مجلة جامعة طرطوس للبحوث والدراسات العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (٨) العدد (٧) ٢٠٢٤
Tartous University Journal for Research and Scientific Studies - engineering Sciences Series Vol. (8) No. (7) 2024

دراسة وتحليل اقتصادي لنظام كهروشمسي مستقل لتغذية معمل تعبئة المياه المعدنية في الدريكيش بالطاقة الكهربائية

باسل حامد محمد*

(تاريخ الإيداع ٢٠٢٤/٢/٨ . قُبِل للنشر في ٢٠٢٤/٧/٩)

□ ملخّص □

يُقدَّم هذا البحث دراسة حسابية لتحديد مُكوّنات نظام كهروشمسي مُستقِل عن الشبكة العامة، لتوفير الطاقة الكهربائية لمعمل المياه في منطقة الدريكيش، كما تمَّ اجراء حساب كلفة النظام الكهروشمسي، لتقييم الجدوى الاقتصادية،وبعدَ جمع المعلومات المطلوبة عن الموقع من مساحة متوفرة، ودرجات حرارة، وقيم الاشعاع الشمسي والطلب على الطاقة، تبيّن أن النظام الكهروشمسيالذي يُمكِن تركيبه عند اشعاع شمسي وسطي [kWh/m^2day] ٥ مُكوَّن من ١٢٨٦ لوح شمسي و١٠٦٨ مدخرة و ٤٠ انفرتر، حيث بلغَ الإنتاج الكلّي السّنوي المتوقع من النظام الكهروشمسي[MWh/Year]٩٣٣,٢٣، بنسبة إسهام ٥٩,٢٥٪ من الحمل الكهربائي الكلي لمعمل المياه.وَبَلغَت كلفة إنتاج الكيلو واط ساعي [$]٠,١٥،وكان زمن الاسترداد[year] ٩,٨، كما تمَّ إعداد برنامج حسابي باستخدام MATLAB وEXCEL يُمكّننا من الحصول على جميع المعلومات السابقة.

الكلمات المفتاحية:النظام الكهروشمسي– الطّاقة – معمل المياه–MATLAB - EXCEL.

*مهندس – قسم تقانات الطاقات المتجدّدة – كلية الهندسة التقنية – جامعة طرطوس– سوريا

مجلة جامعة طرطوس للبحوث والدراسات العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (٨) العدد (٧) ٢٠٢٤
Tartous University Journal for Research and Scientific Studies - engineering Sciences Series Vol. (8) No. (7) 2024

Economic study and analysis of an off grid PV system to provide electricity to the mineral water bottling factory in Dreikish

Basel Hamed Mohammad *

(Received 8/2/2024 . Accepted 9/7/2024)

□ ABSTRACT □

This research presents a computational study to determine the components of a photovoltaic station independent of the public grid, to provide electrical energy to the water factory in the Dreikish area.Acost calculation of the station was also carried out to evaluate the economic feasibility, and after collecting the required information about the site, including available space, temperatures, solar radiation values, and energy demand,it turns out that the photovoltaic station, which can be installed at an average solar radiation of 5 [kWh/m^{2}day], consists of ١٢٨٦ solar panels, ١٠٦٨batteries, and ٤٠ inverters.The expected total annual production from the photovoltaic station reached ٩٣٣,٢٣ [MWh/year], with a contribution of ٥٩,٢٥% of the total electrical load of the water factory.The cost of producing a kWh was 0.15 [$], and the amortization time was 9.8 [year].A calculation program was also prepared using MATLAB and EXCEL through which we can obtain all the previous information.

Key words:solar power-energy-water factory – EXCEL-MATLAB.

*Engineer - Department of Renewable Energy Technologies, Faculty of Technical Engineering - Tartous University - Syria

١-مقدّمة:

يعتمد تقدّم أي بلد على توفير الطّاقة بشكلٍ كافٍ، ومع تزايد الطّلب على الطّاقة في كلّ أنحاء العالم، ونتيجة الظروف الحاليّة لبلدنا والحصار الاقتصادي المطبّق عليه، نجد أنّ الطّاقة الكهربائيّة لا تكفي لتلبية الاحتياجات المتعدّدة، مما أدّى إلى زيادة ساعات التّقنين مما أدى إلى نقص إنتاج المعامل والمصانع، إضافةً إلى احتماليّة قلة ونفاذ الوقود الأحفوري، وما يسبّبه من أخطار كتلوّث للبيئة واحتباس حراري إلى ما هنالك،حيث أنّ زيادة استهلاك الوقود الأحفوري سيقابله من جهة أخرى نقصان في حجم احتياطاته المتوافرة،كل هذه الظّروف تدعونا إلى التفكير جدّيّاً لإيجاد بدائل عن المحطّات التّقليديّة، ومنها المولّدات الّتي تستخدم كمصدر للطاقة ولكن تحتاج إلى تكلفة كبيرة إذا كانت تعمل على مدار اليوم بسبب استهلاك كميات كبيرة من الوقود، وفي الوقت الحالي تزايد الوعي لجهة استخدام الطّاقات المتجدّدة كونها إحدى الإمكانيات المتاحة ليس في الوقت الحالي فحسب، وإنّما في المستقبل أيضاً[١].

ولأنّ الجمهوريّة العربيّة السّوريّة تتمتع بإشعاع شمسي عال على مدار العام لا سيّما في السّاحل السّوري، وانطلاقاً من عدة دراسات مرجعية منها:

قام الباحث (Abd El-Shafy A.Nafeh) في بحثه بعنوان "**تصميم وتحليل اقتصادي لنظام كهروشمسي مستقل لتأمين الكهرباء للمنازل النّائية في مصر**"المنشور في مجلّة الطّاقات المتجدّدة [٢] بدراسة التّصميم الكامل للنظام الكهروشمسي، وقام بإجراء تحليل تكلفة دورة الحياة لتقييم الجدوى الاقتصادية للنظاموشجعت النتائج على استخدام الأنظمة الكهروشمسية للمناطق النائية والأحمال ذات الاستطاعات الأعلى.

كما قام الباحثون (SALEH, HARUNA, ONUIGBO) في بحثهم بعنوان " **تصميم نظام طاقة كهروشمسيّة مستقل لمختبر مراقبة الأوزون في أنيجبا شمال وسط نيجيريا**" المنشور فيالمجلّة الدولية للعلوم الهندسية والتكنولوجيا المبتكرة[٣] بدراسة تحديد المكوّنات المستخدمة في النظام الكهروشمسي وفقاً لمتطلّبات الحمل، وحالة الطقس والإشعاعالشمسيّ، كما قاموا بتقدير التحليل التفصيلي للتكلفة وتركيب النظام الكهروشمسي، ودلّت النّتائج على أنّ الاستثمار الأوليّ مرتفع، ولكن في غضون سنواتٍ قليلة سيحقّق أرباحاً كبيرة. حيث إنّ فترة الاسترداد أقلّ من ١٠ سنوات، في حين متوسّط العمر المتوقّع للنظام الكهروشمسيّ٢٠ سنة، بالإضافة إلى أنّه مصدرُ طاقةٍ فعّال وخالٍ من الانبعاثات البيئية.

قام الباحثون (علي نجاح الشاماني، محمد يوسف حاج عثمان، وآخرون) في بحثهم بعنوان **(تصميم واختيار أنظمة الطّاقةالشمسيّة المستقلّة لمنزل في العراق)**[٤] بدراسة تصميم واختيار وحساب عناصر النّظام الكهروشمسي اعتماداً على مجموعةٍ متنوعة من العوامل مثل الموقع الجغرافي، الإشعاعالشمسيّ، ومتطلّبات الحمل. ودلّت النتائج على أنّ نظامالطّاقة الكهروشمسي موثوقٌ واقتصاديّ، ويمكن تعميم طريقة التّصميم على التطبيقات التي تستهلاك طاقة أكبر لأنّه تمّ الأخذ بالحسبان عوامل تأمين استمرار التّغذية بالطّاقة الكهربائيّة من النظام الكهروشمسيّ المستقل كافّة.

قام الباحثون (Ali Najah ،Kamanuzzaman Bin Sopian،M.H.Ruslan،Abdelnaser Elbreki Al-Shamani) في بحثهم بعنوان **(تصميم نظام كهروشمسي مستقل لبيت زجاجي في مدينة سبها في ليبيا)** المنشور في المؤتمر الدولي الثالث للتكنولوجيا والعلوم الهندسية في إندونيسيا [٥] بدراسة تصميم نظام كهروشمسي

مستقلّ لبيتٍ زجاجي في المناطق الصحراوية النّائية، وكان الحمل مقدّراً ب [kWh/day]٦١,٨٩٤، وقام بتحديد حجم كلّ مكونٍ من مكوّنات النظام، بالإضافة إلى كلفة كلّ مكون، ومن ثمّ تقدير الكلفة الإجمالية. ودلّت النّتائج على أنّ عدد الألواح المطلوبة ٨٦ بكلفة [$]١٠٣٢٠، وعدد البطّاريات١٦ بكلفة [$]٢٦٤٠، والاستطاعة المطلوبة من الانفرتر[KVA]١٨,٩٢ بكلفة [$]٢٢٠٠. وكان الاستنتاج الأكثر أهميّة أنّ تكلفة المولّدات الّتي تعمل بالدّيزل مرتفعة في حال توفّر الوقود، كما أنّ توسيع الشبكة غير مُجدٍ اقتصادياً للمواقع البعيدة عنها، وبالتّالي يكون النظام الكهروشمسيّ منافساً مقارنةً بالمنشآت التي تعمل بالدّيزل.

قام الباحثان (Ani Emmanuel Onyeka، Nsukka ،EnuguCampus)في بحثهما**(تحليل الجدوى من محطّة مستقلة كهرومائيّة \ كهروشمسيّة مرتبطة بالشبكة الكهربائية)** المنشور في المجلّة الإلكترونيّة للطّاقة والبيئة[١]بدراسة جدوى محطّة كهروشمسيّة \ كهرومائيّة تغذّي المرافق الخدمية في الأرياف (مثل: خدمات تكنولوجيا المعلومات والاتصالات، والخدمات المصرفية، والمستشفيات، وضخّ المياه) ومقارنتها مع محطّة تعمل بمولّدات الدّيزل. ودلّت النتائج علىأنّ نظام الطّاقة الكهروشمسيّة \ الكهرومائيّة موثوق وأقلّ كلفةً من نظام الدّيزل، بالإضافة إلى أنّه صديق للبيئة، وكانت نسبة إسهامالطّاقةالشمسيّة١٨٪ ونسبة إسهامالطّاقة الكهرومائيّة ٨٢٪.

انطلاقاً مما سبق وقع الاختيار على معمل المياه في منطقة الدّريكيش لدراسة إمكانية تركيبنظام كهروشمسي من خلال استغلال المساحات المتوفرة على أسطح المعمل ومن ثم حساب كلفة النظام وزمن الاسترداد.

٢- مشكلة البحث وأهميّته:

- التقنين في التغذية الكهربائية نتيجة الحصار الاقتصادي المطبق على بلدنا.
- ارتفاع أسعار الوقود الأحفوري بالإضافة إلى عدم توفره.
- مشكلة التوليد والتّوزيع بالإضافة إلى الكلف المرتفعة لمدّ الشّبكة الكهربائيّة إلى الأرياف.

وتأتي أهميّة البحث في تأمين الطّاقة الكهربائيّةمن مصادر الطّاقات المتجدّدة لمعمل المياه.

٣- أهداف البحث:

- تحديد مكونات النظام الكهروشمسي تبعاً للمساحة المتوفرة في المعمل.
- تحديد كمية الطّاقة الّتي يمكن إنتاجها من النظام الكهروشمسي في كل شهر وبشكل وسطي سنوياً.
- تحديد نسبة إسهام النظام الكهروشمسي في تأمين الطاقة الكهربائية المطلوبة لمعمل المياه.
- دراسة الجدوى الاقتصادية للنظامالكهروشمسي.
- إدخال المعادلات المطلوبة للأهداف السابقة إلى برنامجMATAB وEXCELللحصول على النتائج.

٤- مواد وطرائق البحث:

يعتمد البحث على الأسلوب النّظري الوصفي الّذي يستند إلى جمع المعلومات المطلوبة عن الموقع، ثمّ يستكمل ذلك بطريقة الوصف التّحليلي باستخدامالمعادلات الحسابية المناسبة ومن ثم إدخال المعادلات المطلوبة إلى برنامج MATABوEXCEL،اللذين يساعدان في الوصول إلى الهدف المطلوب من البحث.

٤-١- مواد البحث:

٤-١-١- موقع المشروع:

يقع معمل تعبئة المياه المعدنية في الدريكيش على بعد [km]٣ من مدينة الدّريكيش في منطقة الجبال السّاحلية في سوريا على مسافة [Km] ٣٠ من طرطوس.حيث تتميز مدينة الدّريكيش الّتي تقععلى خط العرض ٣٦,٧٦ "E" وخط الطول "N" ٣٤,٥٦ بطبيعة خلابة وبمناخ جميل معتدل صيفاً بارد شتاءً، وبعد جمع المعلومات المطلوبة عن المعمل تبين وجود صالة الإنتاج ومبنى الإدارة ومستودعات بمساحة اجماليةتبلغ حوالي[m^2]٧٠٠٠ ويبين الشكل (١) موقع المشروع.

الشكل (١): موقع المشروع.

٤-١-٢- المعطيات المناخية لموقع المشروع والطلب على الطاقة:

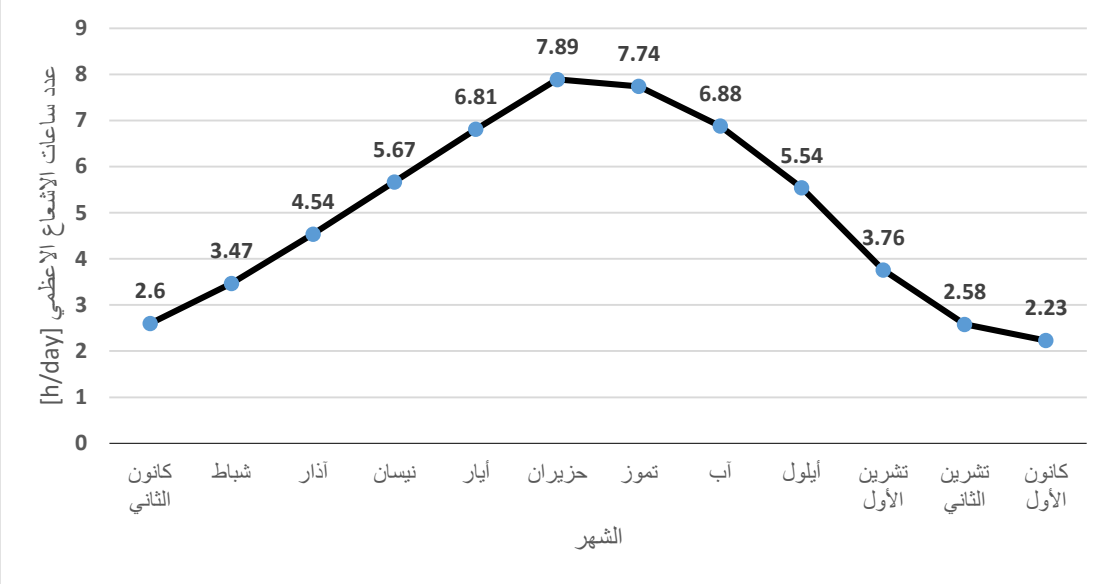
٤-١-٢-١- معطيات درجة الحرارة:

تمّ الحصول على بيانات درجة الحرارة من محطة الرصد الجوّي في محافظة طرطوس،وكان المتوسط السنوي لدرجة الحرارة الصغرى في منطقة الدريكيش [C^o]١٣,٤، والمتوسط السنوي لدرجة الحرارة الكبرى [C^o]٢١,٩، وبتحليل هذه النّتيجة نجد بأنّ درجات الحرارة ليست عالية ومن الممكن إهمال تأثيرها على الألواح الشمسيّة.

٤-١-٢-٢-بيانات الإشعاع الشمسي:

يتم تحديد عدد ساعات الإشعاع الشمسي الأعظمي خلال اليوم بناءً على موقع المشروع، ويتم الحصول على هذه القيم بواسطة القياس بأجهزة معينة أو بالرجوع إلى مراكز الأبحاثالعلمية، وفي دراستنا هذه تمّ الحصول علىمعظم

القيم من موقع ناسا NASA. حيث تعبّر قيم الإشعاع الشمسي عن المتوسط في٢٢ سنة ويوضح الشكل (٢) متوسّط عدد ساعات الإشعاع الشمسي الاعظمي اليوميفي كل شهر في منطقة الدريكيش[h/day].



الشكل(٢): متوسّط عدد ساعات الإشعاع الشمسي الاعظمي اليوميفي كل شهر في منطقة الدريكيش

٤-١-٢-٣- الطلب على الطاقة في معمل المياه:

تم جمع المعلومات المطلوبة عن استهلاك المعمل من الطاقة خلال كل شهر من شركة كهرباء الدريكيش، وتبين لنا وجود محولة خاصة لتأمين الطاقة الكهربائية للمعمل باستطاعة ظاهرية [kVA]١٠٠٠، وبمعامل استطاعة ٩٧٪، حيث يوضح الجدول (١) الاستهلاكات الفعلية للمعمل خلال كل شهر.

الجدول(١): الطلب على الطاقة في معمل المياه.

الشهر	كانون الأول	شباط	آذار	نيسان	أيار	حزيران	الاستهلاك السنوي [MWh/year]
الاستهلاك [MWh/month]	125.28	133.52	134.64	142.24	134.88	113.20	
الشهر	تموز	آب	أيلول	تشرين الأول	تشرين الثاني	كانون الثاني	1575.08
الاستهلاك [MWh/month]	133.68	133.12	127.20	124.40	119.76	153.16	

٤-٢- طرائق البحث:

٤-٢-١- تحديد مصفوفة الألواح الشمسيّة:

سنقوم في هذا البحث بتحديدمصفوفة الألواح الشمسيّة، انطلاقاً من المساحة المتوفرة وبناءً على متوسط الاشعاع الشمسي في اليوم[h/day] T_{min}=5، وليس من استهلاك المعمل للطاقة الكهربائية لأنه في المنشآت الضخمة التي تتطلب كمية كبيرة من الطاقة الكهربائية لا تستطيع الأنظمة الكهروشمسية تغطية كامل الاستهلاك وإنما تساهم في نسبة منه، لذلك سنقوم بحساب عدد الألواح الممكن تركيبها في مساحة[m^2]٦٠٠٠من مساحة الأسطح المتوفرةوذلك من أجل ترك مساحة[m^2]١٠٠٠للاستفادة منها في أغراض أخرى ومن ثم سيتم تحديد نسبة مساهمة النظام الكهروشمسي في تلبية الطلب على الطاقة للمعمل في كل شهر. كما سنناقش النتائج لوتم استغلال كامل المساحةوهي [m^2]٧٠٠٠ .يتضمن الجدول (٢) معطيات لوح شمسي متداول حالياً في السوق المحلية ويناسب من حيث الاستطاعة للاستخدام في هذا المشروع.

الجدول(٢): مواصفاتالألواح الشمسيّة المتوفرة في السوق.

Moudel: LONGI SKT-530~550 M10-144HB (MonoCrystalline)	
الاستطاعة العظمى:P_{max}	550 [W]
جهد الدارة المفتوحة:V_{OC}	49.9 [V]
تيار الدارة القصيرة:I_{SC}	14 [A]
الجهد عند نقطة الاستطاعة العظمى: V_{mpp}	41.96 [V]
التيار عند نقطة الاستطاعة العظمى:I_{mpp}	13 [A]
المساحة:A	2.285*1.134=2.591 [m^2]

سنقوم بتحديد مصفوفة الألواح الشمسيّة من خلال المعادلات الموضحة في الجدول(٣)[٣,٤,٥,٦].

الجدول(٣): المعادلات الحسابية لتحديد مصفوفة الألواح الشمسية.

المسافة بين صفوف الالواح لمنع التظليل الذاتي (d)	$d = l \times cos\beta + (\frac{l \times sin\beta}{\tan\gamma_s}) \times \cos(١٨٠ - \omega_s)\ [m]$ (١) $d = ٢.٢٨٥ \times cos45 + (\frac{٢.٢٨٥ \times sin45}{\tan26}) \times \cos(١٨٠ - ١٤٠) = ٣.٧٧\ [m]$
عدد الألواح الكلي مع مراعاة منع التظليل الذاتي (N_m)	$N_m = \frac{A}{١.٨ . A_١}\ \ [Panel]$ (٢) $N_m = \frac{٦٠٠٠}{١.٨ . ٢.٩٥١} = ١٢٨٦\ \ [Panel]$
	$N_s = \frac{V_{DCP}}{Vmpp}[Panel]$ (٣)

عدد الألواح على التسلسل (N_s):	$N_s = \frac{٢٤٠}{٤١.٩٦} = ٦\ [Panel]$
عدد مجموعات الألواح على التفرّع (N_p):	$N_p = \frac{N}{N_s}[\text{Panel}](٤)$ $N_p = \frac{١٢٨٦}{٦} = ٢١٥\ [\text{Panel}]$
التّيار الكلي الناتج من الألواح (I_{tot}):	$I_{tot} = N_p \times I_{mpp}[A](٥)$ $I_{tot} = ٢١٥ \times ١٣ = ٢٨١٨.٦٥\ [A]$

حيث أن:L: طول اللوح الشمسي [m] و γ_s: زاوية الشمس في طرطوس بحدود ٢٦° و ω_s: زاوية ميل الشمس ناحية الشرق أو الغرب سواء في بداية النهار أو آخره وتكون متطابقة في الحالتين ١٤٠° وβ: زاوية ميل اللوح مع الأفق وA: المساحة الكلية المتوفرة[m^2] وA_1: مساحة اللّوح الواحد[m^2] و١,٨ : عامل يأخذ بالاعتبار تجنب التّظليل الذاتي للألواحوV_{DCP}: الجهد المستمر المسموح به لتوصيل الالواح مع كل انفرتر (تحدد هذه القيمة اعتمادا على مجال جهد دخل الانفرتر المسموح به وهو ٤٥٠ – ١٥٠،في حالتنا سنقوم بالحسابات عند [V]٢٤٠).

٤-٢-٢-تحديد صف بطاريات التّخزين:

نحتاج لتخزين الطاقة من أجل تأمين التغذية الكهربائيّة في الأيام الغائمة أو أثناء اللّيل. حيث أنّ نظام التّخزين سيكون مكوناً من بطاريات خاصة لتطبيقات النّظم الشمسيّة والّتي تمتلك المواصفات التالية:

الجدول(٤): مواصفات البطاريات المستخدمة في الدراسة.

بطاريات أنبوبية نوع CLORY ASIT 12-250.	
جهد المدّخرة	$V_b = ١٢\ [V]$
سعة المدّخرة	$C_b = ٢٥٠\ [Ah]$
عمق التفريغ	$DOD = ٨٠٪$
العمر الاستثماري	$5\ [year]$

ويمكننا تحديد صف البطاريات المطلوب اعتماداً على المعادلات الموضحة في الجدول (٥)[٤,٥,١,٨].

الجدول(٥): المعادلات الحسابية لتحديد صف بطاريات التخزين.

الطاقة المطلوب تخزينها (E_{rough})	$E_{rough} = E \times D \quad [kWh] \quad (٦)$ $E_{rough} = ٢٥٥٦.٧٨٢ \times ١ = ٢٥٥٦.٧٨٢ \quad [kWh]$
الطاقة المطلوب تخزينها مع الأخذ بعين الاعتبار عمق التفريغ للمدخرة (E_{safte})	$E_{safte} = \frac{E_{rough}}{DOD}[kWh](٧)$ $E_{safte} = \frac{٢٥٥٦.٧٨}{٠.٨} = ٣١٩٥.٩٨ \quad [kWh]$
السعة الكلية المطلوبة لنظام التّخزين (C)	$C = \frac{E_{safe}}{V_b}[Ah](٨)$ $C = \frac{٣١٩٥.٩٨ \times ١٠^٣}{١٢} = ٢٦٦٣٣١.٤٧ \quad [Ah]$

العدد الكلي للبطاريات (N_{Btot})	$N_{Btot} = \frac{C}{C_b}[Batteries](٩)$ $N_{Btot} = \frac{٢٦٦٣٣١.٤٧}{٢٥٠} = ١٠٦٦\ [Batteries]$
عدد البطاريات الموصولة على التسلسل (N_{Bs})	$N_{Bs} = \frac{V_{DCB}}{V_b}[Batteries](١٠)$ $N_{Bs} = \frac{٤٨}{١٢} = ٤\ [Batteries]$
عدد مجموعات البطاريات الموصولة على التّوازي (N_{Bp})	$N_{Bp} = \frac{N_{batteries}}{N_s}[Batteries](١١)$ $N_{Bp} = \frac{١٠٦٦}{٤} = ٢٦٧\ [Batteries]$
عدد البطاريات المطلوبة بعد التّصحيح (N_{Btot})	$N_{Btot} = N_{Bs} \times N_{Bp}[Batteries](١٢)$ $N_{Btot} = ٤ \times ٢٦٧ = ١٠٦٨[Batteries]$

حيث إن: E: الطاقة المطلوب تخزينها في البطاريات[kWh] وD: عدد أيام الاعتماد على البطاريات (في دراستنا سنعتبره يوم واحد) وV_{DCB}: تحدد هذه القيمة اعتمادا على مجال جهد دخل الانفرتر المسموح به وهو ٦٠ – ٤٠، في حالتنا سنقوم بالحسابات عند [V]٤٨.

٤-٢-٣-تحديد الانفرترات:

يستخدم الانفرتر للتحويل من الطاقة المستمرة DC إلى الطاقة المتناوبة AC وسنستخدم في دراستنا الانفرتراتأحادية الطور ذات المواصفات المبينة في الجدول (٦):

الجدول (٦): مواصفات الانفرترات المستخدمة:

بيانات إدخال البطارية	
نطاق جهد البطارية [V]	40 - 60
تيار شحن الأعلى[A]	290
تيار التفريغ الأعلى [A]	290
بيانات إدخال مصفوفة الألواح الشمسية	
أقصى أستطاعة دخل DC[W]	20800
أقصى جهد دخل DC[V]	٥٠٠
جهد البدء DC[V]	١٢٥
نطاق الجهد MPPT (V)	150 - 425
تيار الدخلالاعظمي المسموح به [A]	79
تيار القصر الاعظمي المسموح به [A]	١٣٢
بيانات الادخال / الإخراج للتيار المتناوب AC	
الاستطاعة الحقيقية لإدخال/إخراج AC[W]	١٦٠٠٠

الاستطاعة الظاهرية القصوى [VA]	١٧٦٠٠
تيار الدخل والخرج الطبيعي [A]	72.7 / 69.6
تيار الدخل والخرج الأقصى[A]	80 / 76.5
جهد الخرج [V]	220 - 230
يتضمّن الانفرتر منظّم شحن ويتضمن ملاحقة نقطة الاستطاعة العظمى بخوارزمية MPPT وهو يقوم بشحن البطاريات من الألواح عند وجود فائض في الطاقة النّاتجة وعندما لا تتوفر يمكن شحن البطاريات من الشّبكة ويتم ذلك بشكل اوتوماتيكي.	

وسنقوم بتحديد الانفرترات المطلوبة للمحطة اعتماداً على المعادلات الموضحة في الجدول[٣,٥,٧,٨](٧):

الجدول(٧): المعادلات الحسابية لتحديد الانفرترات المطلوبة.

الاستطاعة الكليّة للانفرتر $(P_{inv_{tot}})$	$P_{inv_{tot}} = K \cdot P_{tot}[kW]$ (١٣) $P_{inv_{tot}}$ ١.٢٥ × ٥١١.٣٥ = ٦٣٩.٢٠[kW]
عدد الانفرترات المطلوبة (N_{inv})	$N_{inv} = \frac{P_{inv_{tot}}}{P_{inv}}$ [Inverter](١٤) $N_{inv} = \frac{٦٣٩.٢٠}{١٦} = ٤٠$ [Inverter]
الاستطاعة الظاهرية للانفرترات (S_{inv})	$S_{inv} = \frac{P_{inv_tot}}{P_F}$ [KVA](١٥) $S_{inv} = \frac{٦٣٩.٢٠}{٠.٩} = ٧١٠.٢٢$ [KVA]
التّيار الكلي لدخل الانفرترات (I_{inv}):	$I_{inv} = \frac{S_{inv}}{V_{DCp} \times \eta_{inv}}$ [A](١٦) $I_{inv} = \frac{٧١٠.٢٢}{٢٤٠ \times ٠.٩٧} = ٣٠٥٠.٧٦$ [A]
عدد مجموعات الألواح الأدنى الّتي يمكن وصلها مع كل انفرتر (N_{GP}):	$N_{GP} = \frac{N_P}{N_{inv}}$ [package] (١٧) $N_{GP} = \frac{٢١٥}{٤٠} = ٦$ [package]
عدد مجموعات البطاريات الأدنى الّتي يمكن وصلها مع كل انفرتر (N_{GB}):	$N_{GB} = \frac{٢٦٧}{٤٠}$ [package](١٨) $N_{GB} = \frac{٢٦٧}{٤٠} = ٧$ [package]
كما يتم معرفة عدد الألواح والبطاريات على التسلسل التي يمكن وصلها مع كل الانفرتر من خلال المعادلتين (٢) و (٩)لأنه تم تحديد عدد الالواح والبطاريات على التسلسل اعتماداً على جهدالدخل المستمر المسموح به للانفرتر لكل من الألواح والبطاريات وعدد مجموعات الألواح والبطاريات المحسوبة في المعادلتين (١٧) و (١٨) تأخذ بعين الاعتبار تيار الدخل المسموح به لكل انفرتر، بحيث يجب أن نبقى ضمن المجالات المسموح بها لدخل الانفرتر من حيث الجهد والتيار (وذلك موضح في فقرة دارة التوصيل للنظام الكهروشمسي).	

حيث أن: P_{tot}: الاستطاعة الكليّة للأحمال[kW]،K: عامل أمان يأخذ بعين الاعتبار توسع مقبول للنظام ويقدر بحوالي٢٥٪عند الحساب،P_F: عامل الاستطاعة وتبلغ قيمته ٠,٩ ، η_{inv}: مردود الانفرتر ٠,٩٧.

٤-٢-٣-تحديد نواقل النظام:

تقسم نواقل النظامالكهروشمسي إلى قسمين ويتم حساب مساحة مقطع كل منها كما هوموضح في الجدول(٨)[٨]:

الجدول(٨): المعادلات الحسابية لتحديد نواقل النظام.

القسم الأول: الناقل الذي يربط مصفوفة الألواح مع نظام التخزين عبرالانفرتر الواحد	
هبوط الجهد المسموح به ($V_{Drob_{DC}}$):	$V_{Drob_{DC}} = V_{mpp} \times ٥\%$ (١٩) $= ٤١.٩٦ \times \frac{٥}{١٠٠} = ٢.٠٩$
التيار المار بالناقل ($I_{DC_{cable}}$)	$I_{DC_{cable}} = I_{rcc} = I_{sc} \times N_P \times F_{safe}$ (٢٠) $= ١٤ \times ٦ \times ١.٢٥ = ١٠٥[A]$
مساحة مقطع الناقل($A_{DC_{cable}}$):	$A_{DC_{cable}} = \frac{٢ \times L_{DC_{cable}} \times I_{DC_{cable}} \times \rho}{V_{Drob_{DC}}}$ (٢١) $= \frac{٢ \times ٣٠ \times ١٠٥ \times ٠.٠١٨٣}{٢.٠٩} = ٥٥.١٦[mm^٢]$
القسم الثاني: الناقل الذي يربط الانفرتر مع نظام التخزين	
التيار المار فيه (I_{inv})	$I_{inv} = \frac{S_{inv}}{V_{DC} \times \eta_{inv}}$ (٢٢) $I_{inv} = \frac{١٧٧٧٧}{٤٨ \times ٠.٩٧} = ٣٨١.٨٠٨[A]$
هبوط الجهد على الناقل (V_D)	$V_D = V_{DC} \times ٥\%$ (٢٣) $= ٤٨ \times \frac{٥}{١٠٠} = ٢.٤[V]$
مساحة مقطع الناقل ($A_{inv_{cable}}$)	$A_{inv_{cable}} = \frac{٢ \times L_{inv_{cable}} \times I_{inv} \times \rho}{V_D}$ (٢٤) $= \frac{٢ \times ٣ \times ٣٨١.٨٠٨ \times ٠.٠١٨٣}{٢.٤}$ $= ١٧.٤٦[mm^٢]$

حيث أن: F_{safe}: عامل أمان يأخذ عادة ١,٢٥ و $L_{DCcable}$: طول الناقل ويحدد حسب الحاجة وp: المقاومة النوعية للناقل المستخدم $\Omega.m$ و $L_{inv\ cable}$: طول الناقل ويحدد حسب الحاجة.

٤-٢-٤-حساب كمية الطاقة الممكن إنتاجها من النظامالكهروشمسي:

يتم حساب الطاقة الممكن إنتاجها من النظام الكهروشمسي اعتماداً على المعادلات في الجدول (٩)[١]:

الجدول(٩): المعادلات الحسابية لتحديد كمية الطاقة الممكن انتاجها من النظام الكهروشمسي.

استطاعة النظام الكهروشمسي (P_{pv})	$P_{pv} = \eta_{pv} \times N_m \times V_{mpp} \times I_{mpp}[W]$ (٢٥) $P_{pv} = ٠.٧١٥ \times ١٢٨٦ \times ٤١.٩٦ \times ١٣ = ٥١١.٣٦\ [W]$
الطّاقة الكهروشمسيّة الممكن إنتاجها خلال شهر ($P_{pv_{Month}}$)	$P_{pv_{Month}} = \eta_{pv} \times N_m \times V_{mpp} \times I_{mpp} \times Y\ \left[\frac{Wh}{Month}\right]$ (٢٦) $P_{pv_{Month}} = ٠.٧١٥ \times ١٢٨٦ \times ٤١.٩٦ \times ١٣ \times ٣٠ \times ٢٤ = ٧٦.٧٠\ \left[\frac{MWh}{Month}\right]$
الطّاقة الكهروشمسيّة الممكن إنتاجها خلال سنة ($P_{pv_{Year}}$)	$P_{pv_{Year}} = \eta_{pv} \times N_m \times V_{mpp} \times I_{mpp} \times n\ \left[\frac{Wh}{Year}\right]$ (٢٧) $P_{pv_{Year}} = ٠.٧١٥ \times ١٢٨٦ \times ٤١.٩٦ \times ١٣ \times ٣٦٥ \times ٢٤ = ٩٣٣.٢٣\ \left[\frac{MWh}{Year}\right]$

حيث أن:η_{pv}: مردود النظام الكهروشمسيّ ويقدّر بحوالي ٧١,٥٪ حسب مواصفات التّجهيزات المتوفرة في السوق المحلية و N_m: عدد الألواح الكلي وn : عدد ساعات الإشعاع الشمسي في السّنة وY : عدد ساعات الإشعاع الشمسي خلال شهر.

٤-٢-٥-حساب كلفة النظام الكهروشمسي:

تتضمّن كلفة النظام الكهروشمسيّ المستقلّ ما يلي:

١- الكلفة الأوّلية للنظام (الكلفة الاستثمارية (رأس المال الموظف) وتشمل شراء الألواح، البطاريات، الانفرتر، النواقل وكلفة التركيب) وتعتبر مرتفعة.

٢- كلفة التشغيل والصيانة وهي منخفضة.

٣- كلفة الاستبدال (تشمل البطاريات خصوصاً).

ويوضح الجدول (١٠) بيانات الكلفة المستخدمة لجميع العناصر وقد تمّ الحصول عليها من السوق المحلية.

الجدول(١٠): كلفة العناصر المطلوبة في النظام الكهروشمسيّ حسب السوق المحلية.

التشغيل والصيانة	التّركيب	الكابلات	الانفرتر	البطارية	اللوح الشمسي مع قاعدته	المكون
٢٪ من كلفة الألواح الشمسية	١٠٪ من كلفة الألواح الشمسية	0.15[$/m.mm^2]	0.1[$/W]	1.6[$/Ah]	0.45[$/W]	التّكلفة

يعتبر العمر الافتراضي لجميع العناصر ٢٠ سنة باستثناء البطاريات الّتي عمرها ٥سنوات[٢] ، وبالتّالي يجب استبدال البطاريات ثلاث مرّات خلال عمر النظام، وبفرض نسبة تضخّم i هي ٣٪ وسعر الفائدة d هو ١٠٪ بالتّالي كلفة دورة الحياة للنظام يمكن حسابها لجميع العناصر كما يلي[٢]:

١-الكلفة الأوّلية للنظام (C_1):

وتشمل كلفة الألواح الشمسية والكلفة الأولية للبطاريات وكلفة الانفرترات وكلفة النواقل والتركيب وتحسب بالمعادلات الموضحة بالجدول(١١)[٢,٧].

الجدول (١١): المعادلات الحسابية المتعلقة بحساب الكلفة الأولية للنظام الكهروشمسي.

كلفة الألواح الشمسيّة (C_{pv})	$C_{pv} = ٠.٤٥ \times P_m \times N_m$ [$] (٢٨) $C_{pv} = ٠.٤ \times ٥٥٠ \times ١٢٨٦ = ٣١٨٢٨٥$ [$
الكلفة الأوّلية للبطاريات (C_B)	$C_B = ١.٦ \times C$ [$] (٢٩) $C_B = ١.٦ \times ٢٦٦٣٣١.٤٧$ $= ٤٢٦١٣٠.٣٦$ [$]
كلفة الانفرترات المستخدمة (C_{Inv})	$C_{Inv} = ٠.١ \times N_{inv} \times P_{inv}$[$](٣٠) $C_{Inv} = ٠.١ \times ٤٠ \times ١٦٠٠٠ = ٦٤٠٠٠٠$[$]
كلفة التّركيب (C_{Inst})	$C_{Inst} = ٠.١ \times C_{pv}$ [$] (٣١) $C_{Inst} = ٠.١ \times ٣١٨٢٨٥ = ٣١٨٢٨.٥٠$ [$]
كلفة النواقل التي تربط مصفوفة الألواح مع نظام التخزين عبر الانفرترات	$C_{DC_{cable}} = ٠.١٥ \times A_{DC\,cable} \times L_{cable} \times N_{inv}$(٣٢) $C_{DC_{cable}} = ٠.١٥ \times ٥٥.١٦ \times ٣٠ \times ٤٠ = ٩٩٢٢.٣٢$ [$]
كلفة النواقل التي تربط الانفرترات مع نظام التخزين	$C_{inv_{cable}} = ٠.١٥ \times A_{inv_{cable}} \times L_{cable} \times N_{inv}$ (٣٣) $C_{inv_{cable}} = ٠.١٥ \times ١٧.٤٦ \times ٣ \times ٤٠ = ٣١٤.٢٨$[$]
كلفة النواقل الكلية	$C_{wiring} = C_{DC_{cable}} + C_{inv_{cable}}$(٣٤) $C_{wiring} = ١٠٢٣٦.٦$ [$]
الكلفة الأوّلية للنظام ($C_١$)	$C_١ = C_{pv} + C_B + C_{Inv} + C_{Inst+C_{wiring}}$ [$] (٣٥ $C_١ = ٨٥٠٤٨٠.٤٦$ [$]

٢-كلفة التشغيل والصيانة (C_{MPW}):

تقدّر كلفة التّشغيل والصيانة ٢٪ من كلفة الألواح الشمسيّة وبأخذ نسبة التّضخّم (i=3%) وسعر الفائدة (d=10%)بعين الاعتبار[٢,٧]، يمكن حساب هذه الكلفة بالعلاقة التّالية:

$$C_{MPW} = ٠.٠٢ \times C_{pv} \times \left(\frac{١ + i}{١ + d}\right) \times \frac{١ - \left(\frac{١+i}{١+d}\right)^{NN}}{١ - \frac{١+i}{١+d}} (٣٦)$$

$$C_{MPW} = ٠.٠٢ \times ٣١٨٢٨٥ \times \left(\frac{١ + ٠.٠٣}{١ + ٠.١}\right) \times \frac{١ - \left(\frac{١+٠.٠٣}{١+٠.١}\right)^{٢٠}}{١ - \frac{١+٠.٠٣}{١+٠.١}} = ٦٨٥٢٠.٣١[\$]$$

حيث أن: NN:العمر الافتراضي للنظام.

٣- كلفة الاستبدال (C_{BPW}):

تشمل كلفةاستبدال البطاريات خصوصاً وبما أنّ العمر الافتراضي للنظام٢٠ سنة وعمر البطاريات ٥ سنوات أي نحتاج الى ثلاث مجموعات من البطاريات خلال عمر النظام[٢]، وبالتّالي كلفة الاستبدال تُعطىكما هو موضّح في الجدول (١٢) [٢,٧]:

الجدول (١٢) : المعادلات الحسابية المتعلقة بحساب كلفة الاستبدال لمجموعات البطاريات.

المجموعة الإضافية الأولى من البطاريات (C_{B1PW})	$C_{B1PW} = C_B\left(\frac{1+i}{1+d}\right)^{N_1}$ [\$] (٣٧) $C_{B1PW} = ٤٢٦١٣٠.٣٦\left(\frac{1+٠.٠٣}{1+٠.١}\right)^{٥} = ٣٠٦٧٣٦.٣٠$[\$]
المجموعة الإضافية الثانية من البطاريات (C_{B2PW})	$C_{B2PW} = C_B\left(\frac{1+i}{1+d}\right)^{N_2}$ [\$] (٣٨) $C_{B2PW} = ٤٢٦١٣٠.٣٦\left(\frac{1+٠.٠٣}{1+٠.١}\right)^{١٠} = ٢٢٠٧٩٤.٣١$[\$]
المجموعة الإضافية الثالثة من البطاريات (C_{B3PW})	$C_{B3PW} = C_B\left(\frac{1+i}{1+d}\right)^{N_3}$ [\$] (٣٩) $C_{B3PW} = ٤٢٦١٣٠.٣٦\left(\frac{1+٠.٠٣}{1+٠.}\right)^{١٥} = ١٥٨٩٣١.٧١$[\$]
كلفة الاستبدال الكليّة (C_{BPW})	$C_{BPW} = C_{B1PW} + C_{B2PW} + C_{B3PW}$[\$] (٤٠) $C_{BPW} = ٦٨٦٤٦٢.٣٢$ [\$]

٤-كلفة دورة الحياة للمحطة (C_{LCC}):

تعطى كلفة دورة الحياة للنظام الكهروشمسي بالعلاقة التّالية:[٢,٧]

$$C_{LCC} = C_1 + C_{MPW} + C_{BPW}[\$] (٤١)$$

$$C_{LCC} = ٨٥٠٤٨٠.٤٦ + ٦٨٥٢٠.٣١ + ٦٨٦٤٦٢.٣٢ = ١٦٠٥٤٦٣.٠٩[\$]$$

٥- حساب كلفة إنتاج KWh (C_{1KWh}):

- يمكننا حساب الكلفة الكليّة للمحطة على أساس سنوي (ALCC) وفق العلاقة التّالية[٢,٦]:

$$ALCC = C_{LCC} \times \frac{1-\frac{1+i}{1+d}}{1-\left(\frac{1+i}{1+d}\right)^{NN}}[\$] \quad (٤٢)$$

$$ALCC = ١٦٠٥٤٦٣.٠٩ \times \frac{1-\frac{1+٠.٠٣}{1+٠.١}}{1-\left(\frac{1+٠.٠٣}{1+٠.١}\right)^{٢٠}} = ١٣٩٦٥٩.٩٠[\$]$$

- بالتّالي تحسب كلفة إنتاج kWh بالعلاقة التّالية:[٢,٧]

$$C_{1KWh} = \frac{ALCC}{٣٦٥ \times E}[\$] \quad (٤٣)$$

$$C_{1KWh} = \frac{١٣٩٦٥٩.٩٠}{٣٦٥ \times ٢٥٥٦.٧٨٢} = ٠.١٥[\$]$$

٦- زمن استرداد النظام (n) ويعطى بالعلاقة التّالية:[٦]

$$n = \frac{\ln\left(\frac{١}{١-\left(\frac{C_{١}*d}{E*C_{١KWh}*٣٦٥}\right)}\right)}{١+d} \quad (٤٤)$$

$$n = \frac{\ln\left(\frac{١}{١-\left(\frac{٨٥٠٤٨٠.٤٦*٠.١}{٢٥٥٦.٧٨٢*٠.١٥*٣٦٥}\right)}\right)}{١+٠.١} = ٩.٨\ [year]$$

٤-٢-٦- حساب وتحديد مكونات النظام الكهروشمسي وكلفته باستخدام برنامج MATLAB وEXCEL:

تم إعداد برنامج حسابي باستخدام MATLAB&EXCEL يمكننا من خلالهما حساب مكونات النظام الكهروشمسي، وتحديد كمية الطاقة الممكن انتاجها من النظام الكهروشمسي في كل شهر وخلال العام، ونسبة إسهام النظام الكهروشمسي في تغطية الحمل الكهربائي المطلوب،ونستطيع أيضاً حساب كلفة مكونات هذا النظام بالإضافة لكلفة إنتاج kWh وزمن الاسترداد، وذلك بعد إدخال المعادلات السابقة ومواصفات الموقع والمكونات المستخدمة.

٥- النتائج والمناقشة:

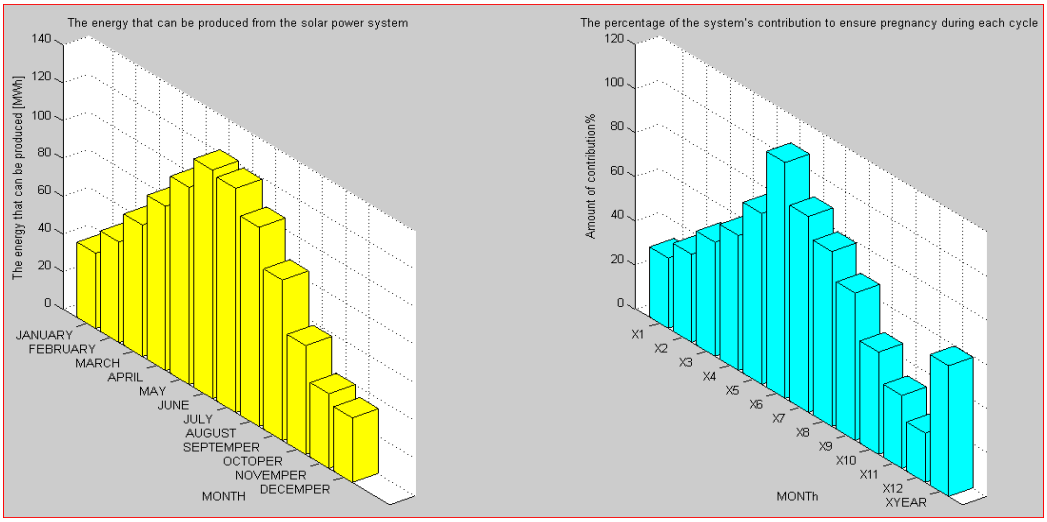
٥-١- نتائج البرنامج الحاسوبي باستخدام MATLAB:

- يوضح الشكل (٣) مكونات النظام الكهروشمسي الممكن تركيبه بالإضافة لكمية الطاقة الممكن إنتاجها.

Nm=1286[Panel],	Ns=6[Panel],	Np=215[Panel]
Erough=2.556782e+003[kWh],	Esafe=3.195978e+003[kWh],	C=2.663315e+005[Ah]
NBs=4[Batteries],	NBp=267[Batteries],	NBtot1=1068[Batteries]
Pinvtot=6.391950e+002[kW],	Ninv=40[INV],	Sinv=7.102167e+002[kVA]
Iinv=3.050759e+003[A],	NGP=6[package],	NGB=7[package]

الشكل(٣): مكونات النظام الكهروشمسي الممكن تركيبهباستخدام MATLAB.

- يوضح الشكل (٤) الطاقة الممكن انتاجها من النظام الكهروشمسي في كل شهر ونسبة إسهام النظام في تغطية الحمل الكهربائي لمعمل المياه.



الشكل(٤): الطاقة الممكن انتاجها من النظام الكهروشمسي في كل شهر ونسبة إسهام النظام في تغطية الحمل الكهربائي لمعمل المياه باستخدام MATLAB.

- يوضح الشكل (٥) حساب كلفة النظام الكهروشمسي.

CPV=282920[$],	CB=4.261304e+005[$],	Cinv=64000[$]
CInst=28292[$],	CWIRING=1.023660e+004[$],	C1=8.115790e+005[$]
CMPW=6.090694e+004[$],	CB1PW=3.067363e+005[$],	CB2PW=2.207943e+005[$]
CB3PW=1.589317e+005[$],	CBPW=6.864623e+005[$],	CLCC=1.558948e+006[$]
ALCC=1.356135e+005[$],	C1kWh=1.453170e-001[$],	n=9.573192e+000[$]

الشكل(٥): حساب كلفةالنظام الكهروشمسيباستخدام MATLAB.

٥-٢- نتائج البرنامج الحاسوبي باستخدام EXCEL:

- يوضح الشكل (٦) مكونات النظام الكهروشمسي المُمكن تركيبه بالإضافة لكمية الطاقة المُمكن إنتاجها.

تحديد مصفوفة الالواح الشمسية		تحديد البطاريات المطلوبة		تحديد الانفرترات المطلوبة		الطاقة الممكن انتاجها	
عدد الألواح على التسلسل	6	الطاقة المطلوب تخزينها Erough [KWh]	2556.78	الاستطاعة المطلوبة من الانفرتر [kW]	639.20	الاستطاعة [KW]	511.36
عدد الألواح على التفرع	215	الطاقة المطلوب تخزينها Esafe[KWh]	3195.98	عدد الانفرترات المطلوبة	40	الطاقةالممكن انتاجها في اليوم [KWh/day]	2556.78
عدد مجموعات الألواح الكلي	1286	السعة الكلية لنظام التخزين C [Ah]	266331.47	الاستطاعة الظاهرية للانفرتر [KVA]	710.22	الطاقةالممكن انتاجها في شهر [MWh/month]	76.70
التيار الكلي الناتج من الألواح [A]	2818.65	عدد مجموعات البطاريات على التسلسل	4	تيار دخل الانفرتر [A]	3050.76	الطاقة الممكن انتاجها في سنة [MWh/Year]	933.23
		عدد مجموعات البطاريات على التفرع	267	عدد مجموعات الالواح الادنى مع كل انفرتر	6		
		عدد البطاريات الكلي	1068	عدد مجموعات البطاريات الادنى مع كل انفرتر	7		

الشكل(٦): مكونات النظام الكهروشمسي الممكن تركيبه والطاقة الممكن انتاجها باستخدام EXCEL.

- يوضح الشكل (٧) حساب كلفة النظام الكهروشمسي.

الشكل(٧): حساب كلفةالنظام الكهروشمسيباستخدام EXCEL.

- يوضح الشكل (٨) الطاقة المُمكن انتاجها من النظام الكهروشمسي في كل شهر ونسبة إسهام النظام الكهروشمسي في تغطية الحمل الكهربائي لمعمل المياه.

الشهر	الطاقة الممكن انتاجها في الشهر [MWh/month]	استهلاك المعمل خلال دورة[MWh]	نسبة إسهام النظام الكهروشمسي في تأمين حمل المعمل %
كانون الثاني	39.89	125.28	31.84
شباط	53.23	133.52	39.87
آذار	69.65	134.64	51.73
نيسان	86.98	142.24	61.15
أيار	104.47	134.88	77.45
حزيران	121.04	113.2	106.92
تموز	118.74	133.68	88.82
آب	105.54	133.12	79.28
أيلول	84.99	127.2	66.81
تشرين الأول	57.68	124.4	46.37
تشرين الثاني	39.58	119.76	33.05
كانون الأول	34.21	153.16	22.34
الطاقة الممكن انتاجها واستهلاك المعمل خلال العام	933.23	1575.08	59.25

الشكل(٨): الطاقة الممكن انتاجها من النظام الكهروشمسي في كل شهر ونسبة إسهام النظام الكهروشمسي في تغطية الحمل الكهربائي لمعمل المياهباستخدام EXCEL

٥-٣- دارة التوصيل للنظام الكهروشمسي:

-اعتماداً على النتائج السابقة توزّع مجموعات وسلاسلالألواح والبطاريات على الانفرترات (N_{GTT}) على الشّكل التّالي:

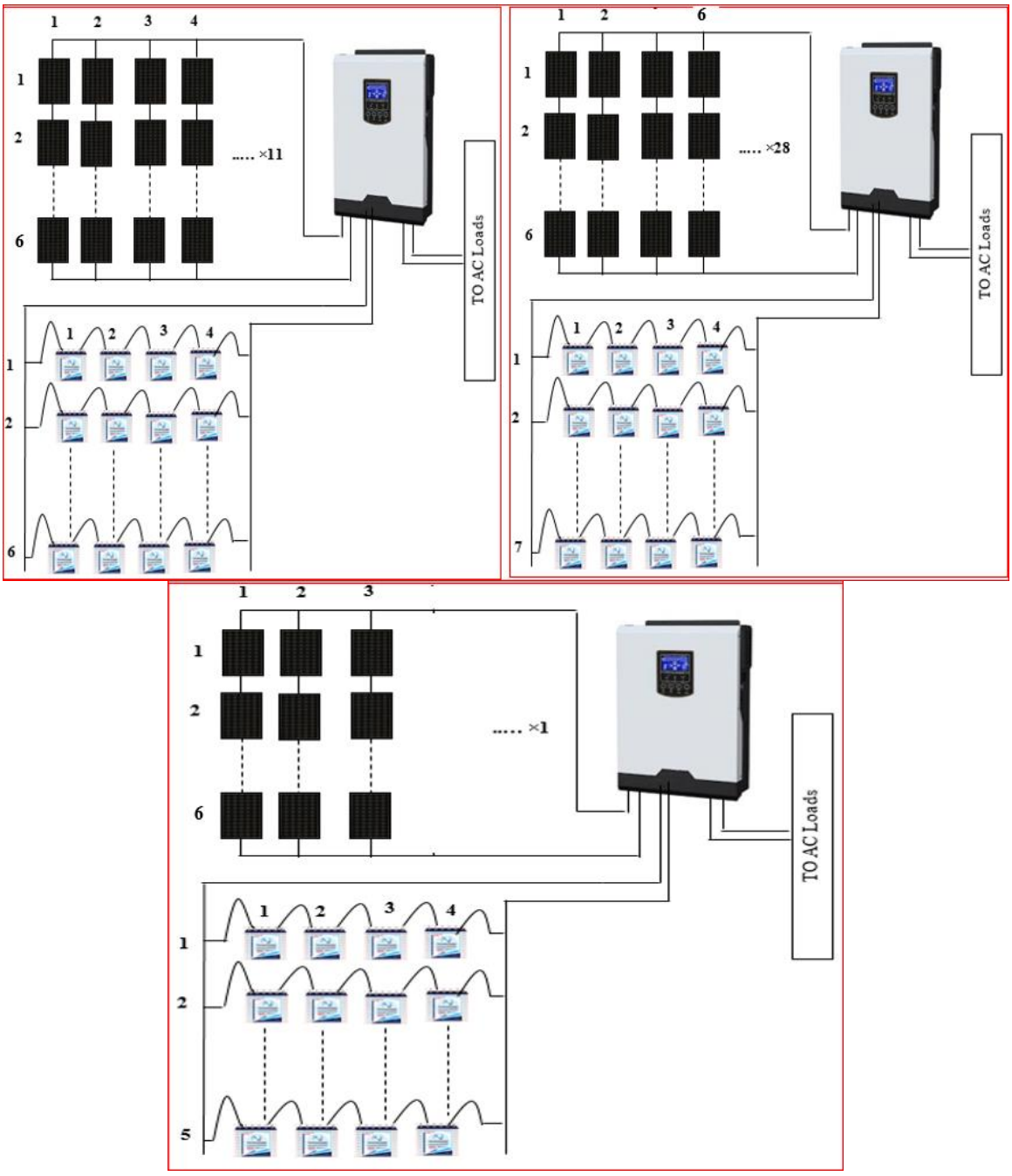
$$N_{GTT} = (٢٨\ \text{inv} \times ٦N_{GP} \times ٦N_s \times ٧N_{GB} \times ٤N_{Bs}) + (١١\ \text{inv} \times ٤N_{GP} \times ٦N_s \times ٦N_{GB} \times ٤N_s) + (١\ \text{inv} \times ٣N_{GP} \times ٦N_s \times ٥N_{GB} \times ٤N_s)$$

ويوضح الجدول (١٣) التحقق من قيم الدخل لكل انفرتر من مصفوفة الالواح الشمسية المربوطة معه.

الجدول (١٣): التحقق من قيم الدخل لكل انفرتر من مصفوفة الالواح الشمسية المربوطة معه.

$V_{mpp(tot)} = ٤١.٩١ \times ٦ = ٢٥١.٧٦ \in [١٥٠ - ٤٢٥]$
$V_{OC(tot)} = ٥٩.٩ \times ٦ = ٣٥٩.٤ < 500\ [V]$
$I_{mpp(tot)} = ١٣ \times ٦ = ٧٨ < 79\ [A]$
$I_{SC(tot)} = ١٤ \times ٤ = ٥٦ < 132\ [A]$

كما يوضح الشكل (٩) دارة التوصيل للنظام الكهروشمسي.



الشكل (٩): دارة التوصيل للنظام الكهروشمسي.

٥-٤- مناقشة النتائج:

- نلاحظ أن النتائج متماثلة بين البرنامجين المستخدمين وكانت النتائج كالتالي عدد الألواح الشمسية التي يُمكن تركيبها ١٢٨٦ لوح، بينما يكون عدد البطاريات المطلوب ١٠٦٨، كما بلغ عدد الانفرترات المطلوب ٤٠ انفرتر.

- نُلاحظ من خلال النتائج السابقة، إمكانية إنتاج الطاقة بشكل فعّال خلال فصل الصيف، حيث نلاحظ أن النظام الكهروشمسي يستطيع تغطية كامل الحمل الكهربائي للمعمل خلال شهر حزيران، مع وجود كمية فائضة من الطاقة، في حين لا يستطيع النظام تغطية كامل الحمل الكهربائي للمعمل في باقي أشهر السنة، وإنّما يقوم بتأمين نسبة تغطية للحمل الكهربائي تتراوح من ٢٢,٣٤٪ حتى ٨٨,٨٢٪، وهذا يُعتبر حل جيد لتخفيض نسبة الطاقة الكهربائية المطلوبة للمعمل من الشبكة الكهربائية العامة خلال العام.

- كما نُلاحظ من خلال النتائج التي حصلنا عليها أنّ كلفة إنتاج kWh تبلغ [$]٠,١٥ وزمن الاسترداد بلغَ حوالي [Year] ٩,٨، وبالتالي تشجع نتائج الدراسة على استخدام الانظمة الكهروشمسية لتغذية المعامل والمنشآت المماثلة خصوصاً في الأماكن النائية والبعيدة عن الشبكة، بالإضافة لكونها تُوفّر مبالغ إضافية لمدّ الشبكة الكهربائية، وكون أسعار الوقودفي ارتفاع مُستمر بالإضافة لعدم توفره بينما من المتوقع انخفاض كلفة مكونات النظام الكهروشمسي في المستقبل القريب، كل هذه النتائج والأسباب تُؤكّد أهمية ونجاعة التوجّه إلى الأنظمة الكهروشمسية.

- في حال قمنا بإدخال المساحة [m^2]٧٠٠٠ إلى البرامج المنجزة نجد بأن النظام الكهروشمسي يلبي الطلب على الطاقة في شهري حزيران وتموز فقط بينما تتراوح نسبة تأمين الحمل الكهربائي للمعمل من ٢٦,٠٥٪ إلى ٩٢,٣٤٪ في باقي الأشهر وبالتالي نستنتج أنه لو تم استغلال كامل المساحة المتوفرة لن يستطيع النظام الكهروشمسي تغطية كامل الحمل للمعمل في كل الأشهر.

٦- الاستنتاجات والتّوصيات:

٦-١- الاستنتاجات:

- بلغ الإنتاج الكلّي السّنوي المتوقع للنظام الكهروشمسي[MWh/Year]٩٣٣,٢٣.
- بلغت نسبة الإسهام السنويةالوسطية للنظام الكهروشمسي٪٥٩,٢٥في تأمين الحمل الكهربائي لمعمل المياه.
- إمكانية الاستغناء عن المحولة المخصصة للمعمل خلال شهر حزيران والاستفادة منها لأحمال كهربائية أخرى.
- بلغ زمن الاسترداد للنظام الكهروشمسيّ[Year]٩,٨.

٦-٢- التّوصيات:

- دراسة حالة ربط النظامالكهروشمسي مع الشّبكة الكهربائيةأو مولد ومقارنتها مع النظام المستقلّ.
- دراسة التحكم في عمل النظام الكهروشمسي.
- استخدام البرامج الحاسوبيةلتحديد مكونات النظم الكهروشمسية بدل الحسابات اليدوية.
- في حال تم تطبيق الدراسة من قبل القطاع العام أو الخاص، نوصي بالسعي لتأمين انفرترات باستطاعة عاليةلأن ذلك يخفض من الضياعات الناتجة، وبتطبيق البرامج المستخدمة يمكننا إعادة الحسابات بكل سريع.

٧- المراجع:

١- ANAYOCHUKWU,A,V; ONYEKA,A,E. 2014 ,*Feasibility Analysis of a Stand-Alone Photovoltaic(PV)/Hydro Power System for Community Service Facilities*. Electronic Journal of Energy & Environment UC Temuco, Chile, Vol.2, No.1, 18-32.

٢- NAFEH,A,A.2009,*Design and Economic Analysis of a Stand-Alone PV System to Electrify a Remote Area Household in Egypt*. The Open Renewable Energy Journal, Egypt, Vol.2,33-37.

٣- SALEH,U,A;HARUNA,Y,S;ONUIGBO,F,I. 2015, *Design and Procedure for Stand-Alone Photovoltaic Power System for Ozone Monitor Laboratory at Anyigba, North Central Nigeria*. International Journal of Engineering Science and Innovative Technology (IJESIT), Vol.4,41-52.

٤- AL-SHAMANI,A,N;HJ OTHMAN,M,Y;RUSLAN,M,H;SOPIAN,K; MAT,S. 2015,*Design & Sizing of Stand-alone Solar Power Systems A house Iraq*. Conference: *Recent Advances in Renewable Energy Sources*, 145-150.

٥- AL-SHAMANI,A,N;RUSLAN,M,H;ELBREKI,A;SOPIAN,K. 2017,*A stand-alone Photovoltaic System Design and Sizing: a Greenhouse Application in Sabha City: Case study in Libya*. The 3rd Engineering Science And Technology International Conference (ESTIC), Indonesia, Vol.3,40-49.

٦- Z. Chi, Pietro Elia Campana, Jin Yang, Jinyue Yan, 2016- *Economic performance of photovoltaic water pumping systems with businessmodel innovation in China*, Contents lists available at ScienceDirect.

٧- م.جاسم يوسف;أ.د.م. ميخائيل مخول;أ.د.م. علي خضور. ٢٠١٧،*تصميم نظام طاقة كهروشمسي PV مستقل لمنزل سكني في طرطوس باستخدام MATLAB-GUI*. مجلة جامعة طرطوس للبحوث والدراسات العلمية، سوريا،المجلّد (٣٩)، العدد(١٧)،٦٠-٢٧.

٨- م. رنيم مرعي، د.م. علي خضور، د.م. سامر ربيع، رسالة ماجستير ٢٠١٩ *تغذية المقاسم الهاتفية في محافظة طرطوس بالطاقة الكهروشمسيّة كطاقة رديفة*. جامعة طرطوس، سوريا، ٤٣-٣٩.