

تصميم ومحاكاة نظام كهروضوئي بقدرة (32.0kWp) متصل بالشبكة باستخدام برنامج

(PVsyst) في مدينة طرابلس

عادل محمد التميمي
كلية التقنية الهندسية / جنزور

الملخص

تُعد الطاقة المتجددة مصدراً بديلاً للحد من استخدام الطاقة التقليدية، حيث تعتبر الطاقة الشمسية من أكثر مصادر الطاقة رواجاً، والتي يمكن الاستفادة من إشعاعها لتوليد الكهرباء عند سقوطه على الألواح الشمسية الكهروضوئية (PV Panels). وفي هذه الدراسة تم تصميم ومحاكاة نظام كهروضوئي من السيليكون أحادي البلورة بقدرة اجمالية (32.0kWp) ويتكون من ألواح بقدرة (400W) ومتصل بالشبكة الكهربائية، حيث تُعتبر المحاكاة ضرورية لتحليل أداء وكفاءة النظام وفقدان الطاقة والإشعاع وغيرها من العوامل ذات الصلة، وبالتالي يمكن الاستفادة من تحليل الأداء الذي توفره هذه المحاكاة في التصميم والتشغيل وصيانة أنظمة الطاقة الشمسية الكهروضوئية الجديدة المتصلة بالشبكة. في هذه الدراسة تم استخدام برنامج (PVsyst) للمحاكاة كأداة تصميم لمحاكاة النظام الكهروضوئي، والذي قامت بتطويره جامعة جنيف كأداة تعليمية لشرح الإجراءات والنماذج المستخدمة بالتفصيل، وتقع منطقة الدراسة في مدينة طرابلس. أظهرت نتائج المحاكاة أن الطاقة الاسمية للمصفوف (Array Nominal Energy) تبلغ (63.46MWh)، أما طاقة العاكس (Output Inverter Energy) المتاحة والمغذية للشبكة فهي (53.615MWh)، وتبلغ نسبة أداء النظام (Performances Ratio) (%82.22) بسبب العديد من الفوائد التي تحدث ويمكن أن تكون هذه الدراسة مفيدة لتصميم وتشغيل أنظمة الطاقة الشمسية المتصلة بالشبكة. الكلمات الاستدلالية: الطاقة الشمسية - نظام كهروضوئي - مدينة طرابلس - برنامج PV syst

1. مقدمة

في عصر التكنولوجيا المتقدمة الذي يهدف لتسهيل حياتنا، يتجه العديد من الباحثين نحو استكشاف موارد الطاقة المتجددة كبديل للوقود الأحفوري التقليدي الذي بدأ ينضب ويسبب في تلوث كبير للبيئة، وتُعد طاقة الشمس من أكثر الموارد الواعدة نظراً لوفرةها المستمرة ومجانيتها، خاصة في البلدان ذات المناخ الحار مثل ليبيا. تتمتع ليبيا بوفرة من أشعة الشمس التي يمكن تحويلها إلى طاقة كهربائية، ما يجعل بناء أنظمة الخلايا الشمسية الكهروضوئية (PV) ضرورة ملحة للاستفادة منها في مجال الطاقة النظيفة، وقد حظيت هذه العملية باهتمام العديد من الباحثين [1,2]. بسبب تزايد الطلب على توليد الكهرباء والقيمة الاقتصادية العالية، باتت الطاقة الشمسية الخيار الأمثل للبحث والتطوير، ولتسهيل انتشار هذه التقنيات، يُنصح باستخدام أنظمة شبكة صغيرة الحجم، فهي قادرة على الحد من أي تأثيرات سلبية محتملة، كما أنها تتيح التوسع المستقبلي وتحقيق المزيد من الفوائد [3,4]. تُقسم أنظمة الخلايا الشمسية الكهروضوئية (PV) إلى نوعين رئيسيين: الأول المتصلة بالشبكة (The on-grid system) والثاني المنفصلة عن الشبكة (The off-grid system)، يرتبط النظام المتصل بالشبكة الكهربائية العامة، بينما يعمل النظام المنفصل بشكل مستقل ولا يرتبط بالشبكة الرئيسية ويستلزم وجود بطارية لتخزين الطاقة [5,6]، وتركز هذه الدراسة على محاكاة نظام للخلايا الشمسية الكهروضوئية يُغذي الشبكة الكهربائية العامة.

2. أنظمة الطاقة الشمسية المتصلة بالشبكة (Grid-feed PV Solar Systems)

وتُعرف بأنظمة الشبكات المقيدة، وهي أكثر أنواع أنظمة الطاقة الشمسية انتشاراً واستخداماً في المنازل والشركات، وترتبط هذه الأنظمة بالشبكة الكهربائية العامة وتعمل باستخدام عواكس أو عاكسات صغيرة للطاقة الشمسية (Solar Inverters or Micro-Inverters)، ويتم تصدير أي فائض من الطاقة الشمسية التي ينتجها النظام إلى الشبكة الكهربائية العامة، وبالتالي يمكن للمستهلك توفير الطاقة في فواتير الكهرباء على شكل رصيد للطاقة التي يصدرها، والمكونات الرئيسية لنظام الطاقة الشمسية الكهروضوئية هي الألواح الشمسية (Solar Panels) و عاكس الطاقة الشمسية (Inverter Solar) ولوحة التوزيع الرئيسية ((Main Distribution Panel (MDP) وعداد الاستهلاك (Utility Meter).

ويمكن تشغيل هذا النظام أيضا في نموذجين الأول متصل مباشرة بالشبكة الكهربائية بدون نظام تخزين، بينما الآخر مزود بنظام تخزين يُعرف باسم نظام الطاقة الشمسية ثنائي الوضع (**Bimodal PV System**) وهو نظام للطاقة الشمسية متصل بالشبكة يشتمل على بطارية لتخزين الطاقة حيث تعمل البطارية عادةً كنسخة احتياطية لهذا النظام [7] وميزة هذا النظام هي قدرته على العزل عن الشبكة الكهربائية عند انقطاع التيار الكهربائي العام أو سوء الأحوال الجوية [8,9]، وتنتج الألواح الشمسية الكهروضوئية تيار مستمر (**DC**) يُغذى به العاكس ويقوم العاكس بعد ذلك بوظيفة تحويل التيار المستمر إلى تيار متناوب (**AC**)، بعد ذلك تقوم لوحة التوزيع الرئيسية للتيار المتناوب (**AC MDP**) بتوزيع التيار المتناوب على أجهزة المنزل والتغذية إلى الشبكة الكهربائية عند توفر فائض من الطاقة، ويُستخدم عداد الاستهلاك لعرض كمية الطاقة الكهربائية التي تستهلكها أجهزة المنزل أو الأغراض المنزلية الأخرى. تتمثل ميزة هذا النظام في أن الشبكة الكهربائية تعمل كمصدر احتياطي عندما تلتف الألواح الشمسية أو لا تنتج أي طاقة، ويُستخدم الإعداد الأساسي لنظام طاقة شمسية كهروضوئية متصل بالشبكة بدون بطارية في هذه المحاكاة.

3. برنامج تصميم أنظمة الطاقة الشمسية الكهروضوئية (**PVsyst**)

برنامج (**PVsyst**) هو برنامج محاكاة تم إنشاؤه بواسطة جامعة جنيف ويساعد هذا البرنامج على تصميم وتحليل أنظمة الطاقة الشمسية الكهروضوئية (**PV**) وكيفية تشغيلها، كما يساعد البرنامج أيضاً في تصميم تكوين النظام ويسمح أيضاً بحساب كمية الطاقة التي يتم توليدها [10]، ويحتاج المستخدم إلى معرفة الإحداثيات الجغرافية (**Geographical Coordinate**) للموقع المحدد وترتيب ألواح وحدات الطاقة الشمسية والعاكس وتعتمد نتائج المحاكاة على تحديد حجم نظام الطاقة الشمسية، والذي يتأثر عادة بالموقع الجغرافي للموقع الذي سيركب فيه النظام، ويمكن عرض العديد من متغيرات المحاكاة في قيم شهرية أو يومية أو ساعية في النتائج اعتماداً على إعدادات الإدخال، أيضاً يمكن عرض نتائج الإخراج في الرسومات البيانية والجداول إلى جانب التقرير الذي يمكن استخدامه لتحليل البيانات.

4. تصميم نظام الطاقة الشمسية باستخدام برنامج (**PVsyst**)

من الضروري التأكد من إدخال جميع متغيرات المدخلات قبل تشغيل المحاكاة، وفي هذا البحث تم استخدام برنامج (**PVsyst**) الإصدار (7.4) لإجراء المحاكاة، يحتاج المستخدم إلى إعداد المعايير أولاً في قسم المتغيرات بالبرنامج والتي تتضمن على سبيل المثال لا الحصر: بيانات الارصاد الجوية (**Meteorological Data**)، وزاوية الميلان وزاوية الانحراف للألواح الشمسية الكهروضوئية (**Tilt And Azimuth Of The PV Panels**)، ومواصفات وحدات الطاقة الشمسية (**Specification Of Modules PV**)، ومواصفات العاكس المستخدم (**Specification Of Inverter**)، والبيانات الأخرى ذات الصلة.

5. إعداد الأفق الجغرافي (**Geographical Horizon Setup**)

يمكن استيراد المدخلات الجغرافية إلى البرنامج باستخدام زر الإضافة في ملف الموقع (**Site**) بعد ذلك يمكن تحديد الموقع المطلوب من الخرائط التفاعلية (**Interactive Maps**) أو عن طريق إدخال الإحداثيات كما هو موضح في الشكل (1) بعد ذلك يتم عرض إحداثيات الموقع المحدد ويحتاج المستخدم إلى تأكيد الموقع. بعد تأكيد المستخدم للإحداثيات، يمكنه استيراد بيانات الارصاد الجوية (**Meteorological Data**) حيث يتيح البرنامج للمستخدم استيراد بيانات الارصاد الجوية من مستوردات بيانات الطقس مثل (**NASA – SSE satellite data**) وعند تحديد المستخدم لمستورد البيانات يتم تحميل بيانات الارصاد الجوية الشهرية للموقع المحدد تلقائياً إلى البرنامج، وكما هو موضح في الجدول (1)، تعرض البيانات المستوردة.

	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	June	July	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	Year
Horizontal global	82.8	102.5	148.5	184.5	216.4	230.1	241.5	218.6	165.6	122.8	82.5	72.8	1868.6 kWh/m ²
Horizontal diffuse	32.6	35.6	49.6	54.9	61.7	57.6	53.9	50.2	47.4	42.8	33.9	30.1	550.3 kWh/m ²
Extraterrestrial	171.5	194.3	264.9	303.7	344.5	344.8	350.7	326.6	275.2	232.5	177.5	158.7	3144.9 kWh/m ²
Clearness Index	0.483	0.528	0.561	0.608	0.628	0.667	0.689	0.669	0.602	0.528	0.465	0.459	0.594 ratio
Ambient Temper.	13.8	14.1	15.7	18.1	21.6	24.7	26.5	27.4	25.9	23.2	19.3	15.5	20.5 °C

الجدول رقم (1) يبين قيم بيانات الطقس الشهرية

Geographical Coordinates Monthly weather data Interactive Map

Location

Site name

Country Region

Geographical Coordinates

Latitude [°] (+ = North, - = South hemisph.)

Longitude [°] (+ = East, - = West of Greenwich)

Altitude M above sea level

Time zone Corresponding to an average difference
Legal Time - Solar Time = 1h 8m

شكل رقم (1) إعداد الافق الجغرافي (Geographical Horizon) في برنامج (PVsyst)

6. إعداد وحدات الطاقة الشمسية (Solar PV Modules) والعاكس (Inverter) في برنامج (PVsyst)

من المهم جداً إعداد وحدات الطاقة الشمسية والعاكس الشمسي في برنامج (PVsyst) وذلك لضمان صحة البيانات المستخدمة في المحاكاة وبالتالي الحصول على نتائج موثوقة، يمكن إعداد وحدات الطاقة الشمسية والعاكس عن طريق تعريف خصائصها وأحجامها ومعلومات أخرى في البرنامج وتعتمد البيانات الدنيا المطلوبة من قبل البرنامج على ظروف الاختبار القياسية (Standard Test Conditions (STC)) ويمكن الحصول على بيانات مواصفات وحدات الطاقة الشمسية والعاكس من كتيبات البيانات (Datasheets) الخاصة بكل منهما وإذا لم يتمكن المستخدم من العثور على نوع وحدات الطاقة الشمسية والعاكس الخاصين به في قاعدة بيانات البرنامج فيمكنه إضافة البيانات إلى البرنامج عن طريق تعديل أقرب بيانات موجودة في القاعدة.

الشكل (2) يظهر تكوين وحدات الطاقة الشمسية والعاكس المستخدم في هذه المحاكاة، فعندما تكون قدرة العاكس غير مناسبة لوحدة الطاقة الشمسية من حيث الحجم والقدرة المولدة وغيرها ستظهر رسالة خطأ في مربع الإشعارات، في هذه المحاكاة تم استخدام خلايا شمسية أحادية البلورية من السيليكون (Silicon Monocrystalline) بقوة (400Wp) إلى جانب (8) عواكس، وعندما يتم تعيين جميع المتغيرات في قسم المتغيرات بشكل صحيح يساعد النظام في تحديد ما إذا كانت وحدات الطاقة الشمسية والعاكس متوافقين أم لا ثم يمكن إجراء المحاكاة إذا لم تكن هناك إشعارات خطأ.

Sub-array

Sub-array name and Orientation

Name:

Orient.: **Fixed Tilted Plane** Tilt: 30° Azimuth: 0°

Pre-sizing Help

No sizing

Enter planned power: kWp

... or available area(modules): m²

Select the PV module

Available Now: Filter:

JA Solar 400 Wp 34V Si-mono JAM72-S03-400-PR Since 2021 Datasheets 2021

Use optimizer

Sizing voltages : Vmpp (60°C) 35.4 V
Voc (-10°C) 54.2 V

Select the inverter

Available Now: Output voltage 240 V Mono 60Hz 50 Hz 60 Hz

SMA 3.8 kW 250 - 480 V LF Tr 60 Hz Sunny Boy 3800 U-240 Since 2010

Nb. of inverters: Operating voltage: 250-480 V Global Inverter's power: 30.4 kWac
Input maximum voltage: 600 V "String" inverter with 2 inputs

Design the array

Number of modules and strings

Mod. in series: between 8 and 11

Nb. strings:

Overload loss: 0.0 %

Pnom ratio: 1.05

Nb. modules: 80 Area: 161 m²

Operating conditions

Vmpp (60°C) 354 V
Vmpp (20°C) 415 V
Voc (-10°C) 542 V

Plane irradiance: 1000 W/m²

Imp (STC) 78.2 A
Isc (STC) 82.7 A

Isc (at STC) 82.7 A

Max. operating power (at 1149 W/m² and 50°C): 33.4 kW

Array nom. Power (STC): 32.0 kWp

شكل (2) إعدادات الوحدات الكهروضوئية الشمسية والعاكس (Solar PV Modules And Inverter)

7. النتائج والمناقشة

تمكنا باستخدام برنامج (PVsyst) من الحصول على نتائج لنموذج محاكاة نظام (Si - Mono) للطاقة الشمسية بناءً على معايير واحتياجات المشروع، خلال المحاكاة تم جمع بيانات كمية الطاقة المولدة (The Amount Of The Energy Generated) والإنتاج السنوي المحدد (Annual Output Of The Specific Production) ونسبة الأداء (Performance Ratio)، بالإضافة إلى الكفاءة الخاصة (Special Efficiency)، والجودة (Quality)، وخسائر الطاقة التي تحدث نتيجة انعكاس ضوء الشمس من سطح الألواح الشمسية (Arrow Losses)، ثم تم تحليل النتائج لتقييم أداء نظام الطاقة الشمسية.

1-7 مخرجات إنتاج النظام

تم تقييم ثلاث معايير من النتائج الرئيسية كما هو موضح في الجدول (2):

المعامل الأول: الطاقة التي تنتجها وحدات الطاقة الشمسية (Energy Produced) والتي تبلغ (53.615MWh/year).
المعامل الثاني: الإنتاج السنوي للقدرة الإنتاجية النوعية (Annual Output Of The Specific Production) وهو (1675kWh/kWp/year).

المعامل الثالث: نسبة الأداء السنوي (The Performance Ratio (PR) Per Year) وهو (82.22%).

Results summary					
Produced Energy	53615 kWh/year	Specific production	1675 kWh/kWp/year	Perf. Ratio PR	82.22 %

الجدول (2) المعايير الثلاث الرئيسية

2-7. التوازنات والنتائج الرئيسية

تُعد البيانات التالية أمثلة على بعض أهم مؤشرات أداء نظام الطاقة الشمسية: الإشعاع الشمسي الكلي على مستوى المجمع (The Global Horizontal Radiation)، ومتوسط درجة حرارة المحيط (Mean Ambient Temperature)، والإشعاع الشمسي الفعال المؤثر على الألواح (Global Collector Plane Radiation). يتم الحصول على قيم قياس كل مؤشر من هذه المؤشرات من خلال موازين البيانات والاختبارات الأساسية، وذلك على أساس شهري وسنوي، بالإضافة إلى ذلك تتوفر قيم سنوية متوسطة لعدة متغيرات مهمة أخرى، بما في ذلك درجة الحرارة والكفاءة والإشعاع والقدرة المضافة للنظام، ويعرض الجدول (3) ملخص البيانات والنتائج الرئيسية.

	GlobHor kWh/m ²	DiffHor kWh/m ²	T_Amb °C	GlobInc kWh/m ²	GlobEff kWh/m ²	EArray kWh	E_Grid kWh	PR ratio
January	82.8	45.06	13.84	115.3	112.6	3364	3217	0.872
February	102.5	47.07	14.12	134.7	131.5	3860	3696	0.858
March	148.5	62.84	15.67	175.2	170.8	4958	4755	0.848
April	184.5	61.48	18.13	192.8	187.4	5321	5101	0.827
May	216.4	68.55	21.63	206.9	200.8	5620	5380	0.813
June	230.1	63.28	24.68	208.9	202.3	5608	5374	0.804
July	241.5	62.70	26.51	224.2	217.3	5940	5691	0.793
August	218.6	51.44	27.39	221.7	215.2	5802	5560	0.784
September	165.6	57.47	25.87	188.2	183.5	5070	4863	0.808
October	122.8	52.11	23.20	155.6	151.8	4283	4102	0.824
November	82.5	44.98	19.28	109.8	107.2	3115	2975	0.847
December	72.8	40.45	15.52	104.7	101.9	3038	2901	0.866
Year	1868.6	657.42	20.52	2037.9	1982.2	55979	53615	0.822

GlobHor Global horizontal irradiation

DiffHor Horizontal diffuse irradiation

T_Amb Ambient Temperature

GlobInc Global incident in coll. plane

GlobEff Effective Global, corr. for IAM and shadings

EArray Effective energy at the output of the array

E_Grid Energy injected into grid

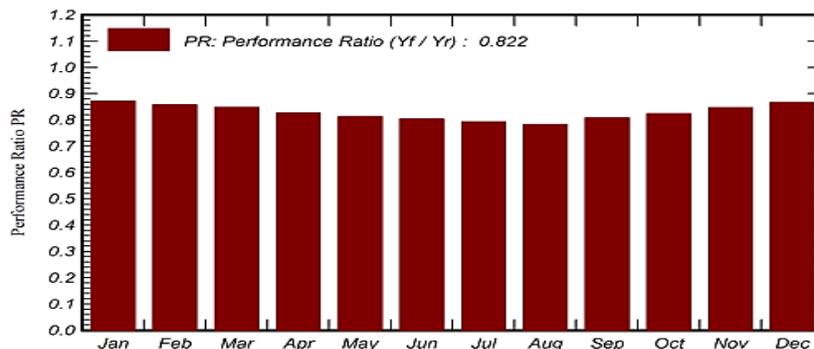
PR Performance Ratio

الجدول (3) ملخص البيانات والنتائج الرئيسية

3-7. نسبة الأداء (PR) (The Performance Ratio)

تمثل نسبة الأداء (PR) نسبة الطاقة الكهربائية التي يتم توليدها فعلياً إلى الطاقة المتوقعة نظرياً، وتعكس نسبة الأداء مستوى جودة محطة الطاقة الشمسية، وفقاً لنسبة الأداء يجب أيضاً تمييز خرج المحطة عن طريق بيانات النظام، والتي يجب أن تأخذ في الاعتبار الإشعاع وفقاً لقاعدة البيانات، ومساحة اللوح الضوئي، ودرجة حرارة الألواح، وإمكانية الوصول إلى الشبكة، وانخفاض خرج الطاقة، ودرجة الحرارة المناسبة، ويبلغ متوسط نسبة الأداء السنوي لنظام الطاقة الشمسية الكهروضوئية في هذه المحاكاة (82.22%) ويوضح الشكل (3) تغيرات نسبة الأداء على مدار شهور السنة من خلال رسم بياني، حيث نلاحظ اختلافات طفيفة في نسب الأداء بين الأشهر.

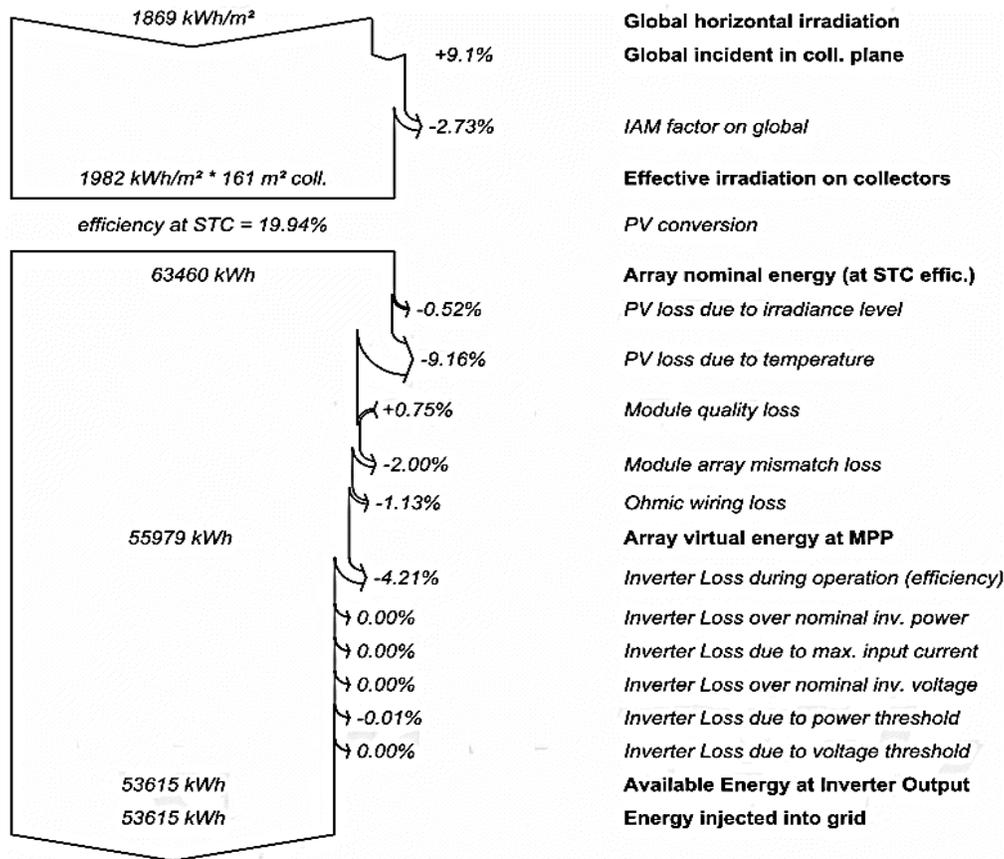
Performance Ratio PR



الشكل (3) تغيرات نسبة الأداء

4-7. مخطط تتبع الفقد (Arrow Loss Diagram)

يوضح الشكل (4) مخططاً لفقدان الطاقة في نظام الطاقة الشمسية الكهروضوئية، حيث يبين كل سهم نوعاً من الخسارة التي تحدث في النظام، وفقاً للمخطط فإن الإشعاع الشمسي الأفقي الكلي (The Global Horizontal Irradiation) هو $(1869kWh/m^2)$ ، ويشير المخطط إلى أن الإشعاع الشمسي الكلي على مستوى المجمع أعلى بنسبة (9.1%) من المتوقع، قد يكون هذا بسبب وجود انعكاس كبير للإشعاع الشمسي من الأرض ومثل هذه البرامج تفترض أن جميع الإشعاع الشمسي المنعكس من الأرض يتم امتصاصه بواسطة الألواح الشمسية، وفي الواقع يتم امتصاص جزء فقط من الإشعاع الشمسي المنعكس من الأرض بواسطة الألواح الشمسية، لذلك فإن نسبة الإشعاع الشمسي الكلي على مستوى المجمع في الواقع ستكون أقل من النسبة التي تُظهرها برامج محاكاة الطاقة الشمسية، ويظهر المخطط التشيع الفعال الذي يصل إلى الألواح الشمسية (The Effective Irradiation) حيث يبلغ $(1982kWh/m^2)$ على مساحة $(161m^2)$ ، والنطاق الحدودي للطاقة الذي يلي تحويل الطاقة الشمسية الكهروضوئية هو $(63.460MW/h/year)$ تحت ظروف الاختبار القياسية (STC) وبعد ذلك يُفقد بعض الطاقة بسبب الإشعاع وفقد التوافق ودرجة الحرارة وعوامل أخرى، وعلى أساس سنوي تبلغ الطاقة المتاحة عند خرج العاكس $(53.615MWh)$ والتي يتم بعد ذلك ضخها إلى الشبكة.



الشكل (4) مخطط تتبع الفقد

8. الخلاصة

يعتبر برنامج (PVsyst) برنامجاً موثقاً يساعد على محاكاة وتحليل نظام الطاقة الشمسية النموذجي، وتعد مجموعات البيانات هذه مفيدة للغاية لتحديد أداء نظام الطاقة الشمسية الكهروضوئية من حيث الكفاءة وفقدان الطاقة والمعلومات الأخرى ذات الصلة، وبناءً على هذه المحاكاة لمدينة طرابلس تبلغ الطاقة الاسمية للمجموعة (63.46MWh) بكفاءة تبلغ (19.94%) عند الظروف القياسية وتبلغ طاقة الخرج عند العاكس بعد كل الفقد في للطاقة (53.615MWh) والتي يتم بعد ذلك ضخها إلى الشبكة، ومتوسط نسبة الأداء لهذا النظام الشمسي الكهروضوئي في هذه المحاكاة هو (82.22%) وتشير نتائج هذه المحاكاة إلى أن نظام الطاقة الشمسية المخطط له سيوفر للمستخدم فوائد تشغيلية مثل الطاقة المولدة وفقدان الطاقة ونسبة الأداء وغيرها من تفاصيل النظام، وبشكل عام تبدو نتائج المحاكاة جيدة حيث تقع مدينة طرابلس في منطقة ذات إشعاع شمسي مرتفع وهذا يعني أن نظام الطاقة الشمسية سينتج المزيد من الكهرباء في هذا الموقع مقارنة بموقع ذي إشعاع شمسي منخفض. حيث تم استخدام مجمعات شمسية أحادية البلورة في هذه المحاكاة، وتعتبر المجمعات الشمسية أحادية البلورة أكثر كفاءة من المجمعات الشمسية متعددة البلورة، أيضاً تم استخدام عاكس طاقة ثلاثي الطور في هذه المحاكاة وتعتبر العواكس ثلاثية الطور أكثر كفاءة من العواكس أحادية الطور، ولكنها أكثر تكلفة.

المراجع

- 1- Salmi M, Baci AB, Inc M, Menni Y, Lorenzini G and Al-Douri Y. 2022 Desing and simulation of an autonomous 12.6 kW solar plant in the Algeria's M'sila region using PVsyst software.
- 2- Sreenath S, Sudhakar K, Yusop AF, Solomin E and Kirpichnikova IM. 2020 Solar PV energy system in Malaysian airport: Glare analysis, general design and performance assessment.
- 3- Norouzi F, Hoppe T, Elizondo LR and Bauer P. 2022 A review of socio-technical barriers to Smart Microgrid development.
- 4- Warneryd M and Karltorp K. Microgrid communities: disclosing the path to future system-active communities.
- 5- Espina RU, Enano NH, Descalsota EE and Occidental JT. 2022 Modeling and simulation of a 48-kW off-grid solar-PV power system using PVSyst.
- 6- Waseem N, George AS, Hameed S, Yadav A, Pillai SR and Shukla VK. 2021 Simulation of a Dubai based 100 kW solar plant on PVsyst.
- 7- Lana C. Solar Power Conversion. Power Electronics Handbook 2nd Edition.
- 8- Shabani M, Dahlquist E, Wallin F and Yan J. 2021 Techno-economic impacts of battery performance models and control strategies on optimal design of a grid-connected PV system.
- 9- Argyrou MC, Marouchos CC, Kalogirou SA and Christodoulides P. 2021 A novel power management algorithm for a residential grid-connected PV system with battery-supercapacitor storage for increased self-consumption and self-sufficiency.
- 10- Kumar R, Rajoria CS, Sharma A and Suhag S. 2022 Design and simulation of standalone solar PV system using PVsyst Software.