

إيجاد الحل الأمثل لتغذية الأحمال الكهربائية لقرية نائية باستخدام الخلايا الكهروضوئية

الدكتور مسعود صبيح*

سهام عساف**

(تاريخ الإيداع 30 / 10 / 2013. قُبِلَ للنشر في 14 / 1 / 2014)

□ ملخص □

يهدف هذا البحث الى تحديد تكلفة الخلايا الشمسية كمصدر للطاقة المتجددة والمدخرات كمصدر للطاقة التقليدية وإيجاد الحل الأمثل لتغذية الأحمال الكهربائية لقرية نائية. يعد استخدام الطاقات المتجددة بشكل عام والطاقة الشمسية على وجه الخصوص لانتشارها على كامل رقعة هذا العالم توجهاً صحيحاً وقد يكون إلزامياً عند الحاجة لتغذية القرى والمواقع البعيدة عن الشبكة الكهربائية، فقد يكون من أجدى البدائل المتاحة أيضاً للأحمال الكهربائية ذات الحمل المنخفض للطاقة كالمزارع أو المساحات ذات الطابع الريفي، حيث يساهم هذا الإجراء في تحسين المستوى الاقتصادي والثقافي لهذه الأماكن. قمنا من هذا المنطلق بإجراء هذه الدراسة على قرية الرايبة الواقعة إلى شرق مدينة حمص بمسافة تبلغ [50Km] ، نفذت الدراسة الفنية بتغذية كل منزل بشكل مستقل لتقادي مد الشبكة بين المنازل المتباعدة، أما المرافق العامة فتم تغذيتها بمنظومة خلايا كهروضوئية واحدة، استخدمت في هذا البحث نمذجة رياضية جديدة وتم صياغتها على شكل برامج حاسوبية بلغة Visual Fortran، يمكن لهذا البرنامج تحديد حجم النظام وإجراء مقارنه لمختلف النماذج المتاحة وتحديد النماذج الأكثر موثوقية والأقل كلفة.

الكلمات المفتاحية: حل أمثل، خلايا كهروضوئية، تخزين مدخرات، ترشيد الطاقة.

* أستاذ - قسم هندسة الطاقة الكهربائية - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية.
** مشرفة على الأعمال - قسم هندسة القوى الميكانيكية - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية-جامعة تشرين-اللاذقية - سورية.

Determining the Optimum Solution to Supplying Electrical Loads to a Remote Village, using Photovoltaic Cells

Dr. Massoud Sabyh*
Siham Assaf**

(Received 30 / 10 / 2013. Accepted 14 / 1 / 2014)

□ ABSTRACT □

This paper aims to determine the cost of photovoltaic cells -being a source of renewable energy, and the batteries being a source of traditional energy- for finding a solution to supplying electrical loads to a remote village. It is a reasonable practice to use the renewable energy in general and the solar energy in particular due to being freely available worldwide. This trend can be obligatory when a need arises to supply villages and sites which are far from electrical power systems. It is also one of the available options in low energy electrical loads on farms or in rural areas. This procedure will serve to improve the cultural and economic standards of these sites. In this respect, we conducted this study in Alrabia village located 50Ks to the east of Homs. The technical study was executed by a separate supply to each house to avoid connections between remote houses. The public utilities, however, were supplied by one photovoltaic cell system. In this study, we used a new mathematical model designed in the form of Visual Fortran computer programs. This model can also determine the size of the system by comparing various available models for selecting the cost-effective and more reliable one.

Keywords: Optimum solution, Photovoltaic cells, Batteries storage, Energy saving.

* Professor, Department of Electrical Power, Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.

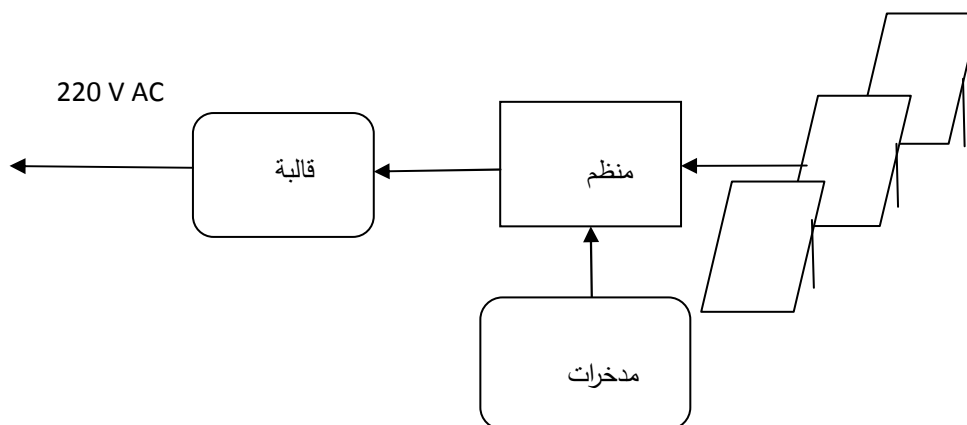
** Work Supervisor, Department of Mechanical Power Engineering, Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.

مقدمة:

يؤدي استخدام الطرق التقليدية في توليد الطاقة الكهربائية الى مشاكل بيئية خطيرة وأيضاً مشاكل صحية، يتم التخلص من المشاكل السابقة باستخدام الطاقات المتجددة لتوليد الطاقة الكهربائية ويضاف اليها المزايا التالية:

- عدم مركزية الأنشطة الصناعية والاقتصادية في المدن.
- حياة متوازنة مع الطبيعة.
- خلق فرص عمل للمناطق النائية.
- إعطاء فرصة لإزدهار المناطق الريفية.

سيكون استخدام الطاقة الشمسية لتغذية الأحمال الكهربائية للقرى الصغيرة أو النجوع أو الأماكن المعزولة عن الشبكة الكهربائية مجدياً اقتصادياً وقد يصبح خياراً ليس له بديل في المستقبل. يحول الإشعاع الشمسي مباشرة بواسطة الخلايا الكهروضوئية الى طاقة كهربائية بتيار مستمر، يبين الشكل(1) المخطط الصندوقي لعمل مولدات الخلايا الكهروضوئية لتغذية الحمولة الكهربائية المطلوبة لمنزل.



الشكل(1):المخطط الصندوقي لنظام خلايا كهروضوئية.

يلبي استخدام الطاقات المتجددة بشكل عام والطاقة الشمسية على وجه الخصوص احتياجات المناطق الريفية والمعزولة من الطاقة الكهربائية اللازمة لعملية الإضاءة، والطهي، والتسخين، والصناعات الخفيفة، والري والسقاية، والخدمات، والأنشطة الصناعية.

في الواقع، إن المناطق الريفية والمواقع الزراعية المعزولة عن الشبكة الكهربائية العامة في سوريا ليست قليلة، فهناك مناطق كثيرة في البادية والجزيرة ومحافظه حمص، ويضاف الى ذلك مليون نقطة سقاية تحتاج الى مليار لتر من المازوت سنوياً [1] ، حيث تمثل نموذجاً جيداً لاستخدام منظومة الخلايا الكهروضوئية لتغذية هذه الأحمال.

قمنا من هذا المنطلق بإجراء هذه الدراسة على قرية الرابية الواقعة الى شرق مدينة حمص بمسافة تبلغ [50Km] ، حيث نفذت الدراسة الفنية بتغذية كل منزل بشكل مستقل لتفادي مد الشبكة بين المنازل المتباعدة، أما المرافق العامة فتم تغذيتها من منظومة خلايا كهروضوئية واحدة.

يتم تحديد الحجم الاقتصادي للخلايا الكهروضوئية والمدخرات من بين عدة خيارات أو بدائل متاحة وذلك من خلال المقارنة مع كلفة إنتاج القدرة لمختلف النماذج باستخدام برامج حاسوبية بلغة Visual Fortran .

أهمية البحث وأهدافه:

يعد استخدام الطاقات المتجددة بشكل عام والطاقة الشمسية على وجه الخصوص لانتشارها على كامل رقعة العالم توجهاً صحيحاً وقد يكون هذا التوجه إلزامياً عند الحاجة لتغذية القرى والمواقع المعزولة عن الشبكة الكهربائية العامة، أيضاً في حالة الأحمال الكهربائية ذات الطلب المنخفض للطاقة كالمزارع أو المساحات ذات الطابع الريفي فقد يكون ذلك من أجدى البدائل المتاحة، حيث يساهم هذا الإجراء في تحسين المستوى الاقتصادي والثقافي لهذه الأماكن.

كانت كفاءة التحويل للخلايا الكهروضوئية منذ فترة ليست ببعيدة لا تتعدى 6% ، كما كانت ذات كلفة عالية ولكن زيادة الاهتمام واتساع مجالات الأبحاث والتطبيقات للخلايا الشمسية أدى الى تحسين الكفاءة الى 16% [2].

يهدف هذا البحث الى تحديد منظومة الخلايا الكهروضوئية الأكثر اقتصادية من بين مجموعة عروض متاحة وذلك بإجراء مقارنة اقتصادية وتحديد النموذج الأقل كلفة لإنتاج واحدة القدرة.

طرائق البحث ومواده:

يتم تحديد حجم نظام الخلايا الكهروضوئية من خلال اعتماد معلومات دقيقة حول الحمولة، والحصول على البيانات اللازمة لتحديد قيم الإشعاع الشمسي لموقع القرية، حيث حددت قيم الإشعاع الشمسي من خلال نمذجة رياضية، كما أخذ بالاعتبار أسوأ حالة لطلب الحمولة وبيانات المناخ واعتبار ذلك أساساً لتحديد حجم الخلايا الكهروضوئية والمدخرات بهدف تأمين موثوقية جيدة لعمل المنظومة.

يرمي الإجراء الفني في هذا البحث الى تغذية كل منزل بشكل مستقل لتفادي مد الشبكة بين المنازل المتباعدة، أما المرافق العامة فيتم تغذيتها من منظومة خلايا كهروضوئية واحدة.

استخدمت في هذا البحث نمذجة رياضية جديدة وتم صياغتها على شكل برامج حاسوبية بلغة Visual Fortran يستطيع هذا البرنامج تحديد حجم النظام وإجراء مقارنة لمختلف النماذج المتاحة وتحديد النموذج الأكثر موثوقية والأقل كلفة.

الإشعاع الشمسي

تتعلق شدة الإشعاع الشمسي الساقط على سطح الأرض بموقع سطح الأرض بالنسبة للشمس، ولتحديد قيمته بالنسبة لموقع الدراسة يجب تحديد قيم الزوايا الهندسية وأيضاً أنواع الإشعاع الشمسي وذلك وفقاً لما يلي:

تعطى زاوية انحراف الشمس بالعلاقة [3]:

(1)

$$\delta = 23.45 + \sin\left(\frac{360}{365}(284 + n)\right)$$

حيث: n: رقم اليوم في السنة

يتألف الإشعاع الشمسي الواصل الى الأرض من إشعاع مباشر ومنعكس ومبدد.

الإشعاع على السطح الأفقي:

تعطى شدة الإشعاع الشمسي المباشر الساقط على سطح الأرض سقوطاً حراً بالعلاقة (2)[4] حيث تمثل شدة الإشعاع المباشر الساقط بشكل مائل على السطح والمتعامد مع الشمس:

(2)

$$H_{Bn} = A e^{-B/\sin\alpha} [W/m^2]$$

حيث: A: إشعاع شمسي عند انعدام كثافة الهواء

B: معامل اختفاء الغلاف الجوي

 α : زاوية ارتفاع الشمس

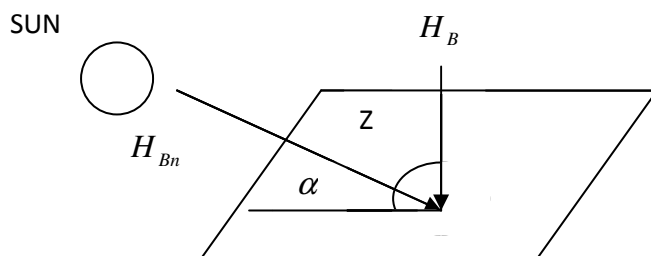
يتوقف تغير قيم A & B على التغير السنوي للمسافة بين الأرض والشمس والتغير الفصلي لمحتوى الغلاف الجوي من الرطوبة. يعطى الإشعاع الشمسي المباشر الساقط على سطح الأرض سقوطاً حراً بالعلاقة:

(3)

$$H_B = H_{Bn} \sin\alpha$$

حيث: α : زاوية ارتفاع الشمس

يبين الشكل (2) الإشعاع المباشر الساقط على السطح الأفقي.



الشكل (2): إشعاع شمسي مباشر ساقط على السطح الأفقي.

يعطى الإشعاع الشمسي المبعثر الناتج عن الإشعاع الشمسي الساقط على سطح اختياري بعد تعرضه لعوامل الانعكاس والانكسار بالعلاقة (4) ، حيث تصادف هذه الحالة عندما تكون السماء ملبدة بالغيوم.

(4)

$$H_d = C H_{Bn} F_{ss}$$

حيث: C:معامل تشتت الإشعاع.

F_{ss} : المعامل الزاوي بين السطح والسماء.

يعطى المعامل الزاوي من أجل سطح يميل بزاوية S بالعلاقة التالية:

(5)

$$F_{ss} = 0.5(1 + \cos s)$$

حيث: s:الزاوية بين السطح والمستوي الأفقي وهو يعادل خط العرض للموقع، قيمة المعامل الزاوي للسطح العمودي $F_{ss} = 0.5$ ، وللسطح الأفقي $F_{ss} = 1$.
الإشعاع الشمسي الكلي الساقط على سطح أفقي:

(6)

$$H = H_B + H_d$$

الإشعاع على السطح المائل:

يتكون الإشعاع على السطح المائل من إشعاع مباشر وإشعاع مبدد في السماء وإشعاع منعكس من الأرض. يوضح الشكل (3) الإشعاع المباشر الساقط على سطح مائل.
يعطى الإشعاع المباشر الساقط على السطح المائل بالعلاقة:

(7)

$$H_{Bt} = H_{Bn} \cos i$$

حيث: i:زاوية السقوط الشمسي على السطح وهي الزاوية بين أشعة الشمس والخط العمودي على السطح.

يعطى الإشعاع الشمسي المبدد من السماء الساقط على سطح مائل بالعلاقة:

(8)

$$H_{dt} = H_d [(1 + \cos s) / 2]$$

يعطى الإشعاع المنعكس من الأرض الى السطح المائل بالعلاقة:

(9)

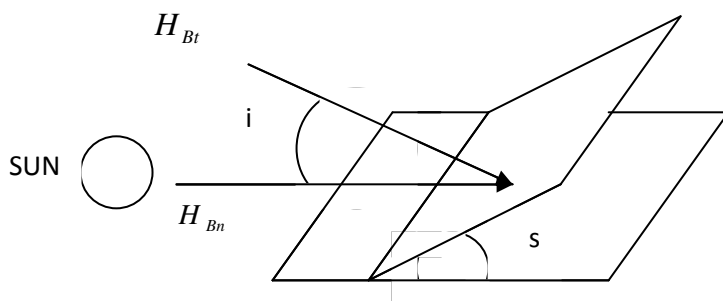
$$H_{gt} = H \rho_g [(1 - \cos s)/2]$$

حيث: ρ_g : معامل انعكاس الأرض للأشعة المباشرة والمبعثرة وتعتمد قيمته على طبيعة سطح الأرض (0.2 أرض غير مغطاة بالثلوج، 0.79 أرض مغطاة بالثلوج).

يعطى الإشعاع الشمسي الكلي الساقط على سطح مائل بالعلاقة:

(10)

$$H_T = H_{Bt} + H_{dt} + H_{gt}$$



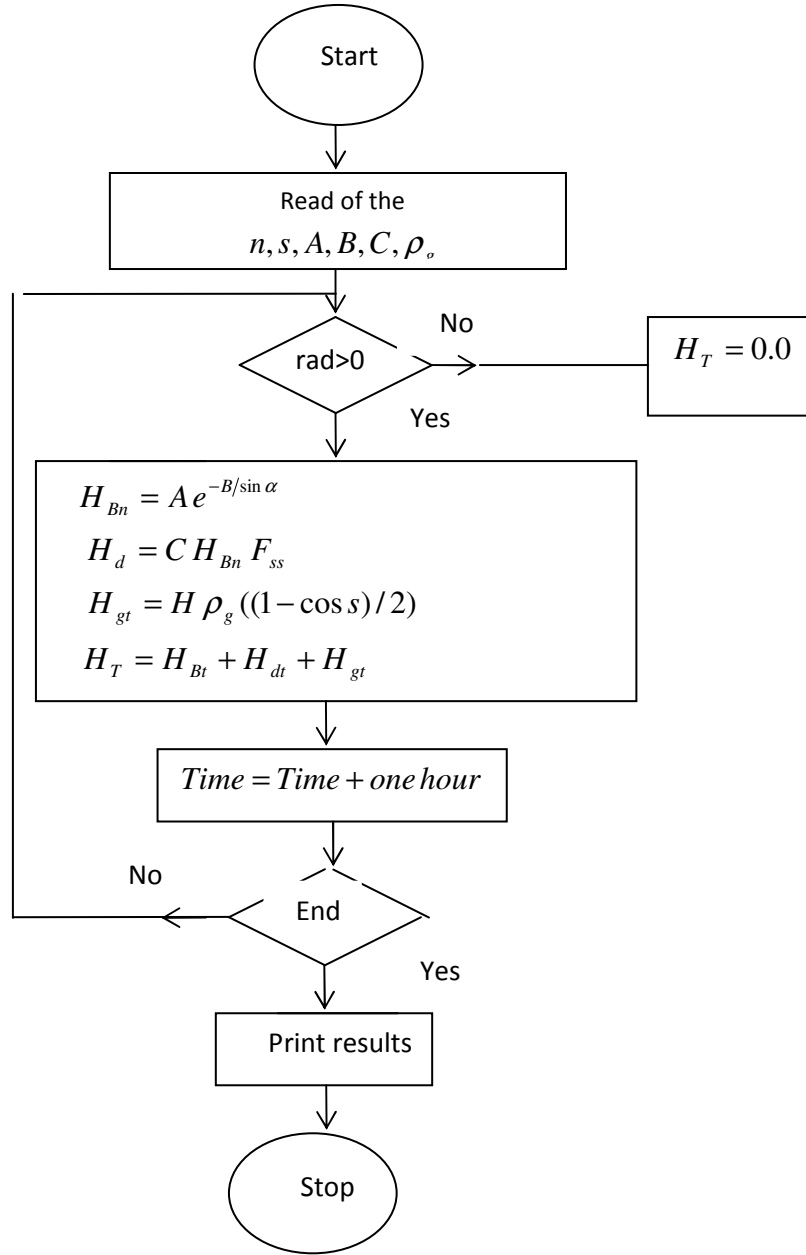
الشكل (3): إشعاع مباشر ساقط على سطح مائل

تم إعداد البرنامج الحاسوبي بلغة (Visual Fortran) لتحديد قيم الإشعاع الشمسي بسهولة كقيم ساعية على سطح مائل بزواوية تساوي خط العرض للموقع ($s = 35^\circ 40'$) وعلى مدار العام خلال فترة السطوع الشمسي ، المخطط الصندوقي موضح بالشكل (4).

يتم باستخدام البرنامج الحاسوبي تحديد القيم المتوسطة الشهرية للإشعاع الشمسي اليومي، عدد ساعات السطوع الشمسي [Hours] NH والقيم المتوسطة الشهرية للإشعاع الشمسي اليومي [RAD] [KWh/m²/day] والنتائج موضحة بالجدول (1).

الجدول (1): عدد ساعات السطوع الشمسي والقيم المتوسطة الشهرية للإشعاع الشمسي.

12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	الشهر
9	9	11	13	13	13	13	12	11	10	10	9	NH
5.75	6.25	7.1	7.40	7.25	7.1	7.1	7.25	7.5	7.15	6.55	6.01	RAD



الشكل(4):المخطط الصندوقي لحساب المتوسط الشهري لشدة الإشعاع.

حمولة القرية

تتألف القرية موضوع البحث من حوالي 150 أسرة بمتوسط عدد أفراد كل أسرة 5 أفراد، بالدراسة التفصيلية لسيناريو حياة هذه الأسرة من حيث أنواع الأحمال الكهربائية اللازمة، وعامل الطلب، والفترة المتوقعة لعمل كل منها بما يناسب فصلي الشتاء والصيف كما هو موضح بالجدول(2).
تصبح الحمولة المنزلية لكامل القرية في الشتاء بأخذ عدد الأسر والبالغ 150 أسرة:

$$E_{v,w} = 150 * 6600 = 9900 [KWh/day]$$

الحمولة المنزلية لكامل القرية في الصيف:

$$E_{v,s} = 150 * 5650 = 847.5 [KWh/day]$$

جدول (2): أنواع الأحمال الكهربائية، عامل الطلب D_f [%] ، استطاعة كل حمولة P [W] وفترة عملها.

القدرة المستجرة [Wh]		فترة التشغيل [h]		عامل الطلب D_f [%]	الاستطاعة P [W]	نوع الحمولة
صيف	شتاء	صيف	شتاء			1-أحمال الإثارة
57.6	172.8	21-23	17-23	0.8	36	صالون
9	18	22-23	20-22	0.5	18	نوم 1
9	18	22-23	20-22	0.5	18	نوم 2
9	27	21-23	17-23	0.25	18	مطبخ
3.6	10.8	21-23	17-23	0.2	9	حمام
2.8	8.4	21-23	17-23	0.2	7	WC
15.75	22.75	21-6	17-6	0.25	7	موزع 1
15.75	22.75	21-6	17-6	0.25	7	موزع 2
11	33	21-23	17-23	0.5	11	برندة
237.6	477	20-23	18-24	0.44	180	2-كمبيوتر
300	660	18-23	13-24	0.6	100	3-TV
2880	2880	0-24	0-24	0.6	200	4-ثلاجة
1500	1500	12-15	12-15	0.25	2000	5-غسالة
300	450	12-14	12-15	0.3	500	6-سخان
300	300	16-17	16-17	0.3	1000	7-مكواة
5650	الإجمالي 6600					

المدارس:

القدرة المتوقع استجراتها بفرض كل أسرة وكمعدل وسطي لديها ولدين في مرحلة التعليم ما قبل الجامعي، وفي حال احتوى كل صف على 25 Students ، يصبح عدد الصفوف $N_c = 12$ Classes ، باعتبار مساحة الصف الواحد تقدر بحوالي $24[m^2]$ ، باستخدام مصابيح موفرة للطاقة وباستطاعة $100[W]$ لكل غرفة ولمدة خمس ساعات يومياً، شدة الإضاءة المطلوبة $300[Lux]$ ، الغرف الخاصة بالمدرسين والإدارة والمخابر تقدر بحوالي أربع غرف، من أجل عامل طلب 0.5 :

$$E_{school} = 5 * (12 + 4) * 100 * 0.5 = 4000.0 [Wh/day]$$

أماكن العبادة:

القدرة المطلوبة بوجود دار عبادة وبمساحة وسطية $200[m^2]$ وحسب شدة الإضاءة (lumen) لمثل هذه الأماكن $100[Lux]$ ، باستخدام مصابيح موفرة للطاقة تكون الاستطاعة المستجرة بحدود $400 [W]$ ، ومن أجل زمن استرجار للطاقة يعادل ساعة في الصباح وساعة في المساء تكون:

$$E_{cult.} = 400 * 2 = 800 [Wh / day]$$

مركز الإرشاد الزراعي:

القدرة اللازمة بفرض هذا المركز يتألف من غرفتين وزمن التشغيل يعادل $8[h]$ والاستطاعة المطلوبة لكل غرفة $150[W]$ ، لتغطية هذه الحمولة مع عامل طلب 0.5 تعطى بالقيمة:

$$E_{direc.} = 8 * 2 * 150 * 0.5 = 1200 [Wh / day]$$

المرافق والخدمات العامة:

القدرة المطلوبة من أجل المرافق والخدمات العامة حيث أنه بالإضافة الى الأحمال التي ذكرناها سابقا، هناك أحمال أخرى تدخل ضمن مجموعة المرافق العامة (مياه، هاتف، أماكن تجارية... الخ) وبشكل عام القدرة المستجرة من قبل هذه الأحمال تعادل تقريبا 7% [5] من إجمالي القدرة المستهلكة والتي تعادل:

$$E_{util.} = 0.07(4000 + 800 + 1200 + 9900) = 489.3 [Wh / day]$$

إجمالي الأحمال اليومية المطلوبة في الشتاء:

(11)

$$E_{servw} = E_{school} + E_{cult.} + E_{direc.} + E_{util.}$$

$$E_{servw} = 4000 + 800 + 1200 + 489.3 = 6489.3 [Wh / day]$$

إجمالي الأحمال اليومية المطلوبة في الصيف:

(12)

$$E_{servs} = E_{cult.} + E_{direc.} + E_{util.}$$

$$E_{servs} = 800 + 1200 + 489.3 = 2489.3 [Wh / day]$$

مواصفات الألواح الشمسية:

تم استخدام ثلاثة نماذج لألواح الخلايا الشمسية (Modules) ، المواصفات الفنية موضحة بالجدول (3).

الجدول(3):المواصفات الفنية للألواح الشمسية:

النوع ← المواصفات ↓	PV1	PV2	PV3
توتر الدارة المفتوحة $V_{oc}[V]$	21.82	21.7	43.5
تيار الدارة القصيرة $I_{sc}[A]$	7.64	6.9	3.45
توتر موافق للخروج الأعظمي $V_{MPP}[V]$	17.6	17.5	35
تيار موافق للخروج الأعظمي $I_{MPP}[A]$	6.81	6.3	3.15
استطاعة خرج أعظمية $P_{Max}[W]$	120	110	110
عدد الخلايا التسلسلية $N_s[Cells]$	36	36	72
الأبعاد $Size[Cm2]$	148X67.58	131.6X66	130.7X65.2
سعر واحدة الاستطاعة $C_w[S.P/W]$	124	124	124
سعر اللوح الشمسي $C_p[S.P/W]$	14880	13640	13640

تصحيح بارامترات اللوح الشمسي:

يتناقص جهد الخرج للوح الشمسي مع ارتفاع درجة الحرارة وذلك بمعدل % 0.23 لكل درجة حرارة إضافية عن حرارة العمل الطبيعية $[25^{\circ}C]$ ، ومن ثم تصبح مواصفات وحدات الخلايا الكهروضوئية بعد أخذ الحرارة بعين الاعتبار:

(13)

$$V_{oc1} = V_{oc}[V] - F_{temp}[V/^{\circ}C] * N_s[Cells] * (T_{Max} - T_n)$$

$$= 21.7 - 0.0023 * 36(32 - 25) = 21.12 [V]$$

حيث:

$$F_{temp}[V/^{\circ}C]: \text{معدل تناقص الجهد بزيادة الحرارة درجة واحدة}$$

$$T_{Max}[^{\circ}C]: \text{درجة حرارة أنية}$$

$$T_n[^{\circ}C]: \text{درجة حرارة العمل الطبيعية}$$

استطاعة الخرج الأعظمية:

(14)

$$P_{Max1} = P_{MPP1} = I_{sc} * V_{oc1} * FF$$

$$= 7.46 * 21.12 * 0.736 = 116.01 [W]$$

حيث:

FF: عامل الامتلاء وهو نسبة استطاعة الخرج الأعظمية الى جداء تيار القصر مع جهد الدارة المفتوحة.

توتر الدارة الموافق لنقطة الخرج الأعظمية:

(15)

$$V_{MPP1} = P_{Max1} / I_{MPP}$$

$$= 116.01/6.81 = 17.03 [V]$$

عدد الألواح الموصولة على التسلسل وعلى التفرع:

سيتم تحديد عدد الألواح الشمسية التسلسلية والتفرعية على أساس الحمولة المطلوبة خلال فصل الشتاء، وذلك على اعتبارها الحمولة الأكبر، بحسب التيار المستجر من مولدات الخلايا الشمسية:

(16)

$$I_{PV} = \frac{AH_L}{H_r}$$

$$AH_L = \frac{E_{L1}}{V_s} = \frac{6930}{24} = 288.7 [AC] \Rightarrow I_{PV} = \frac{AH_L}{H_r} = \frac{288.7}{5.81} = 49.69 [A]$$

حيث:

AH_L[AC]:سعة الحمولةV_s [V]:جهد النظام، يعادل 24[V]H_r[Hr]:فترة زمنية مقابلة للحد الأدنى من الإشعاعI_{PV}[A]:تيار يومي مستجر من مولدات الخلايا الشمسيةE_{L1} [Wh]:قدرة يومية مطلوب تغذيتها بعد الجداء بعامل التصحيح (1+C_{Los})C_{Los}=0.05:عامل تصحيح بسبب ضياعات الكابلات والشحن والمدخرات والقالبة

عدد الألواح الشمسية على التوازي:

(17)

$$N_{PP} = \frac{I_{PV}}{I_{MPP}} = \frac{49.69}{6.81} = 7.29 = 8 [Modules]$$

عدد الألواح الشمسية على التسلسل:

(18)

$$N_{PS} = \frac{V_s}{V_{MPP1}} = \frac{24}{17.03} = 1.4 = 2 [Modules]$$

عدد المدخرات:

يجب أن يحل نظام بديل عن منظومة الخلايا الشمسية عند انخفاض مستوى الإشعاع الشمسي من أجل ظروف مناخية مختلفة (ضباب، عواصف رملية، غيوم، ... الخ)، أو عند انعدامه (الليل). النظام البديل المقترح في هذا البحث هو استخدام مدخرات حمضية صناعية ذات السعة الكبيرة والتي يمكن اعتبارها من أفضل البدائل الممكن استعمالها مع

منظومة مجمعات الخلايا الشمسية، فهي ذات مجال كبير لسعة التخزين، وقدرة تفريغ كبيرة، بالإضافة الى انخفاض مستوى التفريغ الذاتي وانخفاض تكاليف الصيانة [6]. عدد الأيام بدون إشعاع شمسي $D=2$ [days] ، ومن خلال الحمولة يمكن تحديد السعة المطلوبة للمدخرات:

$$(19) \quad \phi = \frac{E_L [Wh/day] * D [days]}{V_s [V]} = \frac{6600 * 2}{24} = 550 [Ah]$$

بعد أخذ عمق التفريغ $DOD=0.8$ ومردود الشحن والتفريغ $f=0.85$ في الحساب تصبح السعة المطلوبة للمدخرات:

$$(20) \quad \phi_{Cor} = \frac{\phi}{f * DOD} = \frac{550}{0.85 * 0.8} = 808.8 [Ah]$$

المدخرات المستخدمة تمثل خمسة أنواع، الصفات المميزة لهذه الأنواع موضحة بالجدول (4).

الجدول(4): مواصفات المدخرات الحمضية المستخدمة:

السعر $C_{IB}[SP]$	السعة $C[Ah]$	الجهد $V[V]$	المدخرة	N_o
5000	200	12	Lead-acid 200[Ah]	B_1
4800	110	12	GNB-110 Ah	B_2
118072	615	12	GNB-615 Ah	B_3
96954	1600	6	GNB-1600 Ah	B_4
56875	820	6	GNB-820 Ah	B_5

بدراسة المدخرة B_1 ، عدد المدخرات على التسلسل يتم حسابها من خلال جهد المدخرة V_b وجهد النظام المستخدم:

$$(21) \quad N_{bs} = \frac{V_s}{V_b} = \frac{24}{12} = 2 [Batteries]$$

عدد المدخرات على التفرع:

$$(22) \quad N_{bp} = \frac{\phi_{cor}}{C} = \frac{808.8}{200} = 4 [Batteries]$$

التفريغ اليومي للمدخرة:

(23)

$$DD = \frac{E_L [Wh / day]}{V_s [V]} = \frac{6600}{24} = 275 [Ah / day]$$

سعة المدخرات المتاحة الممكن استخدامها:

(24)

$$C_{av} = N_{bp} * C = 4 * 200 = 800 [Ah]$$

نسبة التفريغ اليومي للمدخنة:

(25)

$$RAT_c = \frac{DD}{C_{av}} = \frac{275}{800} = 0.34 [Batteries]$$

السعة المتاحة الممكن استخدامها من المدخرات:

(26)

$$C_{ap} = C_{av} * 0.8 = 640 [Ah]$$

القيمة المطلوبة لسعة المدخرات بعد أخذ انعدام الإشعاع الشمسي لمدة يومين:

(27)

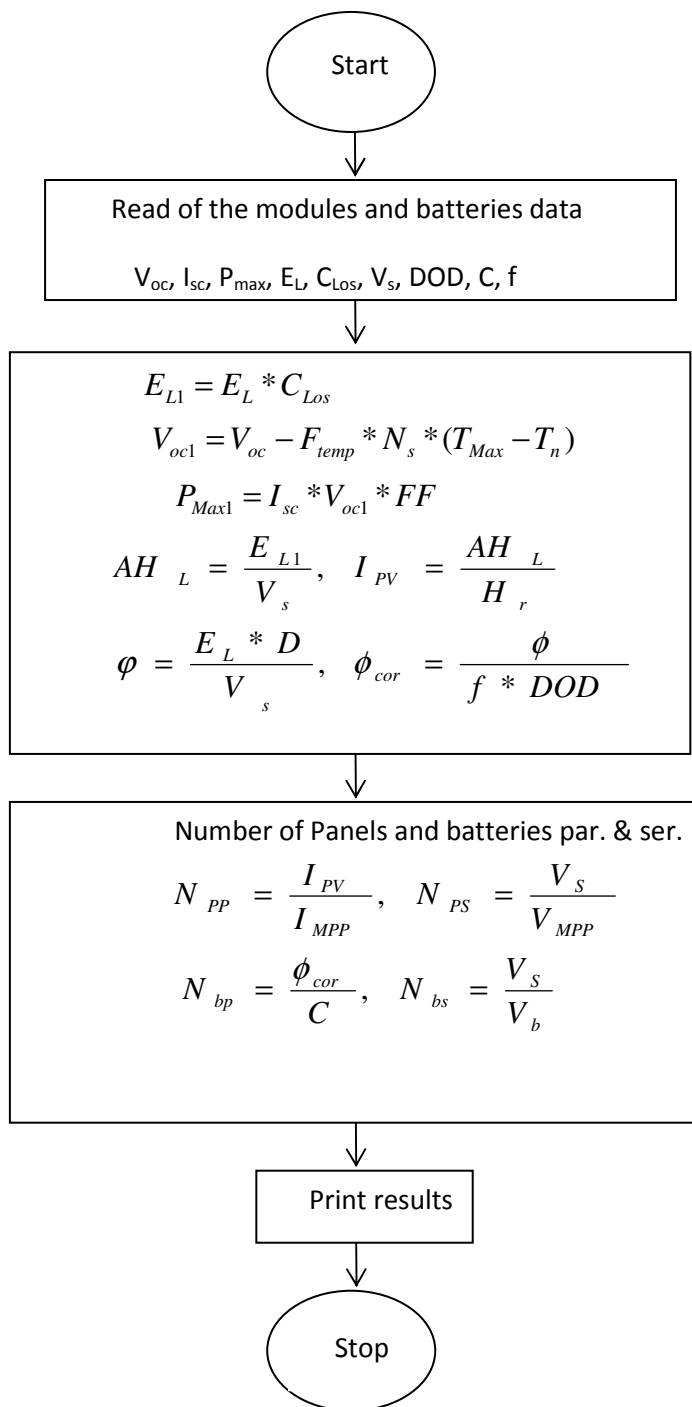
$$C_{Demand} = DD * 2 = 275 * 2 = 550 [Ah]$$

نسبة التفريغ من المدخرات في حال غياب الإشعاع الشمسي لمدة يومين:

(28)

$$RAT_D = \frac{C_{Demand}}{C_{av}} = \frac{550}{880} = 0.62 < 0.80$$

تم صياغة النمذجة السابقة ضمن برنامج حاسوبي لسهولة تحديد عدد الألواح الشمسية والمدخرات اللازمة لتغذية حمولة ما. يوضح الشكل (5) المخطط الانسيابي للبرنامج الحاسوبي.



الشكل(5):المخطط الانسيابي لحساب عدد الألواح والمدخرات التسلسلية والتفرعية.

تم تطبيق البرنامج الحاسوبي على النماذج المستخدمة للألواح الشمسية لحساب البارامترات لهذه الألواح بعد تصحيحها ممثلة بتوتر الدارة المفتوحة $V'_{oc}[V]$ ، التوتر الموافق للخروج الأعظمي $V'_{MPP}[V]$ ، عامل الامتلاء FF ، استطاعة الخرج الأعظمية $P'_{Max}[W]$ ، تم توظيف هذه البارامترات لتحديد عدد الألواح الشمسية اللازمة لتغذية

الحمولة المطلوبة الموصولة على التسلسل N_{PS} وعلى الفرع N_{PP} ومساحة اللوح الشمسي $A_p[m^2]$ ، النتائج موضحة بالجدول(5).

أعطى البرنامج الحاسوبي إمكانية تحديد عدد المدخرات المطلوبة على التسلسل N_{BS} ، وعلى الفرع N_{BP} ، نسبة التفريغ اليومي للمدخرة $RAT_C[\%]$ ، نسبة التفريغ عند غياب الإشعاع الشمسي لمدة يومين $RAT_D[\%]$ ، النتائج موضحة بالجدول(6).

الجدول(5): بارامترات الألواح الشمسية بعد التصحيح، توتر الدارة المفتوحة $V'_{oc}[V]$ ، التوتر الموافق للخروج الأعظمي $V'_{MPP}[V]$ ، عامل الامتلاء FF ، استطاعة الخرج الأعظمية $P'_{Max}[W]$ ، عدد الألواح الفرعية N_{PP} ، عدد الألواح التسلسلية N_{PS} ، مساحة اللوح الشمسي $A_p[m^2]$:

النموذج ← ↓ المواصفات	PV ₁	PV ₂	PV ₃
$V'_{oc}[V]$	21.18	21.06	42.22
$V'_{MPP}[V]$	17.09	16.99	33.97
FF	0.74	0.74	0.73
$P'_{Max}[W]$	116.35	107.01	107.02
N_{PP}	8	8	17
N_{PS}	2	2	1
$A_p[m^2]$	1.0	0.87	0.85

الجدول(6): عدد المدخرات على الفرع N_{BP} ، على التسلسل N_{BS} ، نسبة التفريغ اليومي للمدخرة RAT_C ، نسبة التفريغ عند غياب الإشعاع الشمسي لمدة يومين RAT_D .

المواصفات ← ↓ النموذج	N_{BP}	N_{BS}	RAT_C	RAT_D
B ₁	4	2	0.34	0.69
B ₂	8	2	0.31	0.62
B ₃	2	2	0.22	0.45
B ₄	1	4	0.17	0.34
B ₅	1	4	0.34	0.67

الدراسة الاقتصادية

تعتبر الكلفة الاقتصادية من أهم العوامل التي يجب مراعاتها عند إجراء أي دراسة علمية، من المعلوم أن سعر الخلايا الشمسية والأجهزة التي تدخل في تركيب النظام الشمسي مرتفع نسبياً ويعود الأمر إلى انخفاض مجال استخدام هذه التقنية نسبياً على الصعيد العالمي، إن سعر منظومة الخلايا الكهروضوئية أو التكلفة الأولية المرتفعة تمثل تكلفة

الإنشاء أو التكلفة الثابتة ولا يوجد تكاليف تشغيل، بينما تحتاج نظم الطاقة الكهربية التقليدية إلى مصاريف وتكاليف أثناء عملها تدعى بالتكاليف المتغيرة، نجد في الوقت الحاضر ونتيجة ارتفاع كلفة إنتاج القدرة الكهربية بالطريقة التقليدية اتساع مجال انتشار النظم الكهربية الشمسية، وهذا يساهم إلى حد كبير في تخفيض تكاليف التصنيع، ومن المحتمل أن نصل في المستقبل إلى تكاليف مقبولة.

التكاليف الثابتة:

تمثل الكلفة الثابتة كلفة إنشاء منظومة الخلايا الكهروضوئية أو المبالغ اللازمة لشراء أجزاء مولدات الخلايا الكهروضوئية، لذلك يجب تحديد قيمة شراء كل جزء على حدة:

-الخلايا الكهروضوئية:

تتبع كلفة شراء الخلايا الكهروضوئية عدة عوامل، من أهم هذه العوامل مادة التصنيع، وبلد المنشأ، واستطاعة الخرج، والمردود...الخ. الخلايا المستخدمة هي كريستال متعدد الطبقات بتكاليف صيانة منخفضة تقتصر على التنظيف من الغبار وهي مقاومة للعوامل الخارجية مع سهولة التركيب والإنشاء.

كلفة شراء اللوح الشمسي:

(29)

$$C_P = P_{Max} * C_W$$

$$= 120 * 124 = 14880.0[S.P]$$

كلفة شراء كامل الألواح الشمسية:

(30)

$$C_{TP} = N_{PP} * N_{PS} * C_P$$

$$= 8 * 2 * 14880.0 = 238080.0[S.P]$$

الحامل المعدني:

تم تثبيت الخلايا الشمسية على حامل معدني ضمن زاوية ميل باتجاه الجنوب تتوافق مع خط العرض للقرية المدروسة مع إضافة 15° في الشتاء و تخفيض 15° في الصيف لزاوية الميل.

تتعلق كلفة الحامل المعدني الذي ستوضع عليه الخلايا الكهروضوئية بمساحة الألواح الشمسية اللازمة لتغذية الحمولة المطلوبة. تبلغ كلفة الإنشاء للحامل المعدني:

(31)

$$C_{Stand} = C_{Area} * N_{PP} * N_{PS} * A_P$$

$$= 200 * 8 * 2 * 1.48 * 0.67 = 3200.0[S.P]$$

حيث:

$$C_{Area} = 200[S.P / m^2] \text{ : كلفة واحدة المساحة للحامل المعدني}$$

المدخرات:

استخدم في هذا البحث خمسة نماذج للمدخرات بسعات مختلفة ومن مصادر مختلفة أيضاً، منها مصنع محليا وبعضها الآخر مصنع من قبل شركات عالمية، تم الحصول على المواصفات لهذه المدخرات من خلال عروض أسعار محلية أو من مواقع الإنترنت، يقدر العمر الاقتصادي للخلايا الكهروضوئية بحوالي [Y]25 ، بينما العمر الاقتصادي للمدخرة المستخدمة يقدر بحوالي [Y]6.25 ، ولذلك سنحتاج إلى ثلاثة أجيال لكي تغطي كامل الفترة الزمنية لعمر المنظومة، تعطى الكلفة الكلية للمدخرات المستخدمة كما يلي:

سعر بنك (المدخرات الموصولة على التسلسل) من خلال سعر المدخرة الواحدة:

$$(32)$$

$$C_B = N_{bs} * C_{1B}$$

$$= 2 * 5000 = 10000.0[S.P]$$

تعادل الكلفة الثابتة الأساسية للمدخرات المستخدمة سعر بنك المدخرات بعدد المدخرات الموصولة على التوازي:

$$(33)$$

$$C_{BB} = N_{bp} * C_B$$

$$= 4 * 10000 = 40000.0[S.P]$$

الكلفة الكلية للمدخرات خلال العمر الاقتصادي:

$$(34)$$

$$C_{TB} = C_{BB} + C_{BB} (1+i)^{-6.25} + C_{BB} (1+i)^{-12.5} + C_{BB} (1+i)^{-18.75}$$

$$= 40000 + 40000(1+0.04)^{-6.25} + 40000(1+0.04)^{-12.5} + 40000(1+0.04)^{-18.75}$$

$$= 115463.98[S.P]$$

منظم الشحن:

يقوم منظم الشحن بدور حماية المدخرات من الدخول في مجال غير مسموح به لحالتي الشحن والتفريغ ويؤمن أيضاً الأداء السليم بتغذية الأحمال المطلوبة عند جهود ثابتة. مواصفات المنظم المستخدم موضحة بالجدول (7).

الجدول (7): المواصفات الفنية لمنظم الشحن:

القيمة العددية	المواصفات
FLEXMAX 80	النوع
12, 24, 48, 60 VDC	الجهود الاسمي للمدخرات الممكن شحنها
80 [A]	تيار الخرج الأعظمي
12, 24, 48, 60 VDC	مجال تنظيم الجهود
C _{reg} =26800 [S. P]	السعر

تقدر سعة الحمولة أو الحمولة الأعظمية المطلوب تغذيتها وحسب منحنى الحمل بحوالي 2700 [W] وبالتالي سوف نحتاج الى منظم وحيد لتغذية الحمولة المطلوبة.

كلفة شراء القالبية:

نستخدم من أجل الحصول على خرج متناوب قالبية ذات استطاعة خرج توافق حمولة الذروة، تعطى مواصفات القالبية كما يلي:

توتر الدخل 24 V DC

توتر الخرج 220 V AC

استطاعة الخرج 1800 [W]

السعر $C_{inv}=35400$ [S. P]

سوف نحتاج حسب منحنى الحمل و من خلال ذروة الحمل 2700 [W] إلى قالبيات عدد $N_{inv}=2$ ، تبلغ

الكلفة الكلية للقالبيات:

(35)

$$C_{Tinv} = N_{inv} * C_{inv}$$

$$= 2 * 35400 = 70800.0 [S.P]$$

الكلفة الثابتة الكلية:

(36)

$$F_C = C_{TP} + C_{TB} + C_{Stand} + C_{reg} + C_{Tinv}$$

$$= 238080 + 115463.43 + 3200 + 26800 + 70800 = 454344 [S.P]$$

الكلفة المتغيرة (كلفة الاستثمار):

تقتصر التكاليف المتغيرة لمنظومة العمل على تنظيف الخلايا الكهروضوئية وصيانة المدخرات بشكل دوري بما

يخص المحلول الحامضي، وتقدر الكلفة المتغيرة كنسبة مئوية من الكلفة الثابتة وهي ذات قيمة سنوية [7]:

(37)

$$R_C = F_C * C_{Per}$$

النسبة المئوية لقيمة التكاليف المتغيرة $C_{Per} = 1.0 [\%]$

$$R_C = 454344 * 0.01 = 4543.44 [S.P/Y]$$

النتائج والمناقشة:

الكلفة السنوية:

تعطى الكلفة السنوية لمنظومة الخلايا الكهروضوئية من خلال القيمة السنوية المكافئة للتكاليف الثابتة والمتغيرة:

(38)

$$A_n = R_C + F_C * R$$

$$R = \frac{(1+i)^n i}{(1+i)^n - 1} \quad \text{معامل استرداد رأس المال [8]}$$

$$i = 4\% \quad \text{معدل الفائدة}$$

$$n = 25 \text{ [Y]} \quad \text{عمر المنظومة الاقتصادي.}$$

$$A_n = 4543.44 + 454344 * \frac{(1+0.04)^{25} 0.04}{(1+0.04)^{20} - 1} = 33626 \text{ [S.P/Y]}$$

كلفة إنتاج واحدة القدرة:

يمكن من خلال قيم الكلفة السنوية لمنظومة الخلايا الكهروضوئية والقدرة الكهربائية المستجرة سنويا لتغذية الأحمال الكهربائية تحديد كلفة إنتاج الكيلو واط الساعي والذي يعطى بالعلاقة:

$$(39)$$

$$C_E = \frac{A_n}{E_{av}}$$

حيث:

E_{av} : متوسط القدرة المغذاة من منظومة الخلايا الكهروضوئية.

$$(40)$$

$$E_{av} = E_{LL} * 365$$

$$= 6.93 * 365 = 2529.4 \text{ [KWh/Y]}$$

$$C_E = \frac{33626}{2529.4} = 13.29 \text{ [S.P/KWh]}$$

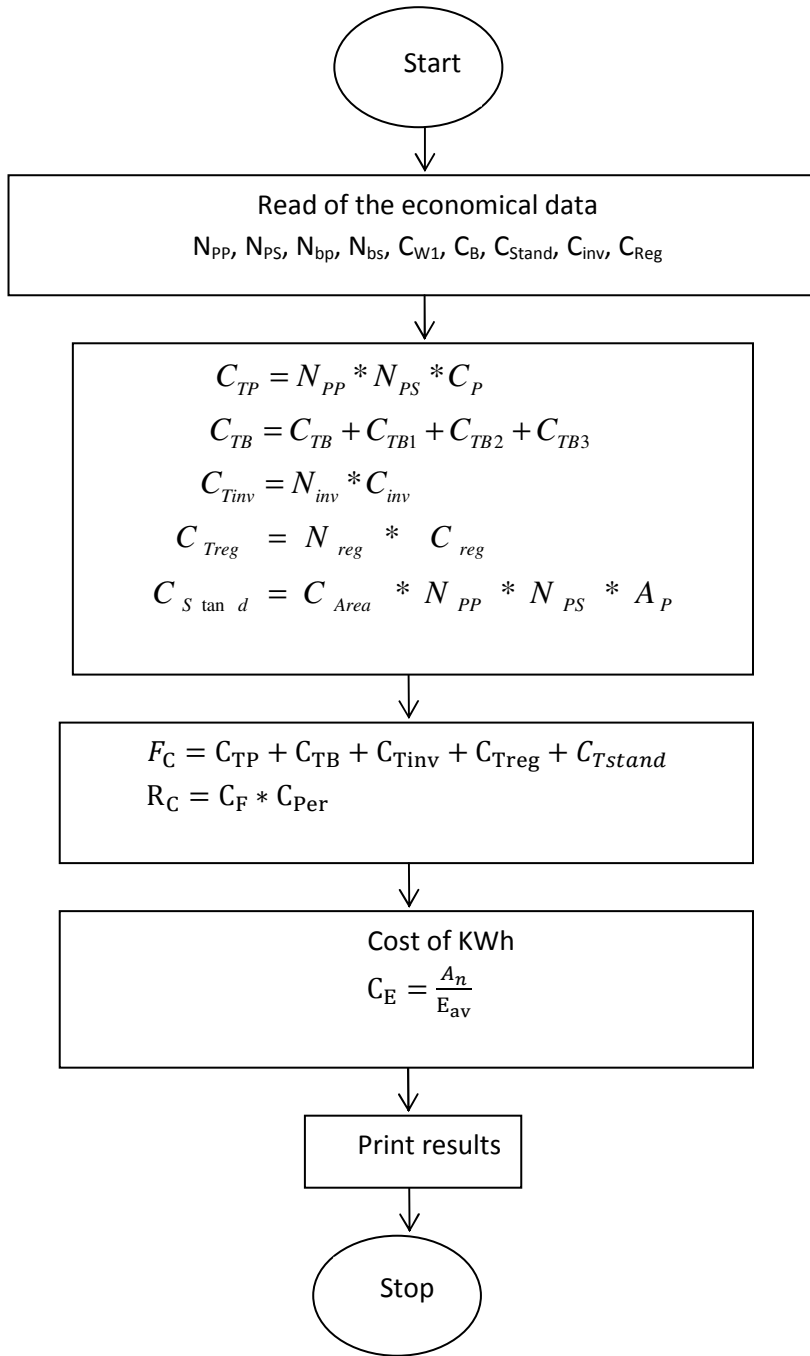
يوضح الشكل (6) المخطط الانسيابي للدراسة الاقتصادية.

المقارنة الاقتصادية:

مكننا تطبيق البرنامج الحاسوبي على كافة البدائل المتاحة من ألواح شمسية ومدخرات وحساب كلفة إنتاج واحدة القدرة من تحديد اللوح الشمسي والمدخرة اللذان يشكلان الحل الأمثل لتغذية الأحمال الكهربائية المطلوبة عند أقل كلفة ممكنة لواحدة توليد القدرة الكهربائية، يوضح الجدول (8) نتائج تطبيق البرنامج الحاسوبي. حيث نلاحظ أن الحل الأمثل من بين البدائل المدروسة كان من أجل اللوح الشمسي (M110-12[V]) والمدخرة (Lead-Acid 200Ah) حيث كانت كلفة إنتاج واحدة القدرة أقل ما يمكن (12.70 [S.P/KWh]).

الجدول(8):الكلفة الثابتة F_C [S.P] والكلفة المتغيرة R_C [S.P/Y] وكلفة إنتاج واحدة القدرة C_E [S.P/KWh] لكل الخيارات المتاحة من عمل الألواح الشمسية والمدخرات.

C_E	R_C	F_C	المدخرة	اللوحة الشمسية
13.29	4543.44	454344.56	Lead-Acid 200Ah	M120-12[V]
12.70	4340.83	434083.38	Lead-Acid 200Ah	M110-12[V]
13.10	4478.41	447841.34	Lead-Acid 200Ah	M120-24[V]
16.40	5605.71	560571.44	GNB-110 Ah	M120-12[V]
15.81	5403.10	540310.25	GNB-110 Ah	M110-12[V]
16.21	5540.68	554068.19	GNB-110 Ah	M120-24[V]
49.81	17021.87	1702187.0	GNB-615 Ah	M120-12[V]
49.21	16819.25	1681925.7	GNB-615 Ah	M110-12[V]
49.62	16956.83	1695683.7	GNB-615 Ah	M120-24[V]
42.67	14583.50	1458350.13	GNB-1600 Ah	M120-12[V]
42.08	14380.88	1438088.8	GNB-1600 Ah	M110-12[V]
42.48	14518.46	1451846.8	GNB-1600 Ah	M120-24[V]
29.13	9955.82	995581.92	GNB-820 Ah	M120-12[V]
28.54	9753.21	975320.7	GNB-820 Ah	M110-12[V]
28.94	9890.78	989078.7	GNB-820 Ah	M120-24[V]



الشكل(6):المخطط الانسيابي لإجراء الدراسة الاقتصادية لمنظومة الخلايا الكهروضوئية.

الاستنتاجات والتوصيات:

- تأتي أهمية هذا البحث من محاولته إيجاد الحل الأمثل لتغذية الأحمال الكهربائية لقرية نائية من خلال استخدام الخلايا الكهروضوئية لوجود العديد من التجمعات الريفية المعزولة والمواقع الزراعية والسياحية التي يمكن إسقاط هذه الدراسة عليها.
- استخدام الطاقة الشمسية لتغذية المواقع النائية والمعزولة قد يشكل الآن أسلوباً منافساً للطرق التقليدية ذلك مع تصاعد أسعار المشتقات النفطية وتفاقم مشاكل التلوث البيئي مما يجعل اعتماد الطاقة الشمسية خياراً إلزامياً في المستقبل.
- حساب قيم الإشعاع الشمسي باستخدام برنامج حاسوبي وعلى مدار العام بالاعتماد على بيانات الموقع الجغرافي جعل نتائج الدراسة بعيدة عن التقدير والتخمين وأعطاهما صفة المحاكاة للواقع.
- إعداد برنامج حاسوبي لتحديد حجم المولدات وعدد المدخرات لتغذية الحمولة المقترحة أعطى إمكانية اعتماد عدة نماذج من الخلايا الكهروضوئية والمدخرات ذات القيم المختلفة من مواصفات فنية وكلفة اقتصادية والتوصل الى النموذج الذي يحقق الحل الأمثل من بين العروض المتاحة، كما يمكن استخدام هذا البرنامج من أجل بدائل أخرى لم يتم دراستها في هذا البحث.
- استخدام محطات توليد خلايا كهروضوئية وربطها مع الشبكة الكهربائية العامة واستغلال فائض الطاقة من هذه المحطات بأسعار مرتفعة لتكون حافز على زيادة استغلال الطاقة المتجددة.
- تشجيع ودعم استخدام الخلايا الكهروضوئية لتغذية المواقع المعزولة من تجمعات ريفية ومواقع سياحية وآبار للري والسقاية ومواقع حدودية بالطاقة الكهربائية، كما أن استخدام مصادر الطاقة المتجددة بشكل عام والطاقة الشمسية بشكل خاص يسهم كثيراً بتخفيف العبء عن الشبكة الكهربائية العامة وتقليص حجم الضياعات بسبب الامتداد الطولي المتزايد للشبكة الكهربائية.

المراجع:

- [1] منشورات وزارة الري لعام 2003.
- [2] ROWE, W., *Renewable Energy Target For 2050*. IEEE Spectrum , 2002, 58-63.
- [3] YADAV, Y., *Transient Analytical Study of Box-Type Solar Cooker*. Energy Conv. Mgm, Vol. 27, No. 2, 2006, 121-127.
- [4] ASHRAE HADBOOK, *Heating, Ventilating, and Air Conditioning Applications*. 1995.
- [5] عبد الله سعيد، 1995، نظم القدرة الكهربائية، منشورات جامعة تشرين، اللاذقية.
- [6] MANWELL, J., *Lead-Acid Battery Storage Model For Hybrid Energy Systems*. Solar Energy, Vol. 50, No. 5, 1999, 399-405.
- [7] SOUDER, W., *Theory And Problems of Engineering Economics*. University of Central Florida, 2009, 472.
- [8] BLANK, L., and TARQUIN, A., *Engineering Economy*. New York, McGraw-Hill, 2008, 450.