



بسم الله الرحمن الرحيم



## دراسة وتصميم محطة طاقة شمسية

لمصنع أسمنت التكامل بقدرة 40 ميغاواط

إعداد الطلاب :

أحمد علي أحمد محمد

ماجد محي الدين عبد الله الحسين

منذر مصطفى الفكي الرفاعي

إشراف : د. عثمان عابدين

بحث تكميلي لنيل درجة البكالوريوس مرتبة الشرف في

الهندسة الكهربائية (قدرة)

جامعة الشيخ عبد الله البدري

كلية الهندسة

إبريل 2026م

## المستخلص

يهدف هذا البحث إلى دراسة وتصميم محطة طاقة شمسية كهروضوئية بقدرة 40 ميغاواط لتغذية مصنع أسمنت التكامل، وذلك لمعالجة مشكلة الاعتماد على الشبكة الكهربائية القومية والانقطاعات المتكررة للطاقة التي تؤثر على استمرارية العملية الإنتاجية بالمصنع، اعتمد البحث على المنهج التحليلي والتطبيقي، حيث تم تحليل الأحمال الكهربائية للمصنع ودراسة خصائص الموقع المقترح من حيث الإشعاع الشمسي والظروف المناخية، بالإضافة إلى إجراء الحسابات الهندسية اللازمة لتصميم النظام الشمسي واختيار مكوناته الرئيسية، بما في ذلك الألواح الكهروضوئية، والإنفيرترات، وأنظمة الحماية والربط مع الشبكة .

كما تم استخدام برنامج PVSYST لمحاكاة أداء المحطة وتقدير الطاقة المنتجة، وبرنامج ETAP لتحليل النظام الكهربائي ودراسة تدفق القدرة عند الربط مع الشبكة . أظهرت نتائج الدراسة أن المحطة المقترحة قادرة على تغطية الاستهلاك الكهربائي الكامل لمصنع أسمنت التكامل، مع تحقيق فائض من الطاقة يتم تصديره إلى الشبكة الكهربائية القومية .

وخلص البحث إلى أن تنفيذ محطة طاقة شمسية كهروضوئية بهذا الحجم يُعد حلاً عملياً وموثوقاً لتأمين الطاقة الكهربائية للمصانع الصناعية الكبرى، مع إمكانية الاستفادة من فائض الإنتاج في دعم الشبكة الكهربائية وتعزيز مشاريع الطاقة المتجددة مستقبلاً .

## **Abstract**

This research aims to study and design a photovoltaic solar power plant with a capacity of (40) MW to supply Al-Takamol Cement Factory, in order to address the problem of reliance on the national electrical grid and the frequent power outages that affect the continuity of the factory's production process. The research adopted an analytical and applied approach, where the electrical loads of the factory were analyzed and the characteristics of the proposed site were studied in terms of solar radiation and climatic conditions. In addition, the necessary engineering calculations were carried out to design the solar system and select its main components, including photovoltaic panels, inverters, protection systems, and grid connection systems.

PV SYST software was also used to simulate the plant's performance and estimate the generated energy, and ETAP software was used to analyze the electrical system and study power flow during grid connection. The results of the study showed that the proposed plant is capable of fully covering the electrical consumption of Al-Takamol Cement Factory, with a surplus of energy that can be exported to the national grid.

The research concluded that implementing a photovoltaic solar power plant of this scale represents a practical and reliable solution for securing electrical energy for large industrial factories, with the possibility of utilizing excess production to support the electrical grid and promote renewable energy projects in the future.

بسم الله الرحمن الرحيم

# الآية

قال تعالى:

﴿اللَّهُ نُورُ السَّمَاوَاتِ وَالْأَرْضِ ۚ مَثَلُ نُورِهِ كَمِشْكَاةٍ فِيهَا مِصْبَاحٌ  
ۚ الْمِصْبَاحُ فِي زُجَاجَةٍ ۚ الزُّجَاجَةُ كَأَنَّهَا كَوْكَبٌ دُرِّيٌّ يُوقَدُ مِنْ  
شَجَرَةٍ مُبَارَكَةٍ زَيْتُونَةٍ لَا شَرْقِيَّةٍ وَلَا غَرْبِيَّةٍ يَكَادُ زَيْتُهَا يُضِيءُ  
وَلَوْ لَمْ تَمْسَسْهُ نَارٌ ۚ نُورٌ عَلَى نُورٍ ۚ يَهْدِي اللَّهُ لِنُورِهِ مَن  
يَشَاءُ ۚ وَيَضْرِبُ اللَّهُ الْأَمْثَالَ لِلنَّاسِ ۚ وَاللَّهُ بِكُلِّ شَيْءٍ عَلِيمٌ﴾

(النور: 35)

# الإهداء

إلى من لا يضاهيهما أحد في الكون  
إلى من أمــــرنا الله ببرهمــــا  
إلى من بذل الكثير وقدم ما لا يمكن أن يرد إليكما  
تلك الكلمات

## والدينا الأعزاء

نهدي لكما هذا البحث فقد كنتما خير داعمين لنا  
طوال مسيرتنا الدراسية إليكما نهدي هذا الجهد وهذا  
البحث

فقد كنتما على الدوام ملهمينا فعلى خطاكما نسير،  
وبعملكما نقف  
نشرككما جزيل الشكر.

## الشكر والعرفان

بسم الله الرحمن الرحيم، والحمد لله رب العالمين وبه نستعين  
والصلاة والسلام على أشرف خلق الله اجمعين، الحمد لله الذي سهل  
لنا إتمام هذا البحث العلمي، وجعلنا قادرين على تقديم هذا العمل  
المتواضع.

الشكر أولاً لجامعة الشيخ عبد الله البدرى كلية الهندسة التي  
كانت لنا منارة للعلم والمعرفة وأسهمت في بناء هذا الصرح  
العلمي. نتقدم بجزيل الشكر والعرفان إلى مشرفنا العزيز

### الدكتور عثمان عابدين

على دعمه المتواصل، وتوجيهاته القيمة التي كانت المحرك  
الأساسي لإتمام هذا البحث بشكل علمي دقيق كانت إشرافاته العميقة  
والمثابرة التي أبداها طيلة فترة المشروع حبر الزاوية الذي أعطى  
لهذا العمل طابعاً أكاديمياً رفيعاً.

ولا يفوتنا أن نوجه خالص الشكر والتقدير لمصنع اسمنت التكامل  
تقديراً لتعاونهم المثمر معنا وحرصهم على تزويدنا بالمعلومات  
والبيانات اللازمة لحساب الأحمال والخطوط التي كان لها أثر كبير  
في إنجاز هذا المشروع،

نهدي هذا العمل عرفاناً وامتناناً لكل من ساهم في إنجازه.

## الفهرس المحتويات

| البند | الموضوعات                                | رقم الصفحة |
|-------|------------------------------------------|------------|
|       | المستخلص                                 | I          |
|       | Abstract                                 | II         |
|       | الأية                                    | III        |
|       | الإهداء                                  | IV         |
|       | الشكر والعرفان                           | V          |
|       | فهرس المحتويات                           | VI         |
|       | فهرس الاشكال                             | VII        |
|       | فهرس الجداول                             | VIII       |
|       | <b>الفصل الأول</b>                       |            |
| 1.1   | المقدمة                                  | 1          |
| 1.1.1 | مقدمة عن تاريخ الطاقة الشمسية في السودان | 2          |
| 2.1   | مشكلة البحث                              | 3          |
| 3.1   | أهداف البحث                              | 3          |
| 4.1   | منهجية البحث                             | 4          |
|       | <b>الفصل الثاني</b>                      |            |
| 1.2   | مقدمة                                    | 5          |
| 2.2   | الطاقة الشمسية الكهرو حرارية             | 5          |
| 3.2   | الطاقة الشمسية الكهروضوئية (الفولتضوئية) | 6          |
| 1.3.2 | مكونات منظومة الطاقة الشمسية             | 7          |
| 2.3.2 | أنواع الانظمة الشمسية                    | 9          |
| 4.2   | استخدامات منظومات الطاقة الشمسية         | 9          |
| 1.4.2 | الاستخدامات المنزلية والسكنية            | 9          |
| 2.4.1 | الاستخدامات الزراعية                     | 10         |

|    |                                                                   |       |
|----|-------------------------------------------------------------------|-------|
| 10 | الاستخدامات الصناعية                                              | 3.4.2 |
| 11 | محطات التوليد الشمسية الكبرى                                      | 4.4.2 |
| 11 | الاستخدامات في المناطق النائية                                    | 5.4.2 |
| 11 | الاستخدامات في البنية التحتية والخدمات العامة                     | 6.4.2 |
| 12 | مميزات وعيوب أنظمة الطاقة الشمسية                                 | 5.2   |
| 12 | مميزات الطاقة الشمسية                                             | 1.5.2 |
| 12 | عيوب الطاقة الشمسية                                               | 2.5.2 |
| 12 | دراسات عالمية حول محطات الطاقة الشمسية                            | 6.2   |
| 13 | دراسات إقليمية                                                    | 7.2   |
|    | <b>الفصل الثالث</b>                                               |       |
| 14 | مقدمة                                                             | 1.3   |
| 14 | التصميم ونتائج الحسابات للمشروع                                   | 2.3   |
| 14 | الأحمال الكهربائية للمصنع                                         | 1.2.3 |
| 16 | الموقع الجغرافي و البيانات المناخية الإشعاع الشمسي ودرجات الحرارة | 3.3   |
| 18 | تكوين المنظومة الشمسية                                            | 4.3   |
| 18 | مكونات المنظومة                                                   | 5.3   |
| 18 | الألواح الشمسية (Jinko JKM-78HL4-V620)                            | 1.5.3 |
| 19 | العاكس (Inverters)                                                | 2.5.3 |
| 20 | المحولات الذكية (Smart Transformers) هواوي                        | 3.5.3 |
| 21 | حسابات التيارات الكهربائية                                        | 6.3   |
| 22 | معادلات حساب التيار                                               | 7.3   |
| 22 | معادلة التيار المتردد ثلاثي الأطوار (AC Current Equation)         | 1.7.3 |
| 23 | معادلات التيار المستمر (DC Current Equation)                      | 2.7.3 |
| 23 | ملخص التيارات المحسوبة                                            | 8.3   |
| 25 | جدول الكابلات                                                     | 9.3   |
| 26 | تصميم لوحة مفاتيح الجهد المتوسط                                   | 10.3  |

|    |                                                                  |        |
|----|------------------------------------------------------------------|--------|
| 27 | المواصفات الاسمية للوحة المفاتيح                                 | 1.10.3 |
| 27 | تكوين اللوحة وتوزيع القواطع                                      | 2.10.3 |
| 28 | نظام الحماية والتحكم (Protection and Control)                    | 3.10.3 |
| 28 | نظام الكشف والإطفاء للحريق                                       | 11.3   |
| 29 | إجراءات السلامة                                                  | 12.3   |
| 29 | فصل الطاقة                                                       | 1.12.3 |
| 29 | الإنذار                                                          | 2.12.3 |
| 29 | التهوية                                                          | 3.12.3 |
| 29 | تحليل المفاقد (Losses Analysis) عبر برامج PVSYST                 | 13.3   |
| 30 | أنواع المفاقد الرئيسية                                           | 1.13.3 |
| 37 | نتائج المحاكاة والأداء                                           | 2.13.3 |
| 39 | نتائج تصميم المنظومة عبر برامج (PV SYST)                         | 14.3   |
| 40 | الكابلات الرئيسية المستخدمة                                      | 1.14.3 |
| 40 | التركيب والتوصيل الكهربائي للمنظومة                              | 2.14.3 |
| 41 | تحليل تدفق القدرة ودراسة الاستقرار الكهربائي باستخدام برامج Etap | 15.3   |
| 42 | تحليل السيناريوهات لتقييم أداء النظام                            | 1.15.3 |
| 43 | الدراسة المالية لمشروع محطة طاقة شمسية بقدرة 40 ميجاواط (AC)     | 16.3   |
| 43 | الافتراضات والتحليل المالي                                       | 1.16.3 |
| 44 | نتائج الإنتاج والتكلفة                                           | 2.16.3 |
| 45 | العمليات الحسابية                                                | 3.16.3 |
|    | <b>الفصل الرابع</b>                                              |        |
| 46 | الخلاصة                                                          | 1.4    |
| 47 | التوصيات                                                         | 2.4    |
| 48 | المراجع                                                          |        |
| 49 | الملاحق                                                          |        |

## فهرس الأشكال

| البند | الموضوعات                                 | رقم الصفحة |
|-------|-------------------------------------------|------------|
| 1.2   | الطاقة الشمسية الكهرو حرارية              | 6          |
| 2.2   | مكونات منظومة الطاقة الشمسية              | 7          |
| 3.2   | Polycrystalline                           | 8          |
| 4.2   | Monocrystalline                           | 8          |
| 5.2   | Thin film                                 | 8          |
| 1.3   | الموقع الجغرافي                           | 17         |
| 2.3   | بيانات الموقع الجغرافي                    | 17         |
| 3.3   | البيانات المناخية                         | 18         |
| 4.3   | صورة لبيانات اللوح عبر برنامج (Pvsyst)    | 19         |
| 5.3   | صورة بيانات العاكس عبر برنامج (PVsyst)    | 20         |
| 6.3   | Single Line Diagram_ (Smart Transformers) | 21         |
| 7.3   | المعلومات الأساسية للوح الشمسي            | 31         |
| 8.3   | تحسين نموذج اللوح الشمسي ومنحنيات الكفاءة | 32         |
| 9.3   | معامل زاوية السقوط                        | 33         |
| 10.3  | منحنيات التدهور للنظام على مدار 30 سنة    | 35         |
| 11.3  | كفاءة النظام مع مرور الوقت                | 36         |
| 12.3  | نتائج المحاكاة والرسوم البيانية للأداء    | 38         |

## فهرس الجدول

| البند | الموضوعات                                                        | رقم الصفحة |
|-------|------------------------------------------------------------------|------------|
| 1.3   | أحمال المصنع                                                     | 15         |
| 2.3   | توزيع الاحمال علي Busbar                                         | 15         |
| 3.3   | الحسابات الهندسية                                                | 22         |
| 4.3   | ملخص التيارات المسحوبة                                           | 24         |
| 5.3   | الكابلات التفصيلية                                               | 25         |
| 6.3   | اتجاهات ونوع ومساحة مقطع الكابلات الرئيسية المستخدمة في المنظومة | 26         |
| 7.3   | المواصفات الاسمية الرئيسية للوحة المفاتيح المختارة               | 27         |
| 8.3   | تكوين اللوحة وتوزيع القواطع                                      | 27         |
| 9.3   | نظام الحماية والتحكم                                             | 28         |
| 10.3  | نظام الكشف والإطفاء للحريق                                       | 28         |
| 11.3  | المفاتيح المستخدمة                                               | 40         |
| 12.3  | ملخص الأطوال الكلية للكابلات                                     | 40         |
| 13.3  | نتائج الجدوى المالية                                             | 45         |

# الفصل الأول

# الفصل الأول

## المقدمة

### 1.1 المقدمة:

خلق الله الشمس والقمر آيتين دالّتين على كمال قدرته وعظيم سلطانه، وجعل شعاع الشمس مصدراً رئيسياً للضوء على الأرض، كما جعل الضوء المنعكس من سطح القمر نوراً يُستدلّ به ، وبحساب دقيق فإن مدار الأرض حول الشمس محدد بصورة متوازنة، وأي تغيرات طبيعية في هذا المسار، مثل تلك التي تحدث ضمن دورات ميلانكوفيتش، تؤثر على توزيع الإشعاع الشمسي وتؤدي إلى تغيرات مناخية قد تكون كارثية[1]وقد جعل الله تعالى الشمس مصدراً للدفع والطاقة، حيث تبلغ درجة حرارتها مركزها عشرات الملايين من الدرجات المطلق (كلفن)، ثم تنخفض تدريجياً لتصل عند سطحها إلى نحو 5762 كلفن[2] .

وتُعدّ الطاقة الشمسية المصدر الرئيسي للطاقة على كوكب الأرض، ومنها تتفرع معظم مصادر الطاقة الأخرى، سواء كانت طاقة مخزنة في الوقود الأحفوري، أو طاقة حرارية في باطن الأرض، أو طاقة الرياح، أو الطاقة الكهرومائية الناتجة عن مساقط المياه، فضلاً عن كونها أحد أهم مصادر الطاقة المتجددة وخلال القرن الماضي، بُذلت جهود كبيرة لتطوير وسائل الاستفادة من الطاقة الشمسية، خاصة مع تزايد الحاجة إلى مصادر طاقة بديلة، نظيفة، ومستدامة.

وقد حظي مجال الخلايا الشمسية والبحوث التطبيقية باهتمام متزايد، حيث تُعدّ الطاقة الشمسية الكهروضوئية من أبرز التقنيات المستخدمة لتحويل أشعة الشمس

مباشرةً إلى طاقة كهربائية دون الحاجة إلى أجزاء ميكانيكية متحركة، مما يقلل من تكاليف الصيانة ويزيد من موثوقية النظام.

وتعتمد هذه التقنية بصورة أساسية على الخلايا الشمسية المصنوعة من مواد شبه موصلة، والتي تُجمع ضمن نظام كهربائي وهندسي متكامل لتكوين ما يُعرف باللووح الشمسي، ويؤجّه بزاوية مناسبة لالتقاط أكبر قدر ممكن من الإشعاع الشمسي وتحويله إلى طاقة كهربائية.

### 1.1.1 مقدمة عن تاريخ الطاقة الشمسية في السودان :

يُعد السودان من الدول التي تتميز بشدة الإشعاع الشمسي وعدد كبير من الأيام المشمسة سنوياً، مما يجعله مناسباً جداً للطاقة الشمسية هناك حاجة كبيرة للكهرباء خاصة في المناطق الريفية وشبه الحضرية، حيث أن غالبية المناطق الريفية لا تحصل على الكهرباء كما أن الاعتماد على الوقود الأحفوري مكلف، بسبب ارتفاع تكاليف التشغيل والانبعاثات العالية التي تفرض تكاليفاً خارجية، وغير مستدام مقارنة بمصادر الطاقة المتجددة [3] وقد تناولت الدراسات أن تكلفة الكيلوواط/ساعة المنتجة من الألواح الشمسية أقل من تلك المنتجة من مولدات الديزل على المدى الطويل . [4]

### البدايات والمشروعات الأولى :

في عام 2005م تم افتتاح أول محطه للطاقة الشمسية في ولاية البحر الأحمر ضمن مشروع لإنارة ألف قرية، مستقبلياً السودان وضع خطة وطنية تهدف إلى إضافة نحو 1000 ميغاواط من الطاقة الشمسية الكهروضوئية و100 ميغاواط من الطاقة الشمسية المركزة، بالإضافة إلى طاقات متجددة أخرى، تركز الجهود على كل المشروعات المرتبطة بالشبكة الكهربائية بحلول 2030. [5]

## 2.1 مشكلة البحث:

تتمثل مشكلة البحث في ارتفاع تكلفة الطاقة الكهربائية وعدم استقرار الإمداد من الشبكة العامة، مما يستدعي دراسة وتصميم محطة طاقة شمسية كهروضوئية بقدرة 40MW تحقق خفض التكلفة وتحسين موثوقية التغذية عند ربطها بالشبكة الكهربائية .

## 3.1 أهداف البحث:

يهدف هذا البحث إلى دراسة وتصميم محطة طاقة شمسية كهروضوئية بقدرة 40 MW، مع الأخذ في الاعتبار تحقيق أقل تكلفة ممكنة للطاقة، ورفع كفاءة الإنتاج، وذلك من خلال تحقيق الأهداف التالية:

- تحليل استهلاك الطاقة الكهربائية للمصنع.
- دراسة الأحمال اليومية والموسمية وتحديد متطلبات الطاقة الفعلية.
- تقييم الموقع وظروفه المناخية، بما في ذلك بيانات الإشعاع الشمسي ودرجات الحرارة باستخدام PVSYST .
- اختيار موقع المحطة وتصميمها بما يتناسب مع طبيعة المنطقة باستخدام PVSYST .
- تصميم المنظومة الكهروضوئية واختيار نوع الألواح الشمسية والمكونات المناسبة باستخدام PVSYST .
- تحديد أسلوب التركيب الأمثل مصفوفات ثابتة أو متحركة.
- حساب القدرة المنتجة السنوية والتأكد من ملاءمتها للأحمال المطلوبة باستخدام PVSYST .

- دراسة استقرارية النظام وتحليل تدفق القدرة باستخدام برنامج ETAP .
- المساهمة في تقليل الاعتماد على الوقود الأحفوري وخفض الانبعاثات الضارة بالبيئة.
- إجراء دراسة جدوى فنية واقتصادية لمشروع محطة طاقة شمسية لتقييم كفاءته وإمكانية تطبيقه.

#### 4.1 منهجية البحث :

تم اتباع المنهج الوصفي والتحليلي والتصميمي لتحقيق أهداف البحث، وذلك من خلال الخطوات التالية :

- تحليل الأحمال الكهربائية الحالية والمتوقعة للمصنع.
- جمع البيانات المناخية خاصة بالإشعاع الشمسي، ودرجات الحرارة من المصادر المعتمدة PVSYST .
- إجراء تصميم شاملة للنظام باستخدام برنامج PVSYST لتقدير الطاقة المنتجة والخسائر وربطه بالشبكة الكهربائية.
- دراسة أنواع الألواح الشمسية والعواكس الكهربائية واختيار الأنسب منها.
- تحليل تدفق القدرة ودراسة الاستقرار الكهربائي باستخدام برامج ETAP.
- تقييم الجدوى الاقتصادية للمشروع من خلال حساب التكلفة الاستثمارية وتكلفة المنتجة.
- دراسة الأثر البيئي والاجتماعي للمشروع PVSYST .
- استخلاص النتائج وتقديم التوصيات المناسبة بناء على التحليل والدراسة.

## الفصل الثاني

## الفصل الثاني

### الطاقة الشمسية

#### ( الكهروضوئية - الكهروحرارية )

##### 1.2 مقدمة:

تعد الطاقة الشمسية من أهم مصادر الطاقة المتجددة حيث تعتمد على استغلال الإشعاع الشمسي وتحويله إلى طاقة مفيدة، سواء كهربائية أو حرارية وتعد طاقة نظيفة وصديقة للبيئة، تُستخدم بشكل متزايد لتقليل الاعتماد على الوقود الأحفوري وخفض الانبعاثات الكربونية.[\[6\]](#)

تنقسم تطبيقات الطاقة الشمسية بشكل رئيسي إلى نوعين [\[7\]](#)

- الطاقة الشمسية الكهروضوئية

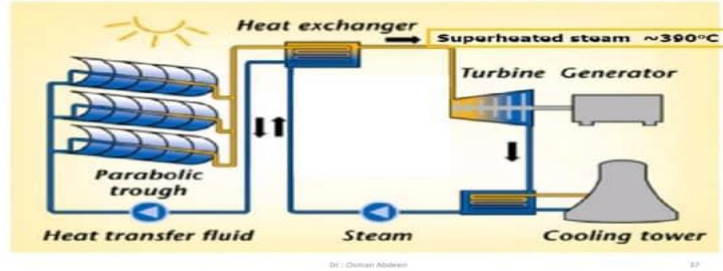
- الطاقة الشمسية الكهروحرارية

##### 2.2 الطاقة الشمسية الكهروحرارية :

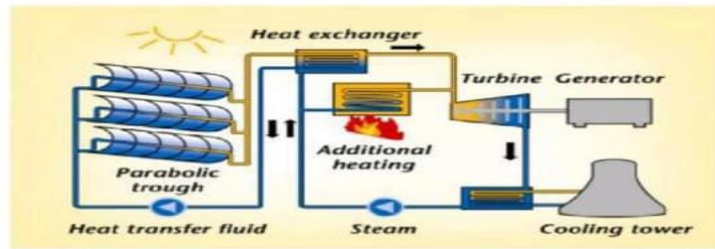
يمكن توليد الكهرباء باستغلال الحرارة المباشرة لأشعة الشمس، باتباع تقنية الكهرباء الحرارية الشمسية (solar thermal electricity) [\[8\]](#) وهذه المحطات البخارية تقوم بتركيز أشعة الشمس فوق مساحات شاسعة بواسطة مرايا مقعرة أو عدسات هائلة وتركز الأشعة الشمسية لتقع فوق مستقبلات خاصة، بها سائل كالزيت يمتص الحرارة ويدور في الانابيب لتسخين الماء وتحويله إلى بخار، وهذا البخار يدير توربينات تولد الكهرباء، ويمكن الاستعانة في الأيام الغائمة أو الليل بالمحروقات التقليدية كالفحم والنفط والغاز الطبيعي ويتم بهذه الطريقة تقليل استخدام الوقود الملوث للبيئة [\[9\]](#) .



The solar-trough thermal plant



The solar thermal plant (hybrid)



الشكل (1.2) الطاقة الشمسية الكهرو حرارية

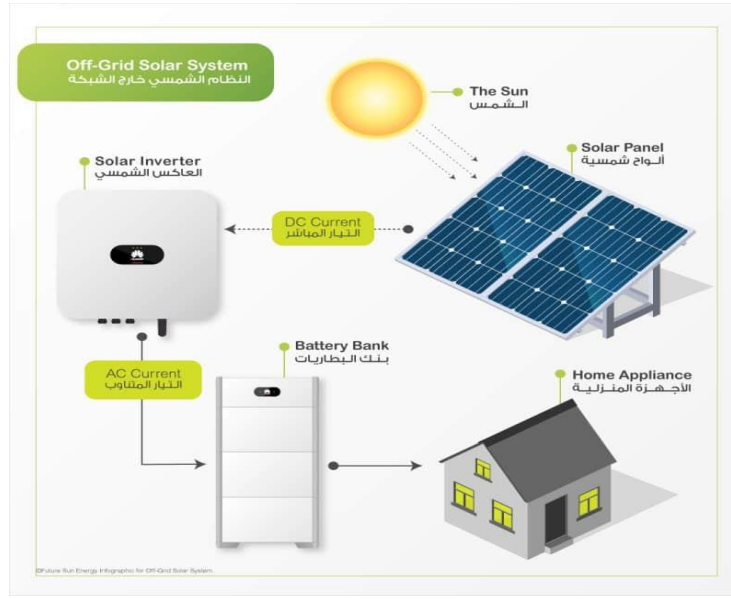
### 3.2 الطاقة الشمسية الكهروضوئية (الفولتضوئية):

تعتمد فكرة الأنظمة الكهروضوئية على التأثير الكهروضوئي الذي اكتشفه العالم ألبرت أينشتاين [10]، حيث يؤدي امتصاص أشعة الشمس بواسطة مادة شبه موصلة مثل السيليكون إلى تحرير إلكترونات تولد تياراً كهربائياً يمكن استخدامه لتغذية الأحمال الكهربائية أو تخزينه في بطاريات .

لقد شهدت السنوات الأخيرة تطوراً ملحوظاً في كفاءة الخلايا الشمسية وانخفاضاً كبيراً في تكلفتها مما جعل استخدامها ممكناً على نطاق واسع في المنازل والمشروعات الصناعية وحتى في الشبكات القومية عبر محطات الطاقة الشمسية الكبرى.

### 1.3.2 مكونات منظومة الطاقة الشمسية :

تتكون منظومة الطاقة الشمسية الكهروضوئية من مجموعة مكونات متكاملة تشمل الألواح الشمسية والعاكس وأنظمة الحماية والتحكم، تعمل معاً لتحويل الطاقة الشمسية إلى طاقة كهربائية بكفاءة عالية. [11]

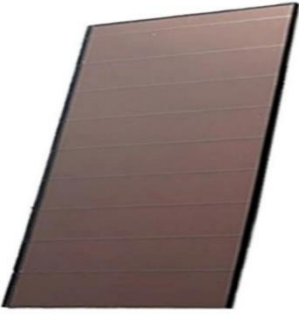


الشكل (2.2) مكونات منظومة الطاقة الشمسية

#### 1. اللوح الشمسي (Solar Panel):

يعمل اللوح الشمسي على تحويل الطاقة الشمسية إلى كهرباء باستخدام تأثير كهروضوئي وهو يتكون عادةً من مجموعة خلايا شمسية مرتبة معاً داخل إطار زجاجي ممتد لتشكيل وحدة متجانسة تعرف باللوحة أو الموديول، تصنع من السيليكون، وتنقسم إلى أنواع رئيسية. [5]

- الألواح احادية البلورة. (Monocrystalline)
- الألواح متعددة البلورة. (Polycrystalline)
- الألواح الرقيقة. (thin film)



### الشكل (2.3) Polycrystalline الشكل (2.4) Monocrystalline الشكل (2.5) Thin film

#### 2. العاكس: ( INVERTER )

العاكس هو جهاز إلكتروني يستخدم في أنظمة الطاقة الشمسية لتحويل التيار المستمر DC إلى تيار متردد AC الذي تستخدمه الأجهزة في المنازل أو يُضخ إلى الشبكة الكهربائية العامة، دون وجود العاكس لا يمكننا استخدام الطاقة القادمة من الخلايا الشمسية مباشرة لأن معظم الأجهزة الكهربائية وبرامج الطاقة تعتمد على التيار المتردد.

#### 3. المحول: (TRANSFORMAR)

هو جهاز كهربائي يستخدم في شبكات الكهرباء لتحويل الجهد من مستوي إلى آخر دون تغيير في التردد، وتستخدم المحولات في أنظمة الطاقة الشمسية لتكييف الكهرباء الناتجة من الانفرترات بحيث تكون مناسبة للتحميل المحلي أو لتغذية الشبكة الكهربائية العامة.

#### 4. البطاريات:

تستخدم لتخزين الطاقة الكهربائية الناتجة خلال فترات سطوع الشمس لاستخدامها أثناء الليل أو في الأيام الغائمة وأكثر الأنواع شيوعا هي بطاريات الرصاص

الحمضية (lead acid) وبطاريات الليثيوم ايون (Li-ion) .

### 2.3.2 أنواع الانظمة الشمسية:

يمكن تصنيف الأنظمة الشمسية من حيث طريقة ارتباطها بالشبكة الي نوعين رئيسيين: [12]

#### 1. النظام المستقل (of-grid system):

يعمل هذا النظام بشكل مستقل عن الشبكة القومية ويستخدم عادةً في المناطق النائية. ويعتمد على الألواح الشمسية والبطاريات لتوفير الطاقة بشكل مستمر.

#### 2. النظام المرتبط بالشبكة (on-grid system):

هذا النظام يكون مرتبط مباشرةً مع شبكة الكهرباء العامة في حال وجود فائض في الانتاج، يُصدَّر إلى الشبكة، بينما في حالة النقص تُسحب الطاقة من الشبكة وسيتم تناول هذا بالتفصيل في هذا البحث.

### 4.2 استخدامات منظومات الطاقة الشمسية:

تُعدّ منظومات الطاقة الشمسية من أهم تقنيات الطاقة المتجددة في العصر الحديث، نظراً لاعتمادها على مصدر طبيعي متجدد ونظيف، وقدرتها على تقليل الانبعاثات الضارة وتحقيق الاستدامة الطاقية، وتعتمد هذه المنظومات بصورة رئيسية على تحويل الإشعاع الشمسي إلى طاقة كهربائية أو طاقة حرارية باستخدام تقنيات مختلفة، مثل الخلايا الكهروضوئية (Photovoltaic Systems) وأنظمة الطاقة الشمسية الحرارية (Solar Thermal Systems).

#### 1.4.2 الاستخدامات المنزلية والسكنية:

تُستخدم منظومات الطاقة الشمسية على نطاق واسع في القطاع السكني لتوفير الطاقة الكهربائية اللازمة للأحمال المنزلية، ومن أهم هذه الاستخدامات:

- الإنارة المنزلية.

- تشغيل الأجهزة الكهربائية الأساسية.

- تسخين المياه باستخدام السخانات الشمسية.

- شحن البطاريات وأنظمة الطاقة الاحتياطية.

وتُسهم هذه التطبيقات في تقليل الاعتماد على الشبكة الكهربائية التقليدية وخفض تكاليف الطاقة، خاصة

في المناطق التي تتمتع بمعدلات إشعاع شمسي مرتفعة.

#### 2.4.2 الاستخدامات الزراعية:

تلعب الطاقة الشمسية دوراً مهماً في تطوير القطاع الزراعي، لا سيما في المناطق

الريفية، وتشمل استخداماتها:

- تشغيل مضخات المياه لأغراض الري.

- أنظمة الري بالتنقيط المعتمدة على الطاقة الشمسية.

- تشغيل البيوت المحمية والتحكم في الظروف المناخية الداخلية.

- إنارة المزارع والمرافق الزراعية.

وتتميز هذه التطبيقات بموثوقيتها وانخفاض تكاليف التشغيل والصيانة على المدى

الطويل.

#### 3.4.2 الاستخدامات الصناعية:

في القطاع الصناعي، تُستخدم منظومات الطاقة الشمسية في:

- تغذية المصانع بالطاقة الكهربائية.

- دعم الأحمال الصناعية متوسطة الاستهلاك.

- تسخين العمليات الصناعية باستخدام الأنظمة الشمسية الحرارية.

- تقليل استهلاك الوقود الأحفوري وخفض الانبعاثات الضارة.

وتُعد هذه التطبيقات جزءاً أساسياً من استراتيجيات كفاءة الطاقة في الصناعة الحديثة.

#### 4.4.2 محطات التوليد الشمسية الكبرى:

تُستخدم الطاقة الشمسية في إنشاء محطات توليد كهرباء ذات قدرات كبيرة، وتشمل:

- محطات الطاقة الشمسية الكهروضوئية (PV Power Plants).

- محطات الطاقة الشمسية المركزة (CSP).

وغالباً ما يتم ربط هذه المحطات بالشبكة الكهربائية العامة لتغذية الأحمال الوطنية، مما يسهم بشكل مباشر في تنويع مزيج الطاقة القومي وتعزيز أمن الطاقة.

#### 5.4.2 الاستخدامات في المناطق النائية:

تُعد الطاقة الشمسية حلاً عملياً وفعالاً لتوفير الكهرباء في المناطق غير المرتبطة بالشبكة الكهربائية، ومن أبرز تطبيقاتها:

- كهربة القرى والمناطق النائية.
- تشغيل مراكز الاتصالات وأبراج الهاتف.
- تزويد المدارس والمراكز الصحية بالطاقة الكهربائية.
- تشغيل محطات الأرصاد الجوية وأنظمة المراقبة البيئية.

#### 6.4.2 الاستخدامات في البنية التحتية والخدمات العامة:

تشمل استخدامات الطاقة الشمسية في هذا المجال ما يلي:

- إنارة الشوارع والطرق العامة.

- تشغيل إشارات المرور.

- أنظمة المراقبة والأمن.

- تحلية المياه باستخدام الطاقة الشمسية.

## 5.2 مميزات وعيوب أنظمة الطاقة الشمسية:

لأنظمة الطاقة الشمسية مميزات وعيوب عديدة نذكر منها

### 1.5.2 مميزات الطاقة الشمسية:

من مميزات الطاقة الشمسية نذكر الآتي:

- مصدر طاقة متجدد ونظيف.

- انخفاض تكاليف التشغيل والصيانة.

- سهولة التركيب وإمكانية التوسيع.

- تقليل الانبعاثات الكربونية.

### 2.5.2 عيوب الطاقة الشمسية:

- ارتفاع تكلفة الاستثمار الأولية.

- انخفاض الكفاءة في الأيام الغائمة أو الليل.

- الحاجة إلى مساحات واسعة لتركيب الألواح.

## 6.2 دراسات عالمية حول محطات الطاقة الشمسية:

أُجريت العديد من الأبحاث العالمية التي ركزت على تحسين كفاءة الأنظمة الشمسية وتقليل تكلفتها على

سبيل المثال:

دراسة في ألمانيا عام (2001) :

تناولت الدراسة أداء أنظمة الطاقة الشمسية الكهروضوئية في المناطق ذات الاشعاع المتوسط وبينت أن استخدام أنظمة تتبع الشمس يزيد إنتاج الطاقة بنسبة تتراوح بين 30-20% مقارنة بالأنظمة الثابتة.

[13]

#### دراسة في الهند: (2020)

أجريت دراسة حول تطبيق الأنظمة الشمسية المستقلة في القرى النائية في الهند، وأظهرت الدراسة أن نظاماً بقوة 10 كيلو واط يمكنه تغذية قرية صغيرة بالكهرباء بتكلفة أقل بنسبة 40% من مولدات الديزل التقليدية . [14]

#### 7.2 دراسات إقليمية

##### دراسة في مصر (2019):

استعرضت أداء محطة طاقة شمسية بقوة 1ميغا واط في محافظة أسوان وأظهرت أن الموقع الجغرافي ودرجة الحرارة يلعبان دوراً رئيسياً في كفاءة الألواح حيث انخفضت الكفاءة بنسبة 0.45% لكل زيادة 1 درجة حرارية في درجة حرارة اللوح.

##### دراسة في المغرب (2022):

تناولت الدراسة تجربة المغرب في إدماج محطات الطاقة الشمسية في الشبكة القومية ضمن مشروع "نور للطاقة الشمسية الذي يعد من أكبر المشاريع في إفريقيا بقوة (500MW) . [15]

# الفصل الثالث

## الفصل الثالث

### دراسة و تصميم محطة طاقة شمسية لمصنع التكامل

(40 MW)

#### 1.3 مقدمة:

يُعد مصنع أسمنت التكامل من المنشآت الصناعية المهمة في قطاع صناعة الأسمنت، ويقع في غرب مدينة بربر-AbuSaffar، السودان، يعتمد المصنع في تشغيل خطوط الإنتاج والأحمال الكهربائية الكبيرة على مصادر الطاقة التقليدية، مثل الكهرباء العامة ومحطة توليد ديزل (power Station)، إلا أن انقطاع الكهرباء المتكرر يشكل تحدياً كبيراً لاستمرارية تشغيل المصنع، ونظراً لذلك وارتفاع تكاليف الطاقة، يُعتبر المصنع نموذجاً مناسباً لتطبيق أنظمة الطاقة الشمسية الكهروضوئية لدعم الأحمال الصناعية وتحسين كفاءة الطاقة، مع المساهمة في تحقيق الاستدامة البيئية.

#### 2.3 التصميم ونتائج الحسابات للمشروع :

يستعرض هذا القسم تصميم المنظومة الكهربائية ونتائج الحسابات الهندسية التي تم من خلالها تحديد مكونات النظام والتأكد من تحقيق الأداء المطلوب بكفاءة واستقرار.

#### 1.2.3 الأحمال الكهربائية للمصنع :

تم حساب الأحمال الكهربائية للمصنع حسب التالي:

## 1. الأحمال حسب الأقسام :

الجدول (1.3) أحمال المصنع:

| القسم                   | الوصف                                        | Load<br>(MW) |
|-------------------------|----------------------------------------------|--------------|
| Raw Mill                | طاحونة المواد الخام (طحن المكونات قبل الفرن) | 7.072        |
| Kiln Section            | قسم الفرن الدوار الرئيسي لإنتاج (Clinker)    | 6.819        |
| Limestone Crusher       | كسارة الحجر الجيري - المرحلة الأولى          | 1.750        |
| Cement Mill (1)         | طاحونة الأسمنت الأولى                        | 5.857        |
| Cement Mill (2)         | طاحونة الأسمنت الثانية                       | 5.857        |
| Packing Section         | قسم التعبئة والتغليف                         | 0.668        |
| Cooler Section +I.D Fan | مراوح التبريد وسحب الغازات                   | 2.956        |

## 2. توزيع الأحمال على: (Bus bars)

الجدول (2.3) توزيع الأحمال على: (Bus bars)

| Bus bar   | الأقسام التابعة                      | Load (MW) |
|-----------|--------------------------------------|-----------|
| Bus bar A | أقسام رئيسية في خط الإنتاج           | 16.850    |
| Bus bar 2 | أقسام طحن (Clinker) والإعداد النهائي | 14.132    |
|           | إجمالي الحمل الكلي للمصنع            | 30.982 MW |

بعد الانتهاء من دراسة وتحليل الأحمال الكهربائية الخاصة بالمصنع، والتي شملت

تحديد القدرة المطلوبة وأنماط الاستهلاك اليومي والسنوي، أصبح من الممكن

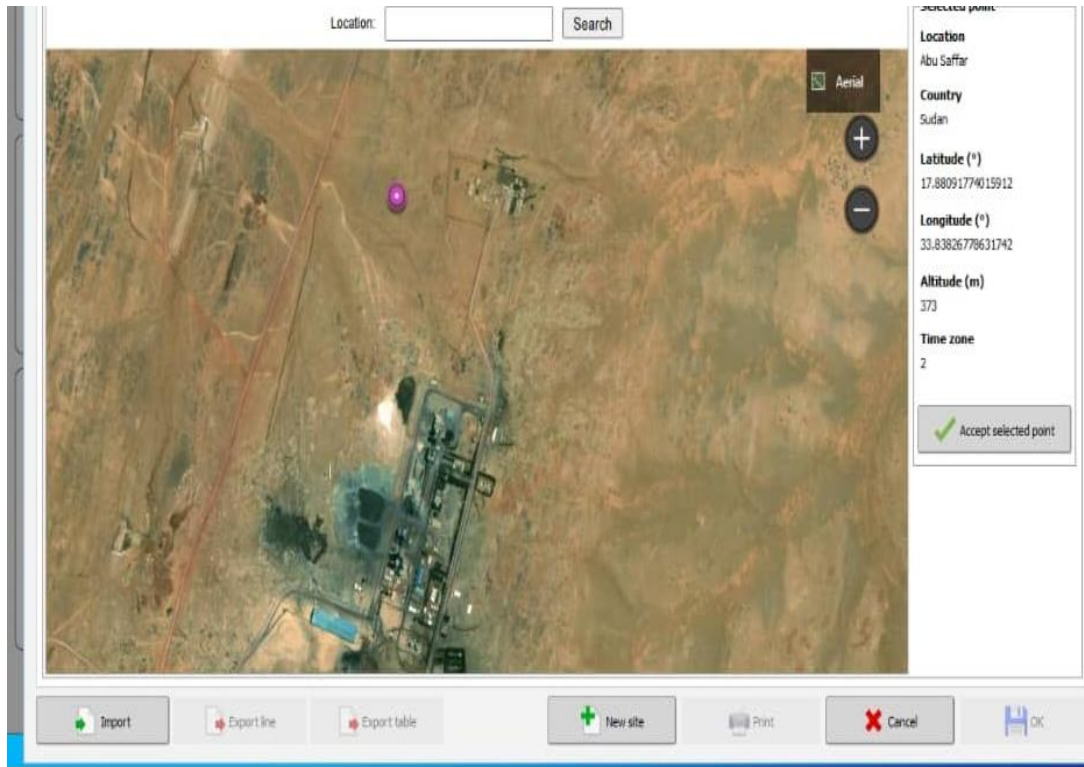
الانتقال إلى المرحلة التالية وهو تصميم منظومة الطاقة الشمسية القادرة على تلبية هذه الأحمال بكفاءة وموثوقية عالية.

تُعد مرحلة التصميم من أهم مراحل المشروع، حيث يتم فيها تحديد مكونات النظام الشمسي بشكل دقيق، مثل عدد الألواح الشمسية، وسعة الإنفترترات، وطريقة التوصيل، بالإضافة إلى اختيار زاوية الميل والاتجاه الأمثل للألواح، بما يضمن تحقيق أعلى إنتاج ممكن من الطاقة.

ولتحقيق تصميم دقيق وواقعي، تم الاعتماد على برنامج PVsyst كأداة رئيسية في هذه المرحلة، نظراً لما يتمتع به من دقة عالية في محاكاة أنظمة الطاقة الشمسية، وقدرته على تحليل الأداء وتقدير الإنتاج السنوي للطاقة مع الأخذ في الاعتبار الظروف المناخية للموقع، وكذلك الفواقد المختلفة التي تؤثر على كفاءة النظام .

### 3.3 الموقع الجغرافي و البيانات المناخية الإشعاع الشمسي ودرجات الحرارة:

تعد دراسة الموقع الجغرافي والبيانات المناخية خطوة أساسية في تصميم أنظمة الطاقة الشمسية، وقد تم تنفيذها باستخدام برنامج PVsyst .



الشكل (1.3) الموقع الجغرافي



**PVsyst V8.0.19**  
VC0. Simulation date:  
11/03/26 07:44  
with V8.0.19

Project: ALTKAMOOOL CAMENT  
Variant: New simulation variant

|                                             |                                                             |            |                                    |
|---------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|------------|------------------------------------|
| Project summary                             |                                                             |            |                                    |
| Geographical Site<br>Abu Saffar<br>Sudan    | Situation<br>Latitude<br>Longitude<br>Altitude<br>Time zone | 17.88 °(N) | Project settings<br>Albedo<br>0.20 |
|                                             |                                                             | 33.84 °(E) |                                    |
|                                             |                                                             | 383 m      |                                    |
|                                             |                                                             | UTC+2      |                                    |
|                                             |                                                             |            |                                    |
| Weather data<br>Abu Saffar<br>PVGIS api TMY |                                                             |            |                                    |

|                                                           |                              |                                  |                                       |
|-----------------------------------------------------------|------------------------------|----------------------------------|---------------------------------------|
| System summary                                            |                              |                                  |                                       |
| Grid-Connected System<br>Simulation for year no 10        |                              | No 3D scene defined, no shadings |                                       |
| Orientation #1<br>Fixed plane<br>Tilt/Azimuth<br>20 / 0 ° | Near Shadings<br>no Shadings |                                  | User's needs<br>Unlimited load (grid) |
|                                                           |                              |                                  |                                       |
| System information                                        |                              |                                  |                                       |
| PV Array                                                  |                              | Inverters                        |                                       |
| Nb. of modules                                            | 67320 units                  | Nb. of units                     | 200 units                             |
| Pnom total                                                | 41.74 MWp                    | Total power                      | 40000 kWac                            |
|                                                           |                              | Pnom ratio                       | 1.04                                  |

|                 |                 |                     |                   |                |         |
|-----------------|-----------------|---------------------|-------------------|----------------|---------|
| Results summary |                 |                     |                   |                |         |
| Produced Energy | 85029 MWh/year  | Specific production | 2037 kWh/kWp/year | Perf. Ratio PR | 78.36 % |
| Apparent energy | 85030 MVAh/year |                     |                   |                |         |

|                             |   |
|-----------------------------|---|
| Table of contents           |   |
| Project and results summary | 1 |

الشكل (2.3) بيانات الموقع الجغرافي



**PVsyst V8.0.19**  
VC0, Simulation date:  
11/03/26 07:44  
with V8.0.19

Project: ALTKAMOOOL CAMENT

Variant: New simulation variant

**New simulation variant**  
**Weather data and incident energy**

|           | GlobHor            | DiffHor            | T_Amb | WindVel | GlobInc            | DiffInc            | Alb_Inc            | Diff_GI |
|-----------|--------------------|--------------------|-------|---------|--------------------|--------------------|--------------------|---------|
|           | kWh/m <sup>2</sup> | kWh/m <sup>2</sup> | °C    | m/s     | kWh/m <sup>2</sup> | kWh/m <sup>2</sup> | kWh/m <sup>2</sup> | ratio   |
| January   | 176.4              | 41.64              | 23.37 | 5.2     | 221.5              | 22.58              | 1.064              | 0.000   |
| February  | 183.5              | 42.31              | 24.85 | 6.0     | 215.5              | 21.68              | 1.106              | 0.000   |
| March     | 222.8              | 55.88              | 29.43 | 5.8     | 239.0              | 26.73              | 1.344              | 0.000   |
| April     | 237.3              | 57.90              | 30.37 | 5.7     | 233.7              | 26.19              | 1.431              | 0.000   |
| May       | 242.7              | 68.63              | 34.85 | 4.0     | 223.9              | 30.11              | 1.464              | 0.000   |
| June      | 229.0              | 74.86              | 34.45 | 3.9     | 205.5              | 33.50              | 1.381              | 0.000   |
| July      | 206.0              | 85.02              | 33.99 | 5.4     | 189.2              | 43.11              | 1.242              | 0.000   |
| August    | 210.1              | 83.65              | 33.05 | 5.2     | 203.3              | 40.15              | 1.267              | 0.000   |
| September | 203.2              | 74.85              | 34.10 | 3.8     | 210.8              | 36.43              | 1.225              | 0.000   |
| October   | 201.7              | 59.43              | 31.33 | 4.0     | 228.1              | 29.46              | 1.216              | 0.000   |
| November  | 175.2              | 43.77              | 26.94 | 5.5     | 215.2              | 22.96              | 1.056              | 0.000   |
| December  | 167.9              | 41.85              | 22.79 | 5.8     | 214.0              | 23.24              | 1.013              | 0.000   |
| Year      | 2455.9             | 729.79             | 29.99 | 5.0     | 2599.6             | 356.12             | 14.810             | 0.000   |

الشكل (3.3) البيانات المناخية

### 4.3 تكوين المنظومة الشمسية:

بعد تحليل الموقع الجغرافي ودراسة البيانات المناخية باستخدام برامج PVsyst والتي أظهرت توفر ظروف مناسبة لتوليد الطاقة الشمسية تأتي مرحلة تكوين المنظومة الشمسية كخطوة أساسية لتحويل هذه المعطيات إلى نظام عملي قادر على تلبية الاحمال المطلوبة بكفاءة عالية

### 5.3 مكونات المنظومة :

#### 1.5.3 الألواح الشمسية (Jinko JKM-78HL4-V620) :

في هذا المشروع تم اختيار ألواح من شركة (Jinko Solar) بقدرة اسمية تبلغ 620 واط وذلك لما تتمتع به من كفاءة عالية .

حيث بلغ عدد الألواح 67,200 لوح، قدرة اللوح الواحد 620 إجمالي القدرة من الألواح 41.664 MWDC.

الشكل (4.3) صورة لبيانات اللوح عبر برنامج (PVsyst)

### 2.5.3 العاكس (Inverters):

(SUN2000-215KTL-H0) من شركة هواوي وهو عاكس ذكي ثلاثي الطور مخصص لمشاريع الطاقة الشمسية الكبيرة على مستوى المحطات، يتميز بكفاءة عالية تصل إلى 99% تقريبا ، مما يساعد على تقليل الفقد ورفع إنتاجية النظام، كما يدعم 9 متتبعات (MPPT) لزيادة الاستفادة من الألواح وتحسين الأداء في مختلف ظروف التشغيل، ويأتي بتصميم قوي مع درجة حماية (IP66) ، لذلك يناسب العمل في البيئات الخارجية القاسية، ولذلك يعد خيارا موثوقا وعمليا للمشاريع الشمسية واسعة النطاق.

عبر برنامج PVsyst تم اختيار قدرة العاكس الواحد 200kW\_ عدد الإنفرترات 200 عاكس للمنظومة.

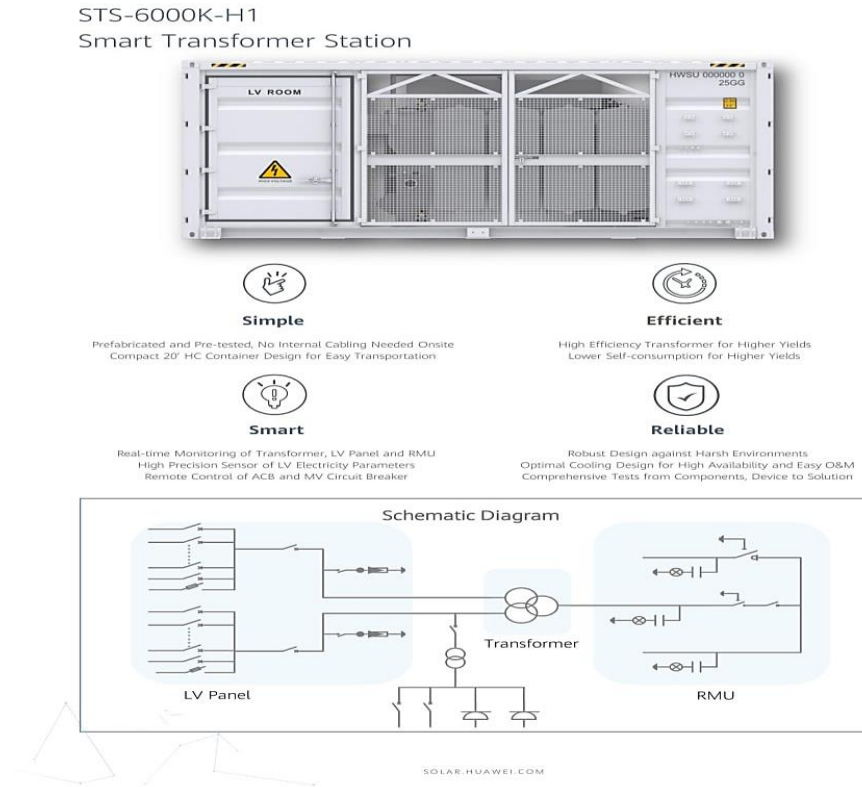
الشكل (5.3) صورة بيانات العاكس عبر برنامج (PVsyst)

### 3.5.3 المحولات الذكية (Smart Transformers) هواوي :

(STS-6000K-H1) هو حل ذكي مخصص لمشاريع الطاقة الشمسية الكبيرة ،ويجمع بين الكفاءة وسهولة التشغيل ، يأتي بتصميم مدمج داخل حاوية 20 قدما، مما يسهل نقله وتركيبه في الموقع بسرعة ، كما يتميز بوجود نظام مراقبة ذكي يتيح متابعة أداء المحول ولوحات الجهد المنخفض والمتوسط بشكل لحظي ، ويساعد هذا النظام على رفع كفاءة تحويل الطاقة وتقليل الفقد ، مما يحسن إنتاجية

المشروع ،لذلك يعد من الحلول الموثوقة والعملية لمحطات الطاقة الشمسية واسعة النطاق.

عبر برنامج PVsyst تم اختيار عدد المحولات 8 محولات \_قدرة الواحد 6 ميغاواط.



الشكل (6.3) Single Line Diagram\_ (Smart Transformers)

### 6.3 حسابات التيارات الكهربائية :

تمت إعادة حساب التيارات بناءً على القدرة الكلية للمحطة 40 ميغاواط، وقدرة العاكس الثابت 200 كيلووا .

## الحسابات الهندسية:

الجدول (3-3) الحسابات الهندسية:

| المعامل                     | القيمة | الوحدة | ملاحظات       |
|-----------------------------|--------|--------|---------------|
| القدرة الكلية للمحطة        | 40     | MW     | –             |
| قدرة العاكس الواحد          | 200    | KW     | –             |
| الجهد الاسمي للتيار المستمر | 1127   | V      | DC            |
| نسبة DC/AC                  | 1.25   | –      | نسبة افتراضية |
| جهد خرج العاكس              | 800    | V      | AC            |
| جهد الخط – خط للجهد المنخفض | 6300   | V      | AC            |
| معامل القدرة                | 0.950  | –      | –             |

### 7.3 معادلات حساب التيار:

نحسب بالنسبة للتيار المتردد ثلاثي الأطوار وللتيار المستمر.

#### 1.7.3 معادلة التيار المتردد ثلاثي الأطوار (AC Current Equation):

يتم حساب التيار الاسمي في نظام التيار ثلاثي الأطوار باستخدام المعادلة التالية:

$$I = p / (\sqrt{3} \times V \times PF)$$

حيث:

$$p = \text{القدرة الفعالة (W)}$$

$$V = \text{جهد الخط – خط (V)}$$

$$PF = \text{معامل القدرة (Power Factor)}$$

$$I = \text{التيار المسحوب (A)}$$

### 2.7.3 معادلات التيار المستمر (DC Current Equation):

القدرة الكلية للتيار المستمر :

يتم حساب القدرة الكلية للتيار المستمر من خلال العلاقة التالية:

$$PDC_{total} = PAC_{total} \times \frac{DC}{AC} Ratio$$

وبتعويض العددي:

تيار السلسلة الواحد (String Current)

$$I_{string} = \frac{P_{string}}{VDC}$$

حيث:

P-string = قدرة السلسلة

VDC = جهد التيار المستمر

### 8.3 ملخص التيارات المسحوبة :

يوضح الجدول التالي ملخص التيارات المحسوبة عند مستويات الجهد المختلفة،

مع توضيح التعويض في المعادلة:

الجدول (4.3) ملخص التيارات المسحوبة:

| التيار المسحوب<br>(I) | المعادلة                                           | V     | P            | الوصف                            | مستوى |
|-----------------------|----------------------------------------------------|-------|--------------|----------------------------------|-------|
| 151.8 A               | $I=200,000/(\sqrt{3} \times 800 \times 0.95)$      | 800V  | 200,000 W    | تيار العاكس الواحد               | LVAC  |
| 2279 A                | $I=3,000,000/(\sqrt{3} \times 800 \times 0.95)$    | 800V  | 3,000,000 W  | تيار ملف المحول<br>الابتدائي 3MW | LVAC  |
| 578 A                 | $I=6,000,000/(\sqrt{3} \times 6,300 \times 0.95)$  | 6300V | 6,000,000 W  | تيار المحول<br>الواحد 6MW        | MV    |
| 3876 A                | $I=40,000,000/(\sqrt{3} \times 6,300 \times 0.95)$ | 6300V | 40,000,000 W | تيار المحطة الكلي                | HV    |
| 17.86 A               | $I=17,857/1,000$                                   | 1000V | 17,857 W     | تيار الوحدة                      | DC    |

### 9.3 الكابلات :

تم تصميم جدول الكابلات بناءً على التيارات المحسوبة، مع التحقق من سعة حمل

التيار وهبوط الجهد.

الجدول (5.3) الكابلات التفصيلية

| من-إلى                                   | الجهد (KV) | التيار الاسمي (A) | مقطع الكابل (mm <sup>2</sup> ) | عدد الكابلات /الطور | تيار الكابل الواحد (A) | سعة الحمل بعد التصحيح (A) | هبوط الجهد (%) |
|------------------------------------------|------------|-------------------|--------------------------------|---------------------|------------------------|---------------------------|----------------|
| (HV)<br>قضبان المصنع                     | 6.3        | 3876              | 630                            | 7                   | 553.7                  | 585                       | 1.83%          |
| (MV)<br>محول -<br>كميجاوات<br>قضبان (PV) | 6.3        | 484.5             | 630                            | 2                   | 289.4                  | 578.8                     | 0.28%          |
| LVAC<br>عاكس 200<br>كيلوواط<br>المحول    | 0.8        | 151.8             | 150                            | 1                   | 151.8                  | 280                       | 0.77%          |
| تيار مستمر<br>سلسلة-عاكس                 | 1.0        | 16.86             | 6                              | 1                   | 16.86                  | -                         | -              |

الجدول (6.3) اتجاهات ونوع ومساحة مقطع الكابلات الرئيسية المستخدمة في المنظومة.

| المصدر             | الوجهة            | نوع الكابل | مساحة المقطع        |
|--------------------|-------------------|------------|---------------------|
| من الألواح الشمسية | إلى محولات التيار | تيار مستمر | 6 mm <sup>2</sup>   |
| من محولات التيار   | إلى العواكس       | تيار متردد | 150 mm <sup>2</sup> |
| من المحولات        | إلى قواطع التيار  | تيار متردد | 630 mm <sup>2</sup> |
| من محطة التوليد    | إلى الشبكة        | تيار متردد | 630 mm <sup>2</sup> |

### 10.3 تصميم لوحة مفاتيح الجهد المتوسط

#### (MV Switchgear Design):

مفاتيح HVX-7.2-X-40 هي مفاتيح كهربائية متوسطة الجهد من نوع الفراغ (Vacuum Circuit Breaker) تُنتجها شركة (Schneider Electric) ضمن سلسلة (HVX) الشهيرة المستخدمة في لوحات التوزيع المتوسطة الجهد (MV Switchgear). [16]

### 1.10.3 المواصفات الاسمية للوحة المفاتيح :

الجدول (7.3) المواصفات الاسمية الرئيسية للوحة المفاتيح المختارة:

| الخاصية                    | القيمة المحددة    | ملاحظات                                                      |
|----------------------------|-------------------|--------------------------------------------------------------|
| الجهد الاسمي (Ur)          | 7.2 kV            | أعلى جهد قياسي تال للجهد المطلوب<br>6.3 kV                   |
| التيار الاسمي للقضبان (Ir) | 3150 A            | يتوافق مع أعلى تيار دخول (Incomer)                           |
| نوع القواطع                | قواطع تفريغ (VCB) | قواطع قابلة للسحب (Withdrawable)                             |
| الخاصية                    | القيمة المحددة    | ملاحظات                                                      |
| التيار القصر الاسمي (Ik)   | 40 kA / 3s        | قيمة افتراضية، يجب تأكيدها بناءً على دراسة تيار القصر للنظام |
| نوع العزل                  | عزل هوائي (AIS)   | PIX Switchgear                                               |

### 2.10.3 تكوين اللوحة وتوزيع القواطع :

تم تصميم اللوحة بتكوين قضبان لضمان موثوقية عالية تتكون اللوحة من

7حجرات كما يلي : (Single Busbar With Bus- Section)

الجدول (8.3) تكوين اللوحة وتوزيع القواطع:

| الترتيب | الوظيفة          | التيار الاسمي (Ir) | ملاحظات               |
|---------|------------------|--------------------|-----------------------|
| 1       | Feeder A         | 3150A              | قاطع الخروج الرئيسي 1 |
| 2       | Incomer1 (T1,T2) | 2500A              | تغذية محولين شمسي 1   |
| 3       | Incomer 2(T3,T4) | 2500A              | تغذية محولين شمسي 2   |
| 4       | Bus Section(S)   | 3150A              | قاطع ربط القضبان      |
| 5       | Incomer 3(T5,T6) | 2500A              | تغذية محولين شمسي 3   |
| 6       | Incomer 4(T7,T8) | 2500A              | تغذية محولين شمسي 4   |
| 7       | Feeder B         | 3150A              | قاطع الخروج الرئيسي 2 |

### 3.10.3 نظام الحماية والتحكم (Protection and Control) :

#### Schneider Electric (Sepam & Easergy P3/P5)

الجدول (9.3) نظام الحماية والتحكم:

| الحجرة          | مراحل الحماية | وظائف الحماية الأساسية                                                                               |
|-----------------|---------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Incomer (I1,I2) | Easergy P543  | حماية التيار الزائد (50/51)، حماية خطأ الأرض (50N/51N)، حماية اتجاهية (67) وحماية فشل القاطع (50BF)  |
| Bus Section (S) | Easergy P343  | حماية التيار الزائد (50/51)، حماية خطأ الأرض (50N/51N)، حماية التزامن (25)                           |
| Feeder (F1-F4)  | Easergy P343  | حماية التيار الزائد (50/51)، حماية خطأ الأرض (50N/51N)، حماية المحول (87T) إذا كانت جزءاً من الحماية |

### 11.3 نظام الكشف والإطفاء للحريق:

يوضح الجدول التالي المكونات لنظام الحماية من الحريق في لوحات مفاتيح الجهد

المتوسط :

الجدول : (10.3) نظام الكشف والإطفاء للحريق

| النظام          | مكونات النظام                                                    | الوظيفة                                                                                 |
|-----------------|------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|
| الكشف الحراري   | كابل استشعار حراري خطي (LHDC)<br>أو كاشفات حرارية نقطية          | الكشف المبكر عن ارتفاع درجة الحرارة داخل حجرات القضبان والقاطع                          |
| الكشف عن الدخان | كاشفات دخان عالية الحساسية (HSSD) أو نظام سحب عينات الهواء (ASD) | الكشف عن الجزيئات الدقيقة الناتجة عن الاحتراق الأولي (Pyrolysis) قبل ظهور الحريق الفعلي |

| النظام                   | مكونات النظام                                       | الوظيفة                                                                                 |
|--------------------------|-----------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|
| الكشف عن القوس الكهربائي | مستشعرات القوس الكهربائي<br>(Arc Flash Sensors)     | الكشف عن الوميض الضوئي الناتج عن القوس الكهربائي، وهو سبب رئيسي للحرائق في لوحات MV [1] |
| الإطفاء                  | عامل نظيف<br>(Clean Agent) مثل FM-200 أو Novec 1230 | إطفاء الحريق دون ترك بقايا أو إتلاف المعدات، مع التوافق مع معيار NFPA2001               |
| طريقة الإطفاء            | إطفاء موضعي، داخل كل حجرة (Local Application)       | لتقليل الكمية المطلوبة وضمان الفعالية                                                   |

### 12.3 إجراءات السلامة:

الإجراءات التي علينا اتباعها لمنع وقوع الحرائق هي كالتالي:

#### 1.12.3 فصل الطاقة :

ربطنا نظام الحريق بنظام التحكم (SCADA/PLC) لفصل الطاقة عن اللوحة تلقائياً قبل تفريغ عامل الإطفاء.

#### 2.12.3 الإنذار :

وفرنا إنذار صوتي وضوئي Pre-Discharge Alarm قبل تفريغ عامل الإطفاء .

#### 3.12.3 التهوية :

إيقاف تشغيل نظام التهوية قبل ضمان فعالية عامل الإطفاء.

### 13.3 تحليل المفاقيد (Losses Analysis) عبر برامج PVSYST

يعد تحليل المفاقيد (Losses Analysis) من أهم الجوانب الهندسية في تقييم أداء أنظمة الطاقة الشمسية .

أستخدمنا برنامج (PVsyst) الاحترافي للمحاكاة، والذي يوفر نمذجة دقيقة لجميع عوامل الخسارة في النظام .

لقد قمنا بتصميم هذا النظام وتحليله كجزء من مشروع تخرجنا، حيث نهدف إلى تحديد وتحليل جميع جميع المفايد التي تؤثر في كفاءة نظام الطاقة الشمسية لمشروع أسمنت التكامل الذي يبلغ إجمالي القدرة المثبتة للنظام 41.664 كيلوواط. لقد قمنا بتصميم النظام ليعمل بأقصى كفاءة ممكنة مع مراعاة جميع عوامل الخسارة.

### 1.13.3 أنواع المفايد الرئيسية:

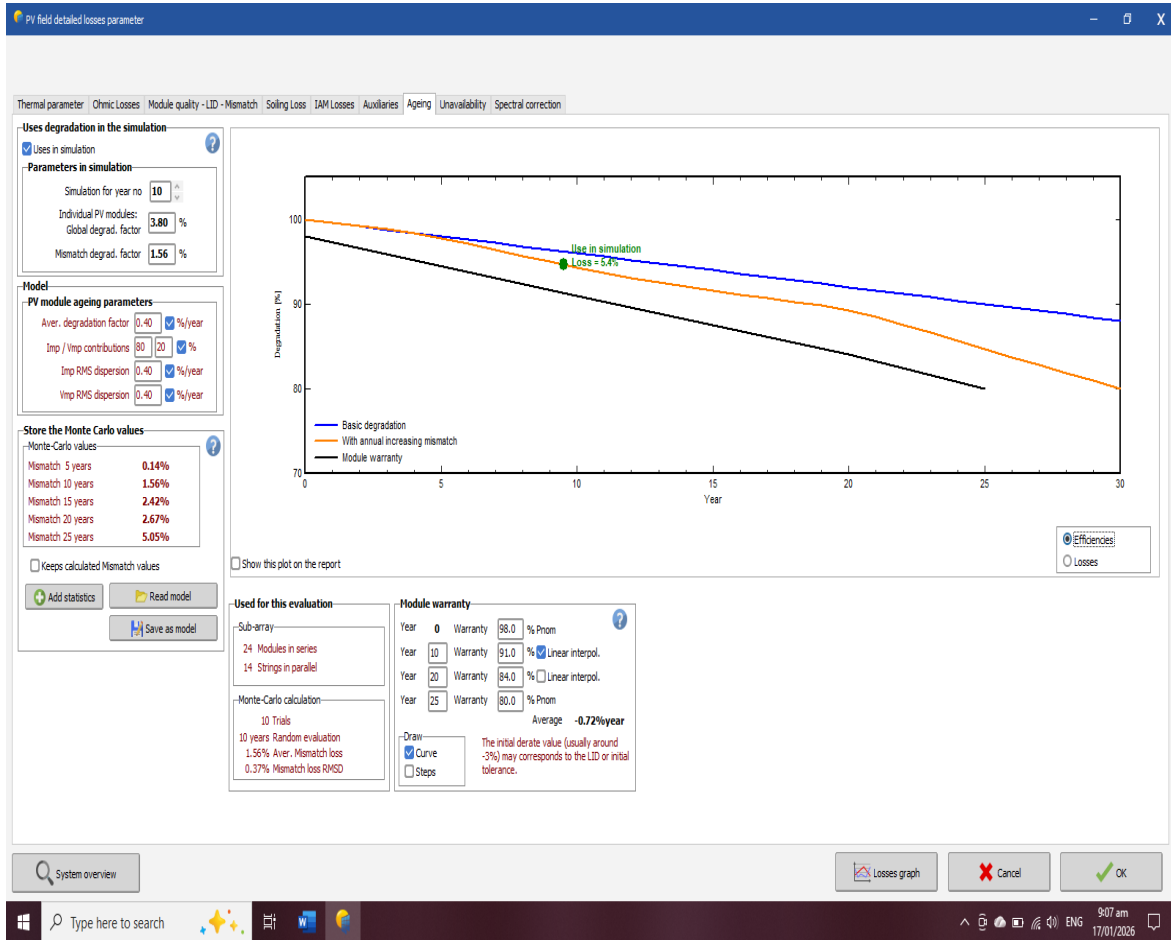
تنقسم المفايد في نظام الطاقة الشمسية إلى عدة فئات رئيسية، وسنقوم بتحليل كل فئة بالتفصيل مع إرفاق الصور الموضحة من برنامج (PVsyst) :

1. المفايد الحرارية : خسارة الكفاءة بسبب ارتفاع درجة الحرارة.
  2. مفايد زاوية السقوط (مفايد معامل زاوية السقوط) (IAM Losses) : هي خسارة تحدث بسبب زاوية سقوط الأشعة غير العمودية.
  3. مفايد التوهين (Ohmic Losses) : هي خسارة تحدث بسبب مقاومة الأسلاك والمكونات.
  4. مفايد التلوث (Soiling Loss) : هي خسارة تحدث بسبب تراكم الغبار والأوساخ.
  5. مفايد عدم التطابق (Mismatch Losses) : هي خسارة تحدث بسبب اختلاف أداء الألواح.
  6. مفايد التدهور (Degradation Losses) : هي خسارة تحدث بسبب تدهور الألواح مع الزمن.
  7. مفايد المحول (Inverter Losses) : هي خسارة تحدث بسبب عملية تحويل DC إلى AC.
- تعد المفايد الحرارية من أهم المفايد في أنظمة الطاقة الشمسية، حيث يؤدي ارتفاع درجة حرارة

الألواح إلى انخفاض كفاءتها. [17]

يبلغ معامل درجة حرارة الجهد  $-137.4 \text{ mV/C}$  (muVoc)، مما يعني انخفاض الجهد بمقدار

137.4 mV لكل درجة مئوية.



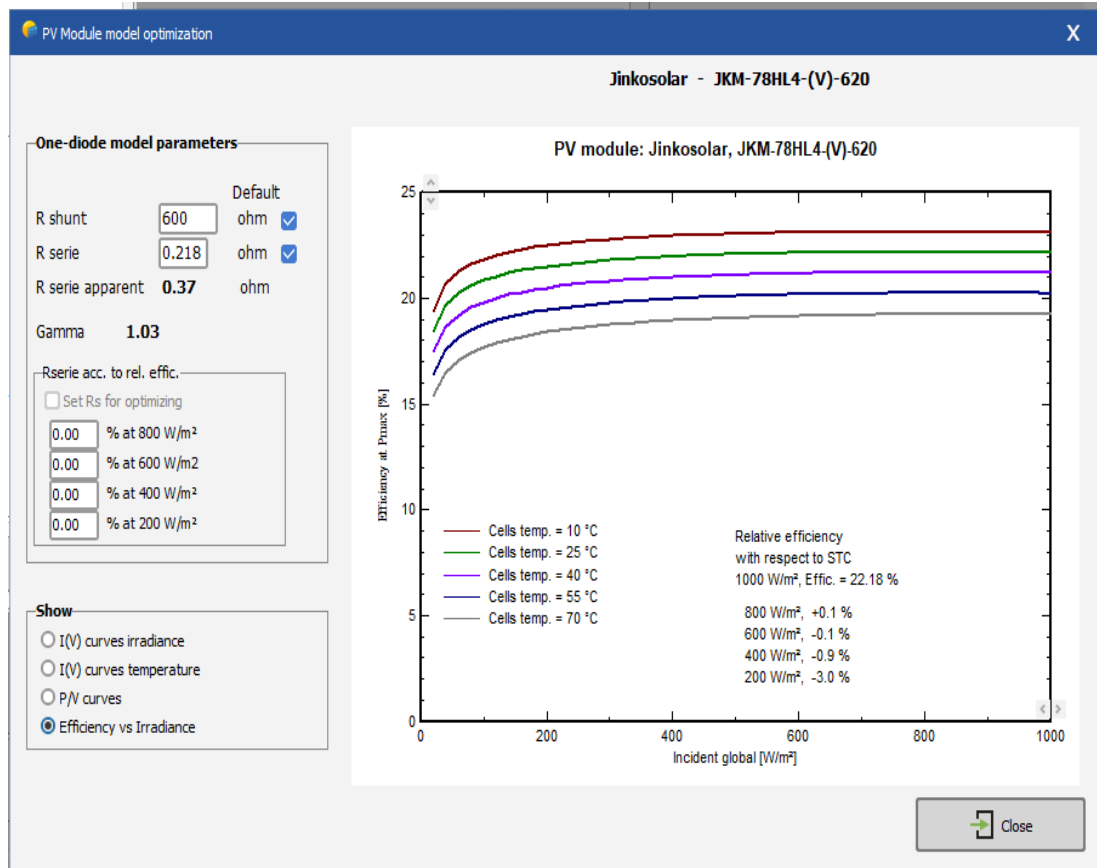
الشكل (7.3) المعلومات الأساسية للوح الشمسي (Jinkosolar JKM-78HL4-(V)-620)

وفقا للبيانات المحددة في النظام باستخدام برنامج PVsyst، فإن درجة حرارة التشغيل المرجعية هي

25 درجة مئوية، ولكن في ظروف التشغيل الفعلية تصل درجة حرارة الألواح إلى 60 درجة مئوية

أو أكثر، مما يسبب خسارة كبيرة في القدرة.

يبلغ معامل درجة الحرارة للجهد عند نقطة القدرة القصوى  $-0.29 \text{ %/C}$ .



الشكل (8.3) تحسين نموذج اللوح الشمسي ومنحنيات الكفاءة

المعلومات الحرارية الرئيسية للوح الشمسي المحللة:

1. معامل درجة حرارة الجهد  $(\mu V_{oc})$ :  $-137.4 \text{ mV/C}$

2. معامل درجة حرارة  $V_{mp}$ :  $-0.29 \text{ %/C}$

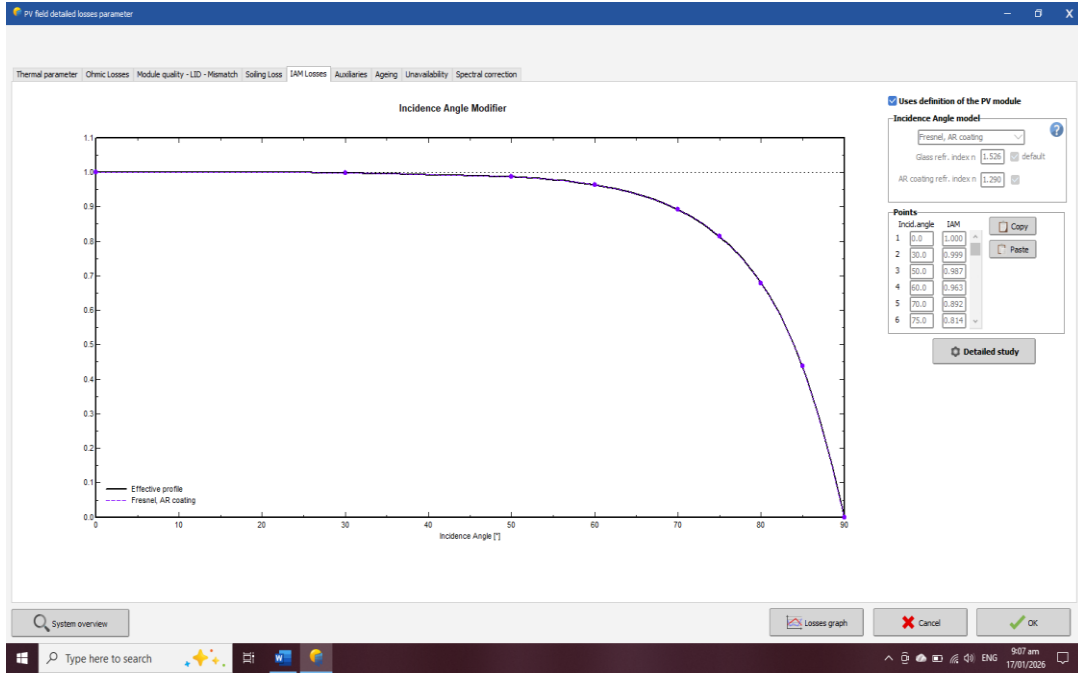
3. درجة الحرارة المرجعية:  $25 \text{ C}$

4. درجة حرارة التشغيل القصوى:  $60 \text{ C}$

5. معامل درجة حرارة التيار  $(\mu I_{sc})$ :  $6.9 \text{ mA/C}$

## مفايد زاوية السقوط (IAM Losses)

مفايد زاوية السقوط تحدث عندما لا تكون أشعة الشمس عمودية على سطح اللوح الشمسي.



الشكل (9.3) معامل زاوية السقوط (Incidence Angle Modifier)

## مفايد التوهين (Ohmic Losses)

مفايد التوهين تحدث بسبب مقاومة الأسلاك والمكونات الكهربائية في النظام. [18]

تشمل هذه المفايد:

1. مقاومة التوصيل المتسلسل 0.218 أوم
  2. المقاومة الموازية 600 أوم
  3. المقاومة الظاهرة 0.37 أوم
  4. مقاومة التوصيل المتسلسل القصوى للنموذج 0.224 أوم
- يؤدي معامل جودة الثنائي (Gamma) البالغ 1.03 إلى تأثير إضافي على أداء النظام، قمنا بتحسين قيمة  $R_s$  للحصول على أفضل أداء عند مختلف مستويات الإشعاع.

### مفاقد التلوث: (Soiling Loss)

مفاقد التلوث تحدث بسبب تراكم الغبار والأوساخ على سطح الألواح الشمسية، مما يقلل من كمية الضوء الواصل إلى الخلايا. [19]

تعتبر هذه المفاقد مهمة جدا في المناطق الصحراوية مثل موقع المشروع في السودان.

قمنا بمراعاة هذه المفاقد في التصميم ووضع جدول تنظيف دوري للألواح.

### مفاقد عدم التطابق (Mismatch Losses)

تحدث مفاقد عدم التطابق عندما لا تكون جميع الألواح في السلسلة متطابقة في الأداء. [20]

يمكن أن تكون هذه المفاقد بسبب:

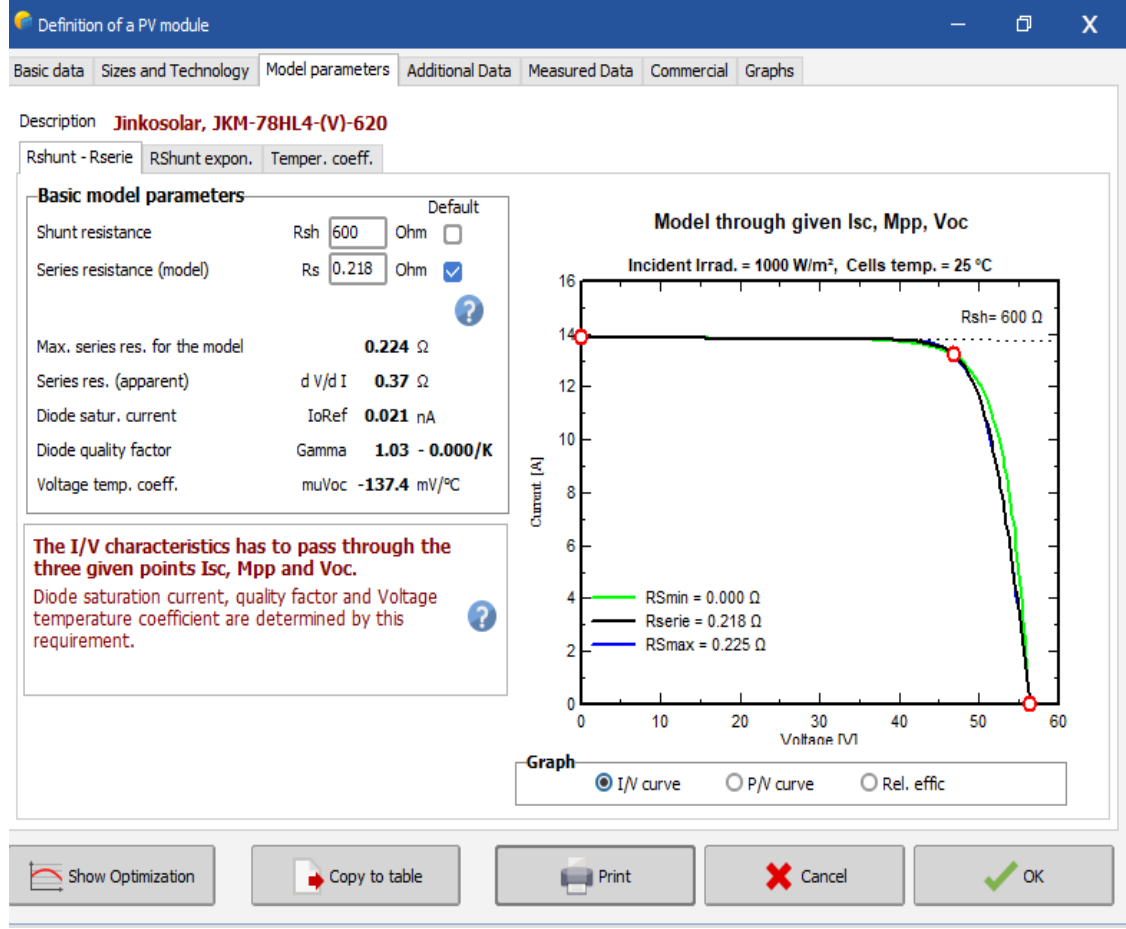
- اختلافات في الخصائص الكهربائية بين الألواح.
- التظليل الجزئي على بعض الألواح.
- التلوث غير المتجانس.
- التدهور غير المتساوي للألواح.

يبلغ معامل تشتت التيار القصير / % 0.40 سنة ، ومعامل تشتت الجهد / % 0.40 سنة.

### مفاقد التدهور: (Degradation Losses)

يتدهور أداء الألواح الشمسية بمرور الوقت بسبب العوامل البيئية والكهربائية [21].

وفقا للبيانات التي قمنا بتحديدھا في النظام:



الشكل (10.3) منحنيات التدهور للنظام على مدار 30 سنة

معاملات التدهور في النظام:

- يبلغ معامل التدهور المتوسط حوالي 0.40% سنويا.
- $I_{mp}/V_{mp}$  تساوي 20% \ 80% علي التوالي.
- Imp RMS Dispersion حوالي 0.40%.
- Vmp RMS Dispersion حوالي 0.40%.
- عامل التدهور الكلي للنظام حوالي 3.80%.

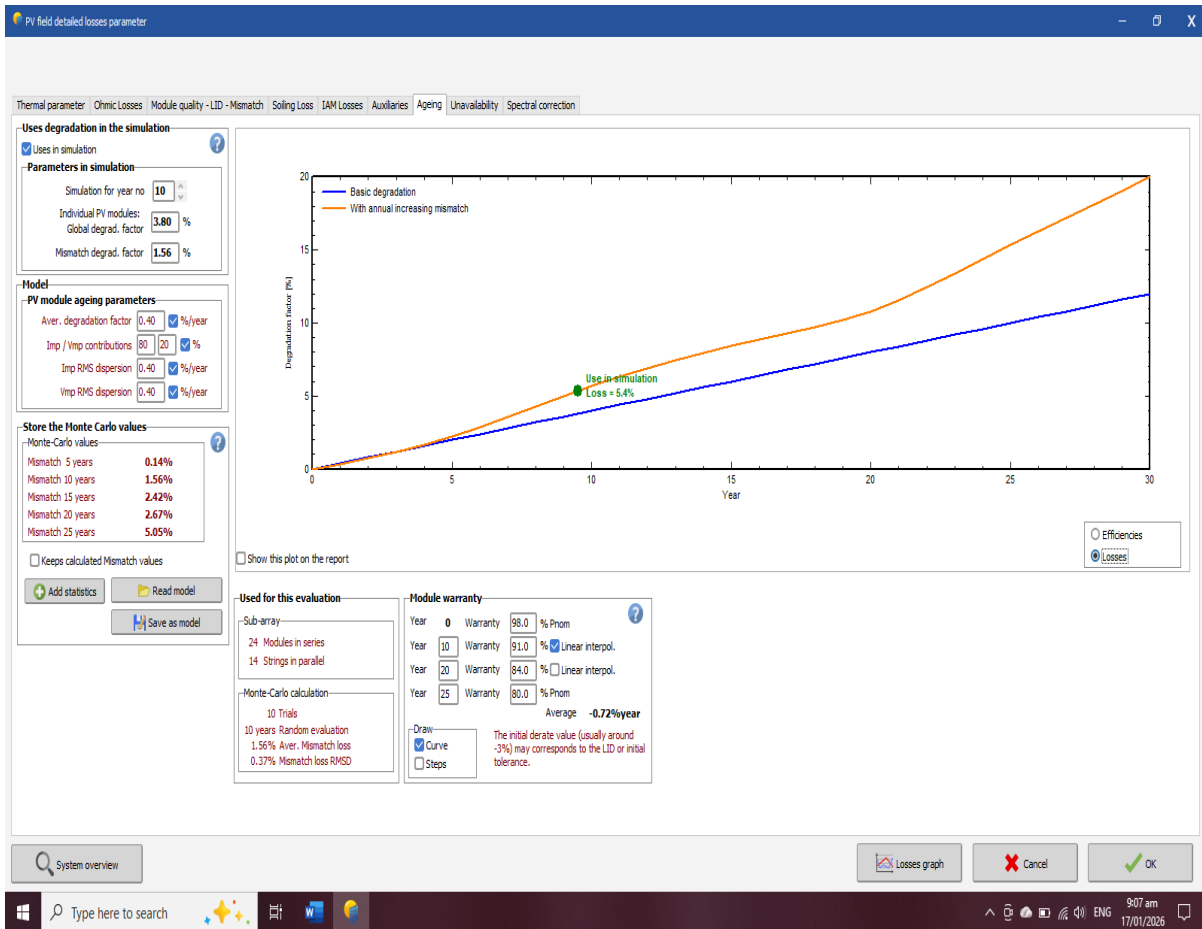
- عامل التدهور الناتج عن عدم التطابق حوالي 1.56%.

يبلغ متوسط معدل التدهور /-0.72% سنة، مما يعني أن النظام سيحافظ على حوالي

80% من قدرته الأصلية بعد 25 سنة .

تظهر قيم ضمان اللوح أن القدرة ستكون 98% من القدرة الاسمية في السنة

الأولى، و 91% بعد 10 سنوات، و 84% بعد 20 سنة، و 80% بعد 25 سنة.



الشكل (11.3) كفاءة النظام مع مرور الوقت (Degradation Factor)

مفايد العاكس (Inverter Losses):

قمنا باستخدام 200 عاكس من نوع (Huawei SUN2000-215KTL-H0)، بقدرة 200 كيلوواط

لكل عاكس.

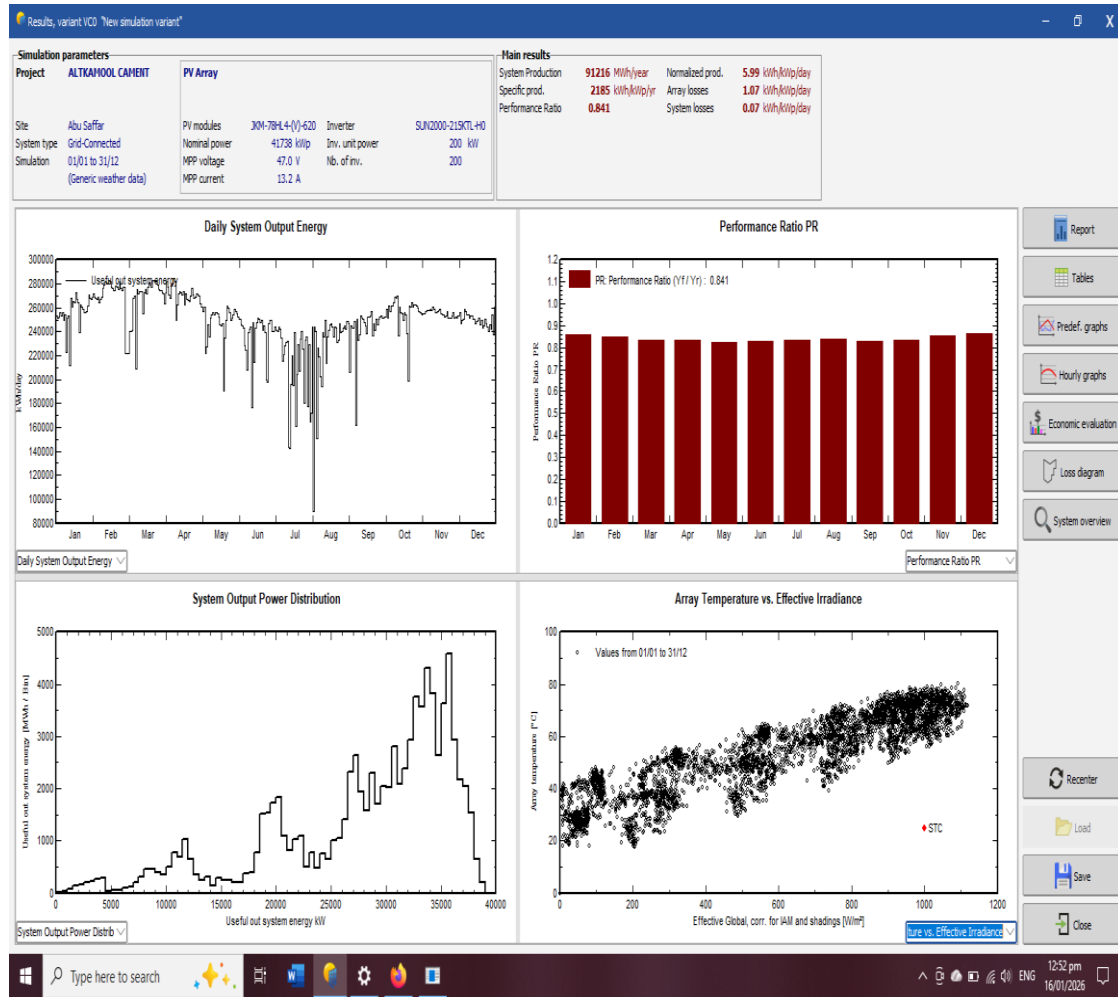
### تشمل مفايد العاكس:

- مفايد التحويل (Conversion Losses) : تحدث أثناء تحويل التيار من DC إلى AC .
  - مفايد الحمل المنخفض (Low Load Losses) : تحدث عندما يعمل العاكس بقدرة منخفضة.
  - مفايد الحمل الزائد (Overload Losses) : تحدث عندما تتجاوز القدرة المدخلة قدرة العاكس.
- يبلغ جهد التشغيل للعاكس 1500-550 فولت، والقدرة القصوي 40000 كيلوواط AC .
- نسبة (Pnom Array/Inv) هي 1.04، مما يعني أن النظام مصمم بشكل جيد لتقليل مفايد الحمل الزائد.

### 2.13.3 نتائج المحاكاة والأداء

قمنا بإجراء محاكاة شاملة للنظام لمدة سنة كاملة باستخدام بيانات الطقس الشهرية .

النتائج الرئيسية للمحاكاة كالتالي :



الشكل (11.3) نتائج المحاكاة والرسوم البيانية للأداء

المؤشرات الرئيسية:

- إنتاج النظام السنوي : 91216 MWh/year
  - الإنتاجية النوعية : 2185 kWh/kWp/yr
  - الإنتاجية المعدلة : 5.99 kWh/kWp/day
  - معامل الأداء (PR) : 0.841
  - خسائر المصفوفة : 1.07 kWh/kWp/day
  - خسائر النظام : 0.07 kWh/kWp/day
- يبلغ معامل الأداء (Performance Ratio) البالغ 0.841 ، وهو مؤشر جيد على كفاءة النظام .

هذا يعني أن النظام يحافظ على 84.1% من الطاقة النظرية المتاحة بعد احتساب جميع المفاقد.

معدل الخسارة في المصفوفة (Array losses) هو  $1.07 \text{ kWh/kWp/day}$ ، ومعدل الخسارة في النظام (System losses) هو  $0.07 \text{ kWh/kWp/day}$ .

### 14.3 نتائج تصميم المنظومة عبر برامج (PV SYST)

بالنسبة للمكونات الرئيسية:

الألواح الشمسية:

الشركة المستخدمة Jinko Solar .

عدد الألواح 67, 200 لوح .

قدرة اللوح الواحد 620W .

إجمالي القدرة من الألواح 41.664 MW/DC .

المحولات العاكسة (Inverters):

قدرة الإنفرتر الواحد 200KW .

عدد الإنفترات 200 إنفرتر.

المحولات الذكية (Smart Transformers) من هواوي:

عدد المحولات 8 محولات.

قدرة واحدة 6 ميغاوات.

المفاتيح (Switchgear) من شneider (Schneider):

مفاتيح (Schneider Electric) الكهربائية المستخدمة في هذا المشروع وعددها،

وقد تم اختيارها بما يتناسب مع متطلبات التشغيل داخل المنظومة .

### الجدول (11.3) المفاتيح المستخدمة:

| عدد المفاتيح | الوصف                                        |
|--------------|----------------------------------------------|
| 8            | مفاتيح بقدرات مختلفة                         |
| 4            | مفاتيح خاصة بالمحولات (كل مفتاح يغذي محولين) |
| 2            | مفتاح لنقل القدرة إلى المصنع                 |
| 2            | مفتاح لاستقبال القدرة من شبكة المصنع         |

### 1.14.3 الكابلات الرئيسية المستخدمة:

#### الجدول (12.3) ملخص الأطوال الكلية للكابلات:

| التوصيل                  | مقطع الكوابل<br>(mm <sup>2</sup> ) | عدد الكابلات الإجمالي | الطول الإجمالي التقريبي (كم) |
|--------------------------|------------------------------------|-----------------------|------------------------------|
| PV bus to station bus    | 630                                | 21                    | 27.3                         |
| Transformers to PV bus   | 630                                | 48                    | 19.2                         |
| Inverter to transformers | 150                                | 600                   | 1000                         |
| DC panel to Inverter     | 6                                  | 5600                  | 392                          |

### 2.14.3 تركيب والتوصيل الكهربائي للمنظومة :

تتكون منظومة الطاقة الشمسية من ألواح شمسية يتم توصيلها على شكل سلاسل (Strings)، حيث تحتوي كل سلسلة على 24 لوحا موصلا على التوالي لرفع الجهد.

يتم تجميع 14 سلسلة في كل عاكس لتحويل التيار المستمر إلى متناوب ، تضم المنظومة 200 عاكس ، حيث يتم ربط كل 25 عاكسا في محول واحد، ثم يتم رفع الجهد من 800 فولت إلى 6.3 كيلو فولت، ومن ثم تغذية شبكة المصنع .

بما أن هناك 200 عاكس و 8 محولات فإن كل محول يخدم 25 عاكساً ، 200 عاكس / 8 محولات هذا يعني أن كل محول بقدرة 6 ميغاواط سيستقبل خرج 25 عاكسا ، مما يتطلب أن تكون القدرة الإجمالية للعواكس المتصلة بالمحول الواحد 200 كيلوواط ، فإن 25 عاكساً ستعطي 5000 كيلوواط ، وهو ما يتناسب مع قدرة المحول البالغة 6 ميغاواط مما يوفر هامش.

ويتم تنفيذ منظومة الحماية والتجميع لضمان استقرار النظام وكفاءة التشغيل واستمرارية التغذية الكهربائية.

### 15.3 تحليل تدفق القدرة ودراسة الاستقرار الكهربائي باستخدام برامج ETAP:

لقد قمنا بإجراء دراسة تحليل انسياب الحمل باستخدام برنامج ETAP لنظام كهربائي هجين معقد يغذي "مصنع أسمنت التكامل".

تم محاكاة مشروع محطة الطاقة الشمسية الكهروضوئية بقدرة 40 ميغاواط والمربوطة على الشبكة (on-grid) لتغذية مصنع أسمنت التكامل وذلك بعد إكمال مرحلة التصميم باستخدام أحد البرامج المتخصصة في تصميم الأنظمة الكهروضوئية (PVsyst).

لقد صممنا النظام ليعمل بشكل متزامن مع إمكانية تصدير الفائض من القدرة إلى الشبكة القومية .

منهجية الدراسة والسيناريوهات لقد استخدمنا برنامج ETAP لإنشاء نموذج رقمي توأمي (Digital Twin) للنظام الكهربائي.

### 1.15.3 تحليل السيناريوهات لتقييم أداء النظام

تم تحليل أربعة سيناريوهات رئيسية لتقييم أداء النظام:

- سيناريو الحمل الأقصى: تشغيل جميع مصادر التوليد لتلبية الأحمال القصوى.
- سيناريو الحمل المتوسط : تشغيل المصادر بشكل طبيعي مع أحمال متوسطة.
- سيناريو الحمل الأدنى: تشغيل المصادر مع أحمال منخفضة وملاحظة إمكانية تصدير الفائض.
- سيناريو أقصى تصدير: تعظيم قدرة المحطة الشمسية ومحطة الديزل لتقليل الاعتماد على الشبكة وتحقيق أقصى تصدير للطاقة الفائضة .

#### النتائج الرئيسية :

أظهرت نتائج المحاكاة ما يلي:

- استقرار الجهد :

جميع الجهود عند الحافلات المختلفة تقع ضمن الحدود المسموح بها ( $\pm 5\%$ ) من الجهد الاسمي، مما يؤكد استقرار النظام.

- توازن الأحمال:

حقق النظام توازناً فعالاً بين التوليد والحمل والفقد في جميع السيناريوهات.

## ● تأثير المصدر الشمسي :

ساهمت إضافة المصدر الشمسي في تقليل الاعتماد على الشبكة بنسبة تصل إلى 40% خلال ساعات الذروة الشمسية، مما أدى إلى خفض الفقد في خطوط النقل كما تم التحقق بنجاح من قدرة النظام على تصدير الفائض.

### 16.3 الدراسة المالية لمشروع محطة طاقة شمسية بقدرة 40 ميغاواط (AC)

تهدف هذه الدراسة إلى تقديم تحليل مالي شامل لمشروع محطة طاقة شمسية كهروضوئية بقدرة 40 ميغاواط (AC) في السودان، اعتمدنا فيه على متوسط تشغيل يعادل نحو 6.25 ساعة ذروة شمسية يومياً، بما يحقق إنتاجاً سنوياً قدرها (91,216) ميغاواط ساعة في السنة الأولى. أظهرت نتائجنا أن المشروع يتمتع بجدوى اقتصادية قوية، حيث تبلغ التكلفة المستوية للطاقة 0.0511 دولار أمريكي لكل كيلوواط ساعة، مما يجعله منافساً للغاية مقارنة بوقود الديزل أو بتعرفة الشبكة العامة.

وبالنظر إلى تعرفه الشبكة العامة البالغة 0.148 دولار أمريكي لكل كيلوواط ساعة، نجد أن المشروع يحقق ربحية واضحة وجدوى مالية في هذا السياق أيضاً.

### 1.16.3 الافتراضات والتحليل المالي

بنينا تحليلنا المالي على مجموعة من الافتراضات الفنية والمالية الأساسية الخاصة بالموقع وظروف المشروع، بما في ذلك تقديرات الإشعاع الشمسي في المنطقة محل التنفيذ.

#### الافتراضات الأساسية

- القدرة المركبة للمحطة 40 ميغاواط (AC) .
- إجمالي النفقات الرأسمالية (CAPEX) 40,183,000 دولار أمريكي.
- تكاليف التشغيل والصيانة السنوية (O&M) 600,000 دولار أمريكي.

- العمر الافتراضي للمشروع 25 سنة.
- معدل الخصم المعتمد 8%.
- تعرفه المقارنة في سيناريو الديزل 0.241 دولار/ك.و.س.
- تعرفه المقارنة في سيناريو الشبكة العامة 0.148 دولار/ك.و.س.

### 2.16.3 نتائج الإنتاج والتكلفة

- الإنتاج السنوي في السنة الأولى 91.216 جيجاواط ساعة.
- عامل السعة التقريبي 26.0% .
- التكلفة المستوية للطاقة (LCOE) : 0.0511 دولار/ك.و.س.

#### 1. السيناريو الأول: استبدال طاقة الديزل

في هذا السيناريو، قمنا بتقدير العوائد المالية للمشروع انطلاقاً من الوفورات الناتجة عن استبدال وقود الديزل عالي التكلفة بالطاقة الشمسية المنتجة. وبناءً على الفرق الكبير بين تعرفه الديزل البالغة 0.241 دولار/ك. و.س وتكلفة إنتاج الكهرباء بالطاقة الشمسية البالغة 0.0511 دولار/ك.و.س، يتبين أن المشروع يحقق مؤشرات ربحية مرتفعة للغاية.

تبلغ القيمة السنوية للطاقة المنتجة ما يعادل 21,983,056 دولار أمريكي في السنة الأولى، ويصل صافي القيمة الحالية (NPV) إلى نحو 177.84 مليون دولار أمريكي، في حين يبلغ معدل العائد الداخلي 52.6% (IRR) .

#### 2. السيناريو الثاني: المقارنة مع الشبكة العامة

في هذا السيناريو، قمنا بمقارنة جدوى المشروع مع تكلفة شراء الكهرباء من الشبكة العامة والتي تبلغ 0.148 دولار أمريكي لكل كيلوواط ساعة.

وبما أن التكلفة المستوية للطاقة الشمسية تبلغ 0.0511 دولار/ك.و.س، نجد أن المشروع يحقق وفراً مالياً واضحاً منذ السنة الأولى.

### 3.16.3 العمليات الحسابية

الإنتاج السنوي = 91,216,000 كيلوواط ساعة.

قيمة الكهرباء من الشبكة = 13,499,968 دولار أمريكي.

تكلفة إنتاج الكهرباء الشمسية = 4,661,137.6 دولار أمريكي.

الوفر قبل التشغيل والصيانة = 8,838,830.4 دولار أمريكي.

الوفر الصافي بعد التشغيل والصيانة = 8,238,830.4 دولار أمريكي.

### 13.3 نتائج الجدوى المالية:

| المؤشر المالي  | القيمة              |
|----------------|---------------------|
| الإنتاج السنوي | 91.216 جيجاواط ساعة |
| LCOE           | 0.0511 دولار/ك.و.س  |
| NPV – الديزل   | 177.84 مليون دولار  |
| IRR – الديزل   | 52.6%               |
| IRR – الشبكة   | 10.5% تقريباً       |
| فترة الاسترداد | نحو 4.1 سنوات       |

توصلنا من خلال هذه الدراسة إلى أن مشروع الطاقة الشمسية بقدرة 40 ميجاواط يمثل استثماراً ذا

جدوى اقتصادية عالية، مع فترة استرداد قصيرة وعائد مجزٍ على رأس المال.

ويُعد المشروع خياراً تنموياً واستثمارياً مستداماً، يعزز أمن الطاقة ويخفض الاعتماد على مصادر

الوقود الأحفوري مرتفعة التكلفة.

## الفصل الرابع

## الفصل الرابع

### الخلاصة والتوصيات

#### 1.4 الخلاصة :

تم في هذا المشروع تصميم وتحليل محطة طاقة شمسية بقدرة 40 ميغاواط باستخدام برامج متخصصة مثل PVSYST لتصميم النظام وتقدير الإنتاجية، و ETAP لمحاكاة الشبكة وحساب تدفق القدرة الكهربائية أظهرت النتائج أن المحطة قادرة على توليد طاقة مستقرة وفعّالة، مع تحقيق أقصى استفادة من الإشعاع الشمسي في الموقع المختار، مع مراعاة العوامل المناخية والتقنية لضمان استمرارية التشغيل والسلامة الكهربائية كما بينت المحاكاة أهمية اختيار المكونات المناسبة وتوزيعها بشكل مثالي لتحقيق الكفاءة القصوى للنظام.

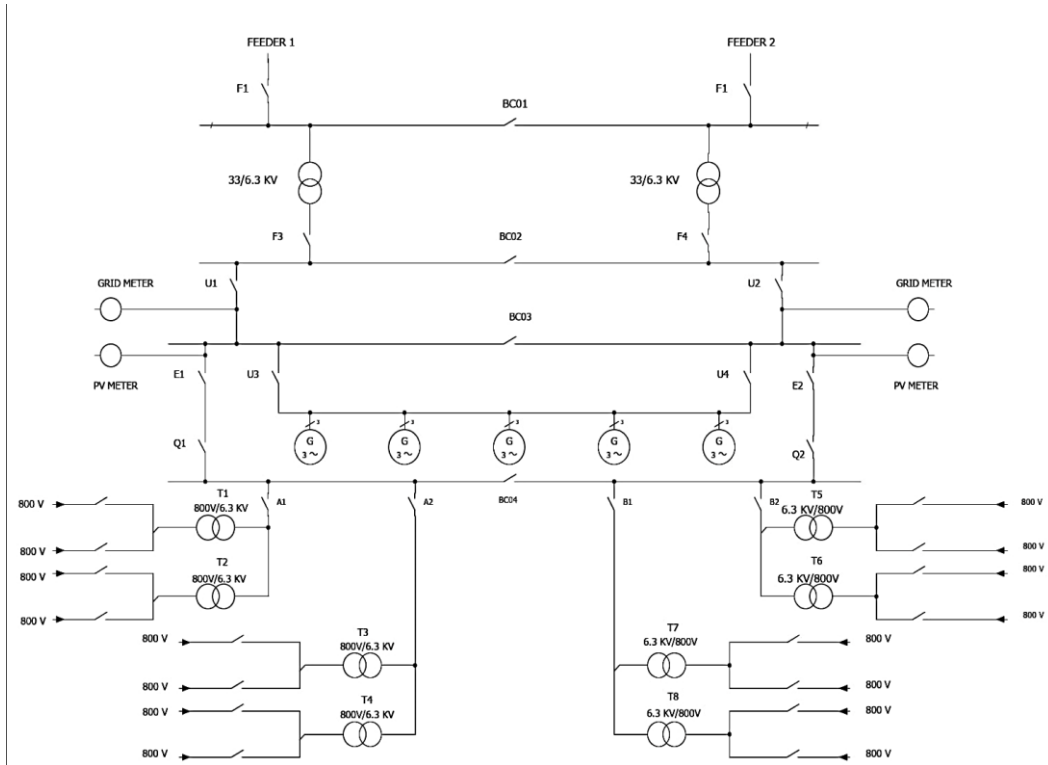
## 2.4 التوصيات :

- مراقبة الجهد الديناميكية: تركيب نظام تحكم أوتوماتيكي للجهد (AVR) أو مكثفات تعويضية عند حافلة 6.3 كيلوفولت لضمان استقرار الجهد.
- إدارة المصادر الاقتصادية: اعتماد استراتيجية تشغيل تعطي الأولوية للطاقة الشمسية ومحطة الديزل، مع استخدام الشبكة كمصدر احتياطي أو للتصدير.
- دراسة تتابع الأعطال: إجراء دراسة تتابع الأعطال لتحديد قدرات قواطع الدائرة الكهربائية وضمان التنسيق الانتقائي للحماية.
- تحديث مستمر للنموذج: تحديث النموذج الرقمي (ETAP Digital Twin) بانتظام ليعكس أي تغييرات في النظام.
- استخدام أنظمة المراقبة الذكية (SCADA System).
- تطبيق تقنيات التبريد للألواح الشمسية، لزيادة كفاءة الألواح.
- إدخال الذكاء الاصطناعي في التنبؤ بالإنتاج ، استخدام تقنيات AI للتنبؤ بالإشعاع الشمسي وتحسين تشغيل النظام.
- الاهتمام بتنظيف وصيانة الألواح الشمسية بشكل دوري.

## المراجع:

- 1- ([Bailer-Jones, 2009; Juzeniene et al., 2011](#)).
- 2- ([Vizureanu, 2019](#)).
- 3- ([Iweh et al., 2023; Palatnik et al., 2022](#)).
- 4- ([Fadlallah & Serradj, 2020](#)).
- 5- ([Elkahwagy et al., 2017; Gyanchandani, 2016](#)).
- 6- ([Mulyani et al., 2023; Vunnam et al., 2023](#)).
- 7- ([Alnaimat & Rashid, 2019; Maity et al., 2023](#)).
- 8- ([Jarman et al., 2013](#)).
- 9- ([Baranov, 2016](#)).
- 10- ([Ibrahim & Ashor, 2024](#)).
- 11- Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems (Fraunhofer ISE).
- 12- Renewable Energy Journal.
- 13- Agence Nationale de Reglementation de l'Electricite (ANRE).
- 14- ([Vaqif, 2022](#)).
- 15- ([Medora & Kusko, 2011](#)).
- 16- ([Tahir et al., 2025](#)).
- 17- ([Sayyah et al., 2024](#)).
- 18- ([Dagher & Kandil, 2022](#)).
- 19- ([Loukriz et al., 2021](#)).
- 20- ([Atia et al., 2023](#)).
- 21- ([Krishnan, 2023](#)).

## الملاحق



المخطط الأحادي لمحطة طاقة شمسية (PV Power Plant SLD)

(Single Line Diagram)

## Technical Specifications

| Input                                       |                                                                             |                               |
|---------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|
| Available Inverters / PCS                   | SUN2000-200KTL / SUN2000-215KTL / SUN2000-185KTL / LUNA2000-200KTL          |                               |
| Maximum LV AC Inputs                        | 34                                                                          |                               |
| AC Power                                    | 6,800 kVA @40°C <sup>1</sup>                                                |                               |
| Rated Input Voltage                         | 800 V                                                                       |                               |
| LV Main Switches                            | ACB (2900 A / 800 V / 3P, 2 x 1 pcs), MCCB (200 A / 800 V / 3P, 2 x 17 pcs) |                               |
| Output                                      |                                                                             |                               |
| Rated Output Voltage                        | 6,3kV, 11 kV, 15 kV, 20 kV, 22 kV, 30 kV, 33 kV, 35 kV <sup>2</sup>         | 13.8 kV, 34.5 kV <sup>2</sup> |
| Frequency                                   | Ratput Voltage 50 Hz                                                        | 60 Hz                         |
| Transformer Type                            | Oil-Immersed, Conservator Type                                              |                               |
| Transformer Cooling Type                    | ONAN                                                                        |                               |
| Transformer Toppings                        | ± 2 x 2.5%                                                                  |                               |
| Transformer Oil Type                        | Mineral Oil (PC8 Free)                                                      |                               |
| Transformer Vector Group                    | Dy11-y11                                                                    |                               |
| Transformer Min. Peak Efficiency Index      | Tier 1 or Tier 2 in Accordance with EN 50588-1                              |                               |
| RMU Type                                    | SF <sub>6</sub> Gas inculated                                               |                               |
| RMU Transformer Protection Units            | MV Vacuum Circuit Breaker Units                                             |                               |
| RMU Cable Incoming / Outgeing Units         | Direct Cable Unit or Cable Load Break Switch Unit                           |                               |
| Auxiliary Transformer                       | Dry Type Transformer, 5 kVA, Dyn11                                          |                               |
| Output Voltage of Auxiliary Transformer     | 400 / 230 Vac or 220 / 127 Vac                                              |                               |
| Protection                                  |                                                                             |                               |
| Transformer Monitoring & Protection         | Oil Level, Oil Temperature, Oil Pressure and Buchholz                       |                               |
| Protection Degree of MV & LV Room           | IP 54                                                                       |                               |
| Internal Arcing Fault Classification of STS | IAC A 20 kA 1s                                                              |                               |
| MV Relay Protection                         | 50/51, 50N/51N                                                              |                               |
| LV Overvoltage Protection                   | Type I-II                                                                   |                               |
| Anti-rodent Protection                      | CS Medium in accordance with ISO 12944                                      |                               |
| Features                                    |                                                                             |                               |
| 2 kVA UPS                                   | Optional <sup>3</sup>                                                       |                               |
| MV Surge Arrester for MV VCB                | Optional <sup>3</sup>                                                       |                               |
| General                                     |                                                                             |                               |
| Dimensions (W x H x D)                      | 6,058 x 2,896 x 2,438 mm (20' HC Container)                                 |                               |
| Weight                                      | < 22 t                                                                      |                               |
| Operating Temperature Range                 | -25°C ~ 60°C + (-13°F ~ 140°F)                                              |                               |
| Relative Humidity                           | 0% – 95%                                                                    |                               |
| Max. Operating Altitude                     | 1,000 m <sup>5</sup>                                                        | 1,500 m <sup>5</sup>          |
| MV-LV AC Connections                        | Prewired and Pretested, No Internal Cabling Onsite                          |                               |
| LV & MV Room Cooling                        | Smart Cooling without Air-across for Higher Availability                    |                               |
| Communication                               | Modbus-RTU, Preconfigured with Smartlogger30008                             |                               |
| Applicable Standards                        | IEC 62271-202, IEC 50588-1, IEC 60076, IEC 62271-200, IEC 61439-1           |                               |

1 - More detailed AC power of STS, please refer to the derating curve.

2 - Rated output voltage from 10 V to 35 kV, more available upon request.

3 - Ensures expected features for optional features which standard product doesn't contain, more options upon request.

4 - When ambient temperature 25°C, switching will be equipped for STS on site by customer.

5 - For higher operating altitude, please consult with Huawei.