التصميم الأمثل لمنظومة قوى فوتوفولتية [شمسية]

د. هاني محمد، - أ. خالد جودة

كلية الهندسة، جامعة التحدي، سرت

هــناك أحمال كهربائية بعيدة كل البعد عن مراكز التغذية الرئيسية أو واقعة بمناطق وعرة وبعيــدة عــن الطــرق الممهــدة مما يجعلنا نبحث عن مصادر جديدة لإمداد مثل هذه الأحمال بالطاقة الكهربائية، لهذا السبب ولسبب اقتصادي بدأ الباحثون والمهتمون بنظم الطاقة بالبحث عــن مصــدر جديدة لتوليد الطاقة الكهربائية وخاصة بعد الزيادة في انخفاض مخزون الوقود لتقــليدي والخــوف مــن نضــوبه، وتستخدم نظم الطاقات الجديدة والمتجددة أساساً في بناء المجــتمعات الجديــدة وذلك لإعادة توزيع السكان، وبدأت الأبحاث الجادة تظهر في السبعينات مــن القرن الماضي من أجل رفع كفاءة نظم الخلايا الشمسية الفوتوفولية والبحث عن وسائل تخــزين الطاقــة الكهــربائية وبــالفعل تم اكتشاف منظومة تخزين الطاقة المغناطيسية فائقة التوصيل (SMES).

وقــد أثبــتت الأبحــاث أن أفضل المناطق المناسبة التي تشيد فيها تلك النظم هي المناطق الواقعة بين خطى عرض 31 شمالاً 31 جنوباً ونجد أن معظم دول الوطن العربي تقع في تلك المــنطقة، وتعتــبر نظم الطاقة الشمسية الفوتوفولتية (SPVPS) من أبسط نظم توليد الطاقة الكهربائية.

الإشعاع الشمسي والموقع:

عمومــاً لتحديد المساحة المفتوحة والمضاءة بضوء الشــمس المطلوبة لمصفوفة الخلايا الفوتوفولتية يجب إتباع الخطوات التالية:

الخطــوة الأولى: هــذه المســاحة يمكــن اعتبارها مفــتوحة إذا كانت زاوية الارتفاع لأقرب مجموعة أشجار أو مجموعــة مــباني... الخ، خلال زاوية ب سمث 60 ± تحقق العلاقة التالية:

1- إزاويــة خط العرض| -56 ≤ (زاوية الارتفاع لأقرب مبنى أو مجموعة أشجار).

الخطوة الثانية: حساب مؤشر الوضع "K_H" للموقع المدروس يجب تحديده من [1] على أساس أقرب مدينة لها نفــس الظــروف الجويــة للموقع المدروس، وقيم معامل الوضــع "K_H" يجــب أن تقرأ لشهور الشتاء الأربعة "لكل شــهر من هذه الشهور" قيمة الإشعاع الشمسي التي تسمى التشميس يجب أن تُقرأ من [2].

$$Area\ (Sq.\ meter) = \frac{Load(inkwh/day) * [\cos(t) + \sin(t)/\tan(66 - |L|)]}{* SolrRadiation(inkw/m^2 - day)}$$

حيث:

L: زاوية خط العرض.

t: زاوية ميل المصفوفة.

تعطى "t" عادة مساوية لقيم المطلقة لزاوية خط العرض، في هذه الحالة تشمل كفاءة المنظومة μ على 14% للمصفوفة، 80% للبطارية، 90% لمعدل القدرة.

فتعطى (μ = .14 * .80 * .90 = 10%).

الإشعاع الشمسي المستعمل في هذه المعادلة هو الإشعاع الشمسي لأقل شهر من شهور الشتاء الأربعة.

حساب مساحة مصفوفات الخلايا الفوتوفولتية وسعة بطاريات التخزين:

عند حساب مصفوفة الخلايا وسعة بطارية التخزين المطلوبة باستعمال الإشعاع الشمسي الشهري نفترض أن احتمالية فقد الحمل LOLP يساوي "1%" كما في جدول (1) ويمكن إجراء التعديل لقيم أخرى لاحتمالية فقد الحمل.

جدول (1) الحجم الأسمى للمصفوفة الفوتوفولتية وحجم البطارية الأسمى عند lolp = 1%

شهور السنة	معامل الوضوح $\frac{K}{1}$	الإشعاع المتوسط $\frac{kww_1Day}{2}$	النسبة $\frac{R}{3}$	الانحراف المعياري $\frac{kwws\ Day}{4}$	الحمل المتوسط الشهري	مساحة المصفوفة $\frac{\ }{6}$	سعة $\frac{Days}{7}$	البطارية $\frac{kwh}{8}$
أي النار	0.417	2.72	0.73	2.00	20	122	8.1	162
النوار	0.447	3.41	0.63	2.15	20	93	6.7	134
الربيع	0.460	3.99	0.55	2.19	20	77	5.7	114
الطير	0.480	4.48	0.48	2.15	20	66	4.8	96
الماء	0.496	4.76	0.42	2.00	20	61	4.2	84
الصيف	0.521	5.01	0.37	1.85	20	57	3.6	72
ناصر	0.509	4.88	0.39	1.90	20	59	3.8	76
هانيبال	0.499	4.70	0.43	2.02	20	62	4.3	86
الفاتح	0.480	4.43	0.48	2.13	20	67	4.7	94
التمور	0.480	3.91	0.55	2.15	20	78	5.7	114
الحرث	0.421	2.91	0.70	2.05	20	112	7.7	154
الكانون	0.383	2.32	0.81	1.89	20	148	9.2	184

يـــتم تحديـــد مســـاحة الخلايا وبطاريات التخزين كالتالي:

1- معـــامل الوضوح لكل شهر "K_H" للموقع المعين يحدد من[1] القيم توضح بالعمود رقم1 في الجدول رقم(1).

2- زاويـــة الميـــل لمصـــفوفة الخلايا تختار بحيث تكون مســـاوية لـــزاوية خط العرض أو مساوية لزاوية خط العرض +10 درجات.

3- متوســـط الإشـــعاع الشهري I الساقط على المصفوفة المائـــلة يحدد بالتمثيل البياني ويوضح في العمود رقم 2 بالجدول (1).

4- النسبة R للانحراف المعياري للإشعاع الشمسي للقيمة المتوســـطة يحدد من [1] بالتمثيل البياني ويوضح في العمود رقم 3 بالجدول (1).

5- الانحراف المعياري S يحسب لكل شهر من العلاقة:

$$S = R * I \qquad (3)$$

توضح S في العمود رقم 4.

6- الحمـــل اليومـــي بالكيـــلووات ساعة (Kwh/DAY) يوضح في العمود رقم 5.

7- معـــامل أداء المصـــفوفة K يحـــدد مـــن المواصفات المعطـــاة مـــن المنع ويعبر عنه بالخرج اليومي لكل وحدة من المصفوفة (Kwh/DAY-m).

8- حســـاب كفـــاءة المـــنظومة ويســـاوي تقريباً حاصل الضرب لمعامل أداء مصفوفة وكفاءة البطارية وكفاءة معـــدل القدرة، وهي تساوي 8% في المثال القدم في الجدول (1).

9- اســـتنتاج التصـــميم الأمثل باستخدام نظرية المحاولة والخطأ باختيار قيم متعددة للمعامل (M) ويوضح في الجـــدول. أنسب قيم لـــ M تبدأ من 0.33 ولكل قيمة لـــ M نحسب مساحة المصفوفة المطلوبة لكل شهر، طبقاً للمعادلة التالية:

$$\text{Area } (m^2),\ A = LOOD / (I - M * S),\ M = (I - I_\Delta) / S \qquad (4)$$

وقيم I_Δ تحسب من العلاقة التالية:

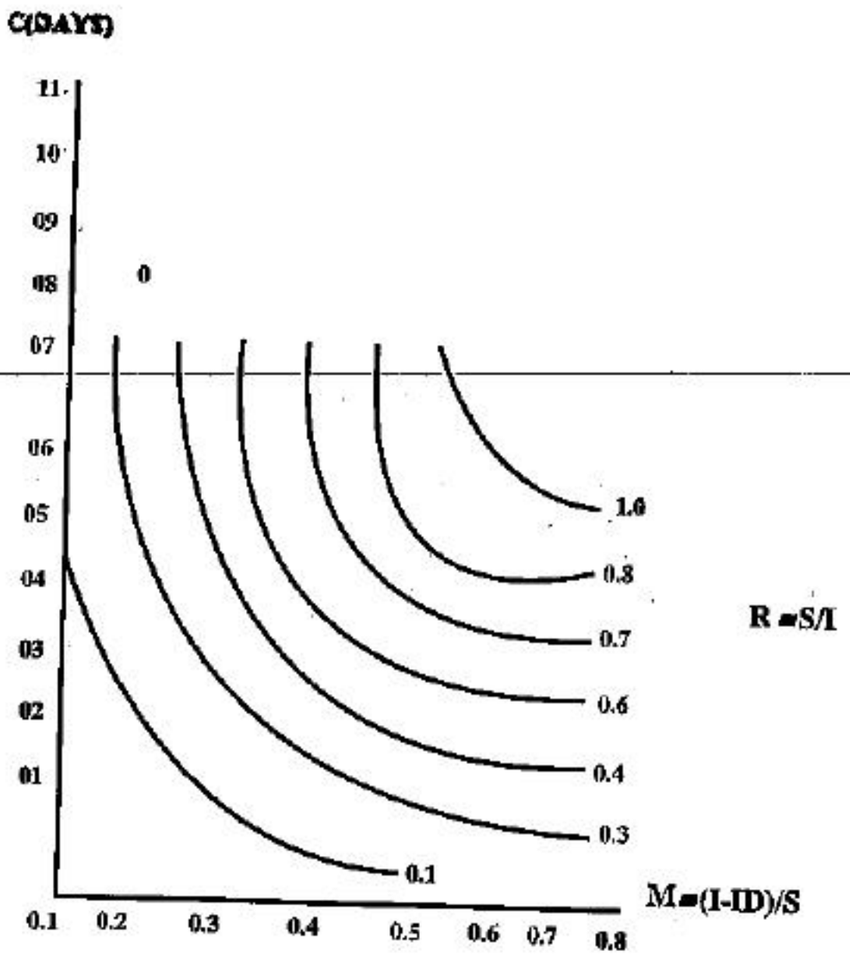
$$I_\Delta = LOAD/A \qquad (5)$$

ووضع قيمة M في العمود رقم6 في الجدول رقم (1).

10- تحـــدد سعة بطارية التخزين C طبقاً لقيم M, R من الشـــكل (1) إذا كان الحمل اليومي يساوي 20 Kwh وســـعة بطاريـــة التخزين C ستة أيام فمعنى ذلك أن ســـعة بطارية التخزين تساوي 20 * 6 = 120 Kwh قيـــم C للشـــهور المختلفة توضع في العمود رقم 7. يعبر عن سعة بطارية التخزين بوحدات حمل وتدون في العمود رقم 8.

11- الشـــهر الـــذي يحتاج لأكبر مساحة مصفوفة خلايا وســـعة بطاريـــة تخزين سوف يحدد حجم المعدات المطلوبة للمنظومة.

فـــي الـــبداية نختار قيم متعددة للمعامل M لحساب أقل تكلفة دورة عمر. القيمة 0.33 هي نقطة بدائية ملائمة لقيـــم M إذا كـــانت أقصـــى مساحة لخلايا وأقصى سعة تخـــزين لا يحدثان في نفس الشهر. يجب أخذ أكبر مساحة خلايـــا طـــبقاً لـــلخطوات السابقة ومنها تحدد قيمة M من المعادلة.



شكل(1) تحديد سعة بطارية التخزين عند فقد قدره 1%

تحديد حجم مكونات منظومة القوى الفوتوفولتية:

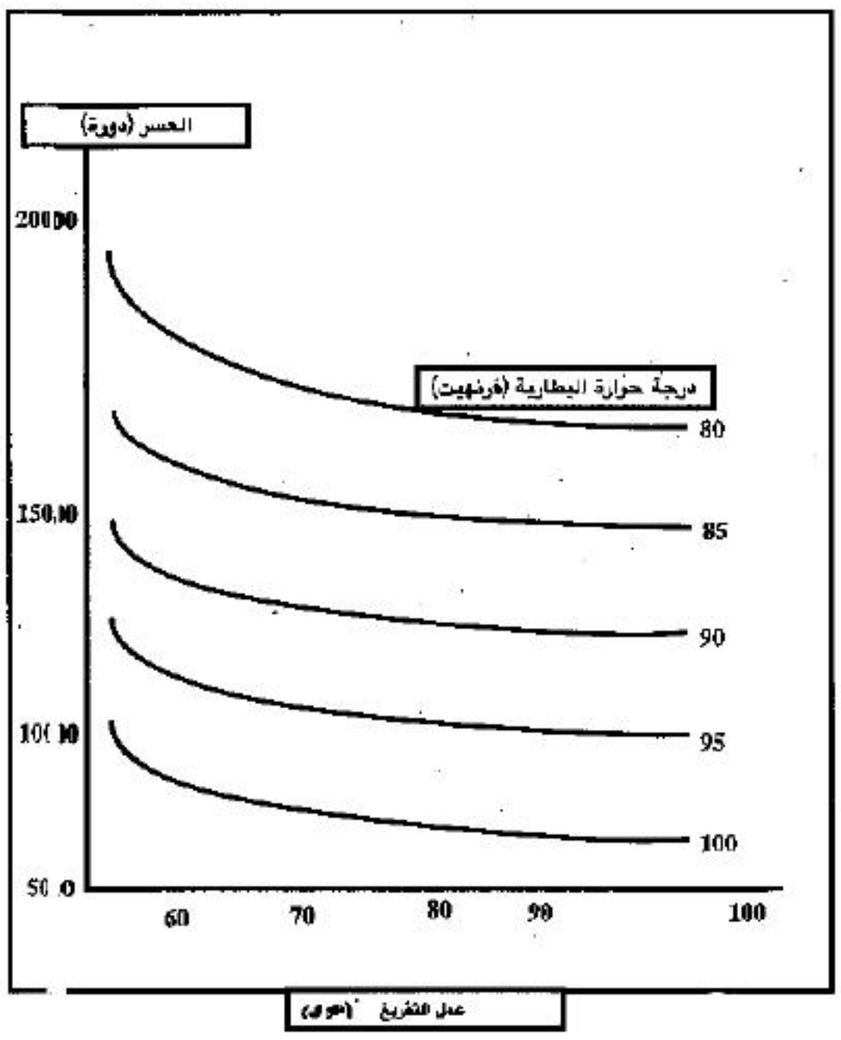
1- حجم مصفوفة الخلايا المحسوبة طبقاً لمقياس الاعتمادية المحدد يجب أن يعدل لاعتبار انخفاض قدره 10% في أداء المصفوفة على طور العمر وكان حجم المصفوفة الأسمى KWp12 فيجب قسمته على 0.9 لحساب الحجم الفعلي لمصفوفة الخلايا في وقت التشييد أي: 12/.9 = 13.33 KWp.

2- سعة بطارية التخزين الضرورية يكافئ سعة البطارية اللازمة لتغذية المنظومة على طور عمر المنظومة (20 عاماً) مقسوماً على عمق التفريغ المئوي المسموح به للبطارية. نفترض أن العمر المتوسط لبطارية الرصاص الحامضية 1000 دورة أو عشر سنوات، وسعة بطارية التخزين المحددة في الجدول 184 K wh على أساس 9.2 يوماً وبطارية التخزين تعيش لمدة 10 سنوات من الشكل (2) يمكن ملاحظة:

عند درجات الحرارة المتوسطة العالية للبطارية نجد أن العمر الظاهري لا يساوي 500 cycles وسوف تتحمل أقصى عمر للتفريغ قدره 95% لذلك نجد أن سعة البطارية المطلوب إقامتها تساوي 105% (100/0.95%) من سعة التشغيل في نهاية العمر في حالة البطارية التي سعتها 184 Kwh أي أن:

السعة الفعلية للبطارية = السعة المحسوبة في الجدول ÷ عمق التفريغ

184/.95 = 193 Kwh

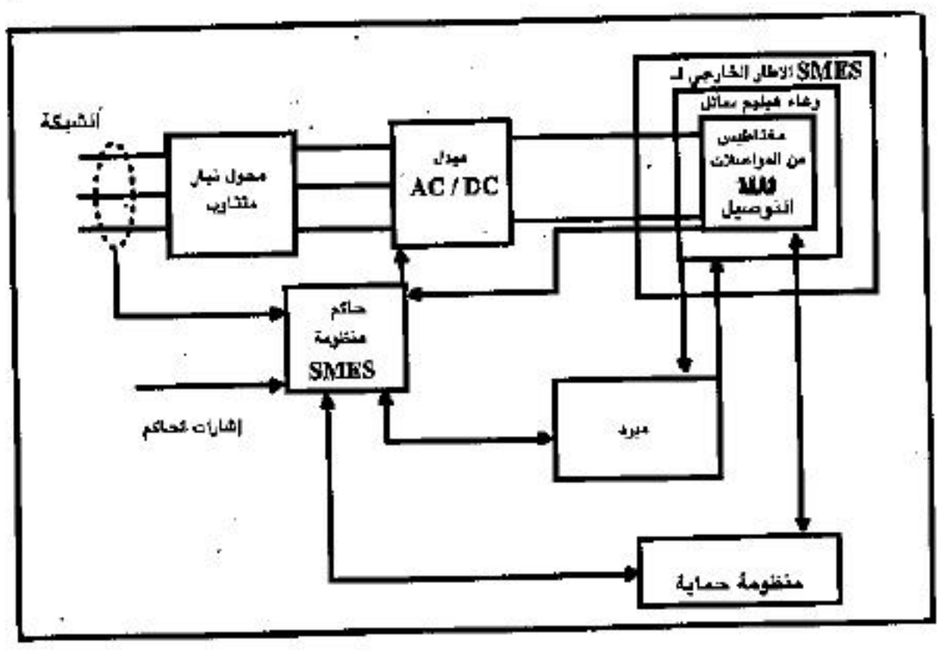


شكل(2) علاقة دورة العمر بالنسبة لعمق التفريغ

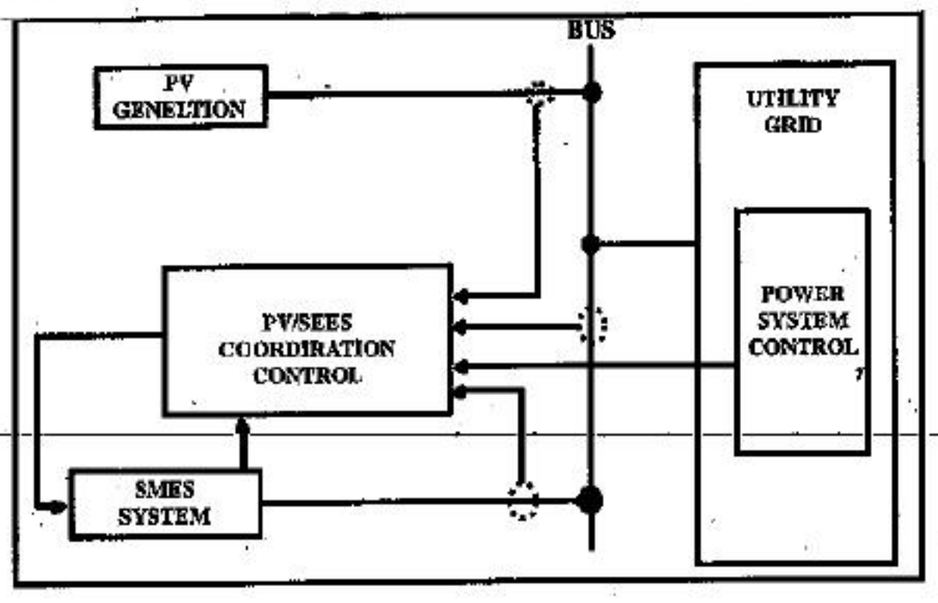
بالرغم من الاهتمام المتزايد لتوليد القدرة من نظم القوى الفوتوفولتية إلا أن استخدامها بأحجام كبيرة ما زال مقيد ببعض القيود الفنية والاقتصادية. من هذه القيود التغير المستمر في القدرة الفوتوفولتية المولدة نتيجة لاستجابتها لحظياً لأي تغيير في شدة الإشعاع الشمسي بسبب تقلب الأحوال الجوية، وبذلك لا يمكن التنبؤ بخرجها ولهذا يجب البحث عن طريقة تسهم في زيادة استكمال التوليد الفوتوفولتي. من بين هذه الطرق استعمال منظومة تخزين الطاقة المغناطيسية فائقة التوصيل.

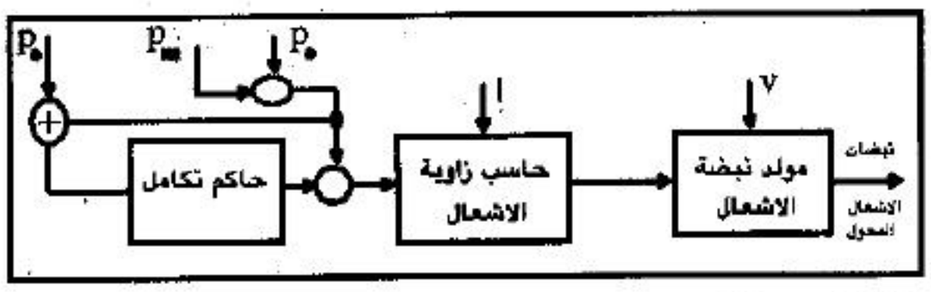
الهدف الرئيسي من استخدام منظومة التخزين

المغناطيسية هو زيادة مستويات مشاركة نظم التوليد الفوتوفولتية للنظم التقليدية لتغذية أحمال المنظومة. منظومة التخزين المغناطيسية تستخدم في تسوية خرج نظم التوليد الفوتوفولتية بحيث يكون خرج المنظومة المشتركة (منظومة التوليد الفوتوفولتية، منظومة التخزين المغناطيسية) أملس ولا يحتوي على نتوءات حادة وبذلك فإن التغير في خرج منظومة القوى الفوتوفولتية لا يسبب تأثير معاكس على نظم القوى التقليدية. المنظومة المشتركة تستخدم في تسوية حمل النهار وقص حمل الذروة وتسمح باستغلال خرج منظومة القوى الفوتوفولتية بالكامل. والشكل (3) يوضح مخطط منظومة تخزين طاقة مغناطيسية. أما طريقة تشغيل المنظومة فموضحة في الشكل (4). حيث يوضح الشكل مخطط المنظومة المشتركة PV/SMES، توصل منظومة القوى الفوتوفولتية ومنظومة التخزين المغناطيسية والشبكة العامة بالقضبان العمومية. كل منظومة يمكن أن تعمل دون الاعتماد على الأخرى، ويمكن أن تعمل أكثر من منظومة تحت برنامج مشترك لتشغيل منظومة التحكم التي تتحكم في التشغيل المشترك للمنظومة (PV/SMES).



شكل(3) المخطط التوضيحي لمنظومة التخزين الفوتوفولتية





شكل(4) مخطط المنظومة المشتركة ومنظومة التحكم في التشغيل المشترك للمنظومة (PV/SMES)

يحتوي دخل منظومة التحكم على القدرة الخارجة للمنظومة الفوتوفولتية (P_{pv}) القدرة الخارجة لمنظومة التخزين المغناطيسي (P_S) وإشارة القدرة المطلوبة الناتجة من مركز حكم منظومة القوى (P_D) والتيار الداخل أو الخارج من أو إلى المغناطيس (I_S) وجه قضيب التيار المناسب (V) ويخرج من منظومة التحكم نبضات التحكم الإشعال التي تحكم تشغيل المحول (AC/DC) المركب على منظومة التخزين المغناطيسي. الفرق بين (P_D) أو (Ppv) هي القدرة المطلوبة للعمل من منظومة التخزين المغناطيسي. ويقارن هذا الفرق بـ (P_S) لتوليد إشارة الخطأ الحاسم التكاملي، وخرج الحاكم التكاملي يتصل بأمر القدرة لتشكيل الخرج المستخدم بواسطة حساب زاوية الإشعاع الذي يحسب زاوية إشعال المحول (AC/DC) في منظومة التخزين المغناطيسي.

تحتاج منظومة التوليد الفوتوفولتية لمساحة أرض كبيرة بسبب الكفاءة المنخفضة للخلايا الشمسية، وكذلك منظومة التخزين المغناطيسي تحتاج أيضاً لمساحة كبيرة من الأرض وذلك بسبب اعتبارات الأمان المأخوذة

لـــلحماية مـــن المجـــالات الشاردة المحيطة المغناطيسية. مســـاحة الأرض المطـــلوبة للمـــنظومة المشـــتركة (PV/SMES) ليســـت بالضـــرورة أن تكـــون مجموعة الأرض المطـــلوبة لكـــل نظـــام. عـــادة منظومة التخزين المغناطيسي فائقة التوصيل تقام تحت سطح الأرض ولذلك نجد أن صخر الأساس يمكن أن يستعمل كدعامة ميكانيكية لـــتحمل القـــوى الكـــبيرة اللازمة عادة مع تخزين الطاقة المغناطيســـية وهـــذا العمـــل له تأثير إيجابي على الناحية الاقتصادية عند استخدام المولد الفوتوفولتي بأحجام كبيرة.

التكلفة الكلية لمنظومة القوى الفوتوفولتية:

التقديم الأول لحساب التكلفة هو الخطوة الأولى في تحديد جدوى استخدام نظم القوى الفوتوفولتية عندما يكون هـــناك مصـــادر بديلة للطاقة. هذا الجزء من البحث يقدم طـــريقة حساب تكاليف نظم القوى الفوتوفولتية على طول عمـــر المـــنظومة. لمـــنظومة فوتوفولـــتية تعتـــبر تكلفة مصـــفوفات الخلايـــا وتكـــلفة البطاريات من أهم عناصر التكـــلفة الكـــلية والـــتي تبنى عليها التكلفة الرئيسية وتكلفة التشـــغيل والصـــيانة. الطـــريقة الأساســـية لعمل مقارنة اقتصـــادية بين منظومة قوى فوتوفولتية ومنظومة تقليدية تكـــون عـــلى أســـاس تحديد تكلفة دورة العمر لكل بديل. خطـــوات حســـاب تكـــلفة دورة العمر تشمل كل التكاليف الرئيســـية الأولية والنفقات على طول العمر لكل بديل مع أخـــذ تكلفة الصيانة والتشغيل والوقود في الاعتبار. النظم الفوتوفولـــتية تحـــتاج إلى تكـــلفة أولية عالية مميزة ولكن تكـــلفة التشغيل يمكن إهمالها عند مقارنتها بمنظومة قوى تقليدية.

أمـــا الآلات والمحـــركات تحـــتاج لـــتكاليف أولية متواضـــعة نســـبياً، وتحـــتاج أيضـــاً لكـــلفة وقود عالية ومتصـــاعدة. لأي بديـــل تعتـــبر ســـعة وحدات الطوارئ ومعـــدل ارتفـــاع تكلفة المكونات المستهلكة ومعامل العمل من أهـــم العوامل المؤثرة على حساب نقطة التكلفة بين البدائل المختلفة.

تكـــلفة دورة العمـــر هي مقدار المال الذي يحتاجه المشـــروع عـــلى طول دورة عمره. ويجب معرفة معدل التضـــخم الاقتصادي ومعدل الخصم ومعدل الربح السنوي لمـــال (الفائدة المصرفية) تلك القيمة من المال تسمى القيمة الحاليـــة لتكـــلفة المشروع طوال عمره. يمكن التعبير عن القيمة الحالية بالمعادلة التالية:

تكلفة دورة العمر = تكلفة كل احتياجات المنظومة عند تشييدها + القيمة الحالية الكلية للتكاليف السنوية (6)

القيمـــة الحاليـــة الكلية للتكاليف السنوية والمستمرة عـــلى طـــول عمر المشروع يجب أن تشمل على تكاليف الصـــيانة وتكـــاليف إبـــدال الـــبطارية وتكاليف التشغيل وتكـــاليف الوقـــود لكـــل البدائل المستخدمة في المقارنة الاقتصـــادية. القيـــم الحالية المتكررة دورياً (على أساس السنة الواحدة) للتشغيل والصيانة وكافة الطوارئ يمكن أن تصـــاغ لحســـاب الصعود والهبوط في الكلفة ويعبر عنها بجـــدوى تشغيل أول سنة. القيمة الحالية للتكاليف المتكررة دورياً يمكن حسابها من المعادلة التالية:

$$Xp.v = \{X_o\left(\frac{1+g_o}{K-g_o}\right)\left[1-\left(\frac{1+g_o}{1+K}\right)^N\right],$$

$$if K \neq g_o, X_o N, if = g_o$$

حيث:

X_{pv}: التكـــلفة الحاليـــة للتشـــغيل والصيانة وسعر الوقود على طول مدة التشغيل.

X_0: تكـــلفة التشـــغيل والصيانة والوقود في السنة الأولى.

g_0: معدل ارتفاع سعر الوقود والتشغيل والصيانة.

K: سعر الفائدة المصرفية.

N: عمر المنظومة مقدراً بالنوات ويساوي عشرون سنة في الأنظمة الفوتوفولتية.

القيمة الحالية لتكلفة المتكررة دورياً اللازمة لاستبدال عناصر المنظومة التي يقل عمرها عن عمر المنظومة مثل البطاريات تحسب من المعادلة التالية:

$$R_{pv} = X_1(1-S)\Sigma(\frac{1+g_1}{1+K})^{\frac{N_t}{n+1}}$$

حيث:

X_1: تكلفة استبدال العنصر في أول سنة تشغيل.

S: قيمة التخليص بالوحدة للعنصر المستبدل.

N: عمر المنظومة بالسنة.

H: عدد مرات استبدال العنصر على طول السنة.

g_1: معدل التضخم الاقتصادي للعناصر المستبدلة.

K: معدل سعر الفائدة المصرفية.

التحليل الاقتصادي لأي منظومة يتطلب معرفة عمر المنظومة وعمر عناصرها المختلفة ويفترض هنا أن عمر المنظومة 20 عاماً، هذا العمر لا يعني أن العناصر المستخدمة يجب أن تصمم بحيث ينتهي عمرها بانتهاء هذه الفترة أو المعدات التي لها عمر أكبر من ذلك تطرح بعد ألـ 20 عاماً.

التحليل الاقتصادي يجب أن لا يعتبر قيد على التصميم الأمثل، يجب أن تستمر المنظومة في العمل لفترة 20 سنة وذلك باستبدال كل البطاريات في نهاية 10 سنوات أو بإبدالها عند 10.5 ومرة أخرى عند 15 سنة إذا كانت دورات التفريغ أو عمق التفريغ ينتج عند استمرارية البطارية في العمل لمدة 5 سنوات فقط بدلاً من 10 سنوات عدد مرات التفريغ.

حساب تكلفة دورة العمر:

التكاليف الغير مباشرة يعبر عنها كنسب مئوية من التكاليف المباشرة وتكاليف البناء بشكل كبير على الموقع وبعد الموقع التشييد ومحتمل أن تتغير عن القيمة الاسمية والتي تساوي 30% من تكاليف المعدات.

التكاليف الهندسية يحتمل أن تكون أعلى من القيمة الأولية لتنفيذ المشروع.

معدلات التضخم المقدمة في الجدول (2) المستخدمة بغرض المقارنة يجب أن تكون دقيقة وفقاً لمكان إقامة المشروع.

الجدول (3) يعرض كيفية حساب تكلفة دورة العمر للمنظومة. تكاليف المكونات والمعاملات الاقتصادية المستخدمة في حساب التكلفة الحالية للتشغيل السنوي المتكرر وتكلفة الصيانة وكذلك تكاليف استبدال البطاريات محسوبة على أساس القيم المدونة في الجدول (2).

تكلفة دورة العمر المحسوبة موضحة في السطر الثالث عشر من الجدول (3)، هذه القيمة يمكن أن تقارن مع تكاليف البدائل الأخرى بغرض المقارنة الاقتصادية ويمكن أن يعاد حسابها باختيار مستويات عول مختلفة.

جدول(2) يبين مكونات وتكاليف المنظومة والمعاملات الاقتصادية

المكونات	الكمية
المصفوفة الفوتوفولتية: 12 KW ÷ 0.9 [معدل انخفاض أداء المصفوفة بسبب العمر]	13.33 KW_P
بطارية التخزين: 184 Kwh ÷ 0.95 [عمق التفريغ]	193 KWh
عمر المصفوفة [N]:	20 سنة
عمر البطارية	10 سنوات
المكونات المحسوسة	
تكلفة المصفوفة الفوتوفولتية:	$S1/W_P$, $S3/W_P$
تكلفة البطارية:	$75/Kwh
حجم التخليص (S):	0.10
التكاليف الغير مباشرة	
تكلفة الأعمال الهندسية كنسبة من التكلفة الكلية للمعدات:	0.10
تكلفة البناء أو التشييد كنسبة من التكلفة الكلية للمعدات:	0.30
تكلفة الأعمال الإدارية كنسبة من التكلفة الكلية للمعدات:	0.06
المعاملات الاقتصادية	
معدل الخصم (K):	0.12
معدل التضخم العام:	0.08
معدل التضخم للتشغيل والصيانة:	0.09
معدل التضخم لاستبدال البطارية:	0.08
التكاليف المتكررة السنوية	
الصيانة والتشغيل للمصفوفة كنسبة من التكاليف الأولية:	0.01
الصيانة والتشغيل للبطارية كنسبة من التكاليف الأولية:	0.01
معاملات القيمة الحالية	
$\frac{X_{PV}}{X_o}=\left(\frac{1.09}{0.03}\right)\left[1-\left(\frac{1.09}{1.12}\right)^{20}\right]=$	15.22
$\frac{R_{PV}}{X_1(1-S)}\left(\frac{1.08}{1.12}\right)^{10}=$	0.695

جدول(3) حساب تكلفة دورة العمر للتصميم

الأوّلي لمنظومة قوى فوتوفولتية

حجم المكونات
حجم المصفوفة: الحجم الاسمي للمصفوفة ÷ معامل انحطاط المستوى (0.9)
حجم البطارية: الحجم الاسمي للبطارية ÷ عمق التفريغ (0.95)
تكاليف المكونات
1. المصفوفة الفوتوفولتية = حجم المصفوفة (KW_P) × $/$KW_P$
2. البطارية = حجم البطارية (Kwh) × $/Kwh
3. منظومة تعديل القدرة = حجم مقنن معدل القدرة (W) × $/W
تكلفة كل المكونات ① + ② + ③ = X
4. الهندسة X * 10%
5. التشييد X * 30%
6. إدارة المشروع X * 6%
[التكلفة الأولية الكلية] ① + ② + ③ + ④ + ⑤ + ⑥
التكاليف السنوية
7. التشغيل والصيانة
القيمة الحالية للاستبدال
8. استبدال البطارية
التكاليف الكلية لدورة العمر
① + ② + ③ + ④ + ⑤ + ⑥ + ⑦ + ⑧

الخلاصة:

- تـــم تحديد أفضل مساحة لسطح الخلايا الفوتوفولتية وأفضل سعة بطارية لتغذية حمل معين مع الحفاظ على مستوى عول معين.
- وضعت جداول تبين عملية حساب التصميم الأمثل لمنظومة فوتوفولتية.
- مـــن أفضل الطرق التي بواسطتها تخزين الطاقة هي تخزينها على شكل مجالات مغناطيسية داخل مغناطيس بموصلات فائقة التوصيل.
- الدراســـة بيـــنت التكلفة الكلية لمنظومة القوى الفوتوفولتية (تكلفة العمر) لعشرين عاماً عند تغذية الحمل 10 Mwh/day بقيم مختلفة لـــ M والجدول (4) يبين ذلك.

جدول (4) الجدولين التاليين يوضحان التصميم الأمثل لمنظومة القوى الفوتوفولتية وتكلفة دورة العمر وسعر الكيلووات ساعة المولد عن قيم (M) المختلفة

$$\frac{\text{التكلفة الإجمالية (على طول فترة العمر)}}{20\ X\ 356X\ K\,Wh/day}$$

0.8	0.7	0.6	0.5	0.4	0.33	M
0.309	0.304	0.298	0.299	0.306	0.317	3$/Wp
0.175	0.178	0.180	0.187	0.200	0.214	1$/Wp

0.8	0.7	0.6	0.5	0.4	0.33	M
0.424	0.390	0.383	0.383	0.391	0.403	3$/Wp
0.225	0.228	0.230	0.238	0.254	0.264	1$/Wp

المراجع:

1. *The solarex, guide to solar electricity*, printed in the United States of America, April 1979.
2. S. A. "*calculation of monthly average insulation on tilted surfaces*", solar energy, vol., 19, p. p. 325-329, pergamon press 1977, printed in Great Britain.
3. R. J. Loyed, J. D. Rogers, D. W. Lieurance, J. R. *Purecell and magnetic energy storage plant*, leee transactions on energy conversion, vol., ec-1, No. 4 December 1989.
4. Kwa-sur Tam, Pream Kumar Mark Formeman, "*enhancing the utilization of photovoltaic power generation by sour conductive magnetic energy storage*", leee transactions on energy conversion, vol., 4, No 3, September 1989.
5. Groumpous and George Papageorgiou, "*optimal sizing of stand alone photovoltaic power system department of electrical engineering Cleveland state university*", Cleveland, Ohio 44115, technical report, erc-r-07, September 1983.