revision of IEEE Std 1562-2007), pp. 1-62, 2021.

[6] S. B. Ali and J. Wang, "Optimization of Solar Water Pumping Systems using MPPT-Bat

Metaheuristic Optimizer and Direct Torque Control," PLOS ONE, vol. 19, no. 8, e0309330, Aug. 2024.

[7] African Development Bank, "Sudan – Solar PV Powered Pumping for Irrigation Project

(Desert-to-Power initiative)," Project D: P-SD-FF0-001, Dec. 2019 (Active 2020-2025).

[8] K. brahim, "Performance Evaluation of Hybrid Photovoltaic Water Pumping Systems in Arid Regions of Sudan," International Journal of Photoenergy, vol. 2023, Art. no.

[9] H. Z. Al-Garni and A. Awasthi, "Solar PV site selection using GS-AHP based multi-criteria decision making: A case study in Eastern Sudan," Renewable Energy, vol. 185,

pp. 12–25, Feb. 2022.

[10] R. Sharma and S. Kumar, "Simulation and Performance Evaluation of a Photovoltaic

Water Pumping System with Hybrid MPPT for Remote Rural Areas," *Processes*, vol. 13, no. 9, p. 2867, Sep. 2025.

[11] Ministry of Energy and Petroleum (Sudan), "Renewable Energy Master Plan (REMP) for

Sustainable Agricultural Development," Government Report, Khartoum, 2021.

[12] O. G. Abdalla, "Assessment of Grid–Connected Solar PV Systems for Large–Scale Agricultural Projects in River Nile State," *Sudanese Journal of Engineering Sciences*, vol. 18, no. 1, pp. 22–34, 2023.

[13] F. A. Al–Suleiman, "Technical and Economic Feasibility of Solar–Powered Irrigation Systems: A Comparative Study with Diesel Pumping in North Africa," *Energy Conversion and Management*, vol. 245, p. 114567, Oct. 2021.

[14] Y. Zhang et al., "Improved Coot Optimizer for MPPT in Solar PV Systems under Complex Partial Shading Conditions," IEEE Access, vol. 12, pp. 4567–4580, Jan. 2024.

[15] Food and Agriculture Organization (FAO), "Overview of the Agricultural Sector in Sudan: Challenges and Opportunities for Renewable Energy Integration," FAO Knowledge Repository, 2024.