

## Design and Study the Reliability of a Stand-Alone Photovoltaic Energy System

Dr. Nazem Kherfan Deeb\*

(Received 3 / 6 / 2022. Accepted 18 / 9 / 2022)

### □ ABSTRACT □

The limitations of global resources of fossil and nuclear fuel, has necessitated an urgent search for alternative sources of energy. Therefore, a new way has to be found to balance the supply and demand without resorting to coal and gas fuelled generators. Environment safety has become very important for any energy system, Increasing demand of conventional sources has further increases the need and optimizes cost of non-conventional energy sources.

Building a photovoltaic system is the process of designing, selecting and calculating the ratings of the equipment's employed in the system. The process depends on a variety of factors such as geographic location, solar radiation, and load power requirements. The research presents a practical method for designing and simulating a Stand-Alone PV energy system using the PVSyst program to feed a household load in the city of Tartous. As well as determining the total energy flow across the entire system. The reliability of the PV system was calculated and the results showed the high reliability of the solar system, The reliability of the solar system after 20 years of the system's life was 0.99979.

**Keywords:** Renewable Energy, Design, Stand-Alone PV system, Reliability Photovoltaic PV array.

---

\* Associate Professor- Department of Renewable Energy, Faculty of Technical Engineering, Tartous University, Tartous, Syria.

## تصميم ودراسة وثوقية نظام طاقة كهروضمسي PV مستقل

د. ناظم خرفان ديب\*

(تاريخ الإيداع 3 / 6 / 2022. قُبِلَ للنشر في 18 / 9 / 2022)

### □ ملخص □

إن محدودية مصادر الطاقة العالمية من الوقود الأحفوري والنووي، استوجب البحث المَلح عن مصادر طاقة بديلة. بما يحقق موازنة العرض والتخفيف قدر الإمكان من المولدات التي تعتمد على الغازات، والوقود الأحفوري. وتعتبر السلامة البيئية من الشروط الهامة لمصدر الطاقة، حيث أن الطلب المتزايد على مصادر الطاقة التقليدية جعل من الضروري تحسين تكلفة مصادر الطاقة غير التقليدية، والاعتماد على الطاقة الشمسية بوصفها مصدر للحصول على الطاقة الكهربائية.

بناء النظم الكهروضمسية هي عملية تصميمية يتم فيها تحديد عوامل النظام واختيار مكوناته. تعتمد العملية على مجموعة متنوعة من العوامل مثل الموقع الجغرافي والإشعاع الشمسي، ومتطلبات الحمل من الطاقة. يقدم البحث طريقة عملية لتصميم نظام طاقة PV مستقل ومحاكاته باستخدام برنامج PVsyst لتغذية حمل منزلي في مدينة طرطوس، نحصل بالنتيجة على الحجم الأمثل لتكوين نظام PV المستقل. كذلك تحديد إجمالي تدفق الطاقة عبر النظام بأكمله، تم حساب وثوقية نظام PV وبينت النتائج الوثوقية العالية للنظام الكهروضمسي، حيث بلغت وثوقية النظام الكهروضمسي بعد مرور 20 عام من عمر النظام 0.99979.

**الكلمات المفتاحية:** الطاقة المتجددة، تصميم، نظام طاقة PV مستقل، الوثوقية، ألواح شمسية.

\*مدرس - قسم تقانات الطاقات المتجددة - كلية الهندسة التقنية - جامعة طرطوس - طرطوس - سورية.

**مقدمة:**

إن علاقة الطاقة بالقطاعات الاقتصادية المختلفة وبالحيات العامة هي علاقة تكاملية مترابطة، فهي تتأثر بمستويات التطور في المجالات المختلفة وتؤثر في تلك المستويات إيجابياً في حال وقرتها وسلبياً في حال نقصانها أو تدني مواصفاتها. واصبحت مصادر الطاقة المتجددة أكثر جاذبية خصوصاً مع النقلب المستمر في أسعار النفط والحاجة الماسة لتخفيض الانبعاثات الغازية، وتزايد الطلب العالمي على الطاقة، وعدم استقرار مصادر التزود بالطاقة، وكونها طاقة تتمتع بالديمومة والاستمرارية لأنها تستمد وجودها من عوامل الطبيعة المختلفة الدائمة الوجود. وتسارع العمل خلال العقود الأخيرة في تطوير مصادر الطاقة المتجددة لتكون مصادر واعدة في بناء اقتصاد طاقة مستدام وصادق للبيئة.

هناك أكثر من 300 يوم مشمس على الأقل في معظم أنحاء سورية سنوياً. وهذا ما يجعلها مكاناً ملائماً جداً لتطبيقات الطاقة الشمسية. يبلغ متوسط الإشعاع اليومي في مدينة طرطوس ما لا يقل عن  $5\text{KWh/m}^2$  في اليوم. يبلغ متوسط درجة الحرارة المحيطة في مدينة طرطوس الساحلية  $19.4^\circ\text{C}$ ، وسرعة الرياح حوالي  $1.7\text{m/s}$ . تحدد بيانات الطقس الوسطية والتي تم جمعها من خلال برنامج المحاكاة كمية طاقة الشمسية المنتجة من المصفوفة الكهروضمسية وكذلك المقدمة إلى الحمل.

يعتبر نظام (PV) واحداً من مصادر الطاقة البديلة الهامة، وتأخذ أنظمة الطاقة الكهروضمسية أدواراً متزايداً في مزيج الطاقة الكهربائية الحديثة بسبب الانخفاض المستمر في مصادر الطاقة التقليدية العالمية. وتتميز أنظمة (PV) بثوقيتها العالية حيث يمكن الاعتماد عليها إذ انها تمتاز بنسبة أعطال أقل ما يمكن، وأعمار الخدمة المتوقعة لا تقل عن 20 سنة [1، 2].

تحديد مصفوفة (PV) ومساحة تركيبها والمرج ونظام التخزين (المخزرات) للنظام الكهروضمسي المستقل هو جزء مهم من تصميمه. هذا الجزء يتطلب بيانات الإشعاع الشمسي للموقع الجغرافي المحدد الذي سيتم تركيب النظام فيه، والحمل المطلوب تغذيته وبيانات ومواصفات كل من الألواح الشمسية (PV) والانفرتر والبطاريات وكفاءة تشغيلها. وقد أجريت دراسات عديدة لتطوير طرق وأساليب التحديد التي هي على حد سواء سهلة وذات وثوقية عالية [2].

معظم هذه الطرق تفترض حمل النظام ثابت، وتعتمد على مفهوم التزويد بالطاقة بشكل مستقل ذاتياً خلال عدة أيام. وهي بسيطة وتضمن الوثوقية المطلوبة لأنظمة الطاقة (PV) خلال أيام التغذية المستقلة ذاتياً من نظام التخزين. في هذه الطرق نظام التخزين يلبي حاجة الحمل المطلوبة. تعتبر سعة نظام التخزين مقياساً لوثوقية نظام (PV). لذلك الوثوقية محددة بأيام التغذية المستقلة ذاتياً، التحديد الناتج لمجموعة مصفوفة ألواح (PV) وصف البطاريات للنظام الكهروضمسي ليس الأمثل بالضرورة.

تلعب تكلفة توليد الطاقة المتجددة دوراً رئيسياً في تحديد فعالية نظم الطاقة المتجددة [3]. مهمة التحديد في التصميم هي التوفيق بين التكلفة والوثوقية. التحديد الدقيق يضمن أن يتم استيفاء الطلب على الطاقة ويسمح بتخفيض التكاليف في المستقبل. هذا سيسمح بالاستخدام العملي لأنظمة الطاقة الكهروضمسية في سوق الطاقات المتجددة.

**أهمية البحث وأهدافه:**

يهدف البحث إلى تقديم طريقة عملية لحساب عناصر ومكونات نظام الطاقة الكهروضمسي ومحاكاته باستخدام برنامج PVsyst، لتحديد حجم النظام اللازم لتوفير التغذية بالطاقة الكهربائية لحمل في منطقة الساحل السوري. وإيجاد أفضل

تركيبية من ألواح (PV) والمدخرات (البطاريات) لتصميم نظام كهروضمسي مستقل يضمن امداد الطاقة الكهربائية للمستخدم بشكل موثوق خلال عمره الافتراضي، وسيتم دراسة وثوقية نظام PV المصمم.

## طرائق البحث ومواده:

### 1- وصف ومكونات النظام:

يتضمن نظام الطاقة الكهروضمسي PV المكونات المختلفة التي يجب اختيارها وفقاً لنوع النظام، موقع توضع، والتطبيقات. يجب ترابط وتوازن مكوناته لتشكيل نظام طاقة يكون قادراً وظيفياً على التزويد بالطاقة الكهربائية، وهذه المكونات هي:

a- الألواح الكهروضمسية (PV). b- المدخرات. c- المبدل Inverter. d- الحمل Load.

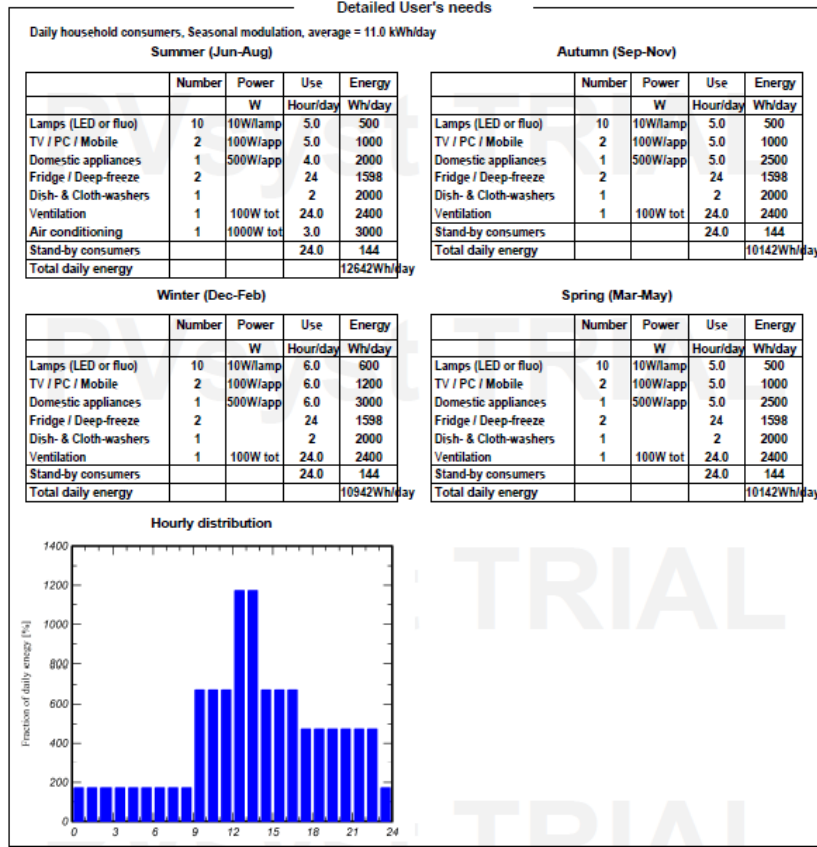
لتصميم نظام PV مستقل يمكن الاعتماد عليه، من المهم تحديد البيانات المهمة التي تؤثر على أداء النظام. وهذه البيانات تتعلق بموقع تركيب، ومتطلبات الحمل من الطاقة. كلاهما له تأثير كبير في تصميم نظام توليد اقتصادي. يبين الشكل (1) بيانات الطقس في موقع التركيب وفق برنامج Pvsyst، القيمة الوسطية لشدة الاشعاع الشمسي في أشهر السنة وكذلك درجة الحرارة، سرعة الرياح، والرطوبة النسبية.

Site: Tartous (Syria)  
Data source: Meteonorm 7.3 (2003-2010), Sat=100%

	Global horizontal irradiation kWh/m <sup>2</sup> /mth	Horizontal diffuse irradiation kWh/m <sup>2</sup> /mth	Temperature °C	Wind Velocity m/s	Linke turbidity [-]	Relative humidity %
January	74.6	37.7	10.2	1.70	3.128	76.3
February	91.5	46.5	11.5	2.10	3.559	75.0
March	145.4	62.0	15.1	1.89	4.191	69.7
April	165.9	81.1	18.0	2.09	5.044	69.9
May	216.4	83.0	21.7	1.80	4.787	68.4
June	228.6	73.4	24.9	1.70	3.801	70.5
July	222.1	80.8	27.7	1.90	3.895	71.1
August	208.0	68.3	27.9	1.79	3.917	71.7
September	168.0	54.1	25.4	1.60	3.780	69.8
October	137.5	42.8	22.3	1.29	3.957	67.4
November	91.7	33.5	16.5	1.41	3.344	68.7
December	71.7	33.3	12.0	1.60	3.184	74.6
Year	1821.3	696.5	19.4	1.7	3.882	71.1

الشكل (1) بيانات الطقس في موقع التركيب (مدينة طرطوس).

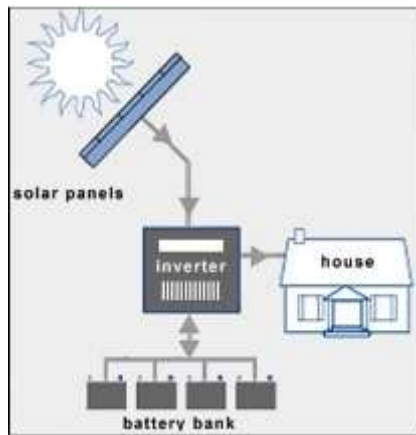
يتم تحديد الاستهلاك اليومي للطاقة من قبل الحمل بناءً على الطاقة اليومية المطلوبة للأحمال وزمن التشغيل. تم تحديد الطلب على الطاقة بحسب فصول السنة وفق برنامج Pvsyst، الشكل (2)، حيث بلغ متوسط الطلب اليومي للطاقة خلال فصول السنة 11KWh/day.



الشكل (2) بيانات الحمل المنزلي حسب فصول السنة وفق برنامج PVsyst.

## 2- بنية النظام:

تُصنف النظم الكهروضمسية وفقاً لكيفية وصل مكوناتها مع مصادر طاقة أخرى إلى أنظمة مستقلة عن الشبكة (Standalone, off grid)، وأنظمة تفاعلية مبروطة مع الشبكة (Utility-Interactive, on grid). في النظام المستقل المبين في الشكل(3)، يتم تصميم النظام للعمل بشكل مستقل عن الشبكة الكهربائية العامة، لتزويد أحمال DC- and/or AC محددة وتعمل في وقت محدد.



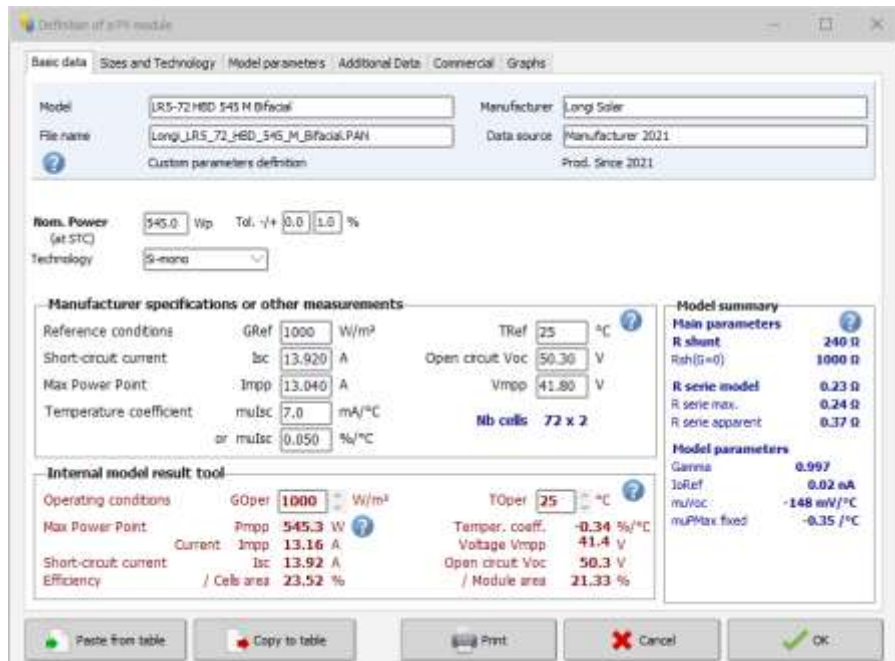
الشكل (3) مخطط نظام طاقة PV مستقل.

### 3- اختيار مكونات النظام:

يتضمن نظام الطاقة الكهروضوئية PV المستقل المكونات المختلفة التي يجب اختيارها وفقاً لنوع النظام، موقع توضعها، والتطبيقات. يجب ترابط وتوازن مكوناته لتشكيل نظام طاقة قادراً وظيفياً على تزويد الحمل بالطاقة بشكل موثوق، حيث تم اختيار جميع المكونات بناءً على متطلبات الطاقة للحمل وبيانات الأرصاد الجوية لموقع التركيب.

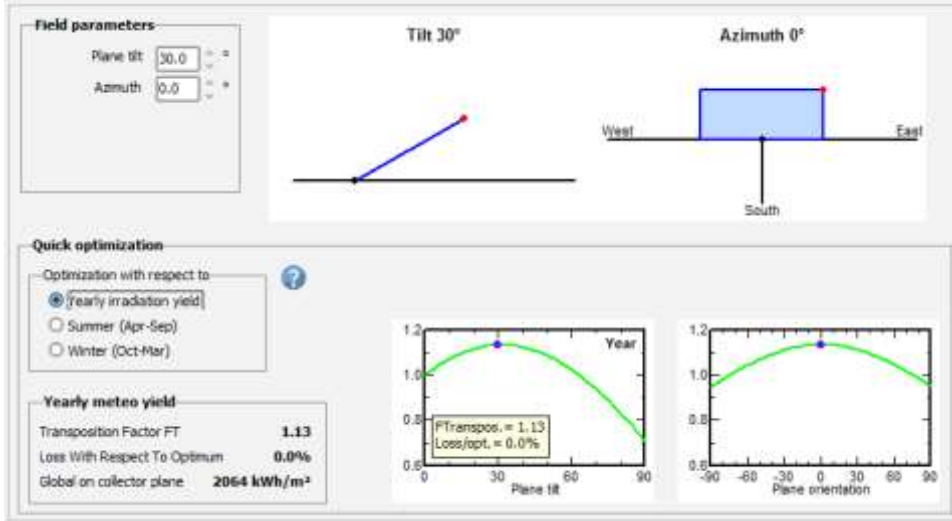
#### 3-1- اختيار الألواح الكهروضوئية:

إن العامل الرئيسي المؤثر على إنتاج الطاقة في النظم الكهروضوئية هو الإشعاع الشمسي. يعتمد حجم المصفوفات الكهروضوئية على الإشعاع الشمسي المتاح، حيث يتم توصيل عدد كبير من الألواح الكهروضوئية لتشكيل مصفوفة [1]. يجب أن يكون حجم مصفوفة PV مناسب لتوفير طاقة كافية للأحمال وشحن المدخرات. يبين الشكل (4) بارامترات اللوح الكهروضوئية المستخدم في تصميم نظام PV. يمكن أن يزداد حجم ألواح PV أو ينقص، وفقاً لمتطلبات الحمل من الطاقة.



الشكل (4) بارامترات اللوح الكهروضوئية المستخدم في تشكيل مصفوفة PV للنظام المصمم.

حتى نأخذ أقصى قدر من الإشعاع الشمسي، يجب تركيب المصفوفة الكهروضوئية بزاوية ميل معينة. بالنسبة للألواح الكهروضوئية الثابتة، يجب عادةً توجيه المصفوفة باتجاه الجنوب في نصف الكرة الشمالي. يمكن تحقيق خرج المصفوفة PV الأمثل باستخدام زاوية ميل تساوي تقريباً خط عرض الموقع. تبلغ زاوية ميل المصفوفة الكهروضوئية الأفضل في موقع التركيب  $30^\circ$ ، وفق برنامج PVsyst، يبين الشكل (5) أن أعظم استطاعة يمكن الحصول عليها من المصفوفة الكهروضوئية عند زاوية الميل  $30^\circ$ ، عند  $\text{Azimuth } 0^\circ$ .



الشكل (5) توضع الألواح الشمسية في موقع التركيب (أفضل زاوية ميل للألواح).

## 2-2- نظام التخزين:

إن مبدأ استخدام المدخرات أو نظام التخزين في تصميم النظام الكهروضمسي هو التعويض عن التغيرات اليومية في الإشعاع الشمسي بحيث عند غياب الإشعاع الشمسي يأخذ الحمل حاجته من الطاقة عن طريق نظام التخزين [4]. تعتبر الألواح الكهروضوئية مصدرًا غير مثاليًا لشحن البطارية. لأن خرجها يعتمد بشكل كبير على الظروف الجوية، لذلك يجب ضمان دورة الشحن/التفريغ المثلى، مما يؤدي إلى انخفاض حالة شحن البطارية (SOC). يؤدي انخفاض مستوى طاقة البطارية SOC إلى تقصير عمر البطارية. ينطوي اختيار المدخرات (البطاريات) في الأنظمة الكهروضمسية على العديد من الاعتبارات لموازنة طاقة النظام الكهروضمسي. حيث يجب مراعات المعايير التالية في اختيار المدخرات:

1- الجهد الاسمي. 2- ايام التغذية الذاتية للحمل. 3- سعة المدخرة. 4- التفريغ الذاتي. 7- عمق التفريغ.

## 2-3- منظم (متحكم) الشحن بتقنية MPPT و المبدل (الانفرتر):

المنظم هو عنصر أساسي في نظام PV المستقل. يتم استخدامه لحماية البطاريات من الشحن والتفريغ الزائد للحفاظ على البطارية وإطالة دورة الحياة. يستخدم متحكم الشحن لملاحقة نقطة الاستطاعة العظمى للمصفوفة الكهروضمسية بتقنية MPPT وكذلك لتنظيم جهد شحن المدخرات، حيث يتغير جهد خرج المصفوفة الكهروضمسية نتيجة تغير الإشعاع فعند جهد أقل من المرغوب فيه لن يتم إعادة شحن المدخرات، وعند الجهد الزائد سوف ترتفع درجة حرارة المدخرات، مما يتسبب في تلف أطراف خلايا المدخرة [5]. غالبًا ما يكون متحكم الشحن مدمجًا مع المبدل (الانفرتر) ولا يعمل الانفرتر دائمًا بأقصى قدر من الكفاءة، يمكن تحقيق أقصى قدر من الكفاءة بنسبة حوالي 97% وكذلك كفاءة المنظم.

## 3- تحديد مكونات نظام PV المستقل حسابياً:

لتصميم نظام طاقة كهروضمسي (PV) مستقل يؤمن تغذية مستقرة للحمل المطلوب يجب تحديد عدد ألواح مصفوفة PV وسعة نظام التخزين (المدخرات). سنستخدم معيار متوسط الإشعاع الشمسي اليومي للتصميم بحيث يلبي الطلب اليومي على الطاقة.

## - تحديد مصفوفة PV:

الاستطاعة المطلوبة من الألواح تحسب من العلاقة:

$$P_{PV} = \frac{E_{load}}{T_{min}} = \frac{11Kwh}{5h} = 2.2 KW$$

يحسب التيار الكلي لمصفوفة PV اذا كان جهد النظام  $V_{DC} = 48V$  من العلاقة:

$$I_{PV} = \frac{P_{PV}}{V_{DC}} = \frac{2200}{48} = 45.8 Amps$$

بالتالي تحسب الألواح التي يجب أن توصل على التسلسل والتفرع بحسب مواصفات اللوح الشكل (4)، كما يلي:

- عدد مجموعات الألواح على التفرع:

$$N_p = \frac{I_{PV}}{I_{MPP}} = \frac{45.8}{13.04} = 3.51 Panels \cong 4 Panels$$

- عدد الألواح على التسلسل:

$$N_s = \frac{V_{DC}}{V_{MPP}} = \frac{48}{41.8} \cong 2 Panel$$

عدد الألواح الكلية المطلوبة:

$$N_m = N_s \times N_p = 4 \cdot 2 = 8 Panels$$

- تحديد نظام التخزين (المدخرات):

القدرة المطلوب تخزينها في المدخرات:

$$E_{Storage} = E_{load} \times day = 11KWh \times 2.2 = 24.2 KWh$$

بالأخذ بالاعتبار عمق تفريغ المدخرة 80%، تكون القدرة المطلوب تخزينها:

$$E_{Storage,saft} = \frac{E_{Storage}}{DoD} = \frac{24200}{0.8} = 30.25 KWh$$

سعة نظام التخزين (صف المدخرات) تحسب بالعلاقة التالية:

$$C_{T,B} = \frac{E_{Storage,saft}}{V_B} = \frac{30,250}{12} = 2,520 Ah$$

عدد المدخرات المتصلة على التسلسل:

$$N_{B,S} = \frac{V_{DC}}{V_B} = \frac{48V}{12V} = 4 Batteries$$

عدد مجموعات المدخرات التسلسلية المتصلة على التفرع:

$$N_{B,p} = \frac{C_{T,B}}{N_{B,S} \times C_B} = \frac{2.52 KAh}{4 \times 200} \cong 3 Batteries$$

بالتالي العدد الكلي لمدخرات نظام التخزين:

$$N_B = N_{B,S} \times N_{B,p} = 4 \times 3 = 12 Batteries$$

- تحديد المبدل (المعرج):

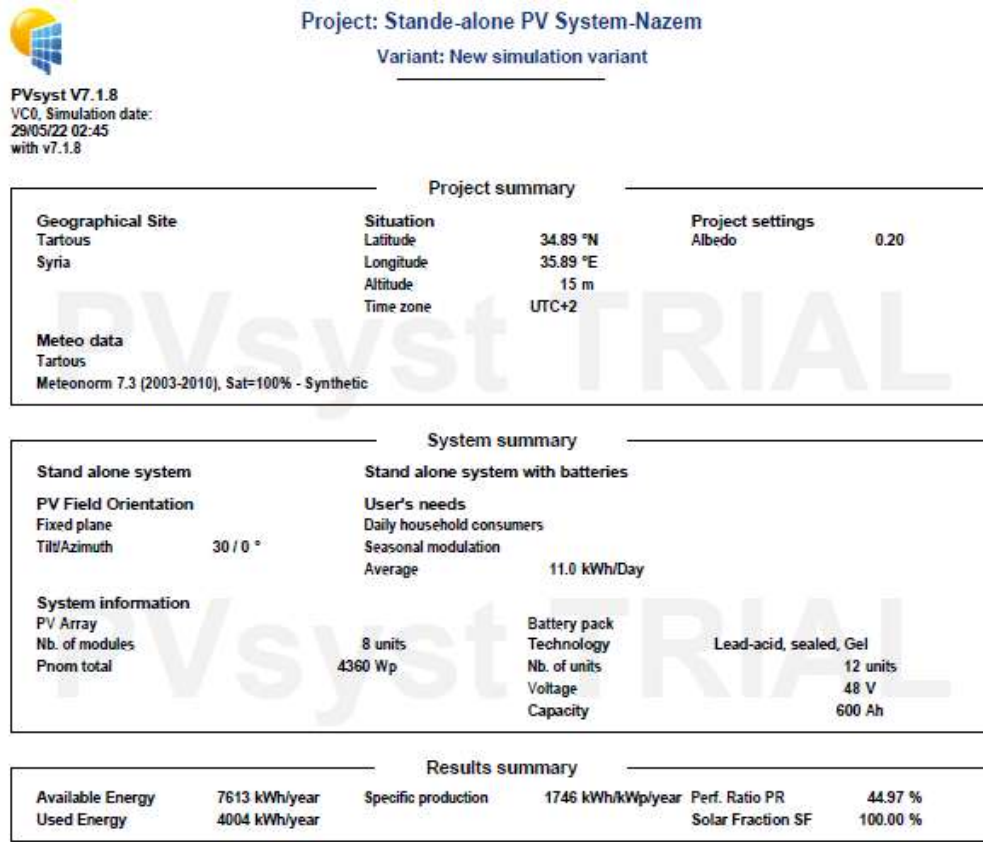
يتم اختيار المبدل (الانفرتر) باستطاعة اكبر بنسبة 25% من استطاعة الحمل [6]:

$$P_{inverter} = 1.25 \times 4.360KW = 5.45KW$$

نختار معرج باستطاعة  $P_i = 5500W$  ويجهد  $DC Voltage = 48V$ ، وجهد خرج  $AC Voltage = 230V$ .



في برنامج PVsyst يعد الانفرتر ووحدة التحكم في الشحن MPPT جزءًا من النظام، يعتمد جهد النظام على جهد نظام التخزين. يبين الشكل (6) ملخص تصميم وتحديد مكونات نظام PV، وفق برنامج PVsyst.



الشكل (6) ملخص نتائج تصميم النظام الكهروضمسي المستقل باستخدام برنامج PVsyst.

يبين الشكل السابق نتائج تصميم النظام وفق برنامج PVsyst، حيث نلاحظ تطابق التصميم الرياضي مع نتائج البرنامج من جهة تحديد مكونات نظام الطاقة المصمم، حيث يحتاج النظام الى 8 الواح و 12 مدخرة بسعة 200Ah، يظهر الشكل (7) بشكل مفصل مواصفات مكونات نظام PV المصمم، وكذلك الضياعات في مصفوفة الالواح الكهروضمسية.

General parameters			
Stand alone system		Stand alone system with batteries	
PV Field Orientation		Sheds configuration	
Orientation		No 3D scene defined	
Fixed plane		Models used	
Tilt/Azimuth	30 / 0 °	Transposition	Perez
		Diffuse	Perez, Meteonorm
		Circumsolar	separate
User's needs			
Daily household consumers			
Seasonal modulation			
Average	11.0 kWh/Day		
PV Array Characteristics			
PV module		Battery	
Manufacturer	Generic	Manufacturer	Generic
Model	LRS-72 HBD 545 M Bifacial	Model	MPG 12V 200
(Custom parameters definition)		Technology	Lead-acid, sealed, Gel
Unit Nom. Power	545 Wp	Nb. of units	3 In parallel x 4 In series
Number of PV modules	8 units	Discharging min. SOC	20.0 %
Nominal (STC)	4360 Wp	Stored energy	23.7 kWh
Modules	4 Strings x 2 In series	Battery Pack Characteristics	
At operating cond. (50°C)		Voltage	48 V
Pmpp	3979 Wp	Nominal Capacity	600 Ah (C10)
U mpp	75 V	Temperature	Fixed 20 °C
I mpp	53 A	Battery Management control	
Controller		Threshold commands as	SOC calculation
Manufacturer	Generic	Charging	SOC = 0.90 / 0.75
Model	VarioTrack VT80 - 48V	approx.	54.3 / 51.0 V
Technology	MPPT converter	Discharging	SOC = 0.20 / 0.45
Temp coeff.	-3.0 mV/°C/Elem	approx.	47.6 / 49.5 V
Converter			
Maxi and EUROS efficiencies	39.0 / 37.5 %		
Total PV power			
Nominal (STC)	4 kWp		
Total	8 modules		
Module area	20.4 m <sup>2</sup>		
Cell area	18.5 m <sup>2</sup>		
Array losses			
Thermal Loss factor		DC wiring losses	
Module temperature according to irradiance		Global array res.	24 mΩ
Uc (const)	20.0 W/m <sup>2</sup> K	Loss Fraction	1.5 % at STC
Uv (wind)	0.0 W/m <sup>2</sup> K/m/s	Serie Diode Loss	
Module Quality Loss		Voltage drop	
Loss Fraction	-0.3 %	Loss Fraction	0.8 % at STC
		Module mismatch losses	
		Loss Fraction	2.0 % at MPP
		Strings Mismatch loss	
		Loss Fraction	0.1 %

الشكل (7) نتائج تصميم نظام PV المستقل باستخدام برنامج PVsyst.

### النتائج والمناقشة:

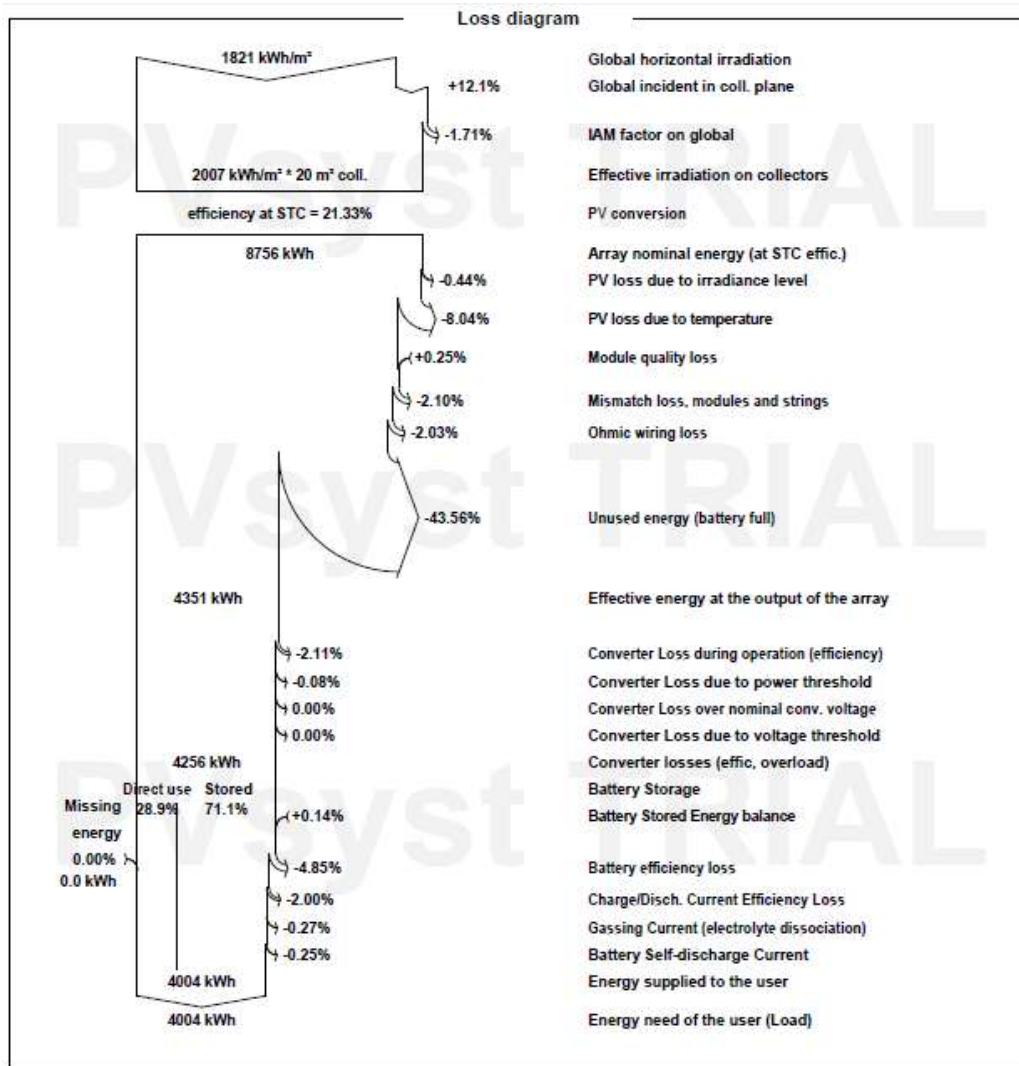
من نتائج المحاكاة الجدول (1)، نجد أن إجمالي إمدادات الطاقة اللازمة للحمل (E\_load) هو 4004kWh خلال العام. وأن متوسط الطاقة الشمسية المتاحة الساقطة على المصفوفة الكهروضوئية طوال العام هو 7613.4kWh.

الجدول (1) نتائج محاكاة نظام PV المصمم من خلال برنامج PVsyst.

	GlobHor kWh/m <sup>2</sup>	GlobEff kWh/m <sup>2</sup>	E_Avail kWh	EUnused kWh	E_Miss kWh	E_User kWh	E_Load kWh	SolFrac ratio
January	74.6	107.7	429.6	79.8	0.000	339.2	339.2	1.000
February	91.5	119.0	473.5	148.0	0.000	306.4	306.4	1.000
March	145.4	170.0	660.3	331.0	0.000	314.4	314.4	1.000
April	165.9	171.4	661.1	341.3	0.000	304.3	304.3	1.000
May	216.4	204.7	774.4	444.6	0.000	314.4	314.4	1.000
June	228.6	206.0	762.8	344.8	0.000	379.3	379.3	1.000
July	222.1	204.0	749.2	319.4	0.000	391.9	391.9	1.000
August	208.0	209.1	762.8	329.0	0.000	391.9	391.9	1.000
September	168.0	190.6	706.2	394.3	0.000	304.3	304.3	1.000
October	137.5	181.8	683.7	344.4	0.000	314.4	314.4	1.000
November	91.7	133.5	516.1	210.2	0.000	304.3	304.3	1.000
December	71.7	109.4	433.7	71.0	0.000	339.2	339.2	1.000
Year	1821.3	2007.2	7613.4	3357.7	0.000	4004.0	4004.0	1.000

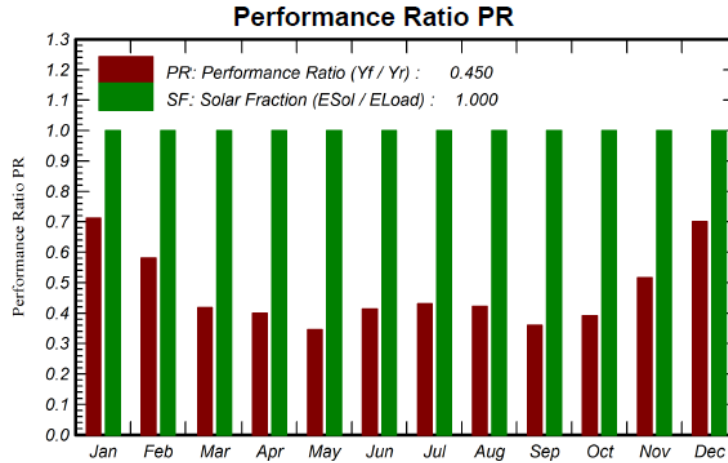
تنتج المصفوفة الكهروضوئية طاقة فعالة ( $E_{array}$ ) بحدود 4351kWh، الشكل(8). إن الطاقة التي تنتجها مجموعة PV كافية لتلبية متطلبات الحمل طوال العام بدون وجود اي نقص في الطاقة Missing Energy على مدار العام كما في الشكل (8)، بالتالي لا يحتاج النظام المصمم الى طاقة من مصادر اخرى لاستكمال حاجته السنوية من الطاقة مما يؤكد ان التشكيلة المصممة تؤمن تغذية موثوقة ومستمرة للحمل. وكذلك نجد أن معدل الاداء للنظام المصمم يكون بحدود 0.45، حيث يعبر معدل الأداء عن نسبة انتاجية المصفوفة في الواقع الحقيقي على انتاجيتها في الظروف القياسية.

هذه الطريقة في الحصول على النتائج والوصول الى التصميم الأمثل للمنظومة وتحديد تدفق وضياعات الطاقة لا يمكن انجازه بطريقة الحسابات اليدوية البسيطة.



الشكل (8) مخطط مجمل الاستطاعة المنتجة والضياعات في النظام المصمم.

يبين الشكل (9) مخطط تغير معدل الأداء والكسر الشمسي على مدار العام حيث نلاحظ أن معدل الأداء يبلغ حوالي 0.45 وهو مقبول في منطقة التركيب. نلاحظ من الشكل انخفاض معدل الاداء PR لمصفوفة PV خلال اغلب أشهر الصيف نتيجة ارتفاع درجة الحرارة وتأثيرها على الاستطاعة العظمى للألواح الكهروضوئية، ويكون الكسر الشمسي SF يساوي الواحد نتيجة وجود كمية كافية من الاشعاع الشمسي الساقط على المصفوفة الكهروضوئية في كل اشهر السنة، ويمثل SF نسبة الطاقة المقدمة من نظام PV المستقل إلى الطاقة التي يحتاجها الحمل خلال العام.



الشكل (9) مخطط عامل الأداء لنظام PV.

إن نظام PV لا يحول كل طاقة الاشعاع الشمسي الوارد الى المصفوفة بنسبة 100% بسبب بعض الضياعات. حيث نلاحظ من الشكل (8) تفصيل تدفق الطاقة وضياعات النظام الكلي في موقع التركيب. يسقط على سطح التركيب اشعاع شمسي بمقدار  $1821 \text{ kWh/m}^2$  والذي يمثل كمية الطاقة الواردة إلى الارض على سطح افقي. لكن المستوى الفعال للألواح الكهروضوئية المركبة على مساحة  $20\text{m}^2$  تتلقى الاشعة الشمسية الواردة بشكل عمودي والمنعكسة من الاجسام المحيطة وتستقبل  $2007 \text{ kWh/m}^2 * 20\text{m}^2$  من الإشعاع. وتكون أكبر الضياعات في طاقة إنتاج مصفوفة PV، حيث تتأثر الطاقة المنتجة من المصفوفة الكهروضوئية بعدة عوامل مثل درجة الحرارة المحيطة، زاوية ورود الاشعاع الشمسي، عدم مطابقة الألواح للمواصفات الفنية، والضياعات الأومية في اسلاك توصيل المصفوفة. يمكن تحديد الطاقة الفعلية المقدمة للحمل بعد ضياعات المنظم ونظام التخزين.

نلاحظ من الشكل (8) عدم وجود اي نقص في الاستطاعة E\_Miss، بالتالي لا يوجد اي حاجة الى إجراء تعديلات في التصميم لعدم وجود حاجة إلى مصادر طاقة اخرى لتعويض E\_Miss.

#### - وثوقية النظام الكهروضوئي المصمم:

تعرف الوثوقية بانها خاصية النظام التي تتجلى في تنفيذه للوظائف المحددة مع المحافظة خلال الزمن على قيم المميزات الاستثمارية ضمن الحدود المعطاة التي توافق أنظمة العمل المحددة وشروط الاستثمار والخدمة الفنية والإصلاح والتخزين والنقل [7]. وتشمل الوثوقية عدة خواص، عدم التعطل، الديمومة، قابلية الإصلاح، قابلية المحافظة (التخزين).

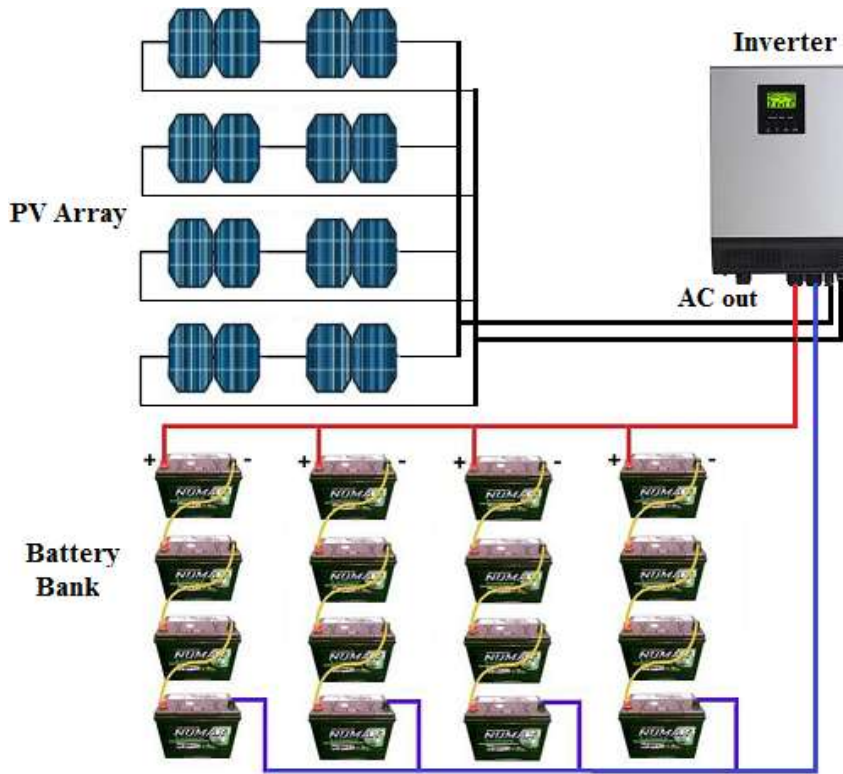
يتم حساب وثوقية النظام الكهروضوئي من خلال حساب وثوقية الوحدات التسلسلية ومن ثم التفرعية، المخطط الصندوقي لنظام PV المصمم كما في الشكل (10)، ولحساب وثوقية النظام يجب معرفة قيمة معدل العطل  $\lambda$  لكل من

تجهيزات النظام، والتي يتم تحديدها من الشركات المصنعة للتجهيزات بعد إجراء الاختبارات المرافقة للتصنيع [8-9]. وهي كما في الجدول (2).

الجدول (2) قيم معدل العطل لتجهيزات النظام.

العنصر	معدل العطل $\lambda$
اللوح الشمسي	3.2232 failures/10 <sup>6</sup> hours
المدخرات	10.9589 failures/10 <sup>6</sup> hours
الانفرتر	12.8928 failures/10 <sup>6</sup> hours

بين الشكل (10) مخطط توصيل مكونات النظام.



الشكل (10) مخطط توصيل مكونات نظام الطاقة المصمم.

يتم حساب وثوقية نظام PV المصمم على اعتبار عمر التشغيل الأقصى للنظام 20 سنة، على أن يتم تجديد كل مكون وفق العمر الافتراضي المبين في الجدول التالي:

المبدل	المدخرات	اللوح الشمسي	ساعات العمل اليومي
12 ساعة	8 ساعات	8 ساعات	
10 سنوات	5 سنوات	20 سنة	العمر الافتراضي

تحسب وثوقية النظام على اعتبار أنه سيتم تجديد مكوناته وفق العمر الافتراضي المبين في الجدول السابق.

تحسب وثوقية النظام الكهروضوئي على الشكل التالي:

- وثوقية الألواح الشمسية عند عمر خمس سنوات حتى تجديد نظام التخزين:

لدينا ثمانية ألواح كل لوحين متصلين على التسلسل، بالتالي وثوقية الفرع المكون من لوحين على التسلسل، تحسب على الشكل التالي [10]:

$$R_{Panel}(t = 14600hr) = R_1 \times R_2 = e^{-\lambda_1 t} \times e^{-\lambda_2 t} = e^{-(\lambda_1 + \lambda_2) \cdot t}$$

$$= e^{-(6.4464 \cdot 10^{-6}) \cdot 14600} = 0.910176$$

و تحسب وثوقية مجموعات الألواح التفرعية [10]:

$$R_{Panel,T} = 1 - \prod_{i=1}^n Q_i = 1 - \prod_{i=1}^2 (1 - R_i)$$

$$= 1 - (1 - 0.910176)(1 - 0.910176)(1 - 0.910176)(1 - 0.910176)$$

$$= 0.99927$$

- وثوقية نظام التخزين:

لدينا 12 مدخرة كل أربعة منها متصلة على التسلسل، بالتالي وثوقية الفرع المكون من أربع مدخرات على التسلسل،

تحسب على الشكل التالي:

$$R_B(t = 14600hr) = R_1 \times R_2 \times R_3 \times R_4 = e^{-(\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3 + \lambda_4) \cdot t}$$

$$= e^{-(4 \cdot 10.9589 \cdot 10^{-6}) \cdot 14600} = e^{-(43.8356 \cdot 10^{-6}) \cdot 14600} = 0.5273$$

و تكون وثوقية مجموعات المدخرات التفرعية:

$$R_{B,T} = 1 - \prod_{i=1}^n Q_i = 1 - \prod_{i=1}^2 (1 - R_i)$$

$$= 1 - (1 - 0.5273)(1 - 0.5273)(1 - 0.5273)(1 - 0.5273) = 0.95007$$

- وثوقية الانفرتر:

$$R_{inverter}(t = 21900hr) = e^{-(12.8928 \cdot 10^{-6}) \cdot 21900} = 0.754007$$

وتحسب وثوقية نظام الطاقة الكهروضوئي المكون من ثلاث وحدات تفرعية (مصفوفة PV، بنك البطاريات، الانفرتر):

$$R_{Solar}(t) = 1 - \prod_{i=1}^n Q_i = 1 - \prod_{i=1}^2 (1 - R_i)$$

$$= 1 - (1 - 0.99927)(1 - 0.95007)(1 - 0.754007) = 0.999991$$

بعد مضي خمس سنوات من عمر النظام يتم تبديل المدخرات وتحسب الوثوقية على عمر 5 سنوات لنظام

التخزين و 10 سنوات لباقي التجهيزات كما يلي:

- وثوقية الألواح الشمسية عند عمر 10 سنوات حتى تجديد نظام التخزين:

وثوقية الألواح المتصلة على التسلسل، تحسب على الشكل التالي:

$$R_{Panel}(t = 29200hr) = R_1 \times R_2 = e^{-\lambda_1 t} \times e^{-\lambda_2 t} = e^{-(\lambda_1 + \lambda_2) \cdot t}$$

$$= e^{-(6.4464 \cdot 10^{-6}) \cdot 29200} = 0.82842$$

وثوقية مجموعات الألواح التفرعية:

$$R_{Panel,T} = 1 - \prod_{i=1}^n Q_i = 1 - \prod_{i=1}^2 (1 - R_i)$$

$$= 1 - (1 - 0.82842)(1 - 0.82842)(1 - 0.82842)(1 - 0.82842)$$

$$= 0.99913$$

- وثوقية نظام التخزين:

$$R_B(t = 14600hr) = R_1 \times R_2 \times R_3 \times R_4 = e^{-(\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3 + \lambda_4) \cdot t}$$

$$= e^{-(4 \cdot 10.9589 \cdot 10^{-6}) \cdot 14600} = e^{-(43.8356 \cdot 10^{-6}) \cdot 14600} = 0.5273$$

و تكون وثوقية مجموعات المدخرات التفرعية:

$$R_{B,T} = 1 - \prod_{i=1}^n Q_i = 1 - \prod_{i=1}^2 (1 - R_i)$$

$$= 1 - (1 - 0.5273)(1 - 0.5273)(1 - 0.5273)(1 - 0.5273) = 0.95007$$

- وثوقية الانفرتر:

$$R_{inverter}(t = 43800hr) = e^{-(12.8928 \cdot 10^{-6}) \cdot 43800} = 0.568528$$

وتكون وثوقية نظام الطاقة الكهروضمسي:

$$R_{Solar}(t) = 1 - \prod_{i=1}^n Q_i = 1 - \prod_{i=1}^2 (1 - R_i)$$

$$= 1 - (1 - 0.99913)(1 - 0.95007)(1 - 0.568528) = 0.99982$$

بعد مضي 10 سنوات من عمر النظام يتم تبديل نظام التخزين والانفرتر وتحسب الوثوقية على عمر 5 سنوات لنظام

التخزين و 15 سنة للألواح و 5 سنوات للانفرتر كما يلي:

- وثوقية الألواح الشمسية عند 15 سنة حتى تجديد نظام التخزين:

وثوقية الالواح التسلسلية:

$$R_{Panel}(t = 43800hr) = R_1 \times R_2 = e^{-\lambda_1 t} \times e^{-\lambda_2 t} = e^{-(\lambda_1 + \lambda_2) \cdot t} =$$

$$e^{-(6.4464 \cdot 10^{-6}) \cdot 43800} = 0.754008$$

وثوقية مجموعات الالواح التفرعية:

$$R_{Panel,T} = 1 - \prod_{i=1}^n Q_i = 1 - \prod_{i=1}^2 (1 - R_i)$$

$$= 1 - (1 - 0.754008)(1 - 0.754008)(1 - 0.754008)(1 - 0.754008)$$

$$= 0.99634$$

- وثوقية نظام التخزين:

$$R_B(t = 14600hr) = R_1 \times R_2 \times R_3 \times R_4 = e^{-(\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3 + \lambda_4) \cdot t}$$

$$= e^{-(4 \cdot 10.9589 \cdot 10^{-6}) \cdot 14600} = e^{-(43.8356 \cdot 10^{-6}) \cdot 14600} = 0.5273$$

و تكون وثوقية مجموعات المدخرات التفرعية:

$$R_{B,T} = 1 - \prod_{i=1}^n Q_i = 1 - \prod_{i=1}^2 (1 - R_i)$$

$$= 1 - (1 - 0.5273)(1 - 0.5273)(1 - 0.5273)(1 - 0.5273) = 0.95007$$

- وثوقية الانفرتر:

$$R_{inverter}(t = 21900\text{hr}) = e^{-(12.8928 \cdot 10^{-6}) \cdot 21900} = 0.754007$$

وتحسب وثوقية نظام الطاقة الكهروضوئية:

$$R_{Solar}(t) = 1 - \prod_{i=1}^n Q_i = 1 - \prod_{i=1}^2 (1 - R_i) \\ = 1 - (1 - 0.99634)(1 - 0.95007)(1 - 0.754007) = 0.999955$$

بعد مضي 15 سنة من عمر النظام يتم تبديل نظام التخزين وتحسب الوثوقية على عمر 5 سنوات لنظام التخزين و 20 سنة للألواح و 10 سنوات للانفرتر كما يلي:

- وثوقية الألواح الشمسية عند 20 سنة حتى تجديد نظام التخزين:  
وثوقية الألواح التسلسلية:

$$R_{Panel}(t = 58400\text{hr}) = R_1 \times R_2 = e^{-\lambda_1 t} \times e^{-\lambda_2 t} = e^{-(\lambda_1 + \lambda_2) \cdot t} = e^{-(6.4464 \cdot 10^{-6}) \cdot 58400} \\ = 0.6862798$$

وثوقية مجموعات الألواح التفرعية:

$$R_{Panel,T} = 1 - \prod_{i=1}^n Q_i = 1 - \prod_{i=1}^2 (1 - R_i) \\ = 1 - (1 - 0.6862798)(1 - 0.6862798)(1 - 0.6862798)(1 - 0.6862798) \\ = 0.99031$$

- وثوقية نظام التخزين:

$$R_B(t = 14600\text{hr}) = R_1 \times R_2 \times R_3 \times R_4 = e^{-(\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3 + \lambda_4) \cdot t} \\ = e^{-(4 \cdot 10.9589 \cdot 10^{-6}) \cdot 14600} = e^{-(43.8356 \cdot 10^{-6}) \cdot 14600} = 0.5273$$

و تكون وثوقية مجموعات المدخرات التفرعية:

$$R_{B,T} = 1 - \prod_{i=1}^n Q_i = 1 - \prod_{i=1}^2 (1 - R_i) \\ = 1 - (1 - 0.5273)(1 - 0.5273)(1 - 0.5273)(1 - 0.5273) = 0.95007$$

- وثوقية الانفرتر:

$$R_{inverter}(t = 43800\text{hr}) = e^{-(12.8928 \cdot 10^{-6}) \cdot 43800} = 0.568528$$

وتكون وثوقية نظام الطاقة الكهروضوئية:

$$R_{Solar}(t) = 1 - \prod_{i=1}^n Q_i = 1 - \prod_{i=1}^2 (1 - R_i) \\ = 1 - (1 - 0.99031)(1 - 0.95007)(1 - 0.568528) = 0.99979$$

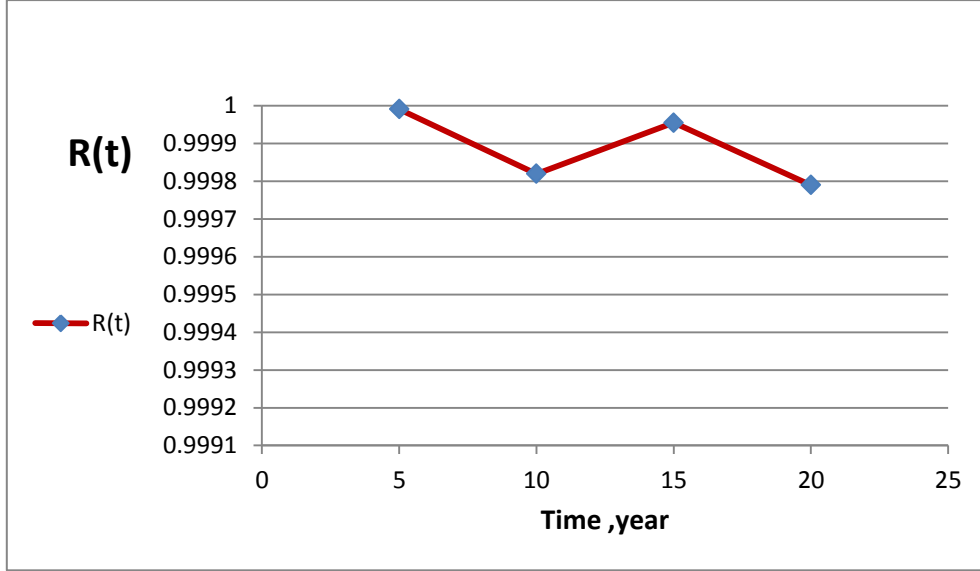
يبين الجدول (3) قيم وثوقية النظام الكهروضوئية المصمم، خلال العمر الاستثماري 20 سنة.

الجدول (3) قيم وثوقية نظام PV، وفق العمر الافتراضي للنظام.

الزمن (سنة)	النظام	الشمسي	الشمسي	الشمسي	الشمسي
20	15	10	5	0.99979	0.999955
				0.99982	0.999991



من الجدول السابق نلاحظ وبنتيجة اجراء عمليات الصيانة الدورية يبقى النظام محافظاً على قيمة وثوقية عالية خلال فترة الاستثمار. حيث نلاحظ من منحنى الوثوقية في الشكل (11) زيادة قيمة الوثوقية بعد اجراء عمليات تبديل بعض العناصر بعد انتهاء العمر الافتراضي لها وفق جدول الصيانة الدورية للنظام.



الشكل (11) منحنى الوثوقية للنظام الكهروضمسي المصمم خلال فترة الاستثمار.

### الاستنتاجات والتوصيات:

#### الاستنتاجات:

- 1- تم تقديم منهجية وطريقة عملية وحاسوبية مفصلة لتصميم ومحاكاة نظام PV مستقل باستخدام برنامج PVSyst، الذي يتمتع بالمرونة في الحصول على النتائج وصولاً إلى التصميم الأمثل للنظام وهذا لا يمكن انجازه بطريقة الحسابات اليدوية البسيطة. و كذلك يتيح إدخال بيانات الطقس المقاسة للمواقع وغير المدرجة في البرنامج بشكل يدوي.
- 2- مع الحفاظ على الحمل الثابت للنظام خلال الأشهر الممطرة، يكون معدل الأداء للنظام على مدار العام 0.45، والكسر الشمسي ثابت 1.00 وهو مثالي للتصميم.
- 3- من خلال البرنامج بينت نتائج المحاكاة انه يتم تحقيق أقصى قدر من الإشعاع الشمسي في الموقع المدروس بزواوية ميل تبلغ  $30^\circ$  والتي تعادل تقريباً خط عرض ذلك الموقع.
- 4- لتلبية متطلبات الطاقة للحمل من نظام PV ذو جدوى اقتصادية تم اختيار 8 ألواح استطاعة كل منها 545W، و 12 مدخرة سعة كل منها 200AH كنظام تخزين يؤمن تغذية ذاتية للحمل على مدى 2.2 يوم، ومبدل (انفرتر) باستطاعة 5.5KW.
- 5- بلغت وثوقية النظام الكهروضمسي المصمم بعد الالتزام بعمليات الصيانة الدورية للنظام خلال العمر الاستثماري 0.99979.

#### التوصيات:

يوصى باستخدام نظم الطاقة الكهروضمسية للتغذية بالطاقة الكهربائية في الوحدات السكنية والمنشآت الحكومية لما لها من آثار ايجابية من الناحية البيئية، والوثوقية العالية في تأمين الاحتياجات الطاقية، وذلك بعد إجراء التحليل الاقتصادي لبيان فعاليتها الاستثمارية في الموقع المدروس.

- 1- يوصى باستخدام برامج المحاكاة ومنها PVSyst في تصميم نظم PV لما لها من فائدة كبيرة في معرفة كمية الطاقة المتولدة والحجم المطلوب للنظام الكهروضوئي وكذلك تقدير أداء النظام.
- 2- يوصى بدراسة وثوقية النظم الكهروضوئية وفق طريقة تحليل شجرة الاعطال FTA، ومقارنة النتائج مع الطريقة الحسابية المتبعة في البحث.

### References:

- 1- P. Karki, B. Adhikary and K. Sherpa. *Comparative study of grid-tied photovoltaic (PV) system in Kathmandu and Berlin using PVsyst*. IEEE ICSET, 2012, Nepal.
- 2- S. Silvestre, *Review of System Design and Sizing Tools. Practical Handbook of Photovoltaics: Fundamentals and Applications*, 2003, Oxford.
- 3- F. Hernández and M. Hernández-Campos, *The Development of the Renewable Energy Technologies in Spain, Smart Grid and Renewable Energy*, 2011, Vol. 2, No.2, pp.110-15.
- 4- Frederik H. S, Paulus M. & Damis H. *Design PV Standalone System in Electrical Engineering Laboratory of Musamus University Using PVSyst 6.7.0 PRO30*. ICST Journal, 2019.
- 5- S. Amstrong, M.E. Glavin and W.G. Hurley, *Comparison battery charging algorithms for stand-alone photovoltaic system*. IEEE, 2008.
- 6- Leonics. *How to Design Solar PV System*. Retrieved October 3 from: [www.leonics.com/support/article2\\_12j/articles2\\_12j\\_en.php](http://www.leonics.com/support/article2_12j/articles2_12j_en.php), 2014.
- 7- Prabhakar V. Varde, Raghu V. Prakash, Gopika Vinod, *Reliability, Safety and Hazard Assessment for Risk-Based Technologies*. Proceedings of ICRESH 2019.
- 8- Eduardo A. Sarquis Filho, Andrés A. Zúñiga, João F. P. Fernandes, Paulo J. Costa Branco, *Failure Rates in Photovoltaic Systems: A Careful Selection of Quantitative Data Available in the Literature*, IDMEC, Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa, Av. Rovisco Pais, 1049-001 Lisboa, Portugal, 2020.
- 9- Baoping Cai, Yonghong Liu, Yunpeng Ma, Lei Huang, Zengkai Liu, *A framework for the reliability evaluation of grid-connected photovoltaic systems in the presence of intermittent faults*, ScienceDirect, 2015.
- 10- Dimitri B. Kececioglu, Ph.D, P.E. *Reliability Engineering Handbook*, Vol 2. 2002.