

تصميم النظم الكهروضوئية المستقلة ما بين الدراسة والتطبيق

م. يوسف غسان الجلاب*

د.م. عباس صندوق**

الملخص

هَدَفَ البحث إلى معرفة أنواع النظم الكهروضوئية وتطبيقاتها في مختلف المجالات العملية ومعرفة مكوناتها ومواصفات الفنية لل تجهيزات جميعها، بما يخدم طرائق تصميم هذه الأنظمة وتطبيقها على أرض الواقع. وذلك من خلال تصميم وتنفيذ نظام كهروضوئي مستقل عن الشبكة الكهربائية العامة باستطاعة 12 كيلو وات لتغذية أحمال الإنارة لأحد الأبنية الخضراء بوجود الشبكة الكهربائية العامة كمنبع رديف لتحقيق وثوقية عالية في تغذية الأحمال الكهربائية. كما هَدَفَ هذا المشروع إلى تعزيز القدرات الوطنية في مجالات البحث والتطوير والتشغيل.

الكلمات الافتتاحية: تصميم النظم الكهروضوئية المستقلة.

*أعدَّ البحث في سياق رسالة الماجستير للطالب المهندس يوسف غسان الجلاب. بإشراف الدكتور عباس صندوق - قسم الطاقة الكهربائية - شعبة الطاقات المتجددة - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية - جامعة دمشق.

** بإشراف الدكتور المهندس عباس صندوق. أستاذ مساعد في قسم الطاقة الكهربائية - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية - جامعة دمشق.

1- الهدف من البحث:

تعرف أنواع النظم الكهروضوئية المستقلة ومكوناتها وتطبيقاتها العملية وتعزيز الخبرات الوطنية في مجالات البحث والتطوير، من خلال تصميم نظام كهروضوئي مستقل وتنفيذه باستطاعة [12KW] لتغذية إنارة أحد الأبنية التعليمية وإجراء الاختبارات والقياسات على هذا النظام، فضلاً عن تنفيذ برنامج لتصميم النظم الكهروضوئية المستقلة باستخدام إحدى لغات البرمجة ومقارنة النتائج النظرية والعملية.

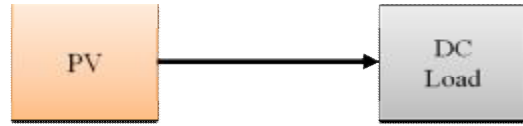
2- تطبيقات النظم الكهروضوئية المستقلة

تتكون النظم الكهروضوئية المستقلة بشكل عام من العناصر الأساسية الآتية:

- الألواح الكهروضوئية (PV Module)
- منظمات الشحن (Charger)
- المدخرات (Battery)
- المعرجات (Inverter)

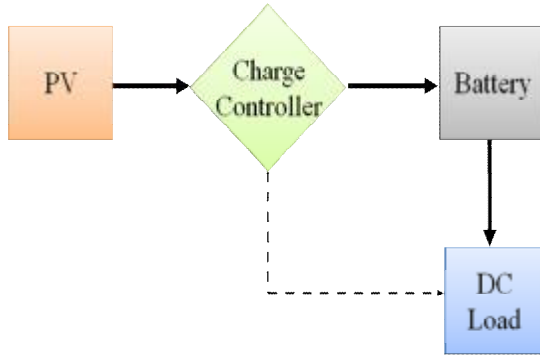
وفيما يأتي سنبين تطبيقات النظم الكهروضوئية المستقلة والمكونات الأساسية لها تبعاً لنوع الحمل الكهربائي وأهميته:

1-2 نظام كهروضوئي مستقل يغذي أحمال تيار مستمر مباشرة دون تخزين، ويستخدم لضخ المياه وأنظمة الحماية الكاثودية لأنابيب نقل النفط كما هو مبين في الشكل (1).



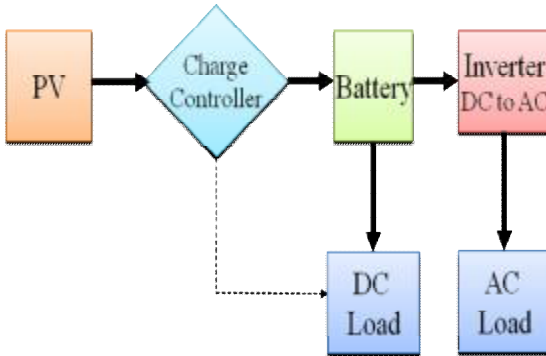
الشكل (1) نظام كهروضوئي مستقل يغذي أحمال تيار مستمر بشكل مباشر دون نظام تخزين [1]

2-2 نظام كهروضوئي مستقل يغذي أحمال تيار مستمر مع نظام تخزين، ويستخدم لإنارة المنازل وبعض التطبيقات صغيرة الاستطاعة في المناطق النائية، كما هو مبين في الشكل (2).



الشكل (2) نظام كهروضوئي مستقل يغذي أحمال تيار مستمر بشكل مباشر مع نظام تخزين [1]

2-3 نظام كهروضوئي مستقل يغذي أحمالاً تعمل على التيار المستمر وأحمالاً تعمل على التيار المتناوب مع نظام تخزين، يستخدم كأنظمة صغيرة الاستطاعة لتغذية المنازل في المناطق النائية لعدم توافر الشبكة العامة، كما هو مبين في الشكل (3).



الشكل (3) نظام كهروضوئي مستقل يغذي أحمال تيار مستمر وأحمال تيار متناوب مع نظام تخزين [1]

- دراسة تفصيلية لحساب الإشعاع الشمسي على سطح الألواح في مكان تركيب النظام.
- دراسة الأحمال الكهربائية المراد تغذيتها وتحديد استطاعتها، وزمن تشغيلها ونوعها.
- دراسة التوازن بين الطاقة المولدة والطاقة المستهلكة من خلال تحديد استطاعة عناصر النظام مثل عدد الألواح، واستطاعة الشاحن، وسعة المدخرات، واستطاعة المعرجات، وتوتر النظام... الخ. [2]

1-3 الإشعاع الشمسي المعتمد PSH

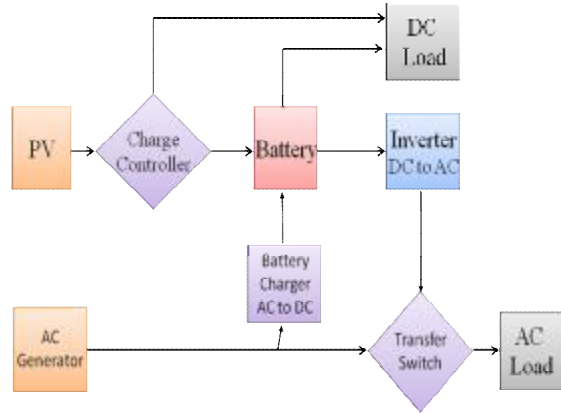
تُحسب قيمة الإشعاع الشمسي المعتمد في التصميم انطلاقاً من معطيات الطاقة الإشعاعية الإجمالية اليومية الوسطية على سطح أفقي، لكل شهر من شهور السنة $G [kwh / m^2.day]$ والخاص بموقع تركيب حقل الألواح الكهروضوئية، التي يتم الحصول عليها من أطلس الإشعاع الشمسي للموقع، كما في الجدول رقم (1).

الجدول (1): الطاقة الإشعاعية على سطح أفقي [3]

| month number | day number | irradiation G [kwh/m2.day] |
|--------------|------------|----------------------------|
| 1 | 17 | 2.9 |
| 2 | 46 | 3.6 |
| 3 | 76 | 4.4 |
| 4 | 105 | 5.4 |
| 5 | 135 | 5.9 |
| 6 | 162 | 6.5 |
| 7 | 199 | 6.9 |
| 8 | 229 | 6.5 |
| 9 | 258 | 5.4 |
| 10 | 288 | 4.3 |
| 11 | 318 | 3.3 |
| 12 | 346 | 2.5 |

وباستخدام المعادلات الرياضية الخاصة بحساب شدة الإشعاع الشمسي على سطح مائل، تُحسب الطاقة الإشعاعية الإجمالية اليومية على وحدة المساحة من السطح

2-4 نظام كهروضوئي مستقل بوجود منبع مساعد لتأمين استمرارية التغذية الكهربائية للأحمال التي تعمل على التيار المستمر والتيار المتناوب بثوثوقية عالية مع نظام تخزين، ويستخدم كأنظمة متوسطة الاستطاعة لتغذية المنازل ومحطات الاتصالات، كما هو مبين في الشكل (4).



الشكل (4) نظام كهروضوئي مستقل يغذي أحمال تيار مستمر ومتناوب مع وجود منبع مساعد و نظام تخزين [1]

3- تصميم نظام كهروضوئي مستقل وتفيذه باستطاعة 12 [kw] عملياً:

تماشياً مع تطور تكنولوجيا طرائق توليد الطاقة الكهربائية وللعمل على تشجيع انتشار استخدام تكنولوجيا الطاقات المتجددة، نُفِّذَ نظام كهروضوئي مستقل باستطاعة 12[KW] لتأمين التغذية الكهربائية لإنارة بناء بمساحة $2700 m^2$ آخذين بالحسبان النقاط الأساسية من دراسة فنية وكلفة اقتصادية للوصول إلى أقل كلفة لإنتاج الطاقة الكهربائية من الطاقة الشمسية، فضلاً عن ترشيد استهلاك الطاقة ورفع كفاءتها من خلال استخدام أحمال إنارة ذات كفاءة عالية، ومن أجل تصميم نظام كهروضوئي مستقل يجب دراسة النقاط الأساسية الآتية:

3-2 الأحمال الكهربائية (تحليل الحمل)

يُحدَّدُ الطلب اليومي على الطاقة الكهربائية لكل من الحمل المستمر DC والحمل المتناوب AC، إذ يُعدَّلُ الحمل المتناوب بقسمته على كفاءة المعرج IE لإيجاد الحمل المستمر المكافئ ومن ثم إضافة الحمل المستمر، والجدول (4) يبيِّن قيم الأحمال الكهربائية المراد تغذيتها خرج النظام الكهروضوئي المستقل. [5] [2]

الجدول (4): الأحمال الكهربائية

| جدول الأحمال الكهربائية | | | |
|-------------------------|--------------------------------------|-------------|--------|
| نوع الحمل | استطاعة الجهاز بعد الأجهزة الاستطاعة | ساعات العمل | الطاقة |
| [w] | [w] | [h] | [wh/d] |
| جهاز إضاءة بصليح تويجر | 3*13 | 54 | 2106 |
| جهاز إضاءة بصليح تويجر | 1*45 | 39 | 1766 |
| جهاز إضاءة بصليح LED | 1*5 | 42 | 210 |
| جهاز إضاءة LCD TV | 180 | 3 | 480 |
| الاستطاعة الإجمالية | 4561 [w] | | |
| القدرة الكهربائية | 38956 [wh/d] | | |

وتُحَسَّبُ القدرة الكهربائية اليومية اللازمة للحمل باستخدام المعادلات الآتية:

$$Total.Load = DC.Load + \frac{AC.Load}{InverterEfficiency}$$

$$Total .Load = 0 + \frac{38955}{0.95} = 41005 \left[\frac{wh}{day} \right]$$

$$TL = \frac{Total .Load \left[\frac{wh}{day} \right]}{System.Voltage} = \frac{41005}{24} = 1708 \left[\frac{Ah}{day} \right]$$

المائل بزواوية β لكل شهر من شهور السنة $G(\beta)$ ، وإعتمدت زواوية ميل للأواح مقدارها $\beta=45[deg]$ التي عندها نحصل على أكبر قيمة لشدة الإشعاع الشمسي في أسوأ شهر من شهور السنة، والجدول (2) يبيِّن نتائج شدة الإشعاع الشمسي على سطح مائل لشهور السنة جميعها والذي تم الحصول عليه حسابياً باستخدام معادلات حساب الإشعاع الشمسي على سطح مائل. [3]

الجدول (2): قيم شدة الإشعاع الشمسي على سطح مائل

| $G(\beta)$ jun | $G(\beta)$ feb | $G(\beta)$ mar | $G(\beta)$ april | $G(\beta)$ may | $G(\beta)$ jun | Irradiation |
|----------------|----------------|----------------|------------------|----------------|----------------|---------------------------|
| 4.66 | 4.92 | 4.90 | 5.00 | 4.90 | 5.00 | [kwh/m ² .day] |
| $G(\beta)$ jul | $G(\beta)$ aug | $G(\beta)$ sep | $G(\beta)$ oct | $G(\beta)$ nov | $G(\beta)$ dec | Irradiation |
| 5.50 | 5.81 | 5.70 | 5.60 | 5.20 | 4.10 | [kwh/m ² .day] |

وتُحدَّدُ شدة الإشعاع الشمسي المعتمد في التصميم اعتماداً على ثلاث قيم، الإشعاع الشمسي الأصغري، والإشعاع الشمسي الوسطي، والإشعاع الشمسي الأعظمي وذلك بناءً على أهمية الحمل ونوع المنشأة، والجدول (3) يبيِّن قيم شدة الإشعاع الشمسي الأصغري والوسطي والأعظمي

الجدول (3): الإشعاع الشمسي الأصغري، الوسطي، الأعظمي

| | | |
|---------------------|-------|---------------------------|
| Minimum Irradiation | 4.105 | [KWH/m ² .day] |
| Average Irradiation | 5.210 | [KWH/m ² .day] |
| Maximum Irradiation | 5.839 | [KWH/m ² .day] |

ونظراً إلى أن المنشأة تعليمية والفصول الدراسية في فصل الشتاء، لذا سيجري التصميم على أساس الإشعاع الشمسي الأصغري ومن ثمَّ ستكون قيمة الإشعاع الشمسي المعتمد في التصميم:

$$PSH = 4.11 [kwh / m^2 .day]$$

3-3 حقل الألواح الكهروضوئية

تُحسب مساحة حقل الألواح الكهروضوئية AA اعتماداً على قيمة كل من الحمل الكهربائي والإشعاع الشمسي المعتمد في التصميم PSH، الذي يختلف تبعاً لمكان تركيب الحقل آخذين بالحسبان كفاءة تحويل الألواح ME ومعامل تغيّر درجة الحرارة TC وكفاءة نظام التخزين SE (وهو حاصل جداء كفاءة المدخرات BE بكفاءة منظمات الشحن CHE)، ويجري الحصول على هذه القيم من معطيات الشركة الصانعة. [2] [5]

- كفاءة الشاحن

$$CHE = 0.95$$

- كفاءة المدخرة

$$BE = 0.9$$

- كفاءة اللوح الكهروضوئي

$$ME = 0.145$$

- عامل تصحيح درجة الحرارة للخلية

$$TC = 0.94$$

- مساحة اللوح الكهروضوئي الواحد

$$AM = 1.42 \quad [m^2]$$

- توتر اللوح عند نقطة الاستطاعة العظمى

$$V_{mp} = 27.5 \quad [V]$$

- تيار اللوح عند نقطة الاستطاعة العظمى

$$I_{mp} = 7 \quad [A]$$

- استطاعة اللوح عند نقطة الاستطاعة العظمى

$$P_M = 190 \quad [W]$$

- نقوم بحساب المردود الكلي لنظام التخزين .

$$SE = CHE * BE$$

$$SE = 0.95 * 0.9 = 0.812$$

- حساب مساحة حقل الألواح الكهروضوئية.

$$AA = \frac{Total.Load}{(PSH \times ME \times SE \times TC)} \quad [m^2]$$

$$AA = \frac{41005}{(4.1 \times 0.145 \times 0.812 \times 0.94)} = 90.5 \quad [m^2]$$

- حساب عدد الألواح الكهروضوئية

$$NOM = \frac{AA}{A_M}$$

$$NOM = \frac{91.5}{1.42} = 64.4 \approx 64$$

- حساب استطاعة الحقل العظمى.

$$PA = NOM \times P_M$$

$$PA = 64 \times 190 = 12160 \quad [W]$$

- تحديد توتر النظام.

$$SYSTEM.VOLTGE = 24 \quad [V]$$

- تحديد عدد الألواح التسلسلية.

$$Module.in.Series = \frac{System.Voltage}{Module.Voltage}$$

$$Module.in.Series = \frac{24}{27} \approx 1$$

- حساب عدد السلاسل التفرعية في الحقل.

$$SP = \frac{NOM}{Module.in.Series}$$

$$String.in.Parallel = \frac{64}{1} = 64$$

4-3 تصميم نظام التخزين

تُحسب سعة المدخرات في النظم الكهروضوئية المستقلة تبعاً لعدة محددات وهي:

- الحمل الكهربائي.

$$Total.Load = 1754 \quad \left[\frac{Ah}{day} \right]$$

- جهد المدخرة BV ويُختارُ جهد المدخرة تبعاً لتوتر النظام وسعة نظام التخزين.

$$V_B = 2 \quad [V]$$

- سعة المدخرة CB وتؤخذ من المواصفات الفنية للمدخرة عند تيار تفريغ مقداره C20.

$$C_B = 1854 \quad [Ah]$$

- حساب عدد المدخرات في السلسلة الواحدة.

$$NS = \frac{\text{System.Voltage}}{BV}$$

$$NS = \frac{24}{2} = 12$$

- حساب عدد السلاسل التفرعية للمدخرات.

$$NP = \frac{TSC}{CB}$$

$$NP = \frac{4430}{1854} = 2.3 \approx 2$$

ومن ثمَّ يصبح لدينا مجموعتان من المدخرات، كل مجموعة مؤلفة من 12 مدخرة.

والشكل (5) يبيِّن مدخرة الرصاص الحمضية الجافة المستخدمة في المشروع. [5]



الشكل (5) صورة مدخرة الرصاص الحمضية الجافة [6]

- عدد أيام التخزين المطلوبة DOS وهي تتعلق ببيانات الموقع وعدد الأيام الغائمة، ولكن في هذا النظام اعتمدت قيمتها مساوية ليوم واحد؛ وذلك لخفض التكاليف -قدر الإمكان- لأنَّ الشبكة الكهربائية العامة متوافرة والغرض من النظام المستقل غرض علمي وبحثي.

$$DOS = 1$$

- حساب القيمة المفيدة للتخزين .

$$US = \text{Total.Load} \times DOS \quad \left[\frac{Ah}{day} \right]$$

$$US = 1754 \times 1 = 1754 \quad \left[\frac{Ah}{day} \right]$$

تحديد عمق التفريغ للمدخرات MDOD التي تتعلق بعدد دورات الشحن والتفريغ، وتؤخذ قيمتها من خلال منحنيات عمق التفريغ بعدد دورات الشحن والتفريغ للمدخرة التي تعطيها الشركة الصانعة إذ اختيرت مدخرات الرصاص الحمضية الجافة واعتمدت عمق التفريغ:

$$MDOD = 0.45$$

- تحديد معامل درجة الحرارة TDR ويؤخذ من المواصفات الفنية للمدخرة تبعاً لظروف التشغيل، وهنا اعتمدت قيمتها:

$$TDR = 0.9$$

- حساب سعة التخزين الكلية TSC.

$$TSC = \frac{US}{MDOD \times TDR} \quad [Ah]$$

$$TSC = \frac{1754}{0.45 \times 0.9} = 4330 \quad [Ah]$$

فنحن بحاجة إلى شاحنين، وعند البحث عن شاحن خاص بالطاقة الشمسية لعدة شركات وجدنا شاحناً تياره الاسمي [A]70؛ لذلك ستُستخدم أربعة شواحن لكل مجموعة شاحنين فيكون تيار الشحن للمجموعة الواحدة مقداره:

$$I_C = 140 \quad [A]$$

إن اختيار تيار الشاحن يتعلق بقيمتين، الأولى تيار الدخل ويجب أن يكون مساوياً لتيار القصر للألواح الكهروضوئية أو أكبر منه قليلاً.

$$I_{IN} = I_{SC} = 16 \times 8.2 = 131.2 \quad [A]$$

والثانية وهي تيار الخرج، ويجب أن يكون مساوياً لتيار الحمل وتيار شحن المدخرات.

$$I_{OUT} = I_C = 70 \quad [A]$$

ونظراً إلى أن النظام صُمم على مجموعتين وكل مجموعة تستخدم شاحنين، ومن ثم قُسمت الألواح الكهروضوئية إلى أربع مجموعات، كل مجموعة عددها 16 لوحاً فيصبح تيار الألواح الاسمي مساوياً لـ [A] 112، ومن ثم يجب أن يتحمل الشاحن تيار دخل أكبر من تيار الألواح ويعطي تيار شحن كافياً للحمل، ويجب أن يزود الشاحن بتقنية تعديل عرض النبضة أو متتبع نقطة الاستطاعة العظمى، للوصول إلى عملية الشحن المثالي للمدخرات وتجنب كل من الشحن الزائد والتفريغ العميق، فضلاً عن فصل الألواح في حال الإشعاع الشمسي المنخفض وذلك لمنع التيار العكسي، والشكل (6) يبين منظم الشحن المستخدم في الجزء العملي وهو إنتاج شركة Steca [5].

3-5 حساب محددات الشاحن CHARGER:

يُحدّد تيار الشحن من خلال جهد الشحن وسعة المدخرات، وتؤخذ كنسبة مئوية من سعة المدخرات وزمن الشحن، إن جهد المدخرة التي اعتمدت [V] 2 ومن ثم نحتاج إلى وصل 12 مدخرة على التسلسل للحصول على جهد النظام.

$$V_S = 2 \times 12 = 24 \quad [V]$$

ومن ثم يجب أن يكون جهد الشحن مساوياً لـ [V] 27.6 لتُشحن المدخرات شحنًا كاملاً ويجب أن يكون جهد الألواح التي اختيرت مساوياً لـ [V] 27.6 عند نقطة الاستطاعة العظمى من أجل مدخرات الرصاص الحامضية، ولإيجاد تيار الشاحن اللازم لشحن المدخرات يجب معرفة زمن الشحن اليومي والسعة اللازم شحنها خلال اليوم كما يأتي:

- سعة المدخرة في المجموعة الواحدة عند تيار تفريغ مقداره C10 من معطيات الصانع .

$$C_B = 1650 \quad [Ah]$$

- تُحسب سعة التخزين اليومي للمجموعة الواحدة من العلاقة:

$$C_S = MDOD \times C_B \quad [Ah]$$

$$C_S = 0.45 \times 1650 = 742 \quad [Ah]$$

- تحديد عدد ساعات الشحن، وغالباً تؤخذ مساوية لعدد ساعات سطوع الشمس .

$$T_S = PSH = 4.1 \quad [H]$$

- بحسب تيار الشحن اللازم لكل مجموعة من المجموعتين كما يأتي:

$$I_C = \frac{C_S}{T_S} = \frac{742}{4.1} = 180 \quad [A]$$

ومن ثم نحتاج إلى شاحن تياره الاسمي مقداره [A] 180 ونظراً إلى أن لدينا 24 مدخرة مقسومة إلى مجموعتين

4- النتائج والمنحنيات

أُخِذَت القياسات على مدى عام كامل، وكانت النتائج ليوم نموذجي لشهر التصميم كانون الأول في فصل الشتاء، كما هو مبين بالجدول (5).

الجدول (5): النتائج والقراءات لشهر Dec

| الوقت | V Inv [V] | V Bat [V] | V mod [V] | P Load [W] | P G [W] | SOC % | I Load [A] | I Bat [A] | I mod [A] | Hours |
|-------|-----------|-----------|-----------|------------|---------|-------|------------|-----------|-----------|-------|
| 230 | 24 | 0 | 0 | 0 | 0 | 64 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 230 | 24 | 0 | 0 | 0 | 0 | 64 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| 230 | 24 | 0 | 0 | 0 | 0 | 64 | 0 | 0 | 0 | 2 |
| 230 | 24 | 0 | 0 | 0 | 0 | 64 | 0 | 0 | 0 | 3 |
| 230 | 24 | 0 | 0 | 0 | 0 | 64 | 0 | 0 | 0 | 4 |
| 230 | 24 | 0 | 0 | 0 | 0 | 64 | 0 | 0 | 0 | 5 |
| 230 | 24.5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 65 | 0 | 0 | 0 | 6 |
| 230 | 25 | 26 | 0 | 1326 | 67 | 0 | 51 | 51 | 51 | 7 |
| 230 | 25 | 26.5 | 1702 | 2438 | 71 | 74 | 18 | 92 | 8 | 8 |
| 230 | 26 | 27 | 1702 | 3753 | 76 | 74 | 65 | 130 | 9 | 9 |
| 230 | 26 | 27 | 1702 | 4752 | 81 | 74 | 102 | 176 | 10 | 10 |
| 230 | 27 | 28 | 1702 | 5544 | 86 | 74 | 124 | 198 | 11 | 11 |
| 230 | 27 | 28.5 | 1702 | 6013.5 | 91 | 74 | 137 | 213 | 12 | 12 |
| 230 | 27.5 | 28 | 1702 | 5376 | 94 | 74 | 118 | 192 | 13 | 13 |
| 230 | 28 | 29 | 1702 | 4508 | 96 | 74 | 87 | 161 | 14 | 14 |
| 230 | 28.2 | 27 | 1702 | 3402 | 99 | 74 | 52 | 126 | 15 | 15 |
| 230 | 28 | 26 | 4048 | 1742 | 99 | 176 | 109 | 67 | 16 | 16 |
| 230 | 27.5 | 25 | 4048 | 0 | 96 | 176 | 177 | 0 | 17 | 17 |
| 230 | 27 | 0 | 4048 | 0 | 91 | 176 | 177 | 0 | 18 | 18 |
| 230 | 26 | 0 | 4048 | 0 | 84 | 176 | 177 | 0 | 19 | 19 |
| 230 | 25 | 0 | 4048 | 0 | 76 | 176 | 177 | 0 | 20 | 20 |
| 230 | 25 | 0 | 4048 | 0 | 71 | 176 | 177 | 0 | 21 | 21 |
| 230 | 24 | 0 | 0 | 0 | 65 | 0 | 0 | 0 | 22 | 22 |
| 230 | 24 | 0 | 0 | 0 | 64 | 0 | 0 | 0 | 23 | 23 |
| 230 | 24 | 0 | 0 | 0 | 64 | 0 | 0 | 0 | 24 | 24 |

النتيجة الإجمالية (التردد الاستهلاك) 97904 98854 [Wh]



الشكل (6) يبين أحد منظّات الشحن [7]

3-6 محددات المعرج INVERTER

تقوم المعرجات بتحويل الجهد المستمر ذي القيمة 24[V]DC من خرج المدخرات إلى جهد متناوب 220[V]AC ذي موجة جيبيية، لتغذية الأحمال الكهربائية المتناوبة وتتمتع المعرجات المصنعة حديثاً بمجال تشغيل واسع لأنواع الأحمال الكهربائية جميعها ابتداءً بالمحركات و انتهاءً بالتجهيزات الإلكترونية وتحسب الاستطاعة الاسمية للمعرج:

$$Power \cdot Load = 4.55 \text{ [KW]}$$

$$Power \cdot of \cdot Inverter = \frac{AC \cdot Load}{Power \cdot Factor}$$

$$Power \cdot of \cdot Inverter = \frac{4.55[KW]}{0.9} = 5[KVA]$$

ونظراً إلى أنّ النظام صُممَ النظام على مجموعتين فقد قُسمَت الأحمال الكهربائية إلى مجموعتين، وعند البحث على معرج من منتجات شركة STECA وجدنا المعرج 24-2600 وهو باستطاعة [KVA] 2.6 ومن ثمّ نحتاج معرجين باستطاعة:

$$Power \cdot of \cdot Inverter = 2 \times 2600 = 5.2 \text{ [KVA]}$$

والشكل (7) يبيّن المعرج المستخدم عملياً. [5]



الشكل (7) المعرج المستخدم في الجزء العملي [8]

يصبح تيار الحقل أكبر من تيار الحمل $I_{pv} > I_L$ ويغذى الحمل من الألواح والتيار المتبقي يشحن المدخرات $I_B = I_{pv} - I_L$.

المنطقة: 13H-15H D

تزداد نسبة شحن المدخرات لتصل إلى القيمة الأعظمية SOC_{max} .

المنطقة E: 15H-23H

ينخفض تيار الحقل $I_{pv} < I_L$ ويغذى الحمل من المدخرات وتتنخفض نسبة الشحن SOC حتى انعدام تيار الحقل $I_{pv} = I_L$.

ولمعرفة قيمة القدرة الكهربائية السنوية الناتجة من النظام الكهرضوئي المستقل الذي نُفِّذَ نُقِّدَ القراءات خلال عام كامل لكل من القدرة الكهربائية المستهلكة (الحمل)، والقدرة الكهربائية المولدة (التوليد)، وكانت النتائج كما هو موضَّح في الجدول (6).

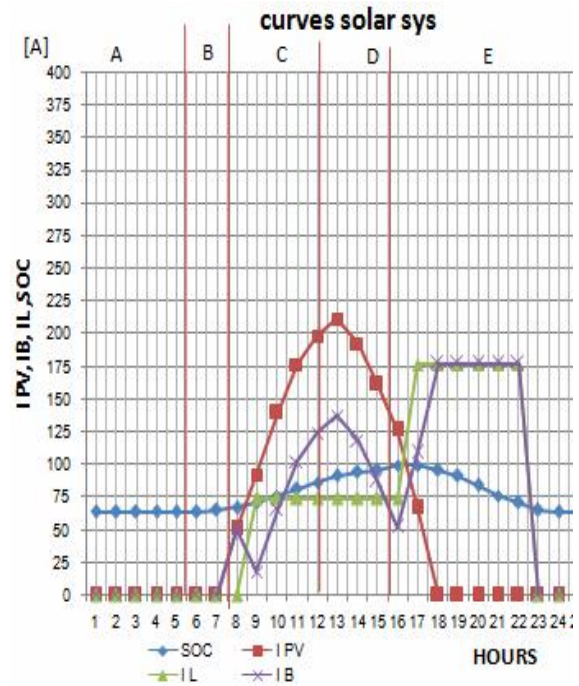
الجدول (6)

القدرة الكهربائية لكل من الحمل والتوليد ليوم نموذجي لكل شهر من شهور السنة

| month/2012 | Jan | Feb | Mar | Apr | May | Jun |
|---------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| P G(pv) [KWh] | 42.4 | 46.6 | 55.5 | 61.6 | 70.9 | 76.1 |
| P Load [KWh] | 39.00 | 40.20 | 41.45 | 42.10 | 43.20 | 44.60 |
| month/2012 | Jly | Aug | Seb | Oct | Nov | Des |
| P G(pv) [KWh] | 78.9 | 69.2 | 57.0 | 46.0 | 42.2 | 38.9 |
| P Load [KWh] | 43.30 | 42.20 | 41.80 | 41.45 | 40.30 | 37.9 |

كما يبيِّن الشكل (9) منحنيات الحمل والتوليد خلال العام التي رُسمت من خلال أخذ القياسات العملية لكل شهر من شهور السنة، ونلاحظ من هذه المنحنيات أن النظام يغطي حاجة الحمل في أسوأ شهر من السنة ويولد طاقة أكبر في أشهر الصيف، ويمكن الاستفادة من هذه القدرة الفائضة

وقد رُسمت المنحنيات لكل من تيار الحقل I_{PV} وتيار المدخرات I_B ، وتيار الحمل I_L ، ونسبة شحن المدخرات SOC وذلك بناءً على القياسات التي أُخِذت ليوم نموذجي في شهر كانون الأول في فصل الشتاء، كما في الشكل (8). [4]



الشكل (8) منحنيات تيار الحمل والألواح والبطاريات وحالة شحن المدخرات خلال يوم كامل في الشتاء (القيم العملية)

ولفهم آلية عمل النظام قُسمَ اليوم إلى مناطق:

المنطقة A: 0H-7H

يكون تيار حقل الألواح $I_{pv}=0$ والحمل يغذى من البطاريات فقط إن وجد.

المنطقة B: 7H-8H

ازدياد في تيار الحقل I_{pv} ولكنه غير كافٍ لتغذية الحمل، ويستمر تفريغ المدخرات $I_B = I_L$.

المنطقة C: 8H-13H

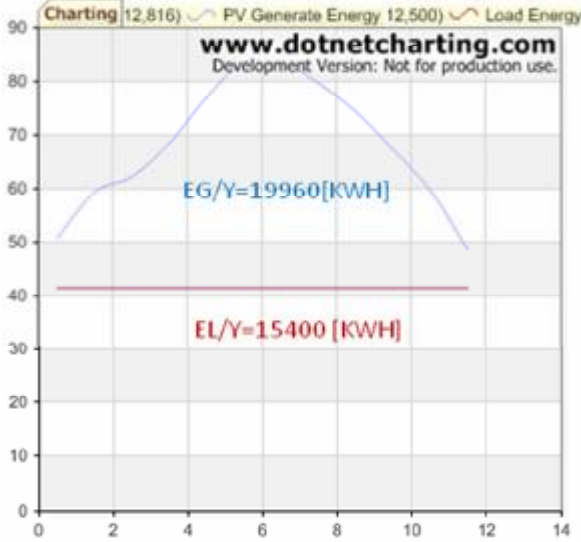
$$EA = E_{Jen} + E_{Feb} + E_{Mar} + E_{Apr} + E_{May} + E_{Jun} + E_{Jul} + E_{Aug} + E_{Sep} + E_{Oct} + E_{Nov} + E_{Des}$$

$$EA(Gen) = 19960 \quad [KWH / YEAR]$$

في حين القدرة المستهلكة نظرياً تبعاً لقيمة الحمل التصميمي مساوية لـ:

$$EA (Load) = 15400 \quad \left[\frac{kwh}{year} \right]$$

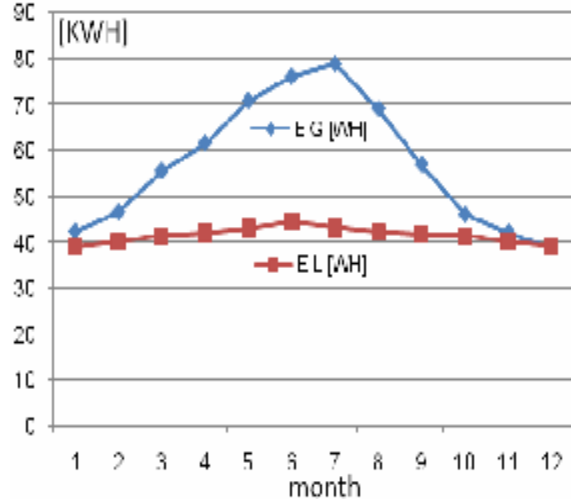
ورُسمت منحنيات التوليد والحمل النظرية لمقارنتها بالمنحنيات العملية، كما في الشكل (10).



الشكل (10) منحنيات الحمل والتوليد وقيمة الطاقة المولدة والمستهلكة خلال أشهر العام (القيم النظرية)

ومن خلال المقارنة بين النتائج النظرية والنتائج العملية لوحظ بعض الاختلاف البسيط في القيم؛ وهذا يعود لعدم توافر حجم المعطيات الكبير والدقيق فضلاً عن الأخطاء الناتجة عن القياس، مع الأخذ بالحسبان اختلاف كفاءة التجهيزات المستخدمة تبعاً لقيمة الأحمال الكهربائية.

بإضافة أحمال أخرى تغذى من الطاقة الشمسية صيفاً عن طريق معرج إضافي يعمل في أشهر محددة من السنة وذلك بهدف رفع كفاءة الطاقة الكهربائية المولدة. [4]



الشكل (9) منحنيات الحمل والتوليد وقيمة الطاقة المولدة والمستهلكة خلال أشهر العام (القيم العملية)

ولحساب القدرة الوسطية السنوية المولدة من النظام نظرياً نقوم بحساب القدرة الكهربائية الناتجة عن شدة الإشعاع الشمسي لكل شهر من شهور السنة باستخدام المعادلة الآتية:

$$Ea_m = G(b)_m \times AA \times ME \times SE \times 30 \quad [kwh]$$

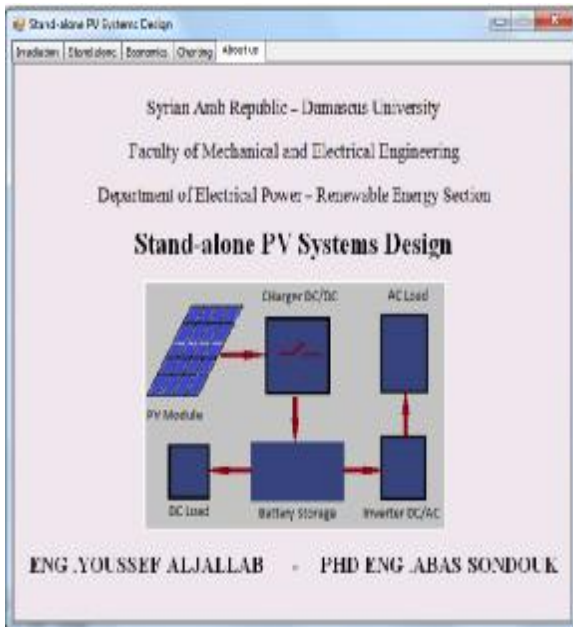
وستُحسب القدرة الناتجة من النظام لشهرين

$$Ea_{Dec} = 4.1 \times 91.5 \times 0.14 \times 0.8 \times 30 = 1326 \quad \left[\frac{kwh}{m} \right]$$

$$Ea_{Aug} = 5.8 \times 91.5 \times 0.14 \times 0.8 \times 30 = 1887 \quad \left[\frac{kwh}{m} \right]$$

وهكذا بإجراء الحساب لشهور السنة جميعها وجمع القدرة الكهربائية للأشهر جميعها نحصل على القدرة الكهربائية السنوية النظرية السنوية EA .

غرضية التوجه، ويمكننا من خلالها التعامل مع واجهات المستخدم بسهولة، وقد استُخدمت عدة مكتبات منها مكتبات التعامل مع الملفات ومكتبة رسم المخططات البيانية والمكتبات التي تحوي التتابع الحسابية التي تزودنا بها بيئة الـ"دوت نت" وسنبيّن الخوارزميات المستخدمة في تصميم البرنامج فضلاً عن واجهات البرنامج كما يأتي:
1- الواجهة الرئيسية للبرنامج كما في الشكل (11).



الشكل (11) واجهة البرنامج الخاص بتصميم النظم المستقلة

2- خوارزمية حساب شدة الإشعاع الشمسي على سطح الألواح بالاعتماد على بيانات الموقع الجغرافي لمكان تركيب الحقل الكهروضوئي، كما في الشكل (12).

أما من الناحية الاقتصادية فلن نتطرق للحسابات الاقتصادية إنما فقط لأسعار التجهيزات خلال مدة تنفيذ المشروع عند سعر صرف للدولار مقداره $1\$ = 50 SP$ ، كما هو مبين في الجدول (7).

الجدول (7)

الكلفة الاقتصادية لعناصر النظام كنسبة مئوية من استطاعة النظام الكهروضوئي المستقل

| الكلفة الانصافية للنظام الكهروضوئي المستقل باستطاعة [12[KWp] | | | | | |
|--|---------------------|------------|--------------|------------|---------------------|
| النظام بغنى حمل باستطاعة [5[KW] عند [3[H] خلال يوم / 40[kWh/c] | | | | | |
| التركيب | العتبات أجهزة تحديد | المرجع | منظمات الشحن | المعدات | الألواح الكهروضوئية |
| | 18 [sp/vp] | 66 [sp/va] | 100 [sp/a] | 23 [sp/ah] | 110.6 [sp/wp] |
| | 251 [SP/Wp] | | | 3049000 | كلفة إجمالية : |

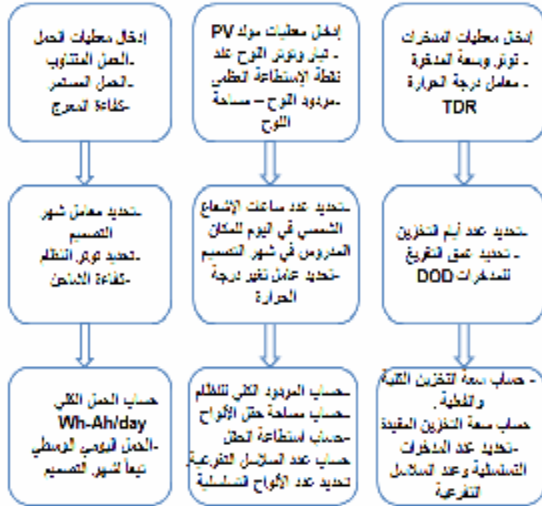
وقد حُسبت كلفة وحدة الطاقة الكهربائية الناتجة من هذا النظام بالأخذ بالحسبان الاعتبارات جميعها من كلفة إنشاء وكلفة تشغيل ونسبة الفائدة السنوية وعوامل تعجيل فضلاً عن عمر التجهيزات خلال مدة الدراسة وكان مقدارها.

$$\text{Unit Electrical Cost} = 19.67 \left[\frac{SP}{kwh} \right]$$

3-5 تنفيذ برنامج لتصميم النظم المستقلة

إن اختيار لغة البرمجة وبيئة التطوير لتنفيذ برنامج لتصميم النظم الكهروضوئية المستقلة هو من الأمور الحساسة، إذ يجب أن تتوفر في لغة البرمجة صفات معينة مثل الأداء العالي لحل المعادلات الرياضية وتوافر المكتبات التي تدعم التعامل مع الواجهات فضلاً عن مكتبات التعامل مع الملفات، ومن خلال الدراسة والبحث تبين أن اللغة المناسبة هي لغة الـ C++، لأنّ ملفاتها التنفيذية هي الأكثر جودة بين لغات البرمجة، ولكن لسهولة الاستخدام وقع الخيار على لغة الـ C# ضمن بيئة الـ "دوت نت" وهي لغة

4- خوارزمية حساب طاقة الأحمال وحقل الألواح الشمسية وبنك المدخرات كما في الشكل (14).

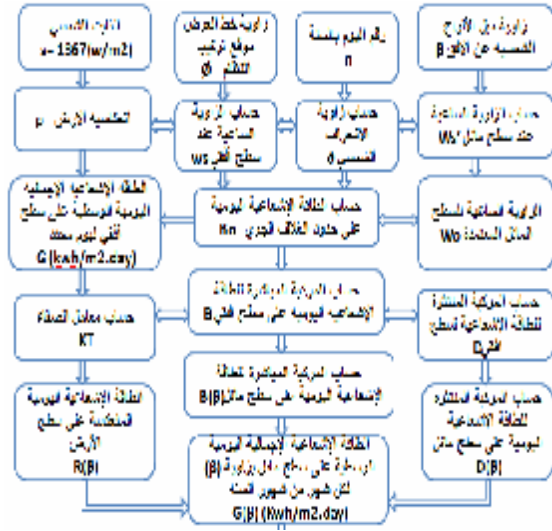


الشكل (14) خوارزمية حساب الأحمال، حقل الألواح، المدخرات

5- واجهة البرنامج الخاصة بحساب طاقة الأحمال والألواح الشمسية وسعة المدخرات الشكل (15).



الشكل (15) واجهة البرنامج الخاص بحساب (الأحمال الكهربائية - استطاعة الألواح الكهروضوئية-سعة المدخرات).



الشكل (12) خوارزمية حساب الإشعاع الشمسي على سطح الألواح الكهروضوئية المائلة بزاوية بيتا عن الأفق

3- واجهة البرنامج الخاصة بحسابات الإشعاع الشمسي كما في الشكل (13).



الشكل (13) واجهة البرنامج لحساب شدة الإشعاع الشمسي

يعدُّ هذا المشروع من المشاريع المهمة في منطقة الشرق الأوسط إذ يولد النظام سنوياً نحو 20,000 [kwh] تقريباً إذ إن الهدف الرئيسي من هذا المشروع هو البحث والتطوير العلمي وتشجيع استخدام تكنولوجيا الطاقات المتجددة لتحقيق التنمية المستدامة للحفاظ على كوكب الأرض، والشكل (13) يبيِّن صورة للمشروع الذي نُفِّذَ على سطح البناء البيئي الأخضر.



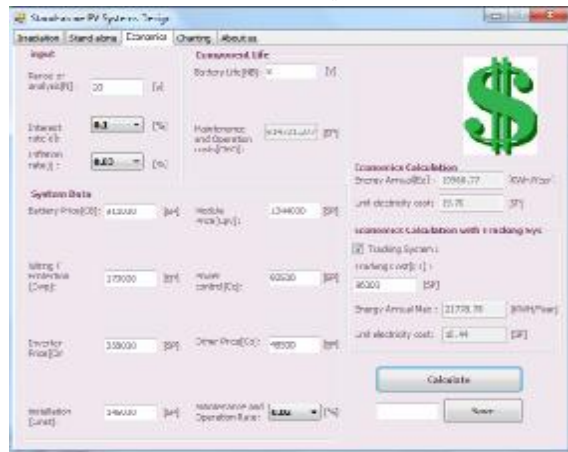
الشكل(13) يبيِّن ألواح الطاقة الشمسية للمشروع الذي نُفِّذَ على سطح البناء البيئي الأخضر باستطاعة 12[KW]

6- خوارزمية حساب القدرة الكهربائية السنوية وكلفة وحدة الطاقة الكهربائية الشكل (16).



الشكل (16) خوارزمية حساب (القدرة الكهربائية السنوية - كلفة وحدة الطاقة الكهربائية).

7- واجهة البرنامج لحساب القدرة الكهربائية السنوية وكلفة وحدة الطاقة كما في الشكل (17).



الشكل (17) يبيِّن واجهة البرنامج الخاص بحساب (كمية القدرة الكهربائية السنوية - كلفة وحدة الطاقة الكهربائية)

ABBREVIATION:

| | |
|-----|-------------------------------------|
| AA | Area Array |
| AC | Alternating Current |
| Ah | Ampere-hour of the battery capacity |
| AM | Area Module |
| CHE | Charger Efficiency |
| DC | Direct Current |
| DOD | Depth of discharge |
| DOS | Days Of Storage |
| EA | Energy Annual |
| IE | Inverter Efficiency |
| IC | Current Charger |
| KWh | Kilo watt hour |
| KW | Kilo watt |
| ME | Module Efficiency |
| MPP | maximum power point |
| PSH | Peak Sun Hour |
| PA | Power Array |
| PM | Power Module |
| PV | Photovoltaic |
| SE | Storage Efficiency |
| TC | Temperature Coefficient |
| TSC | Total Storage Capacity |
| US | Useful Storage |

المراجع*:

- [1]- Mohammad Sabone "Stand Alone PV System Industry (PV Laboratory-NSC 2005)".
- [2]- Ali Hamzah "PV System Engineering Design and Analysis", (Damascus University 2008).
- [3]-Avon Project Engineering (Damascus University 2008).
- [4]- Planning And Installing PVS – A Guide for Installers Architects and Engineers (German Solar Energy Society –DGS LV Berlin BRB 2005).
- [5]-Wind and Solar - Design, Analysis, and Operation, Second Edition 2006 U.S. Merchant Marine Academy, New York.
- [6]- BAE SECURA PVV CELL solar "Technical Specification for Valve Regulated Lead-Acid Batteries (VRLA)/2008".
- [7]-Steca Elektronik GmbH Germany "Steca Power Tarom 2140".
- [8]- Steca Elektronik GmbH | 87700 Memmingen "Steca Compact 2600-24.